

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА
МИКОЛАЇВСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ
ДЕПАРТАМЕНТ ОСВІТИ І НАУКИ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСНОЇ ДЕРЖАВНОЇ
АДМІНІСТРАЦІЇ

ІННОВАЦІЇ В СУДНОБУДУВАННІ ТА ОКЕАНОТЕХНІЦІ

XIV Міжнародна науково-технічна конференція

МАТЕРІАЛИ

20-21 вересня 2023 рік

*Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9*

Миколаїв 2023

ОРГАНІЗАТОРИ КОНФЕРЕНЦІЇ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ
ДЕПАРТАМЕНТ ОСВІТИ І НАУКИ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСНОЇ
ДЕРЖАВНОЇ АДМІНІСТРАЦІЇ

ПАРТНЕРИ КОНФЕРЕНЦІЇ

Міністерство освіти і науки України, Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України; ДП «Адміністрація морських портів» (Україна); ДП «Адміністрація річкових портів» (Україна); ДП «Дослідно-проектний центр кораблебудування» (Україна); Південний науковий центр НАН України і МОН України (Україна); Головне управління Державної служби з надзвичайних ситуацій України у Миколаївській області (Україна); Національний університет «Одеська національна академія» (Україна); Одеський національний морський університет (Україна); Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка (Україна); Черкаський державний технологічний університет (Україна); Національний авіаційний університет (Україна); Компанія «АМІКО ГРУПП» (Україна); Морське інженерне бюро (Україна); АТ «Завод «Екватор» (Україна); Асоціація ветеранів Військово-морських сил України (Україна); Харбінський інженерний університет (КНР); Університет науки і технологій Цзянсу (КНР); Шаньдунський науково-технічний університет (КНР); Таджикський технічний університет ім. академіка М.С. Осими (Таджикістан); Гданьський технологічний університет (Польща); Західно-Померанський технологічний університет (Польща); Кошалінський технічний університет (Польща); Празький університет хімії і технології (Чеська республіка); Батумський навчально-навігаційний університет (Грузія); ДУ Національний антарктичний науковий центр.

ІНФОРМАЦІЙНІ ПАРТНЕРИ

ТОВ «Видавничий дім «Гельветика»; науковий журнал «Shipbuilding & marine infrastructure»; журнал «Судноплавство»

Відповідальний за випуск

Павлов Геннадій Вікторович

Редакційна колегія не несе відповідальності за достовірність наведених даних та посилань. Матеріали публікуються в авторській редакції

Інновації в суднобудуванні та океанотехніці : XIV Міжнародна науково-технічна конференція : матеріали. – Миколаїв : НУК, 2023. – 756 с.

ISBN 978-966-321-462-7

У збірнику наведені матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції "Інновації в суднобудуванні та океанотехніці". Збірник становить інтерес для наукових працівників, викладачів, інженерів та студентів.

УДК УДК 001.895:629.5

[6] Шліхта О.М., Кардаш В.П. Підвищення енергоефективності робочого процесу суднового двигуна / Матер. наук. –техн. конф. «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 21–22 березня 2019, Одеса. – Одеса: НУ «ОМА», 2019. – С. 232–237.

[7] Воинов А.П., Коновалов Д.В., Самохвалов В.С., Воинова С.А. О некоторых особенностях управления изношенными техническими объектами / Энергетика та електрифікація, 2019, № 4. – С. 23–25.

[8] Воинов А.П., Воинова С.А. Управление экологичностью котлов – приоритетная задача развития котлостроения в Украине / Автоматизація технологічних і бізнес-процесів, 2012, № 9, 10. – С. 25–29.

ABOUT THE ENERGY AND ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF SHIP BOILER PLANTS INCREASING

Voinov Oleksandr Petrovych, Samokhvalov Viktor Serhiiiovych,
Kobalava Halyna Oleksandrivna, Voinova Svitlana Oleksandrivna
Kherson Educational-Scientific Institute of
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. In modern water transport power engineering it is important to increase the efficiency of power plants, in particular by reducing emissions of nitrogen oxides from ship boiler plants. It is advisable to use low-cost technologies - flue gas recirculation, regulation of the excess air ratio, and others. A promising direction is the partial renewal of the worn-out operating equipment of ship boiler plants and the improvement of their automated control systems (ACS).

Keywords: energy efficiency, environmental efficiency, ship boiler plant, flue gas recirculation, partial renewal, ACS.

УДК 621.45.034

РОЗРОБКА ГІБРИДНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ НА ОСНОВІ ТВЕРДООКСИДНИХ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА ГАЗОВОЇ ТУРБІНИ

Сербін С. І.

*доктор технічних наук, професор кафедри турбін
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
serhiy.serbin@nuos.edu.ua*

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. Проаналізовано особливості гібридних енергетичних установок на основі твердооксидних паливних елементів та газових турбін. Запропоновано перспективну схему такої установки, яка передбачає упорскування перегрітої водяної пари в камеру згоряння та використання турбіни перерозширення.

Ключові слова: твердооксидні паливні елементи; суднова енергетика; утилізація тепла газів; гібридна установка; турбіна перерозширення.

Використання твердооксидних паливних елементів (Solid Oxide Fuel Cell – SOFC) в даний час розглядається як один з перспективних напрямків для вирішення проблем забезпечення споживачів електричною енергією в різних умовах [1]. Такі елементи мають широкий спектр застосування: від портативних джерел струму (10–300 Вт) до автономних стаціонарних електростанцій (1–10 МВт і більше).

Високі значення температури відпрацьованих газів (873-1373 К) дозволяють застосовувати SOFC разом з утилізаційною газовою турбіною (GT) для виробництва електричної енергії в комбінованих (гібридних) енергетичних установках SOFC-GT. Ці установки будуть конкурентоспроможними з традиційними комбінованими циклами, що містять газову турбіну та котел-утилізатор, оскільки їх електрична ефективність становитиме 60-70 % і навіть більше.

Як приклад, компанія SiemensWestinghouse розробила гібридну систему потужністю 220 кВт типу SOFC-GT, що використовує трубчасту конструкцію паливних елементів. Система була спроектована, побудована та випробувана для демонстрації і доведення гібридної схеми з терміном дії 3000 годин у Національному дослідницькому центрі паливних елементів Каліфорнійського університету [2].

Ряд досліджень спрямовано на аналіз конфігурацій гібридних систем та визначення ефективності перетворення енергії. Декілька схем комбінованих циклів, які відрізнялися способами нагріву палива та окиснювача, проаналізовано в роботі [3]. Розрахункова ефективність циклу досягла 58 %. В роботі [4] запропоновано нову концепцію гібридної системи на атмосферних твердооксидних паливних елементах із застосуванням газової турбіни. Двоступенева система паливних елементів дозволила досягнути ефективності більшої, ніж 60 %. Відмітимо, що резервом підвищення ефективності розглянутих в цих роботах систем може бути підвищення температури газу перед турбіною, яке досягається більш ефективним допалюванням відпрацьованих газів паливних елементів.

В роботі [5] представлено інтегровану систему, яка містить твердооксидний паливний елемент, газову турбіну, парову турбіну та утилізаційний парогенератор, в якій використано аміак як перспективне паливо для цілей декарбонізації. Для системи комбінованого циклу SOFC-GT з додатковим нагрівачем, розташованим після турбіни, в роботі [6] розроблено термодинамічну модель. Досліджено характеристики системи комбінованого циклу на низько- і середньотемпературних паливних елементах. В роботі [7] розглянуто ефективні стратегії контролю навантаження модуля SOFC-GT для виявлення динамічних характеристик.

Проведений аналіз наявної літератури показав, що системи SOFC-GT, які працюють при відносно невеликому тиску, є перспективними як з точки зору ефективності системи в цілому, так і з точки зору надійності і довговічності та можуть бути рекомендовані для суднового використання в якості джерел електричної енергії і теплоти.

Проте той же аналіз показав, що існують певні проблеми, які пов'язані як з особливостями експлуатації установок SOFC-GT на суднах і недосконалістю робочих процесів в самих паливних елементах, так і з недостатньою проробкою теплових схем енергетичного комплексу SOFC-GT стосовно утилізації теплоти відпрацьованих газів паливних елементів в газотурбінному контурі.

Автори пропонують перспективну схему суднової SOFC-GT електростанції, у якій газотурбінний агрегат працює за так званим контактним термодинамічним циклом (із впорскуванням перегрітої водяної пари в камеру згоряння) та оснащений турбіною перерозширення (рис. 1). Використання такої турбіни дозволяє знизити до мінімальних значень величину тиску в корпусах стеків твердооксидних паливних елементів [1].

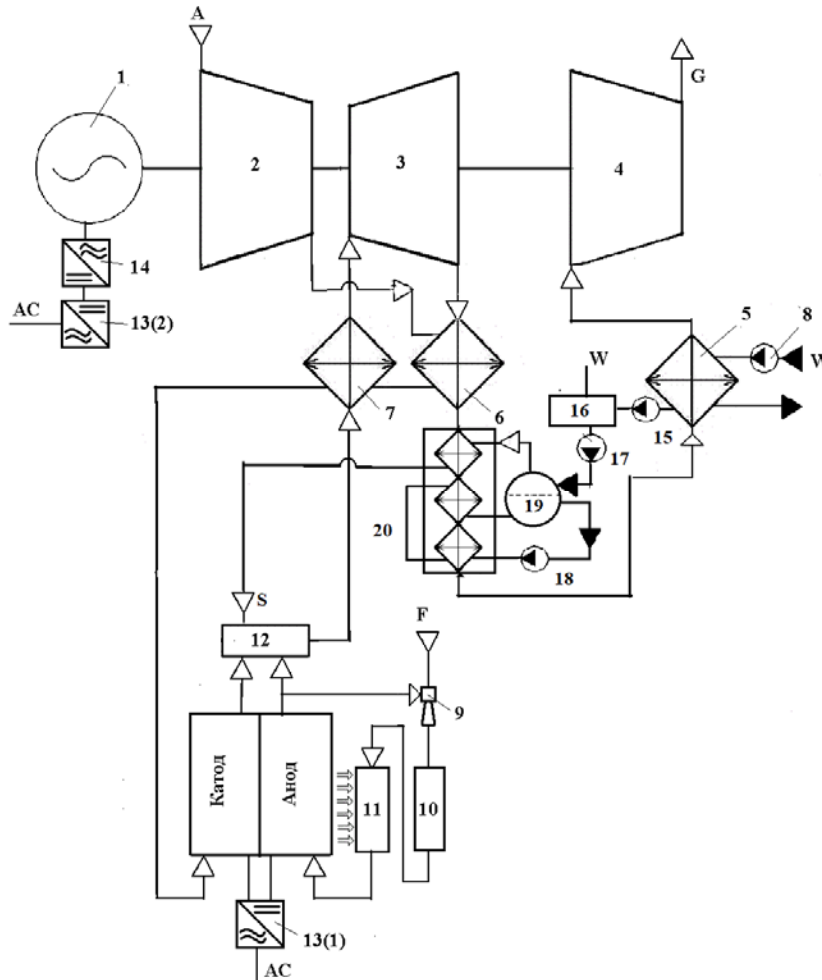


Рис. 1. Перспективна схема суднової SOFC-GT електростанції:

1 – електрогенератор; 2 – компресор; 3 – газова турбіна; 4 – ексаустер; 5 – кінцевий газоохолоджувач-конденсатор; 6 – повітропідігрівач першого ступеня; 7 – повітропідігрівач другого ступеня; 8 – насос охолоджувальної води; 9 – ежектор подачі газу; 10 – попередній риформер; 11 – вбудований риформер; 12 – камера згоряння; 13(1), 13(2) – інвертор (постійний-змінний струм); 14 – інвертор (змінний-постійний струм); 15 – конденсатний насос; 16 – цистерна живильної води; 17 – живильний насос утилізаційного парогенератора; 18 – циркуляційний насос; 19 – сепаратор пари; 20 – утилізаційний парогенератор; A – атмосферне повітря; AC – змінний струм; G – випускні гази; F – паливо; S – перегріта водяна пара; W – вода

Атмосферне повітря компресором 2 стискається до розрахункового значення і проходить через повітропідігрівач першого ступеня 6, в якому попередньо нагрівається випускними газами з турбіни 3, яка приводить в обертання компресор 2 та ексаустер 4, а надлишок потужності віддає на привід електрогенератора 1. Після повітропідігрівача першого ступеня атмосферне повітря надходить у повітропідігрівач другого ступеня 7 і нагрівається до заданої температури на вході в катода твердооксидних паливних елементів газами, що виходять з камери згоряння 12.

Паливом для камери згоряння 12 служить суміш газів на виході з анодів паливних елементів. Вона спалюється у середовищі повітря зі зниженим вмістом кисню, яке надходить у камеру згоряння з катодів паливних елементів.

Охоложені до певної температури продукти згоряння після повітроперегрівача 7 надходять у турбіну 3, де розширюються до тиску, що істотно нижчий атмосферного. Рівень цього тиску визначається прийнятним значенням міри підвищення тиску в ексаустері 4. Далі випускні гази після турбіни 3 проходять по каналах газової сторони повітропідігрівача першого

ступеня 6 та надходять в утилізаційний парогенератор 20, який генерує перегріту водяну пару, що подається в камеру згоряння 12.

Після утилізаційного парогенератора газопарова суміш надходить у кінцевий газоохолоджувач-конденсатор 5, де охолоджується водою до розрахункової величини. При цьому більша частина водяної пари зі складу газопарової суміші конденсується і насосом 15 подається в цистерну котлової води 16, з якої насосом 17 далі подається в сепаратор 19 утилізаційного парогенератора. Охоложені та зневоднені гази стискаються в ексгаустері 4 і викидаються в атмосферу.

Запропонована авторами схема перспективної суднової електростанції SOFC-GT може стати основою для подальшого математичного моделювання, дослідження та оптимізації параметрів її газотурбінної частини. Також вона може бути використана для вибору ефективних твердооксидних паливних елементів, працюючих на різних паливах, та конструктивної розробки схем газотурбінних допалювачів відпрацьованих в паливних елементах газів.

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] National Fuel Cell Research Center. 2010. Hybrid fuel cell / Gas turbine systems. Analyses of hybrid fuel cell gas turbine systems. URL: http://www.nfrcr.uci.edu/PDF_Research_Summaries/HYBRIDfuelCELL_GASTurbineSystems-AnalysesHybridFuelCellGasTurbineSystems.pdf.

[3] Saisirirata P. The Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) and Gas Turbine (GT) Hybrid System Numerical Model. *Energy Procedia*. 2015. Vol. 79. P. 845–850.

[4] De La Cruz C., Herz G., Reichelt E., Jahn M. Modeling of a Novel Atmospheric SOFC/GT Hybrid Process and Comparison with State-of-the-Art SOFC System Concepts. *Fuel Cells*. 2020. Vol. 20 (5). P. 608–623.

[5] Duong P.A., Ryu B., Kim C., Lee J., Kang H. Energy and Exergy Analysis of an Ammonia Fuel Cell Integrated System for Marine Vessels. *Energies*. 2022. Vol. 15. 3331.

[6] Lao X.S., Ma C. Performance Analysis of SOFC/GT Combined Cycle System with Preheater Arranged after the Turbine. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 701. 012047.

[7] Zhang B., Maloney D., Harun N.F., Zhou N., Pezzini P., Medam A., Hovsapiian R., Bayham S., Tucker D. Rapid Load Transition for Integrated Solid Oxide Fuel Cell - Gas Turbine (SOFC-GT) Energy Systems: A Demonstration of the Potential for Grid Response. *Energy Conversion and Management*. 2022. Vol. 258 (15). 115544.

Development of a hybrid power plant based on solid oxide fuel cells and gas turbine

Serbin S., Washchilenko N., Patlaichuk O.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine

Abstract. The features of the construction of hybrid power plants based on solid oxide fuel cells and gas turbines are analyzed. A promising scheme of such a power plant is proposed, which involves the injection of superheated water vapor into the combustion chamber and the use of an over-expansion turbine.

Keywords: solid oxide fuel cells; marine power engineering; heat utilization; hybrid power plant; over-expansion turbine.