

**Богдан Миколайович Андрушків**  
заслужений діяч науки і техніки України  
д-р екон. наук, проф.  
ORCID 0000-0003-4897-5539  
e-mail: andrushkiv.bohdan@gmail.com,

**Ольга Іванівна Гагалюк**  
e-mail: gagaliuk.olya@gmail.com,

**Наталія Богданівна Кирич**  
д-р екон. наук, проф.  
ORCID 0000-0001-7728-9787  
e-mail: nkuruch@gmail.com,

**Ольга Богданівна Погайдак**  
д-р екон. наук, с.н.с.  
ORCID 0000-0002-4070-6863  
e-mail: pog.ola77@gmail.com,

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,*

**Алла Василівна Череп**  
д-р екон. наук, проф.  
Академік Національної Академії наук вищої освіти України  
ORCID 0000-0001-5253-7481  
e-mail: cherep.av.znu@gmail.com,

*Запорізький національний університет,*

**Роман Петрович Шерстюк**  
д-р екон. наук, доц.  
ORCID 0000-0001-6253-9421  
e-mail: romsher85@gmail.com,

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

## ШЛЯХИ ТА ІНСТРУМЕНТАРІЙ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ В УКРАЇНІ (УПРАВЛІНСЬКІ МЕХАНІЗМИ І ЗАСОБИ ПЕРЕРОБКИ СІРКОВОДНЕВОЇ СУМІШІ НА ВОДЕНЬ У ЧОРНОМУ МОРІ)

**Постановка проблеми.** В умовах енергетичної кризи, навколо використання водню як високоенергетичного ресурсу, точаться різноманітні безпекові, екологічні та інші дискусії. Проте, запаси природного газу на Чорноморському шельфі, у винятковій морській економічній зоні України становлять близько 50 млрд кубометрів. Газопрояви з дна Чорного моря поділяють на кондуктивні (розсіяні) і конвективні (зосереджені) форми газових потоків. Як зазначає український вечний-геофізик, доктор геологічних наук, професор, член-кореспондент НАН України В. Коболев до розсіяних зараховують метанові сипи, а до зосереджених – газові факели, газові фонтани та грязьові вулкани. В осадовій товщі Чорноморського дна існують сотні грязевулканічних каналів та інших шляхів – тектонічних порушень, за якими потужні потоки глибинної вуглеводневої дегазації надходять до поверхні дна. За геологічними і геофізичними даними в історії формування Чорного моря запаси газогідратних родовищ складають понад 20 трлн кубометрів. При ефективній переробці їх вистачило б для забезпечення всієї

Європи на 400 років. Власне ці та інші обставини обумовлюють своєчасність і актуальність проблематики, що розглядається у статті.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз наукових праць з теми дослідження показує, що ця наукова ніша ученими України не цілком розкрита. В численних статтях та у цільовій комплексній програмі наукових досліджень НАН України «Водень в альтернативній енергетиці та новітніх технологіях (наукова звітна сесія 9 грудня 2014 р. (м. Київ), тези доповідей та програми сесії), основна увага була присвячена вивченню шляхів отримання, збереження та використання водню. Виходячи з наявного інформаційного матеріалу, нами здійснено їх класифікацію:

### ***I. У сфері отримання водню.***

1.1. Розробка високопродуктивних процесів отримання водню із води за допомогою наноструктурованих енергоакумуляючих речовин з використанням активованих цинку, марганцю, алюмінію, вісмуту, заліза та інших компонентів з відновленням відходів – оксидів карботермічним методом (Л. Козін, С. Волков,

А. Святогор, Б. Данільцев, Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського НАН України).

1.2. Дослідження закономірностей анодного синтезу пероксиду водню та розробка процесу альтернативного анодного виділення кисню при одержанні водню електролізом лужного розчину (Л. Козін, Ф. Манілевич, А. Куций, Н. Лісогор, Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського НАН України).

1.3. Оптимізація складу каталізаторів та умов парової конверсії CO в процесі парової конверсії вуглецю (А. Трипольський, Є. Калішин, Інститут фізичної хімії ім. Л. В. Писаржевського НАН України).

1.4. Паровий риформінг рідких оксигенатів на оксидних каталізаторах, модифікованих функціональними домішками (Л. Долгих, І. Столярчук, Л. Стара, І. Василенко, Ю. Пятницький, П. Стрижак, Інститут фізичної хімії ім. Л. В. Писаржевського НАН України).

1.5. Створення та дослідження нових наноконпозиційних електродних матеріалів для воднево-кисневих паливних елементів та процесів виділення водню і утилізації CO<sub>2</sub> (В. Тітов, Я. Курись, А. Мішура, О. Уставицька, В. Кошечко, В. Походенко, Інститут фізичної хімії ім. Л. В. Писаржевського НАН України).

1.6. Вплив співвідношення реагентів на перебіг парокисневого риформінгу метанолу в присутності каталізатора ZnO-MgO-CuO/AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/кордієрит (А. Капран, С. Орлик, Інститут фізичної хімії ім. Л. В. Писаржевського НАН України).

1.7. Роль водню у каталітичних процесах окислювальної конверсії C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>-алканів на Ni-AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-каталізаторах (Є. Губарені, С. Соловійов, Я. Курилець, Інститут фізичної хімії ім. Л. В. Писаржевського НАН України).

1.8. Розробка технологічних схем з отриманням водню при очищенні природних і стічних вод фотокаталітичним та електромембранним методами (Д. Кучерук, Т. Дульнева, Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А. В. Думанського НАН України).

1.9. Інформаційне забезпечення робіт за проектами програми «Водень в альтернативній енергетиці та новітніх технологіях» (Л. Чернишев, І. Білан, Т. Гудименко, Д. Левіна, Л. Ковальова, Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України).

1.10. Створення нових модифікованих екологічно чистих твердих палив з використанням біомаси та органічних відходів для одержання водню (О. Дудник, І. Соколовська, Інститут вугільних енерготехнологій НАН України).

1.11. Визначення параметрів системи отримання водню з застосуванням електролізерів і відновлюваних джерел енергії і для автоматичної обробки і передачі інформації (С. Кудря, Ю. Морозов, М. Кузнецов, Інститут відновлюваної енергетики НАН України).

1.12. Дослідження процесів отримання водню «вольфрам-паровим» методом при концентрованому променевому нагріві з використанням відходів, що містять вольфрам (В. Зенков, В. Пасічний, С. Остапенко, А. Рогозинська, А. Рогозинський, Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України).

## II. У сфері зберігання водню.

2.1. Фотоелектрохімічні властивості, ефективність виділення та акумулювання водню у електро-

хімічній системі на основі модифікованих фотоанодів та їх використання у фотоакумуляторі з МН катодами (І. Русецький, І. Слободянюк, Г. Колбасов, Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського НАН України; Л. Щербакова, Ю. Солонін, Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України).

2.2. Розвиток фізико-хімічних засад створення нових високопористих метал-органічних каркасних матеріалів для акумулювання водню (Я. Лампека, Л. Цимбал, С. Гавриш, Р. Гуртовий, Інститут фізичної хімії ім. Л. В. Писаржевського НАН України).

2.3. Встановлення впливу R і Me на водне поглинання сплавів AB<sub>5</sub> (С. Загінайченко, З. Матисіна, Д. Шур, Т. Шапошнікова, А. Золотаренко, Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України).

2.4. Дослідження процесів десорбції водню з гідрофуллеритів та їх структурних і фізико-хімічних особливостей (Д. Шур, О. Савенко, Л. Копілова, А. Золотаренко, С. Загінайченко, Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України).

2.5. Дослідження процесів руйнування електродів зі сплавів типу AB<sub>5</sub> при поглинанні водню в оборотних електро- та фотоелектрохімічних системах (Л. Щербакова, М. Сподарик, Ю. Солонін, Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України).

2.6. Механосинтез гідридоутворюючого сплаву магнію з Ni, Ti, Al та дослідження воденьсорбуючих властивостей, температури і кінетики його розкладу (В. Добровольський, О. Єршова, Ю. Солонін, Інститут проблем матеріалознавства НАН України).

2.7. Розроблення методик оцінки водневої пошкодженості феромагнетних матеріалів за параметрами сигналів магнетопружної акустичної емісії (В. Скальський, Є. Почапський, Б. Клим, О. Сергієнко, П. Долішній, П. Великий, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України).

2.8. Дослідження впливу нерозчинних компонент на накопичення та виділення водню із магнієвих композитів (І. Неклюдов, О. Морозов, В. Журба, В. Прогаєва, О. Купрін, В. Овчаренко, І. Колодій, Національний Науковий Центр «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України).

## III. У сфері використання водню.

3.1. Розробка полімерелектролітичних мембран на основі органо-неорганічних гібридів різного типу для водневих паливних комірок (В. Шевченко, Н. Клименко, О. Стрюцький, Е. Лисенков, Ю. Яковлев, В. Клепко, Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України).

3.2. Дослідження впливу умов і методів одержання нанопористих вуглецевих матеріалів на основі природних органічних речовин на їх адсорбційні (за азотом і воднем) властивості (П. Яремов, Н. Щербань, С. Філоненко, В. Ільїн, Інститут фізичної хімії ім. Л. В. Писаржевського НАН України).

3.3. Дослідження впливу особливостей структури титаноксидних наносфер на фізико-хімічні та прикінцеві протонпровідні властивості композитних полімерних мембран пафлон (Г. Тельбіз, Е. Леоненко, Н. Романовська, Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України; О. Хижун, Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова,

НАН України; Т. Горбанюк, Інститут фізичної хімії ім. Л. В. Писаржевського НАН України).

3.4. Синтез та дослідження товстих плівок диоксиду цирконію, стабілізованого комплексними скандієвими добавками, для низькотемпературної (600°C) паливної комірки (О. В'юнов, О. Янчевський, Л. Коваленко, С. Солопан, А. Білоус, Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського НАН України).

3.5. Встановлення структурно-фазового механізму рекомбінації продуктів деструктивного гідрування інтерметалідів і сплавів (О. Кучерявий, В. Скороход, Т. Братаніч, В. Добровольський, Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України).

3.6. Дослідження структурної та хімічної неоднорідності електроліту КПК, яка в ньому виникає під час виготовлення і роботи, та її впливу на його механічні і електрохімічні властивості (О. Васильєв, Є. Бродніковський, М. Бричевський, Д. Бродніковський, І. Бродніковська, Н. Лисуненко, А. Самелюк, Л. Ушкалов, М. Головка, Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України; В. Подгурська, Б. Василів, О. Осташ, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України).

3.7. Розроблення базових локальних критеріїв міцності та працездатності конструкційних сталей у водневих середовищах та побудова діаграм їх локального руйнування (І. Дмитрах, А. Сиротюк, Р. Барна, Р. Лещак, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України).

3.8. Розроблення способу виготовлення спечених магнітів з наноструктурних анізотропних порошків легованих сплавів на основі сполуки  $Nd_2Fe_{14}B$  і досліджування їх властивостей (І. Булик, А. Тростянчин, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України; В. Бурховецький, Донецький фізико-технічний інститут ім. О. О. Галкіна НАН України).

3.9. Дослідження еволюції мікроструктури порошкових систем на основі гідридів цирконію і титану з порошками легувальних елементів під дією твердофазної дифузії Івасишин О.М., Саввакін Д.Г. Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України).

3.10. Комп'ютерне та фізичне моделювання процесу підвищення проникності колекторів нафтових та газових свердловин з урахуванням гідро конверсії асфальто-смолянисто-парафінових речовин та ефекту водневої активації дифузії (О. Кравченко, Д. Велігоцький, А. Авраменко, О. Симбірський, Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України).

3.11. Дослідження каталітичних характеристик електрокаталізаторів в реальних електродах паливного елемента та виявлення чинників, що впливають на енергетичні характеристики (Ю. Пірський, В. Огенко, Л. Лисюк, Т. Панчишин, О. Тупчієнко, Л. Шаранда, О. Крупеннікова, Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського НАН України).

В усіх випадках авторами відзначається, що оптимальна ефективність видалення сірководню, наприклад, в каналізаційних системах комунального господарства, з повітря абсорбційно-електрохімічним методом досягається при значеннях окисно-відновного потенціалу для католіту від  $-250$  мВ до  $-300$  мВ та аноліту від  $+250$  мВ до  $+300$  мВ. Встановлено, що максимальні обсяги виділення сірководню спостерігаються з 60 до 120 с з моменту пуску перекачувальних насосів.

Авторами запропоновано методики розрахунку масообмінного апарату та практичні рекомендації з удосконалення абсорбційно-електрохімічного методу очистки повітря від сірководню, застосування яких дозволить знизити матеріалоємність очисного устаткування, покращити енергетичні характеристики і підвищити ефективність очищення викидів від сірководню, що найбільше має місце у міському (комунальному) господарстві.

Тим часом проблеми переробки сірководневої суміші з глибин Чорного моря на водень і його послідує транспортування до споживачів та використання за призначенням, розробка шляхів отримання побічного продукту сірки, залишилися за полем зору учених України.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Як відомо на глибинах більше 150-200 м води Чорного моря насичені сірководнем  $H_2S$  та метаном  $CH_4$ . Метан – болотний або рудний газ, безколірний, без власного запаху – у водах Чорного моря присутній у декількох формах. І. Ковальов та Д. Кобизський [6] вважають, що розчинений у воді метан присутній на глибинах біля 200 м шаром товщиною 100-150 м. Це метан біологічного походження завдяки метанотворчим бактеріям. У придонній зоні є шар товщиною 300-400 м із розчиненим метаном. Основні запаси метану у Чорному морі являють собою газогідрати метану, яких у донному мулі на глибинах порядку 2000 м міститься біля 1000 трлн  $m^3$ . Тому вони вважають, що добування метану зводиться до підйому і переробки газогідратів.

У свою чергу сірководень – безколірний газ, (при великому розбавленні має запах тухлого яйця) у вигляді розчину в морській воді знаходиться на глибинах більше 120-150 м. Він утворюється з органічних решток, що гниють, а також поступає з надр. Концентрація розчиненого сірководню на глибині 200 м складає від 0,07 до 0,16 мл/л і поступово збільшується до 13 мл/л на глибині 2000 м.

Щорічно в Чорному морі генерується не менше 108 т/рік (або  $66 \cdot 10^9 m^3$ /рік) сірководню. Розрахунки показують, що за рік у результаті окислення в Чорному морі переробляються в сульфати не більше 25% всього сірководню. Тому із Чорного моря без шкоди для екології можна щорічно забирати біля 250 млн т цієї сировини енергоємністю порядку 1012 кВт/год, що значно перевищує сьогоденні потреби України. Орієнтовні запаси сірководню – 1012-1013  $m^3$  або не менше одного мільярда тонн. В енергетичному відношенні (по теплоті згорання) один кубометр сірководню еквівалентний 0,65  $m^3$  метану. При згоранні сірководню утворюється двооксид сірки, подальша переробка якого дозволяє отримати додаткову теплову енергію і сірчану кислоту  $2SO_2 + 2H_2O = 3O_2 + 2H_2S$ ;  $2S + 2H_2O = O_2 + 2H_2S$ . Як відомо, суміш сірководню з повітрям є вибухонебезпечною особливо при концентрації від 4 до 45%. Таким чином, із води Чорного моря можна отримувати сірководень і використовувати його як нетрадиційний паливний газ або як цінний хімічний продукт для отримання водню і сірки:  $S + H_2 \rightarrow H_2S$ .

На даний час вже розроблено ряд цікавих проєктів по добуванню метану та сірководню з вод Чорного моря шляхом впливу на воду електрогідралічним ударом згідно ефекту Л. Юткіна; підкисленням морської води до рН від 4,5 до 5 із накладанням на неї вібрацій із певною частотою; закачуванням у глибинні шари

повітря і підйом з його допомогою води на поверхню тощо. Зрозуміло, що найбільший інтерес може викликати проєкт з найменшою затратною частиною. Так, враховуючи те, що в максимальній концентрації сірководень на глибині 2000 м перебуває під тиском 21 МПа, спеціалістами пропонується опустити з платформи на цю глибину трубу відповідного діаметра. Із верхньої частини труби насосом відкачуємо певний обсяг морської води, і на його місце підніметься вода із більш заглиблених шарів, з неї почне виділятися надлишок розчиненого газу. В трубі очікується рух двофазного середовища (морська вода – газова фракція), при цьому спостерігатиметься рух морської води вгору, як у відомих ерліфтах. Крім того, рух морської води буде здійснюватись і під дією різниці гідростатичного тиску на однакових глибинах всередині труби та ззовні. Газоводяна суміш збирається на поверхні у спеціальному апараті, де газова фракція (сірководень) і морська вода розділяються. Вода, збагачена киснем, може бути повернута в глибини, а сірководень йде на подальшу переробку згідно визначеного технологічного процесу. Характерно, що власне на підйом морської води і виділення з неї розчиненого газу ніяких затрат зовнішньої енергії не знадобиться. Таким чином, можна зробити висновок про перспективність освоєння енергетичного потенціалу паливних газів Чорного моря і ефективність вище описаної установки для його реалізації як один з варіантів.

З огляду на збереження довкілля, досягнення нульових викидів і декарбонізації, а також відмови від викопного палива в 2020 р. ЄС презентовано водневу стратегію, яка має на меті використання, так званого, «зеленого» водню [2]. Запланований обсяг інвестицій у виробництво «зеленого» водню у Європі очікується від 180 до 470 млрд євро до 2050 р. У ЄС хочуть досягнути кліматичної нейтральності, коли викиди парникових газів в атмосферу без залишку зможуть поглинатися екосистемою. Для довідки, фахівці умовно поділяють водень на 4 типи. Найпоширеніший – сірий, який виробляють із газу. Синій добувають аналогічно, але з подальшою утилізацією викидів CO<sub>2</sub>, а чорний або бурий виробляють з вугілля. Щоб водень став «зеленим», то його мають виробляти із електроенергії, отриманої з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), наприклад, енергії вітру або сонця. У серпні 2021 р. Україна в особі НАК «Нафтогаз України» та німецький газовий трейдер RWE Supply&Trading підписали меморандум про взаєморозуміння у сфері водневої економіки та уклали угоду про співпрацю з постачання в Німеччину водню, який має стати новим джерелом енергії для промисловості ЄС. Багато різноманітних джерел пророкують Україні неймовірні перспективи у виготовленні та постачанні «зеленого» газу в Європу. Експерти стверджують, що ми можемо почати експорт до 2024 р. За різними джерелами до 2030 р. планується вийти на потужність 9,8 ГВт. За словами Надзвичайної і Повноважної посолки (дипломата) ФРН в Україні Анки Фельдгузен (нім. *Anka Feldhusen*) Україна має стати пілотною країною із експорту «зеленого» водню. Попередньо планується виробляти «зелений» водень у чотирьох областях: Запорізькій, Херсонській, Дніпропетровській та Одеській і транспортувати з них, використовуючи існуючу газотранспортну систему. Як показує досвід, екологічний газ не зовсім безпечний. Крім цього, він буквально роз’їдає стандартну металеву трубу низького тиску за

декілька годин, а високого – за місяці [2]. Тому ця система потребує тотальної модернізації дорогими композитними матеріалами, які не вступають у хімічну реакцію з воднем, або будувати нову мережу, поруч із старою. Спеціалісти стверджують, що домішування біля 20% водню до транспортованого газу дозволить уникнути дороговартісної модернізації ГТС.

За словами цього ж дипломата, як і за твердженням багатьох інших фахівців, водень – це наше енергетичне майбутнє. «Зелений» водень пропонують виробляти методом електролізу із звичайної прісної води. Як відомо, запаси прісної води є досить низькими і за даними ООН складають усього 2,5% від усіх водних запасів, решта запасів зосереджено у льодовиках.

Вчений секретар Інституту газу НАН України Б. Ілленко у своїй статті [3] пише, що для отримання електроенергії сонця краще підходить Іспанія, а вітрогенераторів – Північне море, а ефективність в Україні цих двох джерел складає біля 13%. Зокрема, за запасами прісної води Німеччина багатша за Україну. Стандарти Європейської економічної комісії ООН встановлюють, що держава, водні ресурси якої не перевищують 1,5 тис. м<sup>3</sup> річного стоку на людину, вважається не забезпеченою водою. Доступні для використання запаси на одну людину в Україні складають 1,09 тис. м<sup>3</sup> - у середньоводні роки, та 0,62 тис. м<sup>3</sup> - у маловодні, тобто ми є однією з країн Європи найменш забезпечені водою. Проте, найбільша проблема не у відсутності води, а у її поганій якості та у постійному забрудненні. Крім того, вищезазначені південні області України залежать від води, яка подається по графіку, а для харчування використовується привозна вода [4]. Також у своїй статті [3] Б. Ілленко зауважує, що для отримання 1 т водню електролізом необхідно 9 т дистильованої води або близько 20 т забраної з прісних водойм, а з урахуванням 13% ефективності сонячних і вітрогенераторів, про які вже згадувалось, і для забезпечення 9,8 ГВт – це приблизно 500 тис. т води. Звідси можемо зробити висновок, що використовувати питну воду для отримання водню не зовсім раціонально і всі переваги необхідно детально прорахувати.

**Висновки.** Таким чином, альтернативою використання прісної води (та інших джерел) для отримання екологічного водню є запатентований українським вченим Д. Турченком спосіб виділення водню з Чорноморської сірководневої водяної суміші [5], суть якого полягає в одержанні водню з різних речовин шляхом розкладання сірководню на водень і сірку, що знаходиться у глибоководних шарах морської води Чорного моря. До слова, це не єдиний патент цього автора щодо видобування сірководневого газу з дна моря.

Розв’язання актуальної науково-практичної задачі, що полягає в удосконаленні екологічно безпечного методу абсорбційно-електрохімічного очищення сірководню шляхом обґрунтування раціональних параметрів очисного устаткування та характеристик процесу масообміну між сірководнем і абсорбентами, що генеруються в електрохімічному реакторі.

На основі аналізу та узагальнення вітчизняних і закордонних літературних даних щодо особливостей добування сірководню, характеристик існуючих методів його очищення від сірчаних домішок і як результат отримання як побічного продукту для окремих галузей

економіки, – сірки. Зокрема, обґрунтовано доцільність застосування абсорбційно-електрохімічного методу очищення водню від сірки, яку знову ж таки використовувати як побічний продукт для потреб національної економіки. Виявлено, що в процесі довготривалої експлуатації, внаслідок часткового руйнування елементів електрохімічного реактору, ефективність існуючих установок очищення знижується на 10% порівняно з проектними показниками. Встановлено, що санітарно-захисні заходи для переробки сировини на даний час не відповідають Державним санітарним правилам охорони атмосферного повітря населених місць та ін. З екологічних позицій запропоновано використати економіко-математичне моделювання процесу масообміну в газорідній системі з урахуванням гідродинамічних процесів в абсорбційно-електрохімічних установках очищення повітря від сірководню і т.д.

За результатами проведених експериментальних досліджень отримано нові дані щодо ефективності використання регресійних залежностей для визначення константи швидкості хімічної реакції та усередненого коефіцієнту масопередачі для різних абсорбентів. Запропоновано практичні рекомендації не лише з удосконалення абсорбційно-електрохімічного методу очистки сірководню від інших домішок, застосування яких дозволить знизити матеріалоемність очисного устаткування, покращити енергетичні характеристики. Дано наукові практичні рекомендації з використання сірки, як побічного цільового продукту, що має широкі можливості використання чи застосування у різних галузях національної економіки України, про які немає потреби нікого переконувати.

Загалом ефект від використання даного способу полягає у зменшенні енергозатрат на отримання водню у великій промисловій кількості і водночас отримання дорогого побічного продукту – сірки. Крім того, промисловий видобуток із морської води у великих обсягах сірководню міг би значно оздоровити екологію і гідрологію Чорного моря.

Кабінету Міністрів України, Держгеокадастру, іншим зацікавленим міністерствам і відомствам, на даний час, варто було б здійснити заходи з розробки відповідних науково-технічних програм та створення сприятливої атмосфери для залучення інвестицій з їх реалізації.

#### Список використаних джерел

1. Стокгольмська конференція. URL: <https://necu.org.ua/stokgolmska-konferencziya/>
2. Чи можливо замінити газ в українській ГТС на "зелений" водень. URL: <https://www.dw.com/uk/chy-mozhlyvo-zaminyty-haz-v-ukrainskii-hts-na-zelenyi-voden/a-58759745>.
3. «Зелений» водень. Лікнеп для України. Повідомлення НАН України. URL: <https://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=8261>.
4. Як Україні не залишитися без питної води? URL: <https://ua.interfax.com.ua/news/blog/770389.html>.
5. Спосіб виділення водню з сірководневої водяної суміші: пат. 72279 Україна: С01В 17/04, С01В 3/06, № u2012 01770; заявл. 17.02.2012; опубл. 10.08.2012, Бюл. № 15. 10 с.
6. Ковальов І. О., Кобизський Д. С. Гідроустановка та спосіб добування паливних газів Чорного

моря. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/6643/1/2.pdf>.

7. Пацурковський П. А. Удосконалення екологічно безпечного абсорбційно-електрохімічного методу очищення повітря від сірководню: дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук (доктора філософії): за спеціальністю 21.06.01 «Екологічна безпека» / Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. Миколаїв, 2017.

8. Пацурковский П. А., Лейбович Л. И. Очистка воздуха от сероводорода абсорбционно-электрохимическим методом. *Сборник научных трудов SWorld*. Одесса, 2013. Т. 39. Вып. 2. С. 73–79.

9. Leybovych L. I., Patsurkovskiy P. A. Influence of Water Salinity on Air Purification from Hydrogen Sulfide. *Problemele Energeticii Regionale*. Kishinev, 2015. № 3 (29). P. 92–99.

10. Лейбович Л. И., Пацурковский П. А. Окисление сероводорода во влажном воздухе. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2015. № 71. С. 85–90.

11. Лейбович Л. И., Пацурковский П. А. Моделирование динамики поступления сероводорода в окружающую среду при работе канализационной насосной станции. *Вестник Кременчугского национального университета имени Михаила Остроградского*. 2016. Вып. 3 (98), ч. 1. С. 100–105.

12. Лейбович Л. И., Пацурковский П. А. Оценка эффективности окисления сероводорода, абсорбируемого водой. *Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні*: матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції (м. Миколаїв, 5–7 червня 2014 р.). Миколаїв: НУК, 2014. С. 64–67.

13. Patsurkovskiy P. A., Leibovich L. I. Absorptively-electrochemical method of air purification from hydrogen sulfide at the municipal solid wastes processing plants. *2nd International Conference on Sustainable Solid Waste Management* (Greece, 12–14 June 2014). Greece, 2014. URL: [http://athens2014.biowaste.gr/pdf/patsurkovskiy\\_leybovych.pdf](http://athens2014.biowaste.gr/pdf/patsurkovskiy_leybovych.pdf) (Last accessed: 10.03.2017).

14. Лейбович Л. И., Пацурковский П. А. Условия интенсификации окисления сероводорода в газожидкостных системах. *Проблеми екологічної безпеки*: матеріали ХІІІ Міжнародної науково-практичної конференції (м. Кременчук, 6–8 жовтня 2015 р.). Кременчук: КрНУ, 2015. С. 41.

15. Пацурковский П. А., Лейбович Л. И. Опыт эксплуатации установки абсорбционно-электрохимической очистки воздуха от сероводорода. *Проблеми екологічної безпеки*: матеріали ХІV Міжнародної науково-практичної конференції (м. Кременчук, 12–14 жовтня 2016 р.). Кременчук: КрНУ, 2016. С. 83.

#### References

1. Stokholmska konferentsiia [Stockholm Conference]. Retrieved from <https://necu.org.ua/stokgolmska-konferencziya/> [in Ukrainian].
2. Chy mozhlyvo zaminyty haz v ukrainskii HTS na "zelenyi" voden [Is it possible to replace the gas in the Ukrainian GTS with "green" hydrogen]. Retrieved from <https://www.dw.com/uk/chy-mozhlyvo-zaminyty-haz-v-ukrainskii-hts-na-zelenyi-voden/a-58759745> [in Ukrainian].
3. «Zelenyi» voden. Liknep dlia Ukrainy. Povidomlennia NAN Ukrainy ["Green" hydrogen. Liknep

for Ukraine. Report of the National Academy of Sciences of Ukraine]. Retrieved from <https://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=8261> [in Ukrainian].

4. Yak Ukraini ne zalyshytysia bez pytnoi vody? [How can Ukraine not be left without drinking water?] Retrieved from <https://ua.interfax.com.ua/news/blog/770389.html> [in Ukrainian].

5. Sposib vydilennia vodniu z sirkovodnevoi vodiano sumishi [Method of isolating hydrogen from hydrogen sulfide water mixture] : pat. 72279 Ukraina: C01B 17/04, C01B 3/06, № u2012 01770 ; zaiavl. 17.02.2012; opubl. 10.08.2012, Biul. № 15, 10 p. [in Ukrainian].

6. Kovalov, I. O., Kobyzskiy, D. S. Hidroustanovka ta sposib dobuвання palyvnykh haziv Chornoho moria [Hydraulic installation and method of extraction of fuel gases of the Black Sea] Retrieved from <https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/6643/1/2.pdf> [in Ukrainian].

7. Patsurkovskiy, P. A. (2017). Udoshkonalennia ekolohichno bezpechnoho absorbtiiino-elektrokhimichnogo metodu ochyshchennia povitria vid sirkovodniu [Improvement of ecologically safe absorption-electrochemical method of air purification from hydrogen sulfide]. *Candidate's thesis*. Mykolaiv, Admiral Makarov National University of Shipbuilding [in Ukrainian].

8. Patsurkovskii, P. A., Leibovych, L. I. (2013). Ochistka vozdu-kha ot serovodoroda absorbtionno-elektrokhimicheskim metodom [Air purification from hydrogen sulfide by absorption-electrochemical method] *Sbornik nauchnykh trudov SWorld – Collection of scientific papers SWorld*, Vol. 39, Issue 2, pp. 73–79 [in Russian].

9. Leibovych, L. I., Patsurkovskii, P. A. (2015). Influence of Water Salinity on Air Purification from Hydrogen Sulfide. *Problemele Energeticii Regionale*, 3 (29), pp. 92–99.

10. Leibovych L. Y., Patsurkovskii P. A. (2015) Okyslenye serovodoroda vo vlazhnom vozdukh [Oxidation of hydrogen sulfide in moist air]. *Vestnyk Kharkovskoho natsionalnogo avtomobylno-dorozhnoho unyversyteta – Bulletin of the Kharkiv National Automobile and Road University*, 71, pp. 85–90 [in Russian].

11. Leibovych, L. Y., Patsurkovskii, P. A. (2016). Modelirovaniye dynamiky postupleniya serovodoroda v okruzhaiushchuiu sredu pry rabote kanalyzatsyonnoi nasosnoi stantsyi [Simulation of the dynamics of hydrogen sulfide entry into the environment during the operation of a sewage pumping station]. *Vestnik Kremenchugskogo natsional'nogo universiteta imeni Mikhaila Ostrogradskogo – Bulletin of the Kremenchuk National University named after Mikhail Ostrogradsky*, Issue 3 (98), part 1, pp. 100–105 [in Russian].

12. Leibovych, L. Y., Patsurkovskii, P. A. (2014). Otsenka effektivnosti okisleniya serovodoroda, absorbirovannogo vodoy [Evaluation of the efficiency of oxidation of hydrogen sulfide absorbed by water]. *Problemy ekologii ta enerhozberezhennia v sudnobuduvanni – Problems of ecology and energy saving in shipbuilding*. Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference. (pp. 64–67). Mykolaiv, NUK [in Russian].

13. Patsurkovskii, P. A., Leibovych, L. I. (2014). Absorbtivno-elektrokhimicheskii metod vozdukhochistki ot serovodoroda na primere obshchego predpriyatiya obrobki tverdykh otshchadok [Absorptively-electrochemical method of air purification from hydrogen sulfide at the municipal solid wastes processing plants]. *2nd International Conference on Sustainable Solid Waste Management*. Greece. Retrieved from [http://athens2014.biowaste.gr/pdf/patsurkovskiy\\_leibovych.pdf](http://athens2014.biowaste.gr/pdf/patsurkovskiy_leibovych.pdf) (Last accessed: 10.03.2017).

14. Leibovych, L. Y., Patsurkovskii, P. A. (2015). Usloviya intensifikatsii okisleniya serovodoroda v gazozhidkostnykh sistemakh [Conditions for the intensification of hydrogen sulfide oxidation in gas-liquid systems]. *Problemy ekolohichnoi bezpeky – Environmental safety issues*: Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference. (p. 41). Kremenchuk, KrNU [in Russian].

15. Patsurkovskii, P. A., Leibovych, L. Y. (2016). Opyt ekspluatatsii ustanovki absorbtionno-elektrokhimicheskoy ochistki vozdukh [Operating experience of the installation of absorption-electrochemical air purification from hydrogen sulfide]. *Problemy ekolohichnoi bezpeky – Environmental safety issues*: Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference. (p. 83). Kremenchuk, KrNU [in Russian].

Стаття надійшла до редакції 18.10.2021

#### Формат цитування:

Андрушків Б. М., Гагалюк О. І., Кирич Н. Б., Погайдак О. Б., Череп А. В., Шерстюк Р. П. Шляхи та інструментарій підвищення ефективності використання природних ресурсів в Україні (управлінські механізми і засоби переробки сірководневої суміші на водень у Чорному морі). *Вісник економічної науки України*. 2021. № 2 (41). С. 27–32. DOI: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.2\(41\).27-32](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.2(41).27-32)

Andrushkiv, B. M., Nahaliuk, O. I., Kyrych, N. B., Pohaidak, O. B., Cherep, A. V., Sherstiuk, R. P. (2021). Ways and Tools to Improve the Efficiency of Natural Resources in Ukraine. (Management Mechanisms and Means of Hydrogen Sulfide Mixture Processing into the Black Sea). *Visnyk ekonomichnoi nauky Ukrainy*, 2 (41), pp. 27–32. DOI: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.2\(41\).27-32](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.2(41).27-32)