

## ECOLOGY

**НОВІ НАПРЯМКИ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ У СУДНОБУДУВАННІ***Савчук Є. В.**Україна, м. Одеса, Одеський національний морський університет*DOI: [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_ws/31032020/6970](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/31032020/6970)**ARTICLE INFO****Received:** 23 January 2020**Accepted:** 10 March 2020**Published:** 31 March 2020**KEYWORDS**IMO,  
alternative fuel,  
hydrogen fuel,  
«clean» electric power,  
environmentally friendly vessel.**ABSTRACT**

The article analyzes the main problems and prospects for the development of hydrogen energy in shipbuilding. Currently, there is an increase in interest of large companies and government agencies in hydrogen fuel cells (FCs). Two main reasons for this can be distinguished: high fuel cell efficiency (70-80%) and their environmental benefits. But in the near future the mass introduction of technology is unlikely to happen, it is still necessary to solve a number of problems associated with the production and operation of special power plants, and reduce their cost. When technological barriers are overcome, hydrogen energy will reach a new level and, possibly, will be as widespread as traditional or hydropower today.

**Citation:** Савчук Є. В. (2020) Novi Napriamky Vykorystannia Vodnevoi Enerhetyky u Sudnobuduvanni. *World Science*. 3(55), Vol.1. doi: 10.31435/rsglobal\_ws/31032020/6970

**Copyright:** © 2020 Савчук Є. В. This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

**Вступ.** Морська індустрія підійшла до такої точки свого розвитку, коли вибір правильного шляху так чи інакше пов'язаний з цілями декарбонізації. Зокрема, як відомо, на 72-й сесії Комітету по захисту морського середовища (КЗМС) Міжнародної морської організації (ІМО) прийняв первісну стратегію щодо зниження рівня викидів парникових газів з суден (Резолюція МЕРС.304 (72)).

У 2015 році Рамкова конвенція ООН про зміну клімату прийняла Паризьку угоду з довгостроковою метою підтримки зростання температури не вище ніж на 2 °С і продовження зусиль до досягнення показника 1,5 °С шляхом досягнення балансу парникових газів у другій половині цього століття.

Початкова стратегія спрямована на збільшення внеску ІМО у глобальні зусилля щодо викидів парникових газів з суден, зайнятих у міжнародних перевезеннях, та визначення дій, які слід вжити в секторі міжнародних перевезень.

Початкова стратегія ІМО включає наступні рівні прагнень з конкретними цілями зниження рівня викидів парникових газів з суден для міжнародних перевезень [1]:

- інтенсивність викидів вуглецю судна слід знижувати шляхом реалізації подальших етапів конструктивного коефіцієнта енергоефективності (ККЕЕ) для нових суден;

- інтенсивність викидів вуглецю з суден, зайнятих у міжнародних морських перевезеннях, слід знижувати шляхом зниження викидів CO<sub>2</sub> на одиницю транспортної роботи – в середньому по міжнародних морських перевезеннях – принаймні на 40 % до 2030 року, прагнучі забезпечити показник 70 % до 2050 року в порівнянні з 2008 роком;

- рівні викидів парникових газів з суден, задіяних міжнародних морських перевезеннях, повинен досягти максимуму і почати знижуватися якомога швидше зі зниженням загального рівня щорічних викидів парникових газів, принаймні, на 50 % (враховуючи збільшення морських перевезень) до 2050 року в порівнянні з 2008 роком. Також з 1 січня 2020 року вміст

сірки ( $\text{SO}_x$ ) в паливі не повинен бути більше 0,5 % [2]. Представники судноплавної галузі тепер ламають голову над тим, як досягти поставлених цілей.

Зрозуміло, що основний тягар розробки нової стратегії лежить на плечах інженерів і технологів, які повинні запропонувати рішення, покликані скоротити рівень емісії  $\text{CO}_2$ , для чого, ймовірно, знадобляться судові двигуни нових оригінальних проєктів. Очевидно, що зміни в індустрії будуть радикальними. Однак ключовим фактором руху в бік зниження викидів є використання «чистих» палив.

Серед альтернативних видів палива в даний час розглядаються: скрапленого природний газ (СПГ), скраплений вуглеводневий газ (СВГ), метанол, біопаливо і водень. ІМО зараз розробляє кодекс безпеки (IGF Code) для суден, що використовують газ або інші екологічні види палива. Триває робота в області використання метанолу і палив з низькою температурою займання. Для інших видів палива IGF Code поки не розробляється, що судовласникам необхідно взяти до уваги.

Головними перевагами водню як палива в даний час є необмежені запаси сировини і відсутність або мала кількість шкідливих речовин у відпрацьованих газах.

Сировинна база для отримання водню практично необмежена. Досить сказати, що у Всесвіті це найпоширеніший елемент. У вигляді плазми він становить майже половину маси Сонця і більшості зірок. Гази міжзоряного середовища і газові туманності також в основному складаються з водню.

У земній корі вміст водню становить 1 % по масі, а у воді – найпоширеніший на Землі речовині – 11,19 % по масі. Однак вільний водень зустрічається вкрай рідко і в мінімальних кількостях у вулканічних та інших природних газах.

Водень є унікальним паливом, яке видобувається з води і після згоряння знову утворює воду. Якщо в якості окислювача застосовувати кисень, то єдиним продуктом згоряння буде дистильована вода. При використанні повітря до води додаються оксиди азоту, вміст яких залежить від коефіцієнта надлишку повітря.

Серйозні недоліки водню – висока дифузійна здатність і широка область займистості і вибуховості водневокисневої газової суміші, але ці недоліки вже не є причинами, що перешкоджають його застосуванню на транспорті.

Цікаві тенденції спостерігаються в сфері енергетики морського транспорту, де для широкого впровадження водневих паливних елементів вже давно створені міжнародні консорціуми та Асоціації – FellowSHIP, Fuel Cell Boat BV і Marine Hydrogen & Fuel Cell Association (MHFCA).

На даний момент глобальні інвестиції у водневу енергетику, за різними оцінками, становлять 0,85-1,4 млрд євро на рік.

**Результати досліджень.** Сьогодні вже можна говорити про те, що використання водню перестало бути одиничними новаторськими проєктами і стало впроваджуватись у суднобудуванні.

«Energy Observer» – перший в світі судно-катамаран здатний виробляти водневе паливо у себе на борту з морської води. Це справжня експериментальна платформа, мета якої реалізувати і протестувати в реальних екстремальних умовах нові технології по генерації водню з морської води, продемонструвавши таким чином можливість подальшого застосування цієї технології в усьому світі.

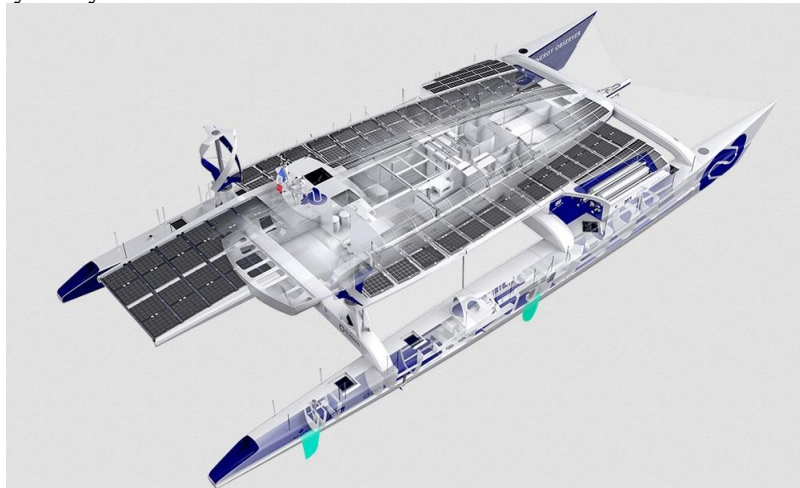


Рис. 1. Катамаран «Energy Observer» [3].

Судно являє собою колишній гоночний катер, на якому створено автономне джерело отримання водню, який є основним паливом судна, з морської води. Крім того в альтернативну систему постачання енергією судна входять 130 м<sup>2</sup> сонячних панелей, дві турбіни використовують енергію вітру, а також електродвигуни з рекуперативною функцією. Таким чином, судно забезпечене декількома альтернативними засобами отримання енергії, що приводять його в рух в різний час доби і за різних погодних умов.

26 червня 2017 року «Energy Observer» покинув французький порт Сен-Мало без краплі викопного палива на борту і відправився в кругосвітню подорож, яка завершиться в 2023 році. У програмі подорожі заплановано відвідування 50 країн, зі 101 зупинкою в різних точках земної кулі.



Рис. 2. Маршрут «Energy Observer», який планується пройти з 2017 по 2023 р. [3].

Група компаній Compagnie Maritime Belge (СМВ), що експлуатує близько ста суден різного класу, створила пасажирський пором на стиснутому водні. Катамаран отримав назву «Hydroville». Це перше у світі водневе судно, що отримало сертифікат Ллойда. Хрещення судна відбулося 29 листопада 2017 року.



Рис. 3. Пором «Hydroville» [4].

На початковому етапі експлуатації судно буде перевозити співробітників компанії СМВ між Кройбеке і Антверпеном по річці Шельда (Еско), що впадає в Північне море. Компанія СМВ планує використовувати досвід, отриманий при експлуатації порома Hydroville для проектування та будівництва водневих суден великого тоннажу.

Пором «Hydroville» призначений для відпрацювання технологічних, експлуатаційних і нормативних питань, а також демонстрації екологічних та економічних можливостей водневого

палива в цивільному судноплавстві. Оскільки водневе паливо поки ніяк не нормується регістром Ллойда, для проекту «Hydroville» було необхідно виконати комплексний аналіз ризиків.

Пасажи́рська кабі́на поро́ма (місткість 16 осіб) може мати різну конфігурацію: транспортна (4x4), кінозал (крісла розгорнуті в напрямку інформаційного дисплея) і конференц-зал (крісла встановлені навколо великого столу). Задля комфорту пасажирів салон має додатковий шумозахист, безкоштовний «Wi-Fi», зарядні пристрої, два кондиціонери, мініатюрні камбуз і галююн. На кормі порома є невелика відкрита палуба. Екіпаж порома – дві особи.

При проектуванні і будівництві порома був використаний досвід отриманий при роботі з водневими машинами. Загальна довжина корабля – 14 м; ширина – 4,2 м; осадка – 0,65 м. Крейсерська швидкість – порома 22 вузла, максимальна – 27 вузлів. Споряджена маса – 12 тонн, водотоннажність – 14 тонн. Запас водню зберігається в 12 композитних балонах 4 типу місткістю 250 л кожен під тиском 200 атмосфер. Резервне дизельне паливо зберігається в двох баках ємністю 265 л кожен.

Інженерно-конструкторським підрозділом Ulstein Design & Solutions BV, що входить до групи компаній Ulstein (Норвегія) і розробником паливних елементів Nedstack BV підготовлений проект першого морського судна забезпечення, яке зможе працювати на водневому паливі.



Рис. 4. Макет судна «Ulstein SX190 Zero Emission» [5].

Розробники проекту реалізували концепцію екологічного судна відповідно до нещодавно опублікованого списку DNV GL (Det Norske Veritas Germanischer Lloyd) п'яти найбільш перспективних альтернативних видів палива для судноплавства, в якому водень був визнаний оптимальним рішенням з нульовим рівнем викидів.

Судно забезпечення робіт з монтажу морських установок «Ulstein SX190 Zero Emission» і системою динамічного позиціонування (DP2) стане першим проектом Ulstein з використанням водню, з енергетичною установкою на паливних елементах, розроблених компанією Nedstack BV. Таке судно можна буде використовувати в найрізноманітніших роботах на морському шельфі. Перше таке судно, побудоване за проектом Ulstein може бути передано в експлуатацію у 2022 році.

Судно проекту «Ulstein SX190 Zero Emission» здатне працювати до чотирьох днів в режимі нульових викидів. У майбутньому, з розвитком технологій зберігання водню і паливних елементів, таку екологічну експлуатацію можна буде збільшити до двох тижнів. При більш тривалих морських проектах судно зможе задіяти звичайну дизель-електричну пропульсивну установку, використовуючи в якості бункерного палива низькосірчистий дизель.

Концепція судна «Ulstein SX190 Zero Emission» заснована на наявній платформі «Ulstein SX190» і має загальну встановлену потужність в 7,5 МВт, з яких 2 МВт генерується паливними елементами системи живлення PEM (Polymer Electrolyte Membrane, Proton Exchange Membrane), розробленої Nedstack, які розташовані в окремому, 2-му машинному відсіку. Паливні елементи PEM перетворюють водень і повітря в електроенергію, тепло і воду і в ході процесу не виділяють шкідливих викидів.

Паливні елементи PEM використовуювані в концепції «Ulstein SX190 Zero Emission» заправляються водневим паливом з ємностей під тиском. Вантажно-розвантажувальні операції



з такими резервуарами з воднем прості і не вимагають будь-якого особливого обладнання, що виключає необхідність у створенні дорогої інфраструктури для бункерування судна.

Ємності з воднем можуть бути заправлені на будь-якому підприємстві, де виробляється водень, або воднем з побічних продуктів промисловості або «зеленим» воднем, отриманим методом електролізу, що робить таке судно придатним для використання по всьому світу.

У Німеччині в жовтні 2019 року розпочали будівництво першого в світі буксир-штовхача «Elektra», який буде працювати на гібридному приводі з паливних елементів і акумуляторів [6].



Рис. 5. Макет буксир-штовхача «Elektra» [7].

Нове судно «Elektra» використовуватимуть для річкових вантажоперевезень між Берліном і Гамбургом, а також у самій столиці Німеччини. Одночасно з будівництвом судна створюється і необхідна для його роботи інфраструктура.

Буксир-штовхач «Elektra» має шість пакетів з 20 резервуарів водню для паливних елементів. Вони містять в цілому 750 кілограмів водню і знаходяться під тиском 500 бар. Буксир-штовхач «Elektra» буде довжиною приблизно 20 метрів і шириною 8,5 метра з осадкою 1,25 метра.

Загальна вартість робіт зі створення буксир-штовхача «Elektra» оцінюється в 13 млн євро, при цьому 8 млн євро на проект виділило Федеральне міністерство транспорту і цифрової інфраструктури Німеччини. Будівництво нового екологічного буксира планують завершити у IV кварталі 2020 року.

Голландська фірма Sinot Yacht Architecture & Design розробила супер'яхту «Aqua», яка буде працювати на водневому паливі. Мініатюрну модель яхти вперше показали на виставці в Монако в грудні 2019 року. Проектування яхти зайняло 5 місяців.



Рис. 5. Яхта «Aqua» [8].

Джерелом енергії стане рідкий водень. Його розмістять у двох 28-тонних герметичних резервуарах, охолоджених до  $-253^{\circ}\text{C}$ . Резервуари будуть видні через скляну панель біля основи гвинтових сходів в центрі яхти. У паливних елементах водень буде змішуватися з киснем, а побічним продуктом стане вода. Паливо буде живити два двигуни потужністю 1 МВт [9].

Довжина яхти «Aqua» – 112 метрів, ширина – 15,4 метри. На п'ятипалубному судні зможуть розміститися 14 гостей і 31 член екіпажу. Яхта матиме головний павільйон, каскадний басейн, місце для відпочинку на відкритому повітрі, вертолітний майданчик, дві VIP-каюти і чотири звичайних каюти. Всі номери матимуть вікна від підлоги до стелі в мінімалістському японському стилі.

«Aqua» зможе розвивати швидкість в 17 вузлів (більше 30 км/год) і проходити понад 6 тисяч км без дозаправки. Через дефіцит водневих заправок судно буде додатково мати резервний дизельний двигун.

Судно буде побудовано на голландській верфі Feadship, що спеціалізується на будівництві супер- і мегаяхт. Судно спустять на воду не раніше 2024 року.

У 2019 році Євросоюз виділив 5 млн євро на реалізацію Європейського інноваційного проекту FLAGSHIPS – галузевого консорціуму для фінансування будівництва та введення в експлуатацію в Норвегії та Франції двох комерційних суден з водневими паливними елементами з нульовим викидом [10]. Кошти, виділені для проекту FLAGSHIPS, були надані в рамках програми ЄС з досліджень та інновацій «Горизонт 2020» в рамках спільного проекту з впровадження екологічного палива на основі водню.

Проект FLAGSHIPS об'єднує групу партнерів, провідних представників галузі: судновласників, постачальників технологій на паливних елементах, розробників установок електроживлення, фахівців в області інтеграції та виробництва, кораблебудівників та ін.

Мета проекту полягає в тому, щоб двигуни двох суден могли працювати на водні, отриманому з відновлюваних джерел енергії. Це дозволить не тільки експлуатувати судна з нульовим рівнем шкідливих викидів, але і створити міцну основу для подальшого розширення місцевого екологічного морського і річкового транспорту.

Важливою частиною проекту стане вибудовування допоміжної мережі по забезпеченню європейського проекту, що включає поставки водневого палива, проектування і будівництво суден, а також знання в області нормативних актів.

Перше судно будуватиметься в Ліоні (Франція), друге – в м. Ставангер (Норвегія). На Французькій верфі побудують буксир-штовхач на водні і переданий річковій транспортній компанії Compagnie Fluvial de Transport (CFT). Він буде експлуатуватися компанією в якості допоміжного судна на річці Роні.



Рис. 6. Демонстрація в Леоні-це прогулянкове судно, що працює як сервісне судно на Роні [11].

У Ставангері русійна установка на водневому паливі призначена для вантажо-пасажирського порома (оператор Norled), який буде обслуговувати місцеві транспортні маршрути.

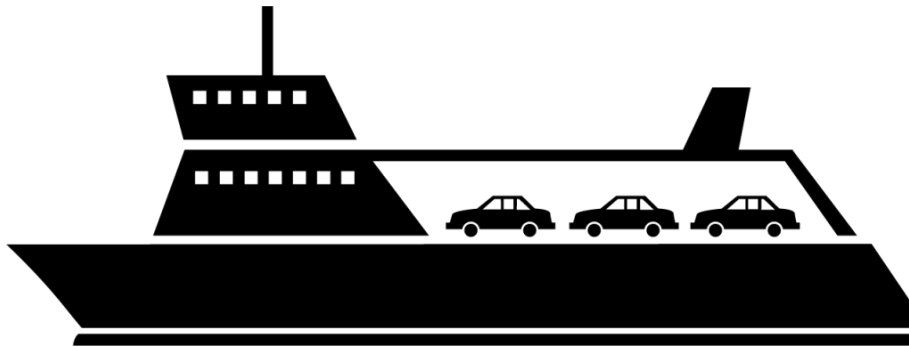


Рис. 7. Демонстрація Stavanger-пасажирський і автомобільний пором, що працює як частина місцевої мережі громадського транспорту[11].

Проект значно знизить капітальні витрати на енергетичні системи морських паливних елементів, використовуючи ноу-хау з існуючих заходів з інтеграції берегових і морських систем.

Водневі судна почнуть працювати протягом 2021 року. Після 18-місячного демонстраційного періоду проекту власники суден розраховують підтримувати судна в нормальній комерційній експлуатації.

Проект буде співпрацювати на широкій основі для завершення необхідної оцінки та затвердження безпеки для двох суден шляхом застосування та подальшої розробки існуючих правил і норм.

**Висновки.** Екологічні проблеми і зростаючі ціни на паливо ведуть до необхідності пошуку нових рішень для судноплавства. Альтернатив не так багато. Одним із альтернативних джерел енергії в судноплавстві може бути використання водню. Але є деякі фактори, що стримують впровадження водневих технологій:

- більш висока собівартість, ніж у традиційних джерел палива;
- відсутність водневої інфраструктури;
- недосконалі технології зберігання водню;
- відсутність стандартів безпеки, зберігання, транспортування, застосування тощо.

Важливу роль у становленні водневої енергетики відіграє Міжнародна морська організація (ІМО). Вона розглядає паливні елементи як частину діяльності підкомітету Організації з контейнерних перевезень Carriage of Cargoes and Containers Sub-Committee, з наміром включити необхідні положення в Міжнародний Кодекс безпеки для суден, що використовують гази та інше паливо з низькою температурою займання (Code of Safety for Ships using Gases or other Low – flashpoint Fuels – IGF). Це є важливим аспектом для розвитку використання водню.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. RESOLUTION MEPC.304(72) (adopted on 13 April 2018) INITIAL IMO STRATEGY ON REDUCTION OF GHG EMISSIONS FROM SHIPS. – IMO. – London. – 2018. – 13 p.
2. RESOLUTION MEPC.320(74)/Corr.1 (adopted 17 May 2019) corrected by MEPC 74/18/Add.1/Corr.1 11 September 2019 GUIDELINES FOR CONSISTENT IMPLEMENTATION OF THE 0.50% SULPHUR LIMIT UNDER MARPOL ANNEX VI. – IMO. – London. – 2019. – 19 p.
3. Puteshestvie-vokrug-sveta-na-pervom-ekologicheskii-chistom-sudne – [Electronic resource] – Access mode: <https://ru.unesco.org/courier/oktyabr-dekabr-2017-g/puteshestvie-vokrug-sveta-na-pervom-ekologicheskii-chistom-sudne/>
4. Офіційний веб-сайт HYDROVILLE – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.hydroville.be>.
5. Zero-emission operations in offshore construction market – [Electronic resource] – Access mode: <https://ulstein.com/news/2019/zero-emission-operations-in-offshore-construction-market>.
6. Elektra project to build zero-emissions canal pusher boat in Germany. Fuel Cells Bulletin. Volume 2019, Issue 9, September 2019, Pages 5-6. DOI.10.1016/S1464-2859(19)30366-9.
7. Elektra 1 – [Electronic resource] – Access mode: [https://www.marsys.tu-berlin.de/menue/forschung/elektra\\_1](https://www.marsys.tu-berlin.de/menue/forschung/elektra_1).
8. Офіційний веб-сайт SINOT – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.sinot.com>.
9. The hydrogen-powered superyacht concept radically different market – [Electronic resource] – Access mode: <https://www.imperial-yachts.com/news/sinot-presents-112m-superyacht-project-aqua>.
10. Flagships-project-deploy-two-hydrogen-vessels – [Electronic resource] – Access mode: <https://www.fch.europa.eu/news/flagships-project-deploy-two-hydrogen-vessels>.
11. Офіційний веб-сайт FLAGSHIPS – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.flagships.eu>.