

короткострокову та середньострокову перспективи, а також обґрунтування етапів реалізації стратегії та їх цільових показників.

### Висновки

1. Суднобудівна галузь України потребує її ефективною трансформації шляхом розробки та запровадження нормативно-законодавчих, техніко-технологічних та організаційних заходів.

2. Розробка стратегії розвитку суднобудування в Україні являє собою важливу науково-прикладну проблему, вирішення якої має загальнодержавне значення.

### Література

1. Отчет о рынке судостроения / Размер, доля, рост и тенденции (2022–2027 годы) URL: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/ship-building-market>

2. Shipbuilding industry worldwide - statistics & facts / Statista

3. 10 Top Shipbuilding Companies in the World 2023(maritimemanual.com)

4. Стратегия украинского судостроения – 2030. Последний шанс? / Порти України (ports.ua)

5. Новини комітетів – У Комітеті з питань економічного розвитку обговорили стан розвитку суднобудівної галузі – Офіційний портал Верховної Ради України (rada.gov.ua)

6. V. Stanic, N. Fafandjel, M. Hadjina (2018) Toward shipbuilding 4.0 – an industry 4.0 changing the face of the shipbuilding. Brodogradnja/ Shipbuilding/Open access, p.p. 111-128

### FORMATION OF STRATEGY SHIPBUILDING DEVELOPMENT IN UKRAINE

<sup>1</sup>Lysytskyi Igor, Marine cluster of Ukraine

<sup>2</sup>Slobodyan Serhii, Admiral Makarov National University of Shipbuilding

<sup>3</sup>Kharytonov Yuriy, Admiral Makarov National University of Shipbuilding

**Abstract.** The task of increasing the contribution of the shipbuilding industry of Ukraine to the growth of gross domestic product requires its radical transformation. The main problematic issues that hinder the development of a strategy for the development of shipbuilding in Ukraine are considered. Key directions and conditions that will become the basis of its strategy in the future have been identified.

**Keywords:** shipbuilding, development strategy, directions, activities

УДК 621.4:620.9

### ОСОБЛИВОСТІ ГІБРИДНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК З РЕМФС ЕЛЕКТРОХІМІЧНИМИ ГЕНЕРАТОРАМИ

**Коробко В.В.**

*доктор технічних наук, доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,*

*м. Миколаїв, Україна*

*volodymyr.korobko@nuos.edu.ua*

**Анотація.** В роботі обговорюються питання використання електрохімічних генераторів (ЕХГ), зроблених на основі РЕМФС в складі суднових та корабельних енергетичних установок. Застосування РЕМФС надає суднам та їх гібридним енергетичним установкам принципово нових якостей. Для суднової енергетики РЕМФС ЕХГ є відносно новим рішенням, тому доцільним є урахування особливостей робочих процесів в ЕХГ, при інтеграції цього обладнання в існуючі суднові системи енергозбереження. Саме такий шлях дозволить забезпечити досягнення максимальної ефективності гібридних СЕУ.

**Ключові слова:** Суднові енергетичні установки, РЕМФС, теплові викиди.

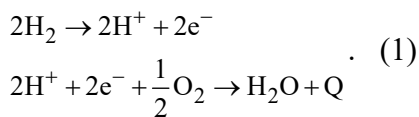
Зазвичай, СЕУ має в складі теплові двигуни, які забезпечують перетворення енергетичного потенціалу палива в механічну роботу, яка використовується для потреб пропульсивного комплексу, суднової електростанції, тощо. Можливість накопичення електроенергії в новітніх АКБ (**Energy Storage System**), її тривале зберігання та подальше перетворення на потреби СЕУ створює якісно новий тип ЕУ, це так звані **гібридні установки**.

Наявність електрохімічного генератора (ЕХГ) на основі паливних комірок виводить гібридну СЕУ на принципово вищий якісний рівень, який надає можливість провадження «по combustion» технології, та переходу до екологічних «Carbone Free» енергетичних установок. В СЕУ, теплові потоки від теплових двигунів, ЕХГ об'єднані загальною тепловою схемою, що дає можливість використовувати їх теплові викиди системами енергозбереження.

**Метою досліджень** є визначення найбільш раціональних рішень для отримання максимальної ефективності від застосування PEMFC ЕХГ в СЕУ.

На поточний момент найбільш поширеними в суднової та корабельній енергетиці є PEMFC – «Proton Exchange Membrane Fuel Cells» [1-3]. В роботі розглядаються гібридні СЕУ з ЕХГ на основі високотемпературних протоніобмінних паливних комірок (High Temperature Proton exchange membrane fuel cells) – **НТ PEMFC**, в подальшому **PEMFC** (рис.1).

В PEMFC протікають електрохімічні реакції окислення водню (1), в яких відбувається зміна загальної ентальпії реагентів – H, яка дорівнює сумі виробленого теплового потоку – Q та генерованої електричної потужності –  $E_{el}$ .



У відповідності до другого закону термодинаміки, можемо записати, що

$$\frac{1}{2F} H \times n = Q + E_{el} = Q + Ul_n, \tag{2}$$

де F - число Фарадея, а n – число комірок.

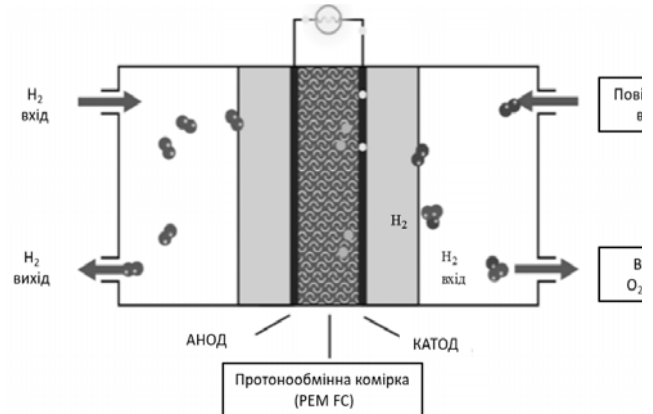


Рис. 1 Схема протоніобмінної паливної комірки

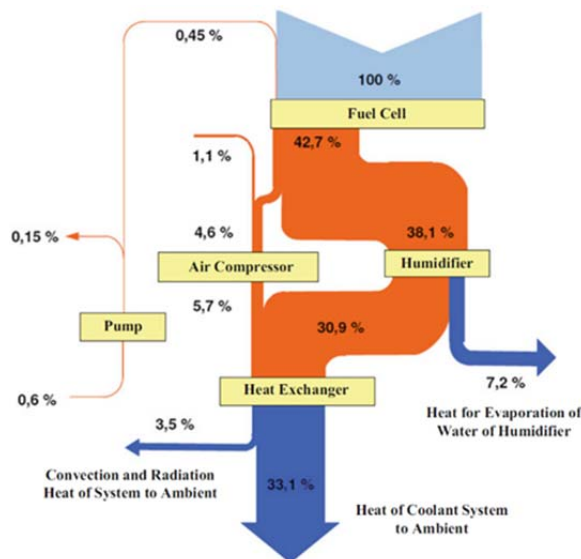


Рис.2 Поток енергії в PEMFC [ 3 ]

Діаграма потоків теплоти PEMFC, рис. 2, показує, що в цій комірці в теплоту  $Q$  перетворюється 42,7 % енергії пального, 33,0% скидної теплоти відводиться системою охолодження, а 7,2% утилізується на внутрішні потреби циклу [9].

Генерація теплоти  $Q$  в PEM FC відбувається через ентропійне тепло реакцій (~35% від загальної теплової енергії) і ряд незворотних процесів (~ 65% від загальної теплової енергії), пов'язаних з перехідним проходженням водню, активацією електрохімічних реакцій, омичними опорами проти руху протонів (у мембранах) та електронів (у клітині та стеку), та масовим транспортом водню до аноду.

В таблиці 1 наведені температури теплоносіїв елементів гібридної СЕУ, які потенційно придатні для вживання судновими системами утилізації. Можна бачити, що параметри теплових викидів PEMFC ЕХГ дозволяють інтегрувати їх в існуючі схемні рішення, забезпечити сумісну дію теплових двигунів та ЕХГ.

Параметри теплоносіїв скидних теплових ресурсів елементів гібридних СЕУ з ДВЗ			
Теплоносій	МОД	СОД	РЕМFC
	Температура, К		
Відхідні гази ДВЗ	490 - 530	500 - 690	–
Надувне повітря	400 - 490	380 - 470	–
Рідина системи охолодження	355 - 360	360 - 370	(LT PEM) 333 – 363 (HT PEM) 450– 493
LNG паливо	111	111	111
NH3 паливо	240	240	240

Окремий випадок – це режим роботи судна виключно на ЕХГ. В цьому разі суттєво зміниться загальна структура теплових викидів СЕУ, і деякі системи енергозбереження не будуть функціонувати.

На поточний момент найбільш доцільним для використання низькотемпературних джерел теплоти можна вважати застосування ORC установок [5] та низькотемпературних термоакустичних систем [6]. Розрахунки показали, що утилізації скидної теплоти електрохімічного генератора на основі НТ PEMFC, потужністю 1 МВт з допомогою термоакустичних технологій, здатна забезпечити отримання 125 – 175 кВт електроенергії. В обчисленнях враховувалась криогенна енергія від системи регазифікації LNG або NH3.

Вибір технології утилізації теплових викидів для кожного випадку має бути обґрунтованим і враховувати особливості ЕУ судна, вимоги щодо масогабаритних характеристик обладнання, його екологічності, надійності.

### Висновки

1. Використання електрохімічних генераторів на основі протонообмінних паливних елементів – PEMFC в гібридних судових та корабельних енергетичних установках суттєво покращує експлуатаційні характеристики ЕУ, в тому разі їх маневреність та екологічність.

2. Наявність в тепловій схемі СЕУ джерел енергії з температурами на рівні 80 – 1600С суттєво полегшує експлуатацію НТ PEMFC, оскільки забезпечує надійні умови для їх запуску.

3. Термоакустичні двигуни з двофазним робочим тілом можуть бути використані для утилізації теплових викидів PEMFC, з температурами в межах 90 – 1800С.

5. Розрахунки показали, що термоакустична система утилізації скидної теплоти НТ PEM FC потужністю 1 МВт здатна забезпечити отримання 120 – 175 кВт електроенергії.

7. Вдосконалення PEM FC можливо шляхом оптимізації процесів масо-енергообміну у внутрішніх елементах паливних комірок, а саме – в електродних комітках та в каналах з охолоджувачими теплоносіями.

### Література

1. Van Biert, L., Godjevac, M., Visser, K., & Aravind, P. V. (2016). A review of fuel cell systems for maritime applications. *Journal of Power Sources*, 327, 345–364. doi:10.1016/j.jpowsour.2016.07.007 .
2. Baroutaji, A., Arjunan, A., Ramadan, M., Robinson, J., Alaswad, A., Abdelkareem, M. A., & Olabi, A.-G. (2021). Advancements and prospects of thermal management and waste heat recovery of PEMFC. *International Journal of Thermofluids*, 9, 100064. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2021.100064>.
3. Nöst, M., Doppler, C., Klell, M., & Trattner, A. (2017). Thermal Management of PEM Fuel Cells in Electric Vehicles. *SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology*, 93–112. doi:10.1007/978-3-319-57445-5\_7.
4. Xing, H., Stuart, C., Spence, S., & Chen, H. (2021). Fuel Cell Power Systems for Maritime Applications: Progress and Perspectives. *Sustainability*, 13(3), 1213. doi:10.3390/su13031213.
5. He, T., Shi, R., Peng, J., Zhuge, W., & Zhang, Y. (2016). Waste Heat Recovery of a PEMFC System by Using Organic Rankine Cycle. *Energies*, 9(4), 267. doi:10.3390/en9040267.
6. Експериментальні дослідження термоакустичних двигунів з двофазним робочим тілом. В. В.Коробко, А.П. Шевцов Published: by National Aerospace University - Kharkiv Aviation Institute. *Journal: Aerospace technic and technology* pp.87-93; <https://doi.org/10.32620/akt.2022.4sup1.12> .

### FEATURES OF HYBRID POWER PLANTS WITH PEM FC ELECTROCHEMICAL GENERATORS

Korobko V.V. Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Operation of Ship Power Plants and Thermal Power Engineering, of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

**Abstract.** This paper discusses the utilization of electrochemical generators (ECGs) based on PEMFC in marine and shipboard power systems. The application of PEMFC provides ships and their hybrid power systems with fundamentally new capabilities. For marine power, PEMFC represents a relatively novel solution, thus, it's essential to consider the specific operational processes of ECGs when integrating this equipment into existing marine energy-saving systems. This approach ensures the achievement of maximum efficiency in hybrid power systems.

**Key words:** Ship power plants, PEMFC, waste heat emissions.

УДК 681.51

### РОБАСТНО-ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ МОРСЬКИМИ РУХОМИМИ ОБ'ЄКТАМИ

**Тимченко В.Л.**

*доктор технічних наук,*

*професор кафедри морського приладобудування*

*Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,*

*м. Миколаїв, Україна*

*vl.timchenko58@gmail.com*

**Анотація.** Управління перехідними процесами широкого класу рухомих об'єктів, що описуються звичайними нелінійними диференціальними рівняннями, вимагає розробки робастно-оптимальних систем зі змінною структурою. Запропоновано рішення цієї задачі за допомогою загальної алгоритмічної процедури побудови оптимальних траєкторій, визначення моментів перемикання та синтезу керуючих функцій для багатовимірних систем. Контроль невідповідності траєкторії руху фізичного об'єкта оптимальній моделі розрахункової траєкторії