

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ СІРКОВОДНЮ ЧОРНОГО МОРЯ

О.Л. Михайлюк

Ключові слова: сірководень, Чорноморський регіон, енергетика, екологічний ризик, невичерпні енергетичні ресурси.

Постановка проблеми. Проблеми підвищення енергетичної і екологічної безпеки вимагають від країн Чорноморського регіону пошуку нових джерел відновлюваної енергії, одним з яких є використання енергетичного потенціалу сірководневої зони Чорного моря. Країни регіону, починаючи з 70-тих років минулого сторіччя і особливо в останні роки, активно займаються цим питанням і вже вийшли на практичні результати. Україна теж має розвивати ці дослідження, тому що в найближчій перспективі може постати питання поділу Чорного моря.

Досвід країн Чорноморського регіону На Самміті ОЧЕС 12 червня 2009 року була озвучена інформація, згідно якої запаси сірководню у водах Чорного моря складають понад 5 млрд. т [1].

Про наявність великих запасів сірководня в Чорному морі стало відомо ще в двадцятих роках минулого століття. На початку дев'яностих років ці дані підтвердили американські фахівці. У 2007 році аналогічну роботу в українських і румунських водах провели фахівці Інституту океанічних досліджень (США) і прийшли до аналогічних результатів [2].

Активізація діяльності на даному напрямі пояснюється не лише потребою в додаткових енергоресурсах, але і загрозою детонації сірководня. В результаті землетрусу, або антропогенного впливу сірководень може вийти на поверхню і вибухнути від контакту з повітрям. Особливо загострилася проблема після землетрусу силою 5 балів за шкалою Ріхтера, яке було зафіксовано в Чорному морі у вересні 2009 року.

Проблема вилучення сірководня з Чорного моря вивчається давно, проте поки що немає прийнятного рішення. Разом з тим, низка країн вже близька до початку промислової розробки цих запасів.

У 80-ті роки Румунія була готова почати будівництво теплоелектростанції, яка працювала б на водні. Об'єкт передбачалося розмістити в місцевості Неводарь, а сірководень доставляти з моря через трубопровід. Технічна концепція полягала в тому, що вода під тиском 200 атмосфер прокачується на поверхню і перевозиться судами на електростанцію потужністю 4000 MW. У 2006 році документація знову прошла експертизу в Національному інституті морської геології і геоєкології. В його висновку говориться про готовність проведення комплексних досліджень, але при цьому наголошується, що в процесі експлуатації необхідний рівень рентабельності не буде досягнутий зважаючи на надмірні

фінансові витрати [3]. За існуючими оцінками, в румунській економічній зоні міститься близько 800 млн. т сірководня.

Ще один проект, розроблений в Національному дослідницькому інституті криогенних і ізотопних технологій, передбачає впровадження нової технології видобутку електроенергії шляхом дезинтеграції сірководня. При цьому докільця не забруднюється, а покращується, оскільки токсичні відходи використовуються як паливо. При цьому:

- паливо на поверхню не піднімається, не транспортується, не складається, що запобігає загрози вибуху в результаті контакту сірководня з повітрям;

- скорочення запасів сірководня дозволить уникнути прогнозованого перетворення Чорного моря на друге Мертве море;

- унаслідок використання сірководня продукується побічний продукт – колоїдна сірка, яку намічається використовувати у фармацевтичній промисловості;

- технологія також передбачає виготовлення важкої води в кількостях, достатніх для забезпечення власної атомної енергетики.

Попередні розрахунки свідчать, що об'єкт доцільно розташувати в морі на відстані 250 км від берега. Денне споживання сірководня дорівнюватиме його щоденному приросту – 10 тисяч тонн, що забезпечить роботу енергетичної системи, потужністю 1200 MW/h. Передбачуваний об'єм інвестицій оцінюється у 1,2 млрд. євро, які окупляться впродовж трьох років. Така висока віддача капіталу є обов'язковою умовою, оскільки об'єкт експлуатуватиметься в агресивному середовищі і зможе ефективно функціонувати не більше 20 років. Само будівництво системи займе не більше трьох років [4].

Від зарубіжних інвесторів вже поступають пропозиції на предмет участі в проекті, проте, Румунія тут вважає за краще обходитися власними силами. Усім компаніям, зайнятим експлуатацією покладів нафти і газу в Чорному морі влада рекомендує взяти участь в освоєнні запасів сірководня. Першою відгукнулася фірма Marine Resources International SRDL, яка взяла в оренду 9000 км² континентального шельфу і має намір виділити 20 млн. євро на дослідницькі роботи.

Росія. У 1979 році Юткін Л.А. розробив проект видобутку сірководня, який ґрунтувався на способах розділення і збагачення газів. Було запропоновано придонні шари морської води з районів аномально високого вмісту сірководня піднімати на технологічну висоту, де їх піддавати дії електрогідролітичних ударів, що забезпечують виділення сірководня, а потім повертати назад в море (електрогідролітичний ефект). Отриманий газ можна зріджувати і спалювати, а двоокис сірки - окислювати в сірчану кислоту.

Розрахунки показують, що для задоволення всіх потреб країн СНД в електроенергії, без порушення екологічної рівноваги моря, треба щороку виділяти і спалювати 7400 км³ морської води. Ця енергія забезпечить всі роботи технологічного циклу – перекачування води, електрогідролітичну її обробку, стискування і зріджування отриманого газу. Єдиним “відходом”

роботи таких електростанцій буде сірчана кислота – коштвна сировина для багатьох інших галузей промисловості. Нещодавно вчені Інституту каталізу ім. Бореськова продовжили дослідження і розробили новий процес “Пряме каталітичне окислення H_2S в елементарну сірку” [5]. Перший експериментальний досвід видобутку сірководня з глибин моря проведений в акваторії Чорного моря в Новоросійську [6].

У **Туреччині** Дослідницький центр TUBITAK спільно з компанією COWI SNS Ltd. представили проект відповідного каталізатора і сонячної електростанції для відділення сірки від водню [7].

Болгарія розробила технологію виробництва 9 млрд. мегават-годин електроенергії з сірководня. Це може повністю задовольнити потреби населення на 200 років вперед. Фахівці мають намір перетворити сірководень на електроенергію за допомогою нового типу «паливної клітки» (установки, в якій відбувається реакція з'єднання водню з киснем або окислом вуглецю, при цьому утворюється електричний струм). Для робіт над цим проектом болгарські учені отримують кошти за європейською програмою ega.net, яка є частиною 7-ї рамкової програми Європейського Союзу [8].

Науково-практичні розробки України. Технології використання енергетичного потенціалу сірководня Чорного моря розроблені у Кримському науковому центрі НАНУ (м. Севастополь) і Херсонському державному морському університеті.

Перехід на водневу енергетику означає великомасштабне виробництво водню, його зберігання, розподіл і транспортування. Зважаючи на сучасні темпи і масштаби розвитку водневої енергетики у світі, світова економіка найближчим часом повинна перейти до водневої економіки.

В енергетичному відношенні (по теплоті згорання) 1 м^3 сірководня еквівалентний $1,49\text{ м}^3$ побутового газу. При розкладанні сірководня і подальшому спалюванні водню виходить 14-кратний енергетичний ефект в порівнянні з процесом безпосереднього спалювання сірководня. Технологія зниження сірчановодневого забруднення вод Чорного моря і подальшої повної і безпечної утилізації отримуваних компонентів передбачає створення інтегрального виробничого комплексу.

За розробками **Кримського наукового центру НАНУ** (м. Севастополь) [9] вказаний комплекс включає взаємопов'язані виробничі блоки з вилучення сірководня з морської води, підготовки сірководня до плазмово-хімічного розкладання, водневого газонакопичення, збору і зберігання отриманої сірки, газотурбінної електростанції і енергопередавальних пристроїв для включення в єдину енергосистему. Передбачається, що на березі має бути лише трансформаторний блок. Інтегральний комплекс монтується на несамохідній морській плавучій напівзанурювальній платформі з використанням системи «мертвих якорів», що забезпечують досить точне позиціонування платформи і можливість протягом цілого року експлуатації устаткування комплексу.

Як базова платформа можуть бути використані існуючі бурові платформи з мінімальним дообладнанням. Сумарна потужність генеруючих

машин комплексу дозволить видавати споживачеві близько 100 МВт електричної енергії з використанням вітчизняних турбін «морського виконання». Комплекс здатний забезпечити електроенергією місто у 200 тисяч мешканців. Крім того, він здатний аерувати (видаляти сірководень) з глибинної морської води в об'ємі близько 24 тис. м³ на добу.

Виробництво електроенергії за рахунок утилізації високопотенційного тепла процесів переробки сірководня є як би вторинним, проте саме це робить проект економічно привабливим (вартість проекту близько 350 млн. євро; термін окупності - 7-8 років). Є реальна можливість видобутку, додатково як товарного продукту, хімічно чистої сірки (15 кг із 1000 м³). Додатковим продуктом також буде опріснена вода.

В результаті реалізації проекту досягається збільшення біорізноманітності Чорного моря за рахунок зниження концентрації сірководня в морській воді.

В Херсонському державному морському університеті була розроблена технічна пропозиція і подана заявка (18.07.2009 р.) на видачу патенту України «Плавучий комплекс для глибоководного видобутку сірководня з морської води і спосіб запуску плавучого комплексу для глибоководного видобутку сірководня з морської води». Авторами винаходу є: Леонов В.Е., Гацан В.А. Гацан Е.А. [10].

Сірководень може бути використаний в паливно-енергетичних цілях, нафтохімічному синтезі і виробництві мінеральних добрив. При цьому маса сірководня в глибинах Чорного моря і Світового океану зменшуватиметься, що призведе до зниження рівня екологічного ризику. Підготовлена Програма по розробці технічних пропозицій щодо використання сірководня. Плавучий комплекс розроблений у вигляді морської платформи.

Проект має наступні переваги:

- видобуток енергії в турбодетандерах за рахунок пониження тиску морської води з сірководнем;
- максимальна глибина видобутку до 10000 м;
- можливий комплексний видобуток вуглеводневої сировини – попутного нафтового, природного газу, нафти, газового конденсату;
- мінімальний диферент надводної платформи;
- видобуток, накопичення, зберігання і транспортування сірководня в газоподібному і рідкому станах;
- можливість блоково-комплектного монтажу установки.

Вартість 1000 м³ сірководня складе приблизно 150 дол. США. В майбутньому ця вартість може бути зменшена після повного погашення основних витрат на створення плавучого комплексу.

Запропонована схема переробки сірководня в гідросульфід натрію і інші продукти нафтохімічного синтезу [11-13], розроблені спосіб забезпечення вибухо-пожежонебезпечності при транспортуванні нафти, нафтопродуктів танкерним флотом, сорбційного очищення гідросфери від нафтопродуктів.

Реалізація проекту дозволить вирішити соціально-економічні і екологічні проблеми:

- значно знизити ступінь екологічного ризику викидів сірчановодневого ядра з морських глибин;
- використовувати дешеве джерело альтернативної сировини для паливно-енергетичних цілей і нафтохімічного синтезу;
- отримати екологічно чисте паливо – водень, при спалюванні якого повністю виключається емісія діоксиду вуглецю – компонента «парникових» газів (Киотський протокол, 1997 р.);
- істотно знизити собівартість виробництва електроенергії і основних продуктів нафтохімічного синтезу і, відповідно, підвищити їх конкурентоспроможність, що особливо важливе в умовах фінансово-економічної кризи;
- підвищити рівень екологічної безпеки і енергетичної стабільності країн Причорномор'я;
- знизити рівень безробіття за рахунок нових робочих місць з видобутку і переробки сірководня;
- освоїти нові спеціальності і спеціалізації у вищих навчальних закладах морського профілю, пов'язані з морською розвідкою, видобутком і переробкою сірководня на морських платформах.

Фахівці національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» розробили технологію водородної енергетики з сірководня Чорного моря [14]. Для вирішення проблеми використовується ефект фонтану. Активним елементом при вилученні води є розчинений в ній сірководень. Одним з можливих вирішень безпечної утилізації сірководня є його розкладання на водень і полімерну сірку. Створення і експлуатація плавучого комплексу для глибоководного видобутку сірководня дозволить безперервно добувати, переробляти сірководень і використовувати його в паливно-енергетичних цілях, нафтохімічному синтезі і виробництві мінеральних добрив [17, 18].

Екологічні ризики. За останніх 100 років пласт сірчановодневого шару піднявся з глибини Чорного моря із 100 м до 30-50 м від поверхні. Існує небезпека прориву товщі морської води сірководнем, що може спричинити можливі катастрофічні наслідки: спалах сірководня при контакті з повітрям з утворенням високотоксичного сірчистого ангідриду (SO_2) – основного компонента «кислотних» дощів; вибух суміші сірководня і повітря, що призведе до механічних руйнувань будівель, споруд, цивільних, муніципальних і військових об'єктів; отруєння сірководнем біосфери.

Використання сірководня як палива, з одного боку – вирішує проблему зменшення сірководню в Чорному морі, а з іншого – порушує існуючу рівновагу і створює інший значний екологічний ризик [17,18]:

1. Якщо при спалюванні вуглеводнів окрім води утворюється вуглекислий газ, який в даний час розглядається як один з основних чинників глобального потепління, то продуктом безпосереднього спалювання сірководню є діоксид сірки, що є куди небезпечнішим компонентом

забруднення природного довкілля. В даний час розроблений екологічно чистий і економічний плазмово-хімічний процес і дослідно-промислове устаткування для розкладання сірководня з вилученням сірки і водню. При вживанні плазмово-хімічного методу, на відміну від традиційних способів розкладання сірководня, не відбувається викиду SO₂ в атмосферу, і практично немає втрат водню.

2. Під час видобутку сірководню доведеться прокачувати об'єми води, які по технічній документації таких проектів порівнянні з об'ємом стоку Дунаю. Це неминуче призведе до порушення існуючих шарів щільності води, термоклінів: щільніша і солоніша вода з глибини підніматиметься на поверхню, внаслідок чого біологічний баланс в Чорному морі порушиться. Сірководень і метан можуть перестати окислюватися бактеріями і стануть дійсно виходити в атмосферу.

Всі ці особливості потрібно вивчати спільними зусиллями фахівців різного рівня, створивши відповідну Програму.

Висновки і пропозиції:

Можна констатувати, з одного боку – підвищену активність в останні роки зацікавлених держав чорноморського регіону, а з іншого - поки що мінімальну віддачу від проектів. Але останнє – проблема часу, яка може достатньо швидко позитивно вирішитися.

Гостро постає питання міжнародної кооперації, оскільки вирішення проблеми вимагає об'єднання зусиль. Закономірним є також припущення, що з появою перших позитивних результатів, виникне проблема розподілу вод Чорного моря між країнами регіону.

Зважаючи на те, що країни Чорноморського регіону активно займаються цим питанням – Україна повинна теж активізувати свою діяльність, щоб на момент розподілу акваторії Чорного моря мати відповідні технології. Основна проблема – пошук інвесторів. Досвід Румунії України поки що не підходить – у нас видобутком енергоносіїв на шельфі займається тільки одна державна компанія з мінімальним прибутком. Тому потрібен пошук іноземного інвестора або кооперація з країнами регіону.

Країни регіону активно співпрацюють в рамках програми ega.net, Дослідження РП7 у сфері енергетики спрямовані на створення та впровадження технологій, необхідних для трансформації сучасної системи енергетики у більш сталу, конкурентоспроможну та безпечну. Для фінансування цього тематичного напрямку країнами ЄС та Європейським парламентом виділено 2,35 млрд. євро.

Окремі наукові підрозділи України приймають участь в цих проектах. Так Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАНУ приймає участь в проекті «BS-ERA.NET PILOT JOINT CALL», його розділ 2. «Енергія» стосується отримання водороду з сірководневої зони Чорного моря. З боку держави потрібна хоча б зацікавленість в просуванні подібних проектів.

Література:

1. [http://www. capitalul. ro/macroconomie/rezervorul-de-hidrogen-sulfurat](http://www.capitalul.ro/macroconomie/rezervorul-de-hidrogen-sulfurat).
2. [http://www. urbaniulian. Ro/2009/08/05](http://www.urbanian.ro/2009/08/05)
3. Гостюк М.Т. О перспективах промышленного использования черноморских запасов сероводорода
[//www.rusnauka.com/5_PNW_2010/.../59445](http://www.rusnauka.com/5_PNW_2010/.../59445)
4. [http://www. ecomagazin. ro/consiliul-europei-marea-neagra-in-pragul](http://www.ecomagazin.ro/consiliul-europei-marea-neagra-in-pragul).
5. Электричество из ...Черного моря// rus.vimism.com/?page_id=54
6. Энергетический голод утолят сероводородом Коммерсантъ (Ростов), №187 (4242), 08.10.2009
7. [http://unda-verde. blogspot. com/2009/03](http://unda-verde.blogspot.com/2009/03).
8. В Болгарии работают над производством электричества из сероводорода Чёрного моря 17 мая // www.newsfiber.com/.../search
9. В. Вишневецкий Энергия из глубин // Энергосбережение №3 2008.- с.9-14.// crimeacity.info/contentimages/energog
10. Плавающий комплекс для глубоководной добычи сероводорода из морской воды и способ запуска плавучего комплекса для глубоководной добычи сероводорода из морской воды: заявка о выдаче патента Украины на изобретение / Леонов В.Е., Гацан В.А., Гацан Е.А. – 18.07.2009. – 25 с.
11. Патент України на корисну модель № 49038. Спосіб зниження вибухо-пожежонебезпеки на танкері / Леонов В.Є., Гацан В.А., Гацан О.А. – Опубл. 12.04.2010, Бюл. №7.
12. Патент України на корисну модель № 49642. Спосіб отримання гідросульфїду натрію з суміші газів, що містить сірководень / Леонов В.Є., Гацан В.А., Гацан О.А. – Опубл. 11.05.2010, Бюл. № 9.
13. Патент України на корисну модель № 37417. Спосіб сорбційного очищення гідросфери від нафтопродуктів / Леонов В.Є. – Опубл. 25.11.2008. Леонов В.Є., Гацан О.А. Раціональне використання морського сірководню для паливно-енергетичних цілей і хімічного синтезу
14. Неклюдов И.М., Борц Б.В., Полевич О.В., Ткаченко В.И., Шиляев Б.А. Альтернативная сероводородная энергетика Черного моря. Состояние, проблемы и перспективы. Часть I. // Альтернативная энергетика и экология. - 2006, -Т. 12, -С. 48-55.
15. Леонов В.Е., 16. Гацан Е.А. Ресурсозберігаючі технології, охорона навколишнього середовища // Науковий вісник ХДМІ №1 (2), 2010 с.145.
16. Мамчиц Р. Добыча углеводородов в Чёрном море небезопасна // tribunanaroda.info/content/view/3032/46
17. Вишневецкий В. Проект создания международного технического консорциума (МТК) «Новые экологические и энергетические проекты» для реализации концепции экологической программы по защите окружающей среды и вод Черного моря от сероводородного загрязнения и последующей полной и безопасной утилизации получаемых компонентов.- Тезисы к

докладу бизнес – форуму ЧЭС и заседания межведомственной рабочей группы //

api.ning.com/.../a10Conceptofecologicalprogramfortheblacksearussian.pdf

18. Эколого-энергетический проект по снижению уровня сероводородного загрязнения Черного моря / В. В. Вишневецкий, М. В. Лапа [и др.] // Проблемы повышения эффективности электромеханических преобразователей в электроэнергетических системах : материалы конф. / М-во образования и науки Украины, Севастоп. нац. техн. ун-т. - Севастополь : Изд-во Севастоп. нац. техн. ун-та, 2009. - С. 14-17 // ISBN 978-966-2960-57-0

Резюме

Проблема енергетичної безпеки гостро стоїть перед багатьма країнами світу і вирішується різними шляхами. Один з них – пошук нетрадиційних джерел відновлювальної енергії: газогідратів метану і сірководню у Чорному морі. У статті аналізується досвід країн Чорноморського регіону і здобутки українських вчених щодо використання енергетичного потенціалу сірководневої зони Чорного моря.

Проблема энергетической безопасности остро стоит перед многими странами мира и решается различными путями. Один из них – поиск нетрадиционных источников возобновимой энергии: газогидратов метана и сероводорода в Черном море. В статье анализируется опыт стран Черноморского региона и достижения украинских ученых относительно использования энергетического потенциала сероводородной зоны Черного моря.

The problem of power safety sharply stands before many countries of the world and decides in various ways. One of them is a search of untraditional відновлювальної energy sources: gas-hydrates of methane and to the sulphuretted hydrogen in Black pestilence. In the article experience of countries of the black Sea region and achievements of the Ukrainian scientists is analysed in relation to the use of power potential of sulphuretted hydrogen area of the Black sea.

Науковий вісник, ОНЕУ, 2012, №21(173), -С.91-100.