

УДК 621.437:661.96

doi: 10.32620/aktt.2020.7.02

М. Р. ТКАЧ, А. Ю. ПРОСКУРІН, О. С. МИТРОФАНОВ, Ю. М. ГАЛИНКІН

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ВОДНЮ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ РЕГЕНЕРАЦІЙНОГО КОНТУРУ З РОТОРНО-ПОРШНЕВОЮ РОЗШИРЮВАЛЬНОЮ МАШИНОЮ

У статті розглянуто перспективну технологію отримання та безпечного акумулювання водню із сірководню Чорного моря, яка включає в себе наступні процеси: видобування сірководню з глибин Чорного моря; сепарації сірководню та морської води; деструкції сірководню з отриманням воднеміського газу; сепарації водню з воднеміського газу; безпечного акумулювання водню; безпечного транспортування водню. Запропоновано використати для підвищення ефективності даної технології регенераційного контуру, який включає в себе: розширювальну машину сірководню високого тиску, гідравлічну турбіну морської води та термонасосну установку. Запропоновано оцінювати ефективність використання технології отримання та безпечного акумулювання водню з сірководню Чорного моря ефективною потужністю, яка включає в себе: теплову потужність водню; потужність регенераційного контуру; потужність, яка необхідна для здійснення процесів виробництва водню. В якості сірководневої розширювальної машини, яка задовільнить всім необхідним вимогам пропонуються використати роторно-поршневий двигун 20РПД-4,4/1,75. Визначено раціональні режими роботи та граничні значення ефективності використання технології отримання та безпечного акумулювання водню з сірководню Чорного моря для добового виробництва водню 200 кг/доб в залежності від ступеня конверсії сірководню при деструкції, газовмісту сірководню у морській воді та глибини занурення підйомного трубопроводу з використанням регенераційного контуру. Мінімально допустимі ступені конверсії при яких досягається ефективність використання технології отримання та безпечного акумулювання водню з сірководню Чорного моря для газовмісту сірководню $2,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ при глибини занурення підйомного трубопроводу 250...1000 м дорівнює 0,427...0,413, для $5 \text{ м}^3/\text{м}^3 - 0,375...0,363$, для $7,5 \text{ м}^3/\text{м}^3 - 0,363...0,350$, для $10 \text{ м}^3/\text{м}^3 - 0,356...0,343$. Використання регенераційного контуру дозволило знизити мінімально допустимі ступені конверсії для газовмісту сірководню $2,5...10 \text{ м}^3/\text{м}^3$ при глибини занурення підйомного трубопроводу 250...1000 м на 0,136...0,069.

Ключові слова: Чорне море; сірководень; газовміст; роторно-поршнева машина; ступінь конверсії; деструкція.

Вступ

Воднева енергетика займає особливе місце серед альтернативних видів енергії. Вона базується на застосуванні водню як палива, так і акумулятора енергії, витраченої на виробництво самого водню, оскільки він є одним з найпоширеніших хімічних елементів на нашій планеті, але, при цьому, він майже не зустрічається у вільному вигляді. При цьому споживання водню можливе як за рахунок прямого спалювання у теплових двигунах, так і у більш високоефективних паливних елементах.

Як джерело водню можна розглядати практично будь-яку хімічну сполуку, розкладання якої дозволить звільнити атоми водню та відокремити їх від інших речовин. До таких речовин належить сірководень H_2S , значні запаси якого містяться у Чорному морі [1 – 3]. Тенденція до збільшення запасів сірководню, яка спостерігається останнім часом, негативно впливає на флору і фауну як самого моря,

так і Причорноморського регіону [4, 5]. Тому розробка технології отримання водню із сірководню Чорного моря дозволить наблизити Україну до здобуття енергетичної незалежності та сприятиме покращенню екологічних параметрів Чорного моря та Причорноморського регіону [6, 7].

1. Постановка задачі

Авторами розроблено перспективну технологію отримання та безпечного акумулювання водню із сірководню Чорного моря, яка включає в себе наступні процеси:

- видобування сірководню з глибин Чорного моря;
- сепарації сірководню та морської води;
- деструкції сірководню з отриманням воднеміського газу;
- сепарації водню з воднеміського газу;
- безпечного акумулювання водню;
- безпечного транспортування водню.

Процеси видобування сірководню з глибин Чорного моря та сепарації його та морської води здійснюються в енерготехнологічній установці, що передбачає піднімання газорідинної суміші з глибини газліфтным методом з використанням для виділення сірководню в газоподібному стані хвильових імпульсів [8]. Виділення сірководню з морської води реалізується в коалесційному сепараторі за рахунок впливу на рідину механічних коливань певної частоти, які генерує гідродинамічний генератор коливань. Морська вода зі зменшеною концентрацією сірководню не поступає в підйомний трубопровід, а розподіляється колекторами в просторі морських глибин. Гідродинамічний генератор здійснює перетворення кінетичної енергії руху суміші води та газів у енергію механічних коливань. Внаслідок суттєвої різниці густини морської води та густини газорідинної суміші у вхідному перерізі підйомного трубопроводу суміш сірководню та морської води у вихідному перерізі підйомного трубопроводу має значний надлишковий тиск та поступає до сепаратора сірководню високого тиску, де здійснюється розділення суміші на сірководень та морську воду. Після розділення сірководень поступає до установки деструкції з отриманням воднеміського газу, а морська вода з суттєво зменшеною концентрацією сірководню – подається до сепаратора сірководню низького тиску та надходить в опускний трубопровід. Процеси сепарації водню з воднеміського газу, його безпечного акумулювання та транспортування здійснюються за допомогою гідридних технологій. Одним з можливих способів підвищення ефективності даної технології є використання регенераційного контуру для забезпечення роботи допоміжного обладнання, який включає в себе: розширювальну машину сірководню високого тиску, яка встановлюється після відповідного сепаратора; гідравлічну турбіну морської води, яка встановлюється після сепаратора сірководню низького тиску; термонасосну установку, яка використовує потенціал температури морської води піднятої з глибини та на поверхні.

Мета даної роботи полягає в визначенні раціональних режимів роботи та граничних значень ефективності використання технології отримання та безпечного акумулювання водню з сірководню Чорного моря при використанні регенераційного контуру.

2. Виклад основного матеріалу

Ефективність використання технології отримання та безпечного акумулювання водню з сірководню Чорного моря оцінюється ефективною потужністю, кВт:

$$N_E = N_{H_2} + N_{pk} - N_{необх},$$

де N_{H_2} – теплова потужність водню на даному режимі роботи, кВт;

N_{pk} – потужність регенераційного контуру на даному режимі роботи, кВт;

$N_{необх}$ – потужність, яка необхідна для здійснення процесів виробництва водню на даному режимі роботи, кВт.

Теплова потужність водню визначається наступним чином, кВт:

$$N_{H_2} = G_{H_2} \cdot G_{H_2}^H,$$

де G_{H_2} – витрата водню, кг/с;

$G_{H_2}^H$ – нижча питома теплота згоряння водню, кДж/кг;

Потужність регенераційного контуру визначається наступним чином, кВт:

$$N_{pk} = N_{гт} + N_{срм} + N_{тн},$$

де $N_{гт}$ – потужність гідравлічної турбіни, кВт;

$N_{срм}$ – потужність сірководневої розширювальної машини, кВт;

$N_{тн}$ – потужність термонасосної установки, кВт.

Потужність, яка необхідна для здійснення процесів виробництва водню визначається наступним чином, кВт:

$$N_{pk} = N_{ж} + N_{нтн} + N_{гк} + N_{д},$$

де $N_{ж}$ – потужність насоса коалесційного сепаратора, кВт;

$N_{нтн}$ – потужність насоса термонасосної установки, кВт;

$N_{гк}$ – потужність гідродинамічного генератора коливань, кВт;

$N_{д}$ – теплова потужність, яку необхідно підвести для деструкції сірководню, кВт.

В якості сірководневої розширювальної машини, яка задовільнить всім необхідним вимогам пропонуються використати роторно-поршневий двигун 20РПД-4,4/1,75 [9] (рис. 1).

Двигун має 20 рівномірно розміщених циліндрів, що забезпечує рівноваженість та можливість пуску при будь-якому положенні ротора. 20РПД-4,4/1,75 є короткоходовим, відношення ходу поршня S до діаметра циліндра D дорівнює $S/D = 0,4$.

Дослідження впливу режимів роботи та визначення ефективності технології отримання та безпечного акумулювання водню з сірководню Чорного моря буде визначено для добового виробництва водню 200 кг/доб.

Режими роботи визначаються наступними параметрами:

1) ступінь конверсії сірководню при деструкції $\xi = 0,1 \dots 1$;

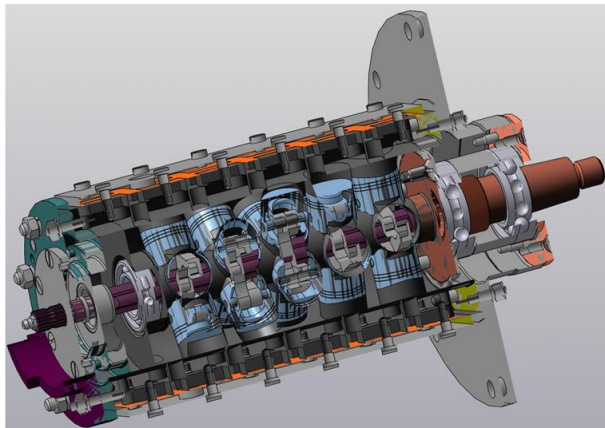


Рис. 1. Сірководнева роторно-поршнева розширювальна машина на базі двигуна 20РПД-4,4/1,75

2) газовміст сірководню у морській воді в підйомному трубопроводі $\Delta H_2S = 2,5 \dots 10 \text{ м}^3/\text{м}^3$;

3) глибина занурення підйомного трубопроводу $H = 250 \dots 1000 \text{ м}$.

Для добового виробництва водню 200 кг/доб ($0,00231 \text{ кг/с}$) при ступені конверсії $\xi = 0,1 \dots 1$ видобуток сірководню з Чорного моря повинен складати $G_{H_2S} = 3,4 \dots 34 \text{ т/доб}$ або $0,0393 \dots 0,393 \text{ кг/с}$ при цьому виробництво сірки складає $3,2 \text{ т/доб}$ або $0,037 \text{ кг/с}$.

Теплова потужність водню за умови добового виробництва водню 200 кг/доб на кожному режимі роботи при будь яких співвідношеннях визначальних параметрів складає $N_{H_2O} = 277,8 \text{ кВт}$.

Значення теплової потужності, яку необхідно підвести для деструкції сірководню для виробництва водню 200 кг/доб в залежності від ступеня конверсії представлено на рис. 2.

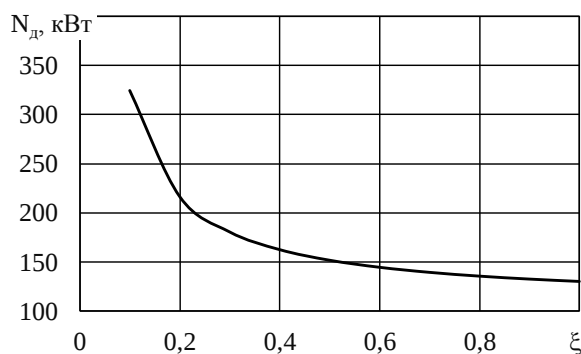


Рис. 2. Теплова потужність, яку необхідно підвести для деструкції сірководню в залежності від ступеня конверсії

Згідно з розрахунків при ступені конверсії $\xi = 0,1 \dots 1$ теплова потужність на деструкцію змінюється в межах $130,2 \dots 324,7 \text{ кВт}$.

На рис. 3 представлено значення потужності регенераційного контуру в залежності від газовмісту сірководню у морській воді та глибини занурення підйомного трубопроводу при ступені конверсії $1,0$.

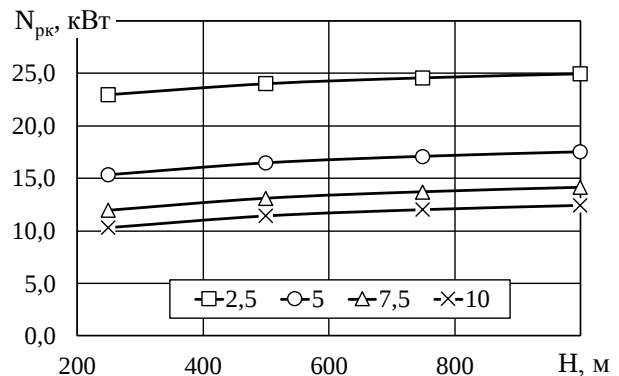


Рис. 3. Потужність регенераційного контуру при ступені конверсії $\xi = 1,0$

Для газовмісту сірководню $\Delta H_2S = 2,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ при глибини занурення підйомного трубопроводу $H = 250 \dots 1000 \text{ м}$ сумарна потужність регенераційного контуру $N_{рк}$ дорівнює $23,0 \dots 25,0 \text{ кВт}$, для $\Delta H_2S = 5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ $N_{рк} = 15,3 \dots 17,5 \text{ кВт}$, для $\Delta H_2S = 7,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ $N_{рк} = 12,0 \dots 14,1 \text{ кВт}$, для $\Delta H_2S = 10 \text{ м}^3/\text{м}^3$ $N_{рк} = 10,3 \dots 12,4 \text{ кВт}$.

На рис. 4 представлено значення необхідної потужності для здійснення процесів виробництва при ступені конверсії $1,0$.

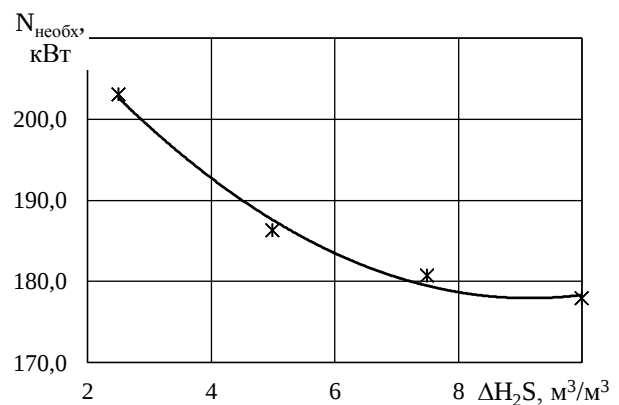


Рис. 4. Значення необхідної потужності для здійснення процесів виробництва при ступені конверсії $\xi = 1,0$

Для газовмісту сірководню $\Delta H_2S = 2,5 \dots 10 \text{ м}^3/\text{м}^3$ необхідна потужність для здійснення процесів виробництва дорівнює $203,1 \dots 177,9 \text{ кВт}$.

На рис. 5 представлено значення ефективної потужності в залежності від газовмісту сірководню

у морській воді та глибині занурення підйомного трубопроводу при ступені конверсії 1,0.

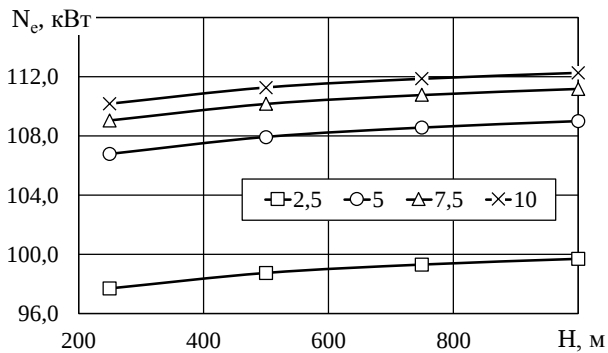


Рис. 5. Значення ефективної потужності при ступені конверсії $\xi = 1,0$

Для газомістості сірководню $\Delta H_2S = 2,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ при глибині занурення підйомного трубопроводу $H = 250 \dots 1000 \text{ м}$ ефективна потужність N_e дорівнює $97,7 \dots 99,7 \text{ кВт}$, для $\Delta H_2S = 5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ $N_e = 106,8 \dots 109,0 \text{ кВт}$, для $\Delta H_2S = 7,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ $N_e = 109,0 \dots 111,2 \text{ кВт}$, для $\Delta H_2S = 10 \text{ м}^3/\text{м}^3$ $N_e = 110,2 \dots 112,2 \text{ кВт}$.

Аналогічно визначено параметри основних елементів виробництва водню з сірководню Чорного моря при всіх можливих варіаціях режимів роботи, а саме, ступінь конверсії сірководню в реакторі деструкції $\xi = 0,1 \dots 1$, газомістості сірководню у морській воді в підйомному трубопроводі $\Delta H_2S = 2,5 \dots 10 \text{ м}^3/\text{м}^3$ та глибині занурення підйомного трубопроводу $H = 250 \dots 1000 \text{ м}$.

Отримано залежності мінімально допустимих ступенів конверсії при яких досягається ефективність використання технології отримання та безпечного акумулювання водню з сірководню Чорного моря при різних значеннях газомістості та глибини занурення підйомного трубопроводу (рис. 6).

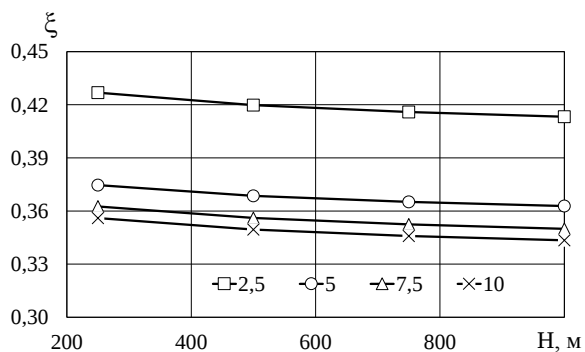


Рис. 6. Значення мінімально допустимих ступенів конверсії при яких досягається ефективність

Мінімально допустимі ступені конверсії при яких досягається ефективність використання технології отримання та безпечного акумулювання вод-

ню з сірководню Чорного моря для газомістості сірководню $\Delta H_2S = 2,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ при глибині занурення підйомного трубопроводу $H = 250 \dots 1000 \text{ м}$ дорівнює $\xi_{\min} = 0,427 \dots 0,413$, для $\Delta H_2S = 5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ $\xi_{\min} = 0,375 \dots 0,363$, для $\Delta H_2S = 7,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ $\xi_{\min} = 0,363 \dots 0,350$, для $\Delta H_2S = 10 \text{ м}^3/\text{м}^3$ $\xi_{\min} = 0,356 \dots 0,343$.

Визначено зниження мінімально допустимих ступенів конверсії при яких досягається ефективність використання технології отримання та безпечного акумулювання водню з сірководню Чорного моря завдяки використанню регенераційного контуру (рис. 7).

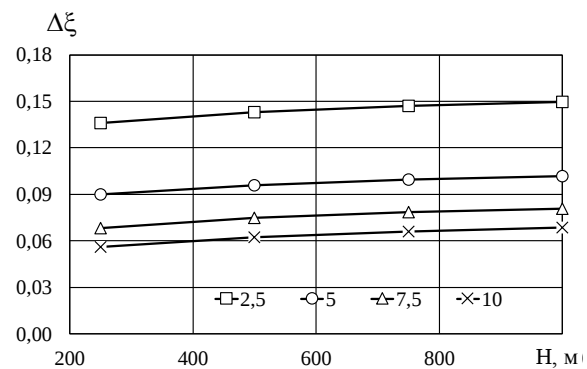


Рис. 7. Зниження мінімально допустимих ступенів конверсії при яких досягається ефективність при використанні регенераційного контуру

Використання регенераційного контуру дозволило знизити мінімально допустимі ступені конверсії для газомістості сірководню $\Delta H_2S = 2,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ при глибині занурення підйомного трубопроводу $H = 250 \dots 1000 \text{ м}$ на $\Delta \xi = 0,136 \dots 0,150$, для $\Delta H_2S = 5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ $\Delta \xi = 0,09 \dots 0,102$, для $\Delta H_2S = 7,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ $\Delta \xi = 0,068 \dots 0,081$, для $\Delta H_2S = 10 \text{ м}^3/\text{м}^3$ $\Delta \xi = 0,056 \dots 0,069$.

Висновки

Визначено раціональні режими роботи та граничні значення ефективності використання технології отримання та безпечного акумулювання водню з сірководню Чорного моря для добового виробництва водню 200 кг/доб в залежності від ступеня конверсії сірководню при деструкції, газомістості сірководню у морській воді та глибині занурення підйомного трубопроводу з використанням регенераційного контуру.

Мінімально допустимі ступені конверсії при яких досягається ефективність використання технології отримання та безпечного акумулювання водню з сірководню Чорного моря для вмісту сірководню $\Delta H_2S = 2,5 \dots 10 \text{ м}^3/\text{м}^3$ при глибині занурення

підйомного трубопроводу $H = 250 \dots 1000$ м дорівнює $\xi_{\min} = 0,427 \dots 0,343$.

Використання регенераційного контуру дозволило знизити мінімально допустимі ступені конверсії для газовмісту сірководню $H_2S = 2,5 \dots 10$ м³/м³ при глибини занурення підйомного трубопроводу $H = 250 \dots 1000$ м на $\Delta\xi = 0,136 \dots 0,069$.

Література

1. Бондаренко, Г. Н. Проблема извлечения сероводорода из глубинных вод Черного моря [Текст] / Г. Н. Бондаренко, И. Л. Колябина, О. В. Маринич // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2009. – № 2. – С. 92–97.

2. Стан довкілля Чорного моря [Текст]: національна доповідь 1996–2000 / Міністерство екології та природних ресурсів України. – Одеса, 2002. – 94 с.

3. Димитров, Д. П. Геология и нетрадиционные ресурсы на Черно море [Текст] / Д. П. Димитров. – Варна : Онгъл, 2010. – 269 с.

4. Альтернативная сероводородная энергетика Черного моря, состояние, проблемы и перспективы [Текст] : Ч. I / И. М. Неклюдов, Б. В. Борц, О. В. Полевич и др. // Водородная энергетика и транспорт. – 2006. – № 12 (44). – С. 23–30.

5. Consiliul Europei: Marea Neagra, in pragul unui dezastru ecologic [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ecomagazin.ro/consiliul-europei-marea-neagra-in-pragul>. – 12.05.2019.

6. Михайлюк, О. Л. Перспективи використання енергетичного потенціалу сірководню чорного моря [Текст] / О. Л. Михайлюк // Науковий вісник ОНЕУ. – 2012. – № 21 (173). – С. 91–100.

7. Болгарские ученые разрабатывают технологию уменьшения содержания сероводорода в Черном море [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bnr.bg/ru/post/100145256/bolgarskie-uchene-razrabatvaut-tehnologiu-umenasheniya-soderjaniya-sероводорода-v-chernom-more>. – 12.05.2019.

8. Ефективність енерготехнологічної установки щодо видобування сірководню з глибин Чорного моря [Текст] / М. Р. Ткач, Б. Г. Тимошевський, А. Ю. Проскурін и др. // Авиационно-космическая техника и технология. – 2019. – № 7 (159). – С. 50–57.

9. Пат. на винахід України № 120489. Поршнева машина [Текст] / Митрофанов О. С., Шабалін Ю. В., Бірюк Т. Ф., Єфеніна Л. О.; заявл. № а201902189; заявл. 10.09.2019 р.; опубл. 10.12.2019 р. – Бюл. № 23.

References

1. Bondarenko, G. N., Kolyabina, I. L., Marinich, O. V. Problema izvlecheniya serovodoroda iz glubinykh vod Chernogo morya [The problem of extracting hydrogen sulfide from the deep waters of the Black Sea]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana – Geology and mineral resources of the oceans*, 2009, no. 2, pp. 92–97.

2. Stan dovkillya Chornogo morya : nacional'na dopovid' 1996–2000 [The state of the environment of the Black Sea. National Report 1996–2000]. Ministerstvo ekologiyi ta pry'rodny'x resursiv Ukrainy – Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine, Odessa, 2002. 94 p.

3. Dimitrov, D. P. *Geologiya i netraditsionni resursi na Chernom more* [Geology and unconventional resources on the Black Sea]. Varna, Ong'l Publ., 2010. 269 p.

4. Neklyudov, I. M., Borts, B. V., Polevich, O. V., Tkachenko, V. I., Shilyaev B. A. Al'ternativnaya serovodorodnaya energetika chernogo morya, sostoyaniye, problemy i perspektivy. Chast' I [Alternative hydrogen sulfide energy of the Black Sea, state, problems and prospects. Part I]. *Vodorodnaya energetika i transport – Hydrogen Energy and Transport*, 2006, no. 12 (44), pp. 23–30.

5. Council of Europe: The Black Sea, on the verge of an ecological disaster. Available at: <http://www.ecomagazin.ro/consiliul-europei-marea-neagra-in-pragul> (accessed 12.05.2019) (In Romanian).

6. Mykhaylyuk, O. L. Perspektyvy vykorystannya enerhetychnoho potentsialu sirkovodnyu chornoho morya [Prospects for the use of the Black Sea hydrogen sulfide energy potential]. *Naukovyy visnyk ONEU – Scientific Bulletin of ONEU*, 2012, no. 21 (173), pp. 91–100.

7. Bulgarian scientists are developing technology to reduce the hydrogen sulfide content in the Black Sea. Available at: <http://bnr.bg/ru/post/100145256/bolgarskie-uchene-razrabatvaut-tehnologiu-umenasheniya-soderjaniya-sероводорода-v-chernom-more> (accessed 12.05.2019) (In Russian).

8. Tkach, M. R., Tymoshevs'kyi, B. H., Proskurin, A. Yu., Halynkin, Yu. M. Efektyvnist' enerhotekhnologichnoyi ustanovky shchodo vydobuvannya sirkovodnyu z hlybyn Chornoho morya [Efficiency of the energy-technological plant on the extraction of hydrogen from the Black sea depth]. *Aviacijno-kosmichna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2019, no. 7 (159), pp. 50–57.

9. My'trofanov, O. S., Shabalin, Yu. V., Biryuk, T. F., Yefenina, L. O. *Porshneva mashyna* [Piston machine]. Patent UA, no. 120489, 2019.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕГЕНЕРАЦИОННОГО КОНТУРА С РОТОРНО-ПОРШНЕВОЙ РАСШИРИТЕЛЬНОЙ МАШИНОЙ

М. Р. Ткач, А. Ю. Проскурин, А. С. Митрофанов, Ю. Н. Галынкин

В статье рассмотрена перспективная технология получения и безопасного аккумулирования водорода из сероводорода Черного моря, которая включает в себя следующие процессы: добычи сероводорода из глубин Черного моря; сепарации сероводорода и морской воды; деструкции сероводорода с получением водородсодержащего газа; сепарации водорода из водородсодержащего газа; безопасного аккумулирования водорода; безопасного транспортирования водорода. Предложено использовать для повышения эффективности данной технологии регенерационного контура, который включает в себя: расширительную машину сероводорода высокого давления, гидравлическую турбину морской воды и термонасосную установку. Предложено оценивать эффективность применения технологии получения и безопасного аккумулирования водорода из сероводорода Черного моря эффективной мощностью, которая включает в себя: тепловую мощность водорода, мощность регенерационного контура; мощность, которая необходима для осуществления процессов производства водорода. В качестве сероводородной расширительной машины, которая удовлетворит всем необходимым требованиям предлагается использовать роторно-поршневой двигатель 20РПД-4,4/1,75. Определены рациональные режимы работы и предельные значения эффективности использования технологии получения и безопасного аккумулирования водорода из сероводорода Черного моря для суточного производства водорода 200 кг/сут в зависимости от степени конверсии сероводорода при деструкции, газосодержания сероводорода в морской воде и глубины погружения подъемного трубопровода с использованием регенерационного контура. Минимально допустимые степени конверсии при которых достигается эффективность использования технологии получения и безопасного аккумулирования водорода из сероводорода Черного моря для газосодержания сероводорода $2,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ при глубине погружения подъемного трубопровода 250...1000 м составляет 0,427...0,413, для $5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ – 0,375...0,363, для $7,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ – 0,363...0,350, для $10 \text{ м}^3/\text{м}^3$ – 0,356...0,343. Использование регенерационного контура позволило снизить минимально допустимые степени конверсии для газосодержания сероводорода $2,5...10 \text{ м}^3/\text{м}^3$ при глубине погружения подъемного трубопровода 250...1000 м на 0,136...0,069.

Ключевые слова: Черное море; сероводород; газосодержание; роторно-поршневая машина; степень конверсии; деструкция.

INCREASING THE EFFICIENCY OF HYDROGEN PRODUCTION TECHNOLOGY BY USING A REGENERATION CIRCUIT WITH A ROTARY-PISTON EXPANDER MACHINE

M. Tkach, A. Proskurin, O. Mytrofanov, Y. Halynkin

The article discusses a promising technology for the production and safe accumulation of hydrogen from the Black Sea hydrogen sulfide, which includes the following processes: production of hydrogen sulfide from the depths of the Black Sea; separation of hydrogen sulfide and seawater; destruction of hydrogen sulfide to produce a hydrogen-containing gas; separation of hydrogen from a hydrogen-containing gas; safe hydrogen storage; safe transportation of hydrogen. It is proposed to use the regeneration circuit to increase the efficiency of this technology, which includes: an expansion machine for high-pressure hydrogen sulfide, a seawater hydraulic turbine, and a heat pump installation. It is proposed to evaluate the efficiency of the application of the technology for the production and safe accumulation of hydrogen from the Black Sea hydrogen sulfide by effective capacity, which includes: thermal power of hydrogen, power of the regeneration circuit; the power needed to carry out hydrogen production processes. It is proposed to use the 20RPD-4.4/1.75 rotary piston engine as a hydrogen sulfide expansion machine that will satisfy all the requirements. Rational operating modes and limiting values of the efficiency of using the technology for obtaining and safe accumulation of hydrogen from the Black Sea hydrogen sulfide for daily hydrogen production of 200 kg/day were determined depending on the degree of hydrogen sulfide conversion during destruction, the gas content of hydrogen sulfide in seawater and the depth of immersion of the lifting pipeline using the regeneration circuit. The minimum permissible degrees of conversion at which the efficiency of using the technology for obtaining and safe accumulation of hydrogen from the Black Sea hydrogen sulfide for a gas content of hydrogen sulfide of $2.5 \text{ m}^3/\text{m}^3$ at a depth of immersion of the lifting pipeline of 250...1000 m is 0.427 ... 0.413, for $5 \text{ m}^3/\text{m}^3$ – 0.375...0.363, for $7.5 \text{ m}^3/\text{m}^3$ – 0.363...0.350, for $10 \text{ m}^3/\text{m}^3$ – 0.356...0.343. The use of the regeneration circuit al-

lowed us to reduce the minimum permissible degrees of conversion for the gas content of hydrogen sulfide of 2.5...10 m³/m³ at a depth of immersion of the lifting pipeline of 250...1000 m by 0.136 ... 0.069.

Keywords: Black Sea; hydrogen sulfide; gas content; rotary piston machine; degree of conversion; destruction.

Ткач Михайло Романович – д-р техн. наук, проф., зав. каф. інженерної механіки та технології машинобудування, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна.

Проскурін Аркадій Юрійович – канд. техн. наук, доц., доц. каф. «Двигуни внутрішнього згоряння, установки та технічна експлуатація», Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна.

Митрофанов Олександр Сергійович – канд. техн. наук, доц., доц. каф. «Двигуни внутрішнього згоряння, установки та технічна експлуатація», Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна.

Галинкін Юрій Миколайович – канд. техн. наук, викл. каф. інженерної механіки та технології машинобудування, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна.

Mykhaylo Tkach – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Mechanical Engineering and Manufacturing Engineering, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine, e-mail: mykhaylo.tkach@nuos.edu.ua, ORCID Author ID: 0000-0003-4944-7113,

Scopus Author ID: 57202210289, <https://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=XqfGS0wAAAAJ>.

Arkadii Proskurin – Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor, Assistant Professor of Department of Internal Combustion Engines, Plants and Technical Exploitation, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine, e-mail: arkadii.proskurin@nuos.edu.ua,

ORCID Author ID: 0000-0002-5225-6767, Scopus Author ID: 57203617130,

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=LCGxGC8AAAAJ&hl=uk>.

Oleksandr Mytrofanov – Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor, Assistant Professor of Department of Internal Combustion Engines, Plants and Technical Exploitation, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine, e-mail: mitrofanov.al.ser@gmail.com,

ORCID Author ID: 0000-0003-3460-5369, Scopus Author ID: 57201666852,

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=L-btXZ4AAAAJ&hl=uk>.

Yurii Halynkin – Candidate of Engineering Sciences, Lecturer of Department of Mechanical Engineering and Manufacturing Engineering, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine,

e-mail: yurii.galynkin@nuos.edu.ua, ORCID Author ID: 0000-0001-5272-4156, Scopus Author ID: 57204396250,

https://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=ix_y1CwAAAAJ.