



НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ КОНФЕРЕНЦІЇ

Національний університет кораблебудування

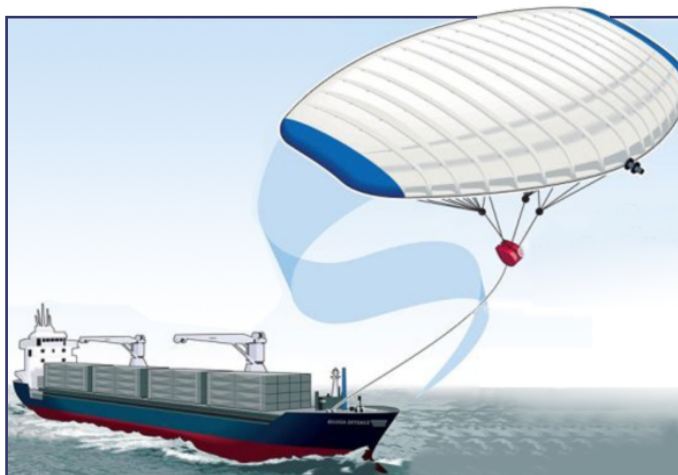
**СУДНОВА ЕНЕРГЕТИКА:
СТАН ТА ПРОБЛЕМИ**

МАТЕРІАЛИ

**ХІ МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ**

**присвяченої пам'яті професора
Горбова Віктора Михайловича**

07–08 листопада 2023 р.



Миколаїв ■ 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
ДП «Дослідно-проектний центр кораблебудування»
Одеський національний морський університет
Херсонська державна морська академія
ДП Науково-Виробничий Комплекс Газотурбобудування
«Зоря»-«Машпроект»
Kielce University of Technology (Poland)
Jiangsu University of Science and Technology (China)
Batumi Navigation Teaching University (Georgia)
Bureau Veritas (Marine & Offshore) (Canada)

СУДНОВА ЕНЕРГЕТИКА: СТАН ТА ПРОБЛЕМИ

XI Міжнародна науково-технічна конференція
присвячується пам'яті професора Горбова Віктора Михайловича

07-08 листопада 2023 року

*Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, вул. Героїв України, 9
Машинобудівний навчально-науковий інститут
вул. Кузнецька, 5*

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

Миколаїв
Видавець Торубара В.В.
2023

УДК 62-8
С89

ОРГАНІЗАТОРИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
ДП «Дослідно-проектний центр кораблебудування»
Одеський національний морський університет
Херсонська державна морська академія
ДП Науково-Виробничий Комплекс Газотурбобудування
«Зоря»-«Машпроект»
Kielce University of Technology (Poland)
Jiangsu University of Science and Technology (China)
Batumi Navigation Teaching University (Georgia)
Bureau Veritas (Marine & Offshore) (Canada)

*Матеріали публікуються за оригіналами, які представлені авторами.
Претензії щодо змісту та якості матеріалів не приймаються.*

Відповідальний за випуск:
Личко Богдан Михайлович

С89 Суднова енергетика: стан та проблеми : Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції. — Миколаїв : Видавець Торубара В.В., 2023. — 240 с.

ISBN 978-617-8355-03-6

У збірнику наведенні матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції «Суднова енергетика: стан та проблеми». Збірник становить інтерес для наукових працівників, викладачів, інженерів та студентів.

© Національний університет
кораблебудування, 2023

ISBN 978-617-8355-03-6

УДК 621.45.034

**РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ ГІБРИДНОЇ SOFC-GT ЕНЕРГЕТИЧНОЇ
УСТАНОВКИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ПОТУЖНІСТЮ 2000 КВТ****Ващиленко М. В.**

*кандидат технічних наук, доцент кафедри турбін
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
nnuy5te@gmail.com*

Патлайчук О. В.

*аспірант кафедри турбін
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
alexpatlaichuk@gmail.com*

Анотація. Для створення гібридної енергетичної установки на основі твердооксидних паливних елементів в комплексі з газотурбінним агрегатом запропоновані два варіанти теплової схеми. Визначені вихідні параметри для проектування, проведений їх термодинамічний розрахунок та порівняльний аналіз.

Ключові слова: твердооксидні паливні елементи; газотурбінний агрегат; компресор; регенератор; підігрівач; турбіна.

Одним з перспективних напрямів забезпечення електричною енергією різноманітних споживачів є паливні елементи, в яких хімічна енергія палива безпосередньо перетворюється в електричну. Твердооксидні елементи (Solid Oxide Fuel Cell або SOFC) характеризуються високою ефективністю перетворення, широким вибором палива, гарними екологічними показниками. Високі температури (600-1000 °C) випускних від них газів дозволяють поєднувати їх у нижньому циклі з газотурбінними агрегатами, чим досягається сумарна ефективність енергетичної установки до 60-70% [1; 2].

Для дослідження обрано комбіновану енергетичну установку типу SOFC-GT (твердооксидні паливні елементи в комплексі з газотурбінним агрегатом), яка працює під тиском. В таких системах стек паливних елементів розташований між випускним отвором компресора та входом турбіни.

Можливі різні компоновання такої установки. Дослідження параметрів будемо проводити для двох варіантів теплової схеми, які зображені на рис. 1.

В першій схемі (див. рис. 1, а) підігрів повітря перед стеком паливних елементів забезпечується за допомогою регенератора 10 залишковим теплом газів, які відпрацювали спочатку у стеку, а потім в турбіні.

В схемі на рис. 1, б температура повітря підвищується в підігрівачі 9 за рахунок тепла газів, які надходять до нього безпосередньо після стеку.

У ролі початкових параметрів для розрахунку енергетичної установки обираємо параметри, отримані компанією Siemens–Westinghouse в процесі експериментальних досліджень зразка стеку твердооксидних паливних елементів. Така установка була спроектована, побудована та випробувана з терміном дії 3000 годин у Національному дослідницькому центрі паливних елементів Каліфорнійського університету (м. Ірвін) [3; 4; 5].

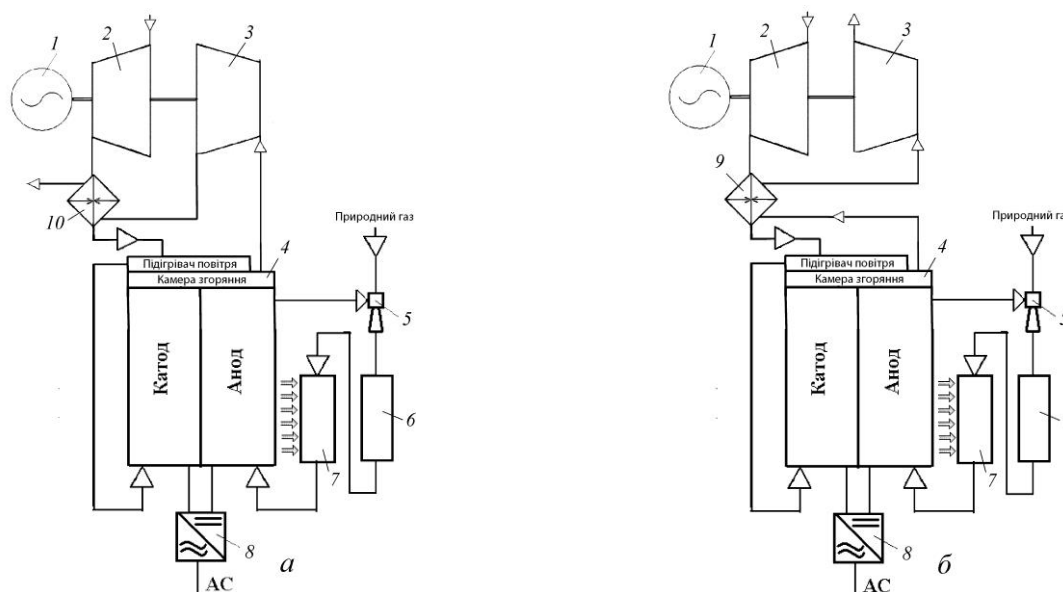


Рис. 1. Теплові схеми енергетичної установки типу SOFC-GT:

а – схема з регенератором; *б* – схема з підігрівачем повітря; 1 – електрогенератор; 2 – компресор; 3 – турбіна; 4 – стек паливних елементів; 5 – ежектор паливного газу; 6 – попередній риформер; 7 – вбудований риформер; 8 – інвертор (постійний-змінний струм); 9 – підігрівач повітря; 10 – регенератор

Виходячи з потужності 2000 кВт, вважаємо, що проектуєма енергетична установка SOFC-GT складається із 10 стеків твердооксидних паливних елементів, аналогічних стеку компанії Siemens-Westinghouse (рис. 2), та спільного для усіх них газотурбінного агрегату.

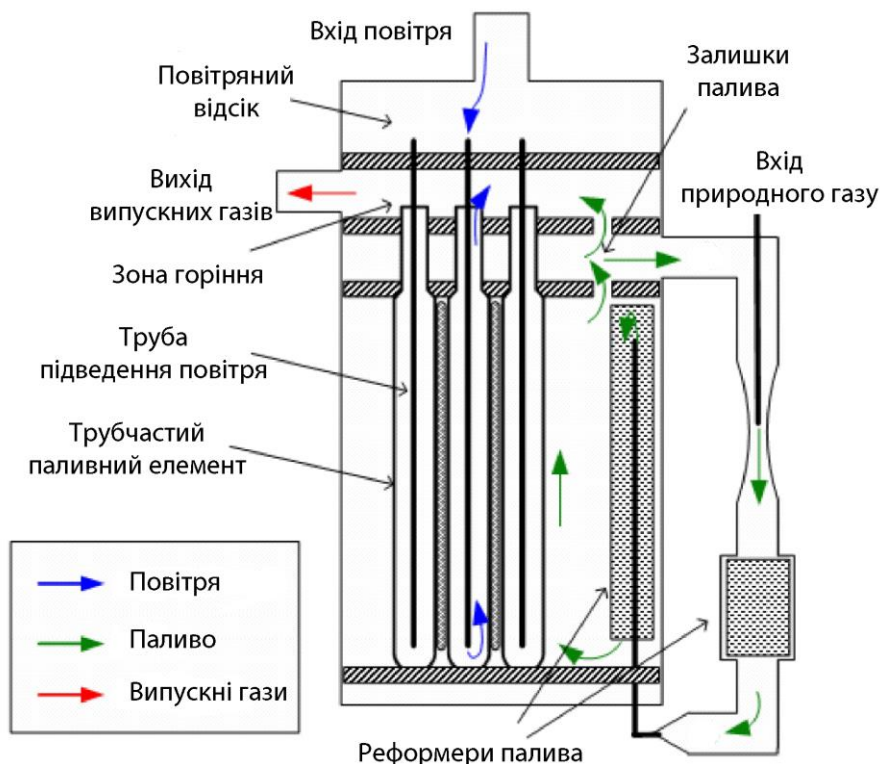


Рис. 2. Стек паливних елементів компанії Siemens–Westinghouse

Термодинамічний розрахунок параметрів енергетичної установки проводився послідовно за рухом робочого тіла для кожної з двох теплових схем. Головні розрахункові параметри обох теплових схем зведено до табл. 1.

Таблиця 1. Головні параметри енергетичної установки типу SOFC-GT

Параметр	Схема №1	Схема №2
Витрата повітря через компресор, кг/с	4,950	4,950
Міра підвищення тиску у компресорі	2,991	2,991
Підігрів повітря у компресорі, К	132	132
Підігрів повітря у регенераторі, град.	353	–
Підігрів повітря у підігрівачі, град.	–	353
Тиск повітря на вході у стек, МПа	0,291	0,291
Температура повітря на вході у стек, К	773	773
Тиск газів на виході із стека, МПа	0,284	0,284
Температура газів на виході із стека, К	1053	1053
Витрата газів через турбіну, кг/с	5,020	5,020
Температура газів на вході в турбіну, К	1053	709
Міра зниження тиску у турбіні	2,665	2,665
Охолодження газів в турбіні, град.	213	147
Температура газів за турбіною, К	840	562
Температура газів на виході з установки, К	489	562
Електрична потужність газотурбінного агрегату, кВт	444	98
Електрична потужність одного стеку паливних елементів, кВт	161,5	161,5
Сумарна електрична потужність установки, кВт	2059	1713
ККД стеку паливних елементів	0,4627	0,4627
Ефективний ККД енергетичної установки	0,5900	0,4909

З аналізу отриманих даних видно, що при однакових умовах порівняння ефективність першої теплової схеми є суттєво вищою (59,0% порівняно з 49,1%).

Це дозволяє зробити висновок про те, що для одержання максимального ККД енергетичної установки типу SOFC-GT доцільно компоувати стек паливних елементів з газотурбінним обладнанням таким чином, щоб спрацьовувати тепловий потенціал випускних зі стеку газів в першу чергу в турбіні, а потім вже в регенераторі та подібних утилізаційних пристроях.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Serbin S., Washchilenko N., Cherednichenko O., Burunsuz K., Dzida M., Chen D. Application analysis of a hybrid solid oxide fuel cell gas turbine system for marine power plants. *Ships and Offshore Structures*. 2022. Vol. 17(4). P. 866-876.
- [2] Ferrari M., Damo U., Turan A., Sanchez D. Hybrid Systems Based on Solid Oxide Fuel Cells. Modelling and Design. JohnWiley & Sons Ltd. 2017. 334 p.
- [3] Hassmann K. SOFC power plants, the Siemens-Westinghouse approach. *Fuel Cells*. 2001. Vol. 1 (1). P. 78–84.
- [4] US Department of Energy. Fuel Cell Handbook (7th edn). DOE/NETL: Morgantown. 2004. 427 p.
- [5] National Fuel Cell Research Center. Hybrid Fuel Cell / Gas Turbine Systems. (2015) URL: http://www.nfcrc.uci.edu/PDF_Research_Summaries/HYBRIDfuelCELL_GASTurbineSystems-AnalysesHybridFuelCellGasTurbineSystems.pdf.

Development and analysis of the thermal scheme of a 2000 kW hybrid SOFC-GT power plant
Washchilenko N., Patlaichuk O.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine

Abstract. To create a hybrid power plant based on solid oxide fuel cells in a complex with a gas turbine unit, two variants of the thermal scheme are proposed. The initial parameters for the calculation were defined, their thermodynamic calculation and comparative analysis was carried out.

Keywords: solid oxide fuel cells; gas turbine unit; compressor; recuperator; heater; turbine.

УДК 621.45.034

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПІДВИЩЕННЯ ТИСКУ В КОМПРЕСОРІ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ТИПУ SOFC-GT

Ващиленко М. В.

*кандидат технічних наук,
доцент кафедри турбін*

*Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
nnuy5te@gmail.com*

Патлайчук О. В.

аспірант кафедри турбін

*Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
alexpatlaichuk@gmail.com*

Анотація. Проведене дослідження впливу міри підвищення тиску повітря в компресорі на ефективність комбінованої енергетичної установки на основі твердооксидних паливних елементів, поєднаних з газотурбінним агрегатом. Визначені параметри, за яких досягаються максимальна ефективність та потужність такої установки.

Ключові слова: твердооксидні паливні елементи; газотурбінний агрегат; компресор; регенератор; підігрівач; турбіна.

Доцільність дослідження впливу підвищення тиску повітря в компресорі на ефективність комбінованої енергетичної установки типу SOFC-GT (твердооксидні паливні елементи в комплексі з газотурбінним агрегатом) пояснюється двома факторами:

1) неоднозначним впливом цього параметру на ефективність газотурбінного агрегату [1];

2) впливом тиску реагентів на воднево-кисневу електрохімічну реакцію і, відповідно, на ефективність перетворення енергії в твердооксидних паливних елементах [2].

Дослідження впливу тиску повітря проводилось для теплової схеми енергетичної установки, зображеної на рис. 1. Значення тиску повітря перед стеком паливних елементів варіювалося від 0,2 до 0,5 МПа.