



НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ КОНФЕРЕНЦІЇ

Національний університет кораблебудування

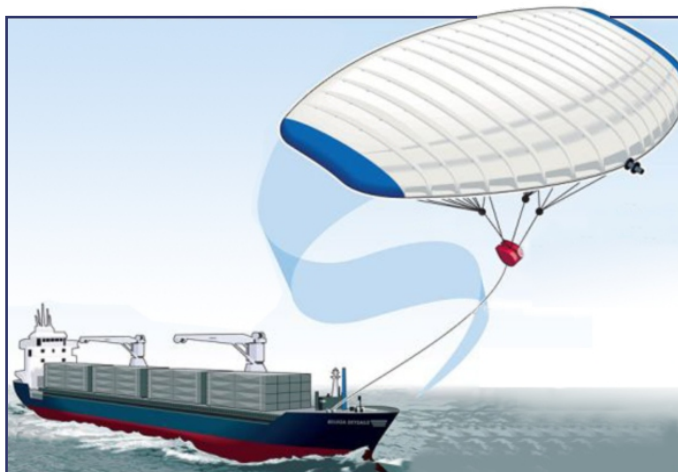
**СУДНОВА ЕНЕРГЕТИКА:
СТАН ТА ПРОБЛЕМИ**

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

ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

СВІТЛІЙ ПАМ'ЯТІ ВІКТОРА МИХАЙЛОВИЧА ГОРБОВА ПРИСВЯЧУЄТЬСЯ



14 листопада 2023 року виповнюється річниця з дня, коли пішов з життя Горбов Віктор Михайлович – завідувач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики НУК імені адмірала Макарова., шанована людина, мудрий педагог, талановитий науковець.

Професійна компетентність Віктора Михайловича визнана як в Україні, так і за кордоном – кандидат технічних наук, професор, академік Академії наук суднобудування України, академік Академії технологічних наук України, Заслужений працівник освіти України; дійсний член Англійського Королівського товариства корабельних Інженерів, чартерний інженер Морської ради Великобританії, дійсний член Інституту морської техніки, науки і технологій Великобританії

Народився 26 травня 1944 року у місті Херсоні. У 1962 році закінчив Херсонський машинобудівний технікум за спеціальністю "Газотурбо-будування" з присвоєнням кваліфікації техніка-механіка. Трудову діяльність розпочав у серпні 1962 р. – за розподілом був прийнятий на роботу техніком конструктором відділу камер згоряння СПБ "Машпроект".

У 1963 році поступив на денне відділення Миколаївського кораблебудівного інституту (МКІ) і у зв'язку з існуючим на той час положенням про практичну підготовку студентів через місяць після початку занять був переведений на вечірню форму навчання і направлений для проходження півторарічної виробничої практики до СПБ "Машпроект", працював слюсарем-складальником редукторів ГТУ. У 1969 році закінчив МКІ з відзнакою за спеціальністю "Турбінобудування" з присвоєнням кваліфікації інженера-механіка. Після закінчення МКІ у 1969 році працював інженером-конструктором на заводі "Червоний Гідропрес" (м. Таганрог),

Наукова робота, трудова діяльність та професійне зростання Віктора Михайловича пов'язані з Миколаївським кораблебудівним інститутом. З 1970 по 1972 рік навчався в аспірантурі при кафедрі турбін. Результат старанного, зацікавленого навчання, та клопітка, натхненна робота увінчалися успішним захистом у 1981 році кандидатської дисертації на тему «Дослідження газодинамічних підшипників з самовстановлюваними сегментами для суднових швидкохідних машин», 1983 р. – отримав вчене звання доцента, 1986 р. – за плідну наукову діяльність і високий професіоналізм Вчена рада МКІ обрала В. М. Горбова деканом машинобудівного факультету. Після реорганізації МКІ Віктор Михайлович був обраний директором Машинобудівного інституту і до 2009 р. обіймав цю посаду.

Тридцять років (з 1993 р.) Віктор Михайлович очолював кафедру суднових енергетичних установок (нині кафедра експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики).

Усю свою багаторічну діяльність Горбов В.М. присвятив підготовці висококваліфікованих спеціалістів. Для колег Віктор Михайлович завжди був зразком високої порядності, лекторської майстерності та плідної науково-педагогічної діяльності. Йому завжди були притаманні відповідальність, сумлінність, вимогливість до себе та розуміння інших, широка всебічна ерудиція. Життєве кредо Віктора Михайловича – золоте правило маралі: «Чини з іншими гак, як бажаєш щоб чинили з тобою».

Розуміючи необхідність постійного оновлення та вдосконалення методів навчання студентів, Віктор Михайлович завжди вів велику навчально-методичну роботу на кафедрі та університеті. Надзвичайно працездатний, глибокого оригінального мислення, безмежної відданості науці, вів плідну наукову діяльність у галузі суднової енергетики.

Серед здобутків – заснування та керівництво науковою школою «Ефективність та екологічність суднових енергетичних установок». На рахунку Віктора Михайловича успішне наукове керівництво та підготовка шести кандидатів технічних наук. У 1994 р. був обраний членом науково-методичної комісії з енергетики МОН України, з 2007 по 2017 рр. був членом НМК МОНУ з транспорту. У 2008 р. обраний академіком Академії наук суднобудування України, з 2005 – академіком Академії технологічних наук України.

Особливу увагу приділяв методичному та матеріально-технічному забезпеченню підготовки спеціалістів з експлуатації суднових енергетичних установок – суднових механіків. В рамках підготовки навчального посібника «Нормативні основи безпечної експлуатації морських суден» ним, у співавторстві, підготовлені у 2021-22 р.р. навчальні посібники з грифом МОНУ «Міжнародна морська організація, класифікаційні товариства», «Стандарти компетентності персоналу морських суден та захист його прав», «Запобігання забрудненню водного середовища з суден».

За ініціативою Горбова В.М. та його безпосередньою активною участю на кафедрі ЕСЕУ та ТЕ створені спеціалізовані аудиторії: «Лабораторія дефектації і ремонту суднових технічних засобів»; «Лабораторія комп'ютерної діагностики»; «Кабінет надання екстреної медичної допомоги на судні»; «Кабінет нормативного забезпечення експлуатації морських суден»; «Кабінет безпеки мореплавства» – укомплектовані сучасним обладнанням.

У доробку професора В. М. Горбова більше 350 наукових праць. Він автор 30 підручників і навчальних посібників з питань проектування та експлуатації СЕУ, серед найбільш відомих, окрім перелічених вище: "Океан и океанотехника" (2010 р., монографія, 436 с.); "Альтернативные топлива в судовой энергетике" (2012 р., монографія, 316 с.); "Енциклопедія суднової енергетики" (2010 р., підручник з грифом МОНУ, 624 с.); "Суднова енергетика та Світовий океан" (2007 р., підручник з грифом МОНУ, 596 с.); "Marine Engineering Encyclopedia" (2017 р., підручник, 200 с.); "Alternative Fuels in Ship Power Plants" (2017 р., монографія, 120 с.); навчальні посібники з грифом МОНУ "Енергетичні палива" (2003 р., 327 с.), "Суднові енергетичні установки" (2002 р., 353 с.), "Судовые установки с газотурбинными двигателями" (1997 р., 233 с.), "Основы технической эксплуатации судовых газотурбинных установок" (1996 р., 139 с.); "Історія створення та розвитку суднових

енергетичних установок" (2023 р. 29 д.а.).

Останній посібник Віктор Михайлович писав під гуркіт канонади і прильоти осколків у вікна квартири, писав самовіддано і натхненно до останніх кроків свого життя...

Наряду з науковою діяльністю знаходив час і можливість для хобі. Разом з Ісааком Уолтоном (книга "Філософія рибалки") вважав, що «Всі люди живуть на березі великої річки часу, і кожен ловить у цій річці свою рибу. Рибалка приносить справжнє задоволення людині, здатній споглядати природу та відчути себе її частиною».

У 2007 р. разом з сином написав та видав книгу «Великолепная триада или все об ухе, шашлыках и раках», яка миттєво розійшлася серед шанувальників такого дозвілля.

Невтомна натура Віктора Михайловича не знала меж: ремонт кафедральних аудиторій, створення зеленого майданчика для відпочинку співробітників на подвір'ї старого корпусу МКІ – всього не перерахувати.

Все вищевикладене є далеко неповною інформацією про те, що йому вдалося зробити за свою трудову діяльність.

Своєю бездоганною працею, широкою ерудицією, глибокою порядністю, інтелігентністю, чутким ставленням до тих, хто поруч, готовністю в будь-яку хвилину прийти на допомогу, Віктор Михайлович заслугував пошану і любов колег і вихованців.

Відійшла у вічність дуже порядна і щира людина, людина з великої букви. Світлий, добрий спомин про Віктор Михайлович назавжди залишиться в серцях тих, хто його знав, любив і шанував, хто жив і працював поряд із ним, чи під його керівництвом. Вічна і світла йому пам'ять!

Бондаренко Микола Степанович
к.т.н., доцент кафедри ЕСЕУ та ТЕ.

UDC 621.4:629.5

CLIMATE-FRIENDLY TECHNOLOGIES IN THE CANADIAN SHIPPING INDUSTRY: CURRENT IMPLEMENTATION AND CHARTING A PATH TO 2030

Volodymyr Lopatnov

New Construction Manager (Canada)

Bureau Veritas (Marine & Offshore)

volodymyr.lopatnov@bureauveritas.com

Abstract: This article talks about the current steps that are being taken and future developments towards a reduction of environmental impact from the maritime industry. It provides a comprehensive overview of new climate-friendly technologies in the Canadian shipping sector, offering valuable insights of industry stakeholders. Although Liquefied natural gas (LNG) is the leading clean fuel solution for ships as of today, battery-powered and electric-hybrid vessels are an increasingly favored solution for smaller ships that travel fixed routes. Fully and partially electric ships, including inland navigation vessels and short-sea ferries, are already operating in North America. Case studies of operational ships with innovative technologies emphasize the industry's commitment to greener solutions. Additionally, the potential of hydrogen as a zero-carbon energy source is examined, resulting in a sustainable maritime future.

Keywords: climate-friendly technologies, liquefied natural gas, electric-hybrid vessels

The International Maritime Organization (IMO) has developed [1] a set of targets for reducing carbon emissions by ships from now until 2050. By 2030, IMO expects vessels to reduce CO₂ emissions by at least 40% per transport work, as compared to 2008 levels. By 2050 the target is a 70% reduction of CO₂ emissions and a minimum of 50% decrease in annual greenhouse gas (GHG) emissions from shipping.

According to [9], to achieve decarbonization goals, innovative propulsion systems need to be introduced onboard ships that will rely on alternative fuels. In parallel, shipowners will need to manage challenges of safety, cost, availability and regulatory requirements.

Ships require a constant energy supply for propulsion and other onboard systems. Fuel requirements and consumption are essential parameters to factor in at the design phase. Adopting alternative fuels will raise important considerations as to the operating profile and architecture of the ship and the need to train crews in their safe storage and use, for instance.

Today, ships can run on the following alternative fuels: liquefied natural gas (LNG), liquefied petroleum gas (LPG), methanol and biofuels. Alternative fuels, which are currently under development, include ammonia and hydrogen.

As per the materials of [9] and [11], liquefied natural gas is the leading clean fuel solution for ships as of today. While LNG produces almost no sulfur oxide (SO_x) or particulate matter emissions and can limit CO₂ emissions by about 20%, it is still a fossil fuel.

Materials of [3] and [4] show that the battery-powered and electric-hybrid vessels are an increasingly favored solution for small ships that travel fixed routes.

Fully and partially electric ships, including inland navigation vessels and short-sea ferries, are already operating in North America. Marine stakeholders have made advancing technology for electric ships a priority, adapting new battery types for marine use, improving battery management systems and increasing battery life solutions. New battery systems can take ships further, reduce emissions, and lower maintenance burdens by optimizing how engines and generators run. A new electric ferry (e-ferry), currently operating at Western Channel in Toronto, was equipped with innovative digital technology that includes an autonomous docking and charging system – a package that pushes battery-powered vessels beyond what's been previously accomplished.

The instantaneous energy of electric-powered vessels also boosts ship performance [9]. Ship safety can be enhanced as well, due to the additional redundancy provided by battery (hybrid) power systems – effectively providing power backup. Other benefits include lower machinery maintenance thanks to optimized running of engines and generators, and lower (or even zero) noise and vibrations.

Currently, in Canadian waters, it is possible to spot an icebreaking hybrid-electric dual-fuel (LNG) expedition cruise ship [10], dual-fuel (LNG) oil/chemical tankers and asphalt carriers, e-ferries, hybrid-electric ferries. Development is ongoing in the fields of hybrid-electric hopper dredgers, next-generation hybrid and battery-powered ferries, LNG bunkering vessels, crewboats, and tugboats.

Materials of [5] state that electricity is also significantly cheaper than marine diesel, optimizing cost efficiency. Advances like solid-state batteries could radically expand maritime applications in the future. And with higher power density, the scope of battery technology application will widen. The demand for revolutionary batteries like these could be vast, but battery manufacturers and ship owners are already setting up partnerships and production to address growing needs.

Renewable produced electricity has a large role to play in the energy transition [6]. Marine stakeholders have begun developing fuel cells – electrochemical cells that convert energy into electricity – as a source of alternative propulsion.

The rise of wind assisted-propulsion – a green, alternative form of marine propulsion – is bringing the shipping industry back to its roots [7, 9]. Rotating sails, kite sails and rigid sails are being installed onboard vessels to improve energy efficiency, reduce reliance on fuel oil and advance the energy transition for ships. While today's sails are primarily used aboard large yachts, industry players are looking to expand the application of sails to cargo and containerships.

Hydrogen is a developing solution for renewably produced zero-carbon energy [12]. Already used in fuel cells for passenger ships, stakeholders are looking to use hydrogen as fuel onboard large, ocean-going ships.

References

1. 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships (available October 2023). <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/2023-IMO-Strategy-on-Reduction-of-GHG-Emissions-from-Ships.aspx>
2. THE SUSTAINABLE FUTURE OF CRUISING (available October 2023) <https://marine-offshore.bureauveritas.com/magazine/sustainable-future-cruising>
3. THE COMING WAVE OF ELECTRIC FERRIES (available October 2023) <https://marine-offshore.bureauveritas.com/magazine/coming-wave-electric-ferries>
4. CHARGING INTO THE FUTURE WITH ELECTRIC POWER SYSTEMS (available October 2023) <https://marine-offshore.bureauveritas.com/magazine/charging-future-electric-power-systems>
5. ELECTRIFYING FLEETS FOR A SUSTAINABLE FUTURE (available October 2023). <https://marine-offshore.bureauveritas.com/magazine/electrifying-fleets-sustainable-future>
6. LOOKING TO THE FUTURE AT THE FLOATING WIND SOLUTIONS CONFERENCE (available October 2023) <https://marine-offshore.bureauveritas.com/magazine/looking-future-floating-wind-solutions-conference>
7. PASSENGER SHIPS AND FERRIES – EXPERTISE, OFFER, ALTERNATIVE FUELS AND TECHNOLOGIES. Materials of Bureau Veritas
8. ALTERNATIVE FUELS OUTLOOK FOR SHIPPING - AN OVERVIEW OF ALTERNATIVE FUELS FROM A WELL-TO-WAKE PERSPECTIVE. White paper of Bureau Veritas
9. BUREAU VERITAS MARINE & OFFSHORE BUSINESS REVIEW 2020. Materials of Bureau Veritas
10. PONANT AND BUREAU VERITAS: PARTNERS FOR SUSTAINABLE CRUISING <https://marine-offshore.bureauveritas.com/magazine/ponant-and-bureau-veritas-partners-sustainable-cruising>
11. DELIVERING THE WORLD'S LARGEST LNG CONTAINERSHIP <https://marine-offshore.bureauveritas.com/magazine/delivering-worlds-largest-lng-containership>
12. BUREAU VERITAS JOINS THE HYDROGEN COUNCIL <https://group.bureauveritas.com/newsroom/bureau-veritas-joins-hydrogen-council>

УДК 621.431.74

IMPROVED METHODS FOR DIAGNOSING ISSUES IN MARINE DIESEL ENGINES TO MEET IMO DECARBONIZATION STANDARDS

R. Varbanets, D. Minchev, I. Savelieva, A. Rodionov, T. Mazur, S. Psariuk, V. Bondarenko, N. Aleksandrovska

Introduction

The International Maritime Organization (IMO) has adopted a series of measures and strategies aimed at reducing greenhouse gas emissions and decarbonizing the maritime industry. The essence of the latest IMO requirements for decarbonizing marine engines is to reduce emissions of carbon dioxide (CO₂) and other greenhouse gases.

In April 2018, the IMO adopted an initial strategy [1] to reduce greenhouse gas emissions from ships, which includes the following main objectives:

- reducing the amount of CO₂ emissions by at least 40% by 2030 and striving for 70% by 2050 compared to 2008 levels;
- reducing the total volume of greenhouse gas emissions from international shipping by at least 50% by 2050 compared to 2008 levels;
- aiming full decarbonization of maritime transport in this century [2].

To achieve these goals, the IMO proposes the use of various technological and operational measures, such as improving the energy efficiency of engines, using alternative energy sources such as liquefied natural gas (LNG) or hydrogen, and encouraging innovation in new technologies that enhance the efficiency of marine engines [1, 2].

Performance analysis and diagnostics of marine engines are essential for improving operational efficiency and decarbonization of marine engines. During performance analysis, key parameters such as MIP, IPower, Pmax, Pcomp, etc., are determined, analyzed, compared with sea trial data, and adjusted according to the chosen operational strategy.

Various diagnostic systems from different manufacturers are used for conducting performance analysis, such as Premet® XL by LEHMANN & MICHELS GmbH, Doctor Analysis by Icon Research Ltd., EPM-XPplus by IMES GmbH, MarPrime by Maridis GmbH, and D4.0H by Depas Lab. (ONMU) [3]. However, it should be noted that even the most advanced systems only determine a small portion of the parameters required for accurate and quality diagnosis of the critical components of the engine.

To expand the volume of analyzed information, a digital twin of the engine, such as Blitz-PRO [4], can be used. The digital twin is an advanced online model that is precisely tuned to the engine using data obtained from diagnostic systems. The digital twin allows for analyzing a wide range of parameters, thus enabling qualitative and reliable diagnosis of the technical condition of the engine components and monitoring emissions in accordance with the current requirements of the International Maritime Organization (IMO) [1, 2].

The safe operation of a vessel and its compliance with the latest International Maritime Organization (IMO) standards for decarbonization depend on the continuous and reliable operation of main and auxiliary engines. Such conditions can be ensured through periodic performance analysis and diagnostics of the engine's key components responsible for the quality of the working process. Performance analysis allows for optimizing the operation of cylinders, evenly distributing the load between them, and timely identifying dangerous trends in the engine's technical condition. Parameter analysis also helps reduce the overall vibration levels of the engines, achieve fuel consumption close to the rated values, and improve the overall energy efficiency of the vessel in accordance with IMO requirements.

Some defects can be identified through the analysis of indicator diagrams $P(^{\circ}CA)$ and the main parameters of the working process calculated from them, such as Pmax, Pcomp, MIP, ignition angles, and fuel ignition delay periods. Examples of such defects can include deviations in MIP, Pmax, or end compression pressure, as well as increased ignition delay periods, and others.

The analysis of one of the most typical defects in cylinder operation - reduction in end compression pressure (Pcomp) - is associated with ambiguities. The reduction in Pcomp can be caused by several diverse reasons, such as wear of cylinder liners, wear, breakage, and/or sticking of piston rings, valve leakage, or malfunctioning valves timing. All these causes will result in the same consequence - a decrease in the parameter Pcomp, followed by Pmax and MIP [3]. Thus, the true cause of the defect may remain uncertain.

Similarly, to the defect of decreased Pcomp, some other defects that manifest on the $P(^{\circ}CA)$ diagrams can be caused by various reasons. A typical example is malfunctions in the high-pressure fuel equipment operation. These defects often occur during continuous engine operation. For example, late combustion process, which is determined by the phases of fuel ignition points on the $P(^{\circ}CA)$ diagram, can be a result of late fuel injection and/or wear of precision components in the high-pressure fuel equipment, leading to a decrease in fuel pressure before the injectors at the moment of injection. Therefore, determining operational defects based solely on the analysis of $P(^{\circ}CA)$ diagrams may not be accurate.

Measurements and analysis of diagrams in the high-pressure fuel system before the injectors could provide comprehensive diagnostic information. However, such measurements do not comply with the strategy of non-destructive testing and cannot be carried out on marine engines in operational conditions due to the risk of fuel leaks when installing high-pressure sensors. Such

measurements using non-standard devices are prohibited by most marine certification societies [5, 6].

An alternative to direct measurements is the use of vibration sensors on a magnetic platform. Such sensors can be quickly installed in a chosen location, reducing the overall measurement time and allowing for quasi-stationary engine operation conditions. Vibration diagrams and P(°CA) diagrams should be recorded in parallel and analyzed together. The proposed method is suitable for analyzing defects in the high-pressure fuel equipment and the gas distribution mechanism. The use of magnetic vibration sensors fully complies with the modern strategy of non-destructive testing of marine engines.

The P(°CA) diagrams and vibration diagrams, initially recorded as functions of time, are transformed into functions of crankshaft angle using an analytical algorithm for determining TDC: P(t, ms) -> P(°CA) [3, 6].

Conclusion

The analysis of emissions concentrations of CO₂, NO, and soot during advanced marine diesel engine diagnostics using the D4.0HT system and Blitz-PRO online service showed that earlier fuel injection timing resulted in decreased CO₂ specific emissions and soot, but increased concentration of nitrogen oxides (NO). These findings suggest that careful consideration of fuel injection timing can influence emissions performance in accordance with current IMO requirements. Numerical analysis of these values can aid in the selection of an appropriate operational strategy that takes into account current IMO requirements, engine power, and fuel consumption rate, thereby optimizing engine performance and emissions control.

References

1. *IMO Strategy on reduction of GHG emissions from ships*, International Maritime Organization [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/IMO-Strategy-on-reduction-of-GHG-emissions-from-ships.aspx> . – 04.07.2023.
2. *ANNEX 11. Resolution MEPC.304(72) Initial IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships*, International Maritime Organization, URL: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.304\(72\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.304(72).pdf) (date of access: 04.07.2023).
3. Minchev D. *Marine Diesel Engines Operating Cycle Simulation for Diagnostics Issues* / D. Minchev, R. Varbanets, N. Aleksandrovska, L. Pisintsaly // *Acta Polytechnica*.-2021.-vol. 3, №61.- P. 428–440. doi:10.14311/AP.2021.61.0435.
4. Minchev, D. *Blitz-PRO User's manual* [Electronic resource] / D. Minchev. – Access mode: <http://blitzpro.zeddmalam.com/application/index/signin> – 04.07.2023.
5. Yeryganov O. *Features of the fastest pressure growth point during compression stroke* / O.Yeryganov, R. Varbanets // *Diagnostyka*.- 2018.-vol. 19, №2.- P. 71-76. doi:10.29354/diag/89729.
6. Neumann S. *Vibrodiagnostics of marine diesel engines in IMES GmbH systems* / S. Neumann, R. Varbanets, D. Minchev, V. Malchevsky, V. Zalozh // *Ships and Offshore Structures*.-2022.-P.1-12. doi: 10.1080/17445302.2022.2128558.

Roman Varbanets – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department “Ship Power Plants and Technical Operation”, Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine, e-mail: roman.varbanets@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-6730-0380>

Dmytro Minchev - Doctor of Technical Sciences, Department “Ship Power Plants and Technical Operation”, Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine, e-mail: misaidima@gmail.com , <http://orcid.org/0000-0002-5960-3063>

Iryna Savelieva - Doctor of Economic Sciences, Professor, Department “Commerce in transport processes”, Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine, e-mail: savirina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6492-2130>

Andriy Rodionov - PhD student of the Department "Ship Power Plants and Technical Operation", Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine, e-mail: andrei.a.rodionov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-0038-4810>

Tetiana Mazur- PhD student, senior lecturer, “Department of ship power plants and systems”, Danube Institute of the National University "Odesa Maritime Academy", Izmail, Ukraine, e-mail: mazur@dinuoma.com.ua, <https://orcid.org/0009-0008-7816-145X>

Sviatoslav Psariuk – Superintendent of the Shipping Company “TRANSSHIP LTD”, Odesa, Ukraine, e-mail: s.psar1224@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9075-7546>

Vyacheslav Bondarenko - PhD student of the Department "Ship Power Plants and Technical Operation", Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine, e-mail: reversdialogov@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-1956-0588>

Nadiia Aleksandrovska - Candidate of Technical Sciences, Department “Ship Power Plants and Technical Operation”, Odessa National Maritime University, Odesa, Ukraine, e-mail: a.Nadegda@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-6730-0380>

УДК 621.6

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Чередніченко О.К.

Доктор технічних наук

Професор кафедри Експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національний Університет Кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна
oleksandr.cherednichenko@nuos.edu.ua

Личко Б.М.

Кандидат технічних наук

Завідувач кафедри Експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національний Університет Кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна
bogdan.lychko@nuos.edu.ua

Анотація. Проведено аналіз сучасного стану світового комерційного флоту та світового суднобудування. Розглянути питання постачання суднового енергетичного обладнання в умовах «складальних верфей». Приділено увагу розгляду шляхів підвищення енергоефективності суден, та аналізу причин які стримують глобальне застосування новітніх технічних рішень або розповсюдженню вже існуючих на велику кількість типів суден.

Ключові слова: суднова енергетична установка, енергозберігаючі технології, енергоефективність судна

Сучасний стан світового комерційного флоту.

За даними Міжнародної палати судноплавства (Велика Британія), понад 90% світової торгівлі товарами здійснюється морем. За даними United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD) [1] на 01.01.2023 сучасний світовий флот складається з 118 928 торговельних суден загальною валовою місткістю (далі, у 1000 gt) 1 479 783. З цього флоту 4,64% або 5 517 суден є контейнеровозами, тоді як 12,03% або 14 309 суден є нафтовими та хімічними танкерами. На контейнеровози припадає валовий тоннаж 265 892 (17,97%), тоді як хімічні танкери покривають валовий тоннаж 375 220 (25,36%).

За останні роки тоннаж значно зріс у всіх сегментах, окрім перевезень генеральних вантажів. Особливо стрімко зросли замовлення на балкери. З 2012 по 2022 рік їх частка в

загальній вантажопідйомності зросла з 41 до 43 відсотків, тоді як частка нафтоналивних танкерів скоротилася з 30 до 29 відсотків, а частка суден для перевезення генеральних вантажів з 5 до 4 відсотків.

Станом на січень 2023 року на п'ять найбільших економік судновласників разом припадало 53 % тоннажу світового флоту. Частка ринку Греції становила 18 %, Китай – 13%, Японія – 11%. Половина світового тоннажу належить азіатським компаніям. Власники з Європи становили 39%, а власники з Північної Америки – 6%. Багато комерційних суден зареєстровані під прапором, який не відповідає національності власника судна. Панама залишається найпопулярнішою державою прапора (350 мільйонів дедвейту), за нею йдуть Ліберія (335 мільйонів дедвейту), Маршаллові Острови (290 мільйонів дедвейту), Гонконг і Сінгапур.

Сучасний стан світового суднобудування.

95 % світового суднобудування припадає на Китай (49 %), Південну Корею (38 %) та Японію (8 %). Виробництво в Європі стабілізувалося на рівні 2,5 млн компенсованої валової місткості (CGT) і складає 8 % частки світового ринку завдяки замовленням на круїзні лайнери. Серед замовлень у 2022 році домінували танкери LNG (рекордні 182 судна, 36 % CGT), контейнерні судна (350 суден, 29 % CGT) та автомобілевози (69 суден, 2,4 % CGT)¹. FPSO (Floating Production, Storage and Offloading) і платформи з вітряними турбінами також показали хороші результати. Незважаючи на покращення чартерних ринків, замовлення танкерів впали на 64 %, а балкерів – на 54 %. За прогнозами аналітиків збільшення замовлень на танкери LNG буде продовжуватися.

За даними [2] сучасне суднобудування має лише 131 «велику» активну верф (у 2009 році їх було 320), тому потужність суднобудівної галузі приблизно на 40 % нижча, ніж дванадцять років тому. За прогнозами [2] передбачається лише помірне або незначне збільшення потужності в середньостроковій перспективі. Хоча довгострокові тенденції вказують на подальший прогрес з оновлення флоту, (вік флоту збільшується), 2024 рік матиме свої маркетингові виклики для верфей: макроекономічний ризик є суттєвим і впливає на настрої інвесторів, вибір альтернативного палива залишається складним, а ціни на новобудови та довгостроковий портфель замовлень є перешкодою для деяких власників.

Суднобудівна промисловість – це галузь, яка потребує сотні видів обладнання та матеріалів² та значною мірою покладається на ресурси, що постачаються іншими галузями промисловості (постачальники компонентів і матеріалів та субпідрядники, що надають різні види послуг). За даними Організації економічного співробітництва та розвитку (OECD) це складає приблизно від 70 до 80 % кінцевої вартості виробництва суден. Якість обладнання та матеріалів пов'язана з сучасним рівнем розвитку техніки і технологій, а також з політичними, соціальними, зовнішньоекономічними та іншими аспектами. У той час як у минулому верфі часто відповідали за виробництво більшості основного обладнання, сьогодні зовнішні джерела постачання охоплюють майже всі етапи суднобудування, що призвело до розвитку так званих «складальних верфей» [3]. В зв'язку з цим, що в базі даних зовнішніх постачальників товарів та послуг може фігурувати від 1000 до 2500 компаній, географія постачань дуже велика. За даними [4] Європейський Союз (ЄС) був найбільшим у світі постачальником морського обладнання (включаючи послуги) експортуючи в середньому 24 % загальної вартості продукції за межі ЄС. Загалом ЄС та Японія посідають лідируючі позиції у цьому сегменті світовій торгівлі.

Суднова енергетика як торговий сегмент постачання судового обладнання.

Ефективність будь-якого транспортного судна у значній мірі залежить від характеристик пропульсивного комплексу та судової енергетичної установки (СЕУ), яка є частиною багаторівневої ієрархічної структури судна. На ринку морських дизельних

¹ <https://insights.clarksons.net/2022-shipbuilding-review/>

² Наприклад, судна збираються приблизно з 550 000 частин у випадку складного дослідницького судна або 900 000 частин для круїзних лайнерів (SEA Europe, 2017).

двигунів, найбільшому торговому сегменті морського обладнання, морський сектор ЄС³ зафіксував чистий експорт у розмірі 12,9 мільярдів доларів США (2019 - 2020 рр.), що робить його найбільшим експортером. ЄС також є лідером на світовому експортному ринку морських турбін, гвинтів і лопатей. За даними SEA Europe [5], між 2012 і 2016 роками в компаніях постачальниках морського обладнання в країнах-членах ЄС працювало близько 346 тис. осіб. Китай значною мірою залежить від імпорту суднових дизельних двигунів, а також гвинтів і лопатей і має значний дефіцит торгівлі цими продуктами. Корея є імпортером товарів та послуг, за винятком суднових дизельних двигунів. Сполучені Штати підтримують баланс між експортом та імпортом морських дизельних двигунів, турбін, гвинтів і лопатей.

Наразі Європа є найбільшим світовим виробником і постачальником передового морського обладнання, систем і технологій. Це може бути пов'язано з постійними інвестиціями сектора у висококваліфіковану робочу силу, а також у дослідження, розробку та інновації. Європа займає сильні позиції щодо виробництва обладнання та створення технологій і технічних рішень для суднових двигунів, котлів, насосів, скрубєрів, систем очищення баластних вод та інше.

Коефіцієнт самозабезпеченості Японії морським обладнанням становить близько 87 %. Значна частина морського обладнання зробленого в Японії експортується за кордон.

Корейські суднобудівники значною мірою покладаються на імпорт обладнання, пов'язаного з екологічними технологіями, але закуповують близько 90 % свого морського обладнання всередині країни.

Китай все ще значною мірою покладається на імпорт з ЄС, Кореї та Японії у питаннях постачання високотехнологічних продуктів, таких як високоякісні дизельні двигуни, силові установки, комунікаційне та навігаційне обладнання.

Шляхи підвищення енергоефективності суден.

Судновласники, оператори та суднобудівники все частіше вимушені використовувати «зелені» технології для дотримання екологічних правил і норм. Заходи Міжнародної морської організації (ІМО), спрямовані на скорочення викидів парникових газів (GHG) та зменшення забруднення навколишнього середовища морським транспортом суттєво впливають на ринок морського обладнання.

Починаючи з 1 січня 2023 року, набули чинності три нові директиви ІМО безпосередньо спрямовані на конструкції суднового обладнання. Впровадження енергозберігаючих технологій відбувається поступово, але з початку 2025 року планується посилити вимоги до викидів на 30 % [4]. Набрання чинності «короткострокових заходів» ІМО є надзвичайно важливою віхою на шляху декарбонізації судноплавства та одночасно є ринковим «джокером».

Зменшення швидкості суден є найпростішим підходом до скорочення викидів, але судновласники також можуть схилитися до використання енергоефективних технологій. Комерційна цінність суден, які побудовані за інноваційними технологіями, відображає масштаб витрат, вкладених у застосування перспективних техніко-економічних рішень. Судновласники високотехнологічних суден повинні окупити ці інвестиції за допомогою посиленних заходів ефективності для покриття як змінних, так і постійних операційних витрат. З 2011 року флот старів, частково через невизначеність судновласників щодо напрямку технологічного прогресу та вибору найбільш економічно привабливого палива з огляду на нормативну невизначеність і коливання цін на викиди. Однак кардинальні зміни прискорюють впровадження енергоефективних технологій у відповідь на посилення вимог, спрямованих на зменшення впливу судноплавства на навколишнє середовище.

Викиди CO₂ від сектору судноплавства становлять ≈18 % загальних викидів світового транспорту. У нормативних документах ІМО прямо зазначено, що використання інноваційних енергозберігаючих технологій підвищує енергоефективність судна [6]. Однак

³ До його складу входить 14 країн ЄС, а також Туреччина та Норвегія.

зростання вартості та страхового покриття створює проблеми з іншого боку спектру енергоефективних рішень. В основі рішень, які спрямовані на зниження внеску морських перевезень у глобальні викиди CO₂ на 2, 3% (855 млн тон) передбачений безпрецедентний перехід на альтернативні палива з низьким вмістом вуглецю. У 2022 році 61 % замовленого тоннажу (35 % за кількістю суден) передбачає використання альтернативних палив. Важливо зазначити, що різниця між традиційним і альтернативним паливом часто є суб'єктивною і може швидко змінюватися, оскільки паливо яке в даний час є альтернативним, стане традиційним у майбутньому. Lloyd's Register, авторитетне класифікаційне товариство, вважає легке паливо MDO/MGO і важке паливо з різним вмістом сірки (HFO/LSHFO) традиційним судновим паливом [7]. Інші види палива, такі як, наприклад, широко використовуваний скраплений природний газ (LNG), класифікуються як альтернативні. Більше половини замовленого тоннажу (397 замовлень, 36,7 млн. GT) передбачає використання LNG в двохпаливних системах, для 7,0 % замовлень в якості основного палива прийнятий метанол (43 замовлення, 5,0 млн. GT), для 1,1 % це LPG (17 замовлень, 0,8 млн. GT). Установки гібридного типу з паливними елементами склали 1,2%. До використання у якості палива аміаку були «готові» 10,8 % замовлень (90 замовлень, 7,7 млн GT), а до використання водневих технологій 0,1 % замовлень. При цьому, в даний час більшість альтернативних видів палива коштують значно дорожче, ніж традиційні, і поки що не є економічно вигідними [8].

Окрім обладнання, пов'язаного з використанням альтернативного палива, енергозберігаючі технології EST (Energy Saving Technologies) переживають стадію дослідження та розгортання пілотних проектів, з очікуваним збільшенням впровадження в майбутньому.

Відповідно до звіту «Global Marine Technology Trends 2030» [9], зусилля з декарбонізації впливають на інновації та розвиток морських технологій через три ключові напрями:

- Поступове вдосконалення вже існуючих технологій, наприклад таких як пропульсивна установка з більш ефективним малообертовим дизельним двигуном;
- нове енергетичне обладнання та схеми силових установок, наприклад такі як гібридні силові установки;
- Більш широке використання та комерціалізація нових інноваційних технологій, наприклад, таких як повітряне змащування корпусу або вітрильний рух.

Гібридні силові установки, які об'єднують різні джерела живлення та накопичувачі енергії відносяться до інноваційних технологій підвищення енергоефективності суден. У цьому секторі працюють такі провідні компанії, як ABB, BAE Systems, Caterpillar, General Electric, MAN, Mitsubishi, Rolls-Royce, SCHOTTEL, Siemens і Wartsila. Гібридні установки зараз розглядаються як перспективне рішення для невеликих та прибережних суден, таких як пороми, буксири та офшорні. Найбільше розповсюдження ця технологія отримала в Данії, де є близько 52 діючих поромів, оснащених гібридною енергетичною установкою [10]. До 2050 року Данія має на меті відмовитися від викопного палива.

Приблизно 4700 суден (360 млн GT) оснащені скруберами SO_x. Незважаючи на те, що протягом 2019 року під час підготовки до втілення вимог IMO 2020 кількість скруберів SO_x швидко зросла, встановлення обладнання значно сповільнилося з 2020 року, незважаючи на підвищення надбавки до ціни на LSFO порівняно з HSFO. У середньостроковій та довгостроковій перспективі існує ймовірність того, що системи уловлювання та зберігання вуглецю (скрубери CO₂) стануть все більш привабливими як можливе рішення для зменшення викидів оксиду вуглецю. Однак, незважаючи на те, що в 2022 році було здійснено серію невеликих систем зі скруберами CO₂, ця технологія залишається на пілотній стадії з високими витратами та низькими показниками та наразі не є комерційно чи технологічно

У таблиці 1 наведено огляд основних типів обладнання EST, у яке інвестують власники суден, а також оцінки економії палива. Дані Всесвітнього реєстру флоту [11] показують, що понад 5000 суден мають значний вплив EST (порівняно з приблизно 3000 у 2017 році), 24% світового тоннажу оснащено енергозберігаючими технологіями.

Таблиця 1. Основні типи обладнання EST⁴

Група обладнання	Назва технології (мова оригіналу)	Зниження витрати палива	Кількість суден (діючий флот та портфель заказів)
Пропульсивний комплекс	Propeller Duct	3-8%	>1,854
	Preswirl Stator	4-6%	>360
	Rudder Bulb	3-5%	>1,306
	Wake Equalizing Duct	6-10%	>392
	Propeller Boss Cap Fin	2-5%	>733
Обладнання машинного відділення	Waste Heat Recovery	3-8%	>105
	Exhaust Gas Economiser	4-6%	>2,091
Корпус судна	Air Lubrication System	5-10%	>233
	Bow Enhancement	4-10%	>993
	Hull Fin	2-5%	>409
Палубне обладнання	Flettner Rotors	7-10%	>18
	Rigid Sail	8-30%	>8
	Wind Kite	Up to 20%	>2
	Solar Sail	Up to 20%	>1

Дослідження характеристик сучасних суден з використанням ключових параметрів ефективності [12] показує, що різноманіття функціональних завдань, покладених на морські судна, формує необхідність спеціалізації. Це, в свою чергу, вимагає врахування цільової функції судна, особливостей його експлуатації та інших факторів при визначенні пріоритетності впровадження перспективних технологій EST.

Аналіз застосування розглянутих енергоефективних технологій для різних типів суден показує, що частина EST не підходить для умов низьких проектних швидкостей судна, що викликає питання відносно доцільності їх застосування для таких типів суден, як танкери та балкери. Технології, які пов'язані з високими капітальними витратами, більше підходять для високоцінних активів (наприклад, офшорні судна, круїзні лайнери). При цьому мова йде про інвестиції в технології, які власники повинні повернути за рахунок вдосконалення заходів щодо підвищення ефективності, з метою покриття змінних і постійних витрат в процесі експлуатації.

⁴ Source: Adapted from Clarksons Research, 2022

Висновки

Перспективні технології підвищення енергоефективності суден можуть бути як подальшим удосконаленням існуючих підходів, так і принципово новітніми рішеннями. Можливість застосування тієї чи іншої технології пов'язана з типом судна. Існує дві головні причини, які стримують глобальне застосування новітніх технічних рішень або розповсюдженню вже існуючих на велику кількість типів суден. Це технічна сумісність та комерційна сумісність, які характеризують вплив технічних та фінансових обмежень на можливість застосування перспективних технологій.

Література

1. <https://hbs.unctad.org/merchant-fleet/> (accessed 1 October 2023).
2. <https://unctadstat.unctad.org/EN/Index.html> (accessed 1 October 2023).
3. Mello, M., Strandhagen, J. O. and Alfnes, E. (2015). The role of coordination in avoiding project delays in an engineer-to-order supply chain, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 26, 429-454. <https://dx.doi.org/10.1108/JMTM-03-2013-0021>.
4. ANALYSIS OF THE MARINE EQUIPMENT INDUSTRY AND ITS CHALLENGES. Organisation for Economic Co-operation and Development. C/WP6(2022)15/FINAL. 19 January 2023.
5. SEA Europe. (2019). SEA Europe calls for a dedicated sectoral strategy for the maritime technology sector (A LeaderSHIP 2030 Strategy) [Press Release]. <https://www.seaeurope.eu/images/files/181/660/346027/3660/4/Leadership%202030%20executive%20summary%20final%20version%2018.10.2019.pdf>
6. IMO Train the Trainer (TTT) Course on Energy Efficient Ship Operation. Module 2 – Ship Energy Efficiency Regulations and Related Guidelines. Retrieved from: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/Air%20Pollution/Documents/Air%20pollution/M2%20EE%20regulations%20and%20guidelines%20final.pdf>.
7. Global Marine Fuel Trends 2030 [Электронный ресурс]: http://discovery.ucl.ac.uk/1472843/1/Global_Marine_Fuel_Trends_2030.pdf.
8. Gartland N and Pruyn J (2022) Marine Biofuels Costs and Emissions Study for the European Supply Chain Till 2030. *Front. Energy Res.* 10:894555. doi: 10.3389/fenrg.2022.894555
9. Lloyd's Register, Qinetiq and University of Strathclyde. (2015). *Global Marine Trends 2030* [Report]. <https://www.lr.org/en/insights/global-marine-trends-2030/global-marine-technology-trends-2030/>
10. Marine Battery Market Size Global Report, 2022 – 2030 <https://www.polarismarketresearch.com/industry-analysis/marine-battery-market>
11. Clarksons Research. (2022). Fuelling Transition: Tracking the Economic Impact of Emission Reductions & Fuel Changes 2022
12. Bazari, Z. Ship energy performance benchmarking/rating: methodology and application / Z. Bazari // *Journal of Marine Engineering & Technology*. – 2007. – Vol. 6, № 1. – P. 11–18. DOI: 10.1080/20464177.2007.11020197.

CURRENT STATUS AND WAYS OF IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF SHIP POWER PLANTS

Cherednichenko O.K.

d.t.s., prof. of the Department of Ship Power Plants Operation and Heat Power Engineering
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Lychko B.M.

Head of the Department of Ship Power Plants Operation and Heat Power Engineering
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. This article addresses the issue of the current state of the world commercial fleet and world shipbuilding has been carried out. Attention is paid to the consideration of ways to increase the energy efficiency of ships, and to the analysis of the reasons that prevent the global application of the latest technical solutions or the spread of already existing ones to a large number of types of ships.

Keywords: ship's power plant, energy-saving technologies, ship's energy efficiency

УДК 621.181

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ І КОМПАКТНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ІНТЕНСИФІКАЦІЮ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ В ЇХ ЕЛЕМЕНТАХ

Кузнецов В.В.

кандидат технічних наук,

доцент кафедри Технічної теплофізики і суднових паровиробних установок

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна, valeriy.kuznetsov@nuos.edu.ua

Анотація. Представлені результати роботи по підвищенню ефективності і компактності енергетичних установок шляхом інтенсифікації теплопередачі в їх теплопередавальних елементах. Сформульовані проблема, цілі, предмет та об'єкт дослідження. Представлені основні результати.

Ключові слова: енергетична установка, теплопередавальний елемент, тепловіддача, теплообмінний апарат, ефективність

Підвищення ефективності транспортних та стаціонарних енергетичних установок здійснюється за рахунок вдосконалення процесів перетворення теплоти і маси в їх елементах. Ці процеси визначаються законами термодинаміки, гідрогазодинаміки, тепломасообміну і впливають на ефективний ККД, рівень теплових та шкідливих викидів, ресурс та компактність установок. Значний вплив на ці показники мають їх теплообмінні апарати як елементи енергетичних установок.

Вдосконалення суднових енергетичних установок та зростання масогабаритних показників теплообмінних апаратів у зв'язку з цим викликало необхідність розробки і впровадження науково-технічних рішень інтенсифікації процесів переносу теплоти і маси в цих апаратах для комплексного поліпшення їх економічних, екологічних, ресурсних і масогабаритних характеристик і забезпечення зменшення споживання палива та емісії шкідливих речовин.

Розглянувши сучасний стан підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів та зменшення теплових і шкідливих викидів відпрацьованих газів в судновій енергетиці, можна зробити висновок про відсутність результатів і рекомендацій щодо інтенсифікації процесів переносу теплоти і маси за умов компактності їх теплообмінних апаратах та створення на їх основі обладнання з поліпшеними економічними, екологічними, ресурсними і масогабаритними показниками.

Одним із перспективних напрямів інтенсифікації процесів переносу в теплообмінних апаратах є погодження форми і площі поверхонь при конвективному переносі теплоти і маси в елементах енергетичних установок. Це погодження базується на використанні внутрішньої і зовнішньої форм поодиноких каналів при заданих розмірах та їх просторовому розташуванні у пучках. Суттєвою відмінністю таких пучків теплопередавальних поверхонь буде забезпечення переважаючого зростання теплопередачі над зростанням гідродинамічного опору на її забезпечення. Це дасть можливість створення на їх основі компактних теплообмінних апаратів для реалізації підвищених теплових потоків.

Науково-прикладною проблемою є підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів та зменшення теплових і шкідливих викидів відпрацьованих газів суднових енергетичних установок шляхом раціональної організації перетворення енергії за рахунок погодження форми і площі поверхонь при конвективному переносі теплоти і маси в їх елементах.

Мета дослідження – вдосконалення енергетичних установок шляхом інтенсифікації процесів конвективного переносу теплоти і маси в їх теплообмінних апаратах та створення на їх основі обладнання з поліпшеними економічними, екологічними, ресурсними і масогабаритними показниками.

Об'єктом дослідження є процеси енергоперетворення при конвективному переносі теплоти і маси в теплопередавальних елементах суднових енергетичних установок та їх характеристики.

Предметом дослідження є закономірності та параметри процесів енергоперетворення при конвективному переносі теплоти і маси в елементах суднових енергетичних установок та їх вплив на ефективність, економічні, екологічні, ресурсні і масогабаритні показники цих установок.

Методи дослідження: математичне моделювання процесів конвективного перенесення теплоти і маси в теплопередавальних елементах енергетичних установок; аналіз і синтез при узагальненні наявних даних на базі фундаментальних рівнянь перенесення теплоти і маси; співставлення розрахункових і експериментальних результатів для верифікації і валідації математичної і фізичної моделі; системний аналіз для технічних рішень теплопередавальних елементів енергетичних установок.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, результатів та висновків базується на використанні фундаментальних законів термодинаміки, гідрогазодинаміки і тепломасообміну, системи балансових рівнянь збереження кількості руху, енергії і маси. Достовірність результатів розрахунків по вдосконаленим математичним моделям забезпечена припустимою розбіжністю з експериментальними даними інших дослідників.

В результаті проведених досліджень отримані наступні наукові результати.

1. Доведено, що в суднових енергетичних установках присутні резерви, які дозволяють при проміжному охолодженні, регенерації та утилізації теплоти робочого тіла підвищити їх ККД відповідно до 3, 5 та 3% абсолютних за рахунок зниження енергетичних втрат в процесах конвективного перенесення теплоти завдяки їх вдосконаленню за умови, що співвідношення підведеної теплоти в цикл к витратам енергії на переміщення теплоносіїв складає до 1,08; 1,13 та 1,06 відповідно.

2. Для суднових енергетичних установок покращення показників до 5% економічності, 11% теплових викидів, 5% шкідливих викидів, 7% ресурсних і 20% масогабаритних досягається при застосуванні термогазодинамічної інтенсифікації сукупних процесів конвективного переносу теплоти і маси за рахунок використання еліптичних пучків труб з орбренням, профільованими лунковими системами, що є найбільш прийнятним напрямком у порівнянні з існуючими.

3. Обґрунтовано, що зниження масогабаритних показників суднових енергетичних установок досягається шляхом використання утилізаційних котлів суднових дизельних та утилізаційних котлів і регенераторів газотурбінних енергетичних установок з компактність на рівні $0,054...0,057 \text{ м}^3/\text{кВт}$, що досягається використанням гладких еліптичних труб із співвідношенням осей $a/b=2,4...2,6$.

4. Показано, що підвищення ефективності перенесення теплоти на 24...31 % в суднових утилізаційних котлах дизельних та утилізаційних котлах і регенераторах газотурбінних установок досягається використанням еліптичних гладких пучків при їх щільній компоновці зі співвідношенням поперечних і повздовжніх кроків $S_1/d_{\text{екв}}=1,1...1,4$ і $S_2/d_{\text{екв}}=1,5 \dots 1,9$ у порівнянні з пучками гладких круглих труб

5. Доведено, що подальше підвищення ефективності перенесення теплоти до 36% в суднових утилізаційних котлах дизельних та утилізаційних котлах і регенераторах газотурбінних установок досягається додатковим використанням лункових систем на ребрах зі співвідношенням висоти лунки H до її діаметру d $H/d = 0,125 \dots 0,5$ для спіральнострічкового оребрення та $H/d = 0,1 \dots 0,3$ для плоского оребрення еліптичних труб з послідовним розташуванням лунок у порівнянні з результатом 4.

6. Забезпечення комплексу економічних, екологічних, ресурсних і масогабаритних показників енергетичних установок сучасним вимогам обґрунтовується подальшим розвитком методу тривимірного моделювання термогазодинамічних процесів в їх теплообмінних апаратах при зовнішньому обтіканні пучків труб з профільованими теплопередавальними поверхнями різної форми.

INCREASE OF POWER PLANTS EFFICIENCY AND COMPACTNESS BY INTENSIFICATION OF HEAT TRANSFER IN ITS ELEMENTS

Kuznetsov V.V.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The results of work to improve the efficiency and compactness of power plants by intensifying heat transfer in their heat transfer elements are presented. The problem, goals, subject and object of research are formulated. The main results are presented.

Key words: power plant, heat transfer element, heat transfer, heat exchanger, efficiency

УДК 629.5:378

ЕТАПИ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ ФАХОВОЇ МОРСЬКОЇ ПЛАТФОРМИ OTG OLP ТА ПРИРОДНИЧО-НАУКОВОЇ LABSTER В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС ХЕРСОНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ МОРСЬКОЇ АКАДЕМІЇ

Чернявський В.В. д-р пед. наук, професор, ректор Херсонської державної морської академії, м. Херсон, Україна,

Акімов О.В. канд. техн. наук, доцент, декан факультету суднової енергетики Херсонської державної морської академії, м. Херсон, Україна (akimoffsasha@gmail.com)

Носов П.С. канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри інноваційних технологій та технічних засобів судноводіння Херсонської державної морської академії, м. Херсон, Україна

Анотація: Представлені основні етапи імплементації спеціалізованої фахової морської платформи OLP OTG та природничо-наукової платформи Labster у освітній процес Херсонської державної морської академії від час дистанційного навчання у умовах воєнного стану в Україні. Застосування зазначених платформ у освітній процес сприяє якісній підготовці курсантів ХДМА до відбору на практику у провідні судноплавні компанії.

Ключові слова: дистанційне навчання, платформи, Ocean Technology Groupe (OTG), Ocean Learning Platform (OLP), Labster

Реалії сьогодення це виклик для багатьох переміщених вищих навчальних закладів в Україні щодо впровадження інноваційних спеціалізованих дистанційних освітніх платформ на рівні сучасності у відповідності до вітчизняних та міжнародних норм.

Наразі ХДМА розпочала новий навчальний рік і ми розуміємо, що це вже третій навчальний рік, який доводиться проводити в умовах воєнного стану. У минулому році задля забезпечення кваліфікованої підготовки здобувачів освіти, ХДМА заключила відповідні

договори, що передбачали імплементацію нових web-платформ в сучасну морську освіту нашого закладу.

Сьогодні ми вже маємо досвід відносно впровадження та адміністрування платформ OTG OLP (Ocean Technology Groupe / Ocean Learning Platform – <https://app.oceantg.com/>) та Labster (<https://www.labster.com/>) у освітній процес (Рис. 1).



Рис. 1

Слід зазначити, що у минулому навчальному році впровадження платформи OTG OLP у освітній процес відбувалось на рівні ініціативи, що коливалось у межах 65 % результативності з 439 осіб. Звісно, що такі показники не можуть нас влаштовувати і тому вже на період відбору курсантів другого курсу на плавальну практику до компанії Marlow Navigation та інших компаній-партнерів ХДМА, близько 80-90 % з них, цілеспрямовано проходили курси із безпеки та живучесті судна, а також спеціалізовані фахові (Рис. 2).

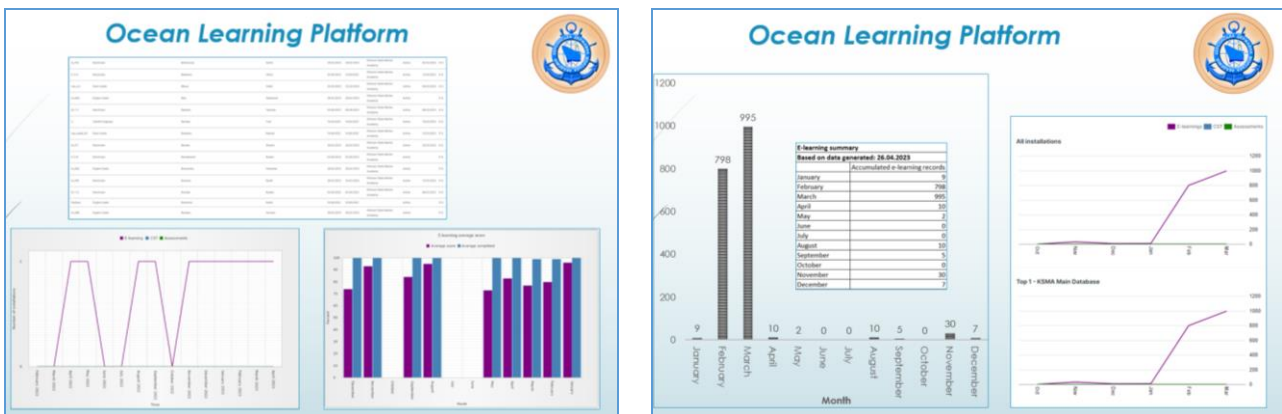


Рис. 2

Вже на основі відбору до судноплавних компаній стало зрозумілим, що платформа OTG OLP дає свої результати у якісній підготовці здобувачів до інтерв'ю з представниками судноплавних компаній (Рис. 3).

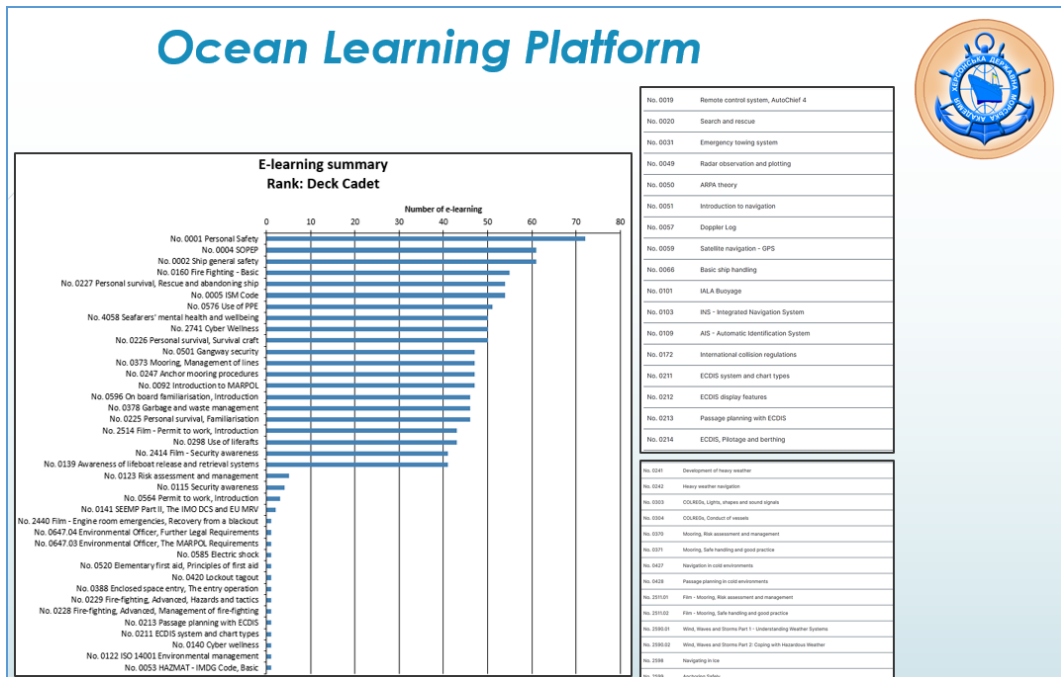


Рис. 3.

На сьогоднішній момент було прийнято рішення, що відображається у відповідних наказах та розпорядженнях, які регламентують порядок дій щодо імплементації платформи OTG OLP в освітній процес на другому курсі в I-му семестрі та на 3,4-му курсах у II семестрі.

На даний момент адміністраторами OTG OLP проведено наступну роботу, що передбачала:

1. Аналіз переліку осіб, що мали ліцензії на користування OTG. Мова іде про викладацький склад.

2. Визначено, хто з викладачів потребує ліцензій відповідно до освітніх компонент та встановленого графіку.

3. Надання окремим викладачам ліцензії для забезпечення підготовки здобувачів освіти у 2023-2024 н.р. Особливо важливим є забезпечення відбору до судноплавних компаній.

4. Збір інформації про здобувачів освіти відповідних курсів для подальшого надання їм ліцензій-доступів до платформи OTG.

5. Предоставлення для узгодження із керівництвом Академії структурованих даних про склад здобувачів освіти для яких заплановано надання доступу до платформи OTG з вересня 2023 р.

6. Підготовка звіту про фактичну імплементацію в освітній процес курсів OTG на сторінках LMS Moodle зазначених науково-педагогічних працівників.

У свою чергу не стоїть осторонь робота щодо впровадження та застосування на заняттях з фізики спеціалізованої платформи Labster. Понад 70 здобувачів освіти було долучено до віртуальних лабораторій, що частково замінило практичні та лабораторні заняття з дисципліни «Фізика» та «Фізика за професійним спрямуванням» в АХДМА (Рис 4).

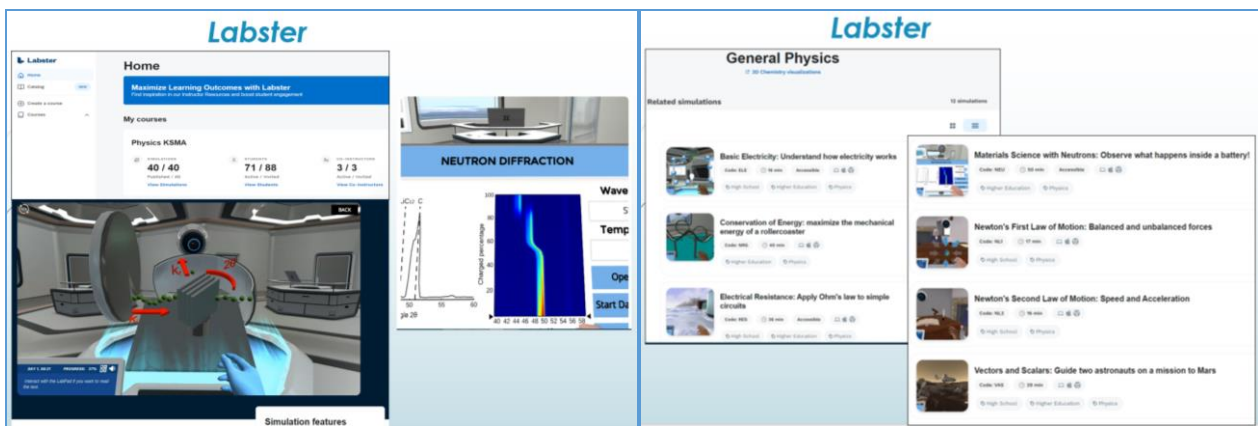


Рис. 4

Задля закріплення та примноження успіху щодо застосування вказаних платформ, зараз проводиться методична робота і викладачі, які працюють на 2-4-му курсах включають у навчально-методичні комплекси освітніх компонент курси ОТГ, визначають частку балів за системою ECTS, яку буде враховано при виставленні оцінки за академічний курс наприкінці семестру. Відповідна робота проводиться і у морському фаховому коледжі Академії. Теж саме стосується і платформи Labster-фізика, де також буде враховано відповідну частку балів.

Наразі триває процес додавання до платформи ОТГ викладачів та здобувачів освіти. З метою забезпечення належним чином підготовки процесу, було розроблено Google-форму для реєстрації здобувачів освіти.

Крім того адміністратори ОТГ від Академії та коледжу долучаються до вебінарів які проводить компанія, що дало можливість на більш якісному рівні підійти до адміністрування платформи та забезпечити технічну підтримку викладачам та здобувачам освіти (Рис. 5).

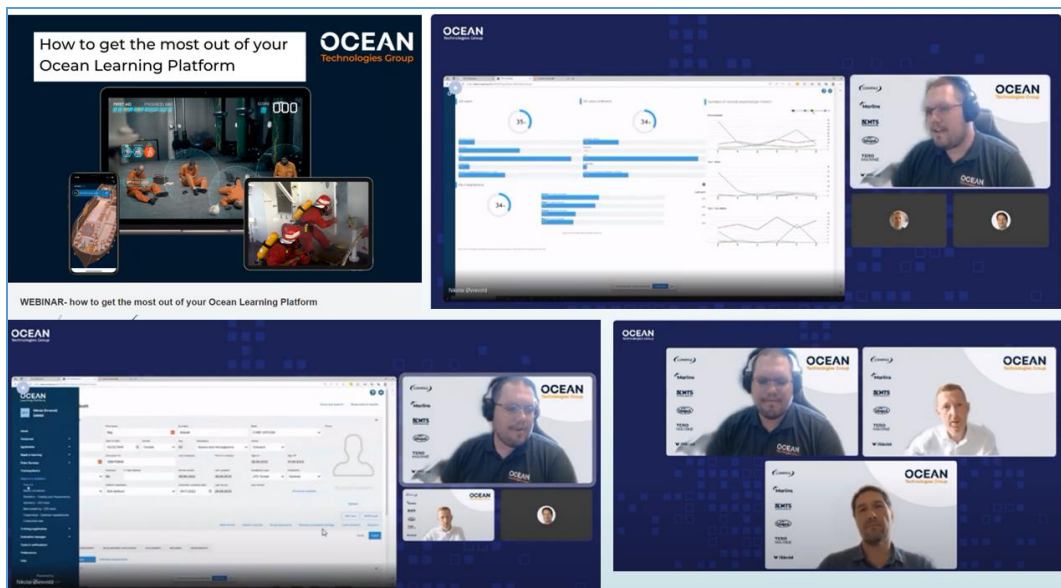


Рис. 5

Таким чином, комплексний підхід щодо імплементації фахової морської платформи ОТГ OLP та природничо-наукової Labster в освітній процес ХДМА вже має результати. І є переконання у тому, що це дозволить на високому професійному рівні підійти до забезпечення якісної підготовки до відбору курсантів Академії і коледжу у судноплавні компанії, який відбудеться вже цього навчального року.

УДК 621.4:620.9

КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ ПРОЕКТ ГІБРИДНОЇ ЕУ КОНТЕЙНЕРОВОЗУ PERFECT III

Коробко В.В., доктор технічних наук, доцент, **Безушко С.О.**, студент гр.5211М,
Стельмах О.І., студент гр.5211М *кафедри експлуатації суднових енергетичних установок
та теплоенергетики Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*
volodymyr.korobko@nuos.edu.ua

Анотація. В роботі розглядається концептуальний проект контейнеровоза з гібридною енергетичною установкою. Головна ЕУ судна комплектується електрохімічними генераторами (ЕХГ) на основі високотемпературних протонообмінних комірок (PEMFC). Пропульсивна ЕУ судна оснащена виключно електричними двигунами. Проектом передбачено використання системи повітряного змащення корпусу судна, що зменшує в'язкісну складову буксирувального опору судна.

Ключові слова: Суднові енергетичні установки, PEMFC, електрохімічні генератори, теплова схема.

В якості прототипу розробки був обраний концептуальний проект «PERFECT Ship II» – оригінальна модернізація контейнеровоза фірми “CMA CGM JULES VERNE”, спільна розробка фірм GTT, ABB, OMT, CMA CGM та бюро DNV GL [1]. Проектом PERFECT Ship II передбачалось застосування комбінованої енергетичної установки типу COGAS та двох ДГ, потужністю 4600 кВт. ЕУ судна спроектована для використання криогенного палива – LNG. Загальна компоновка судна показана на рис. 1.

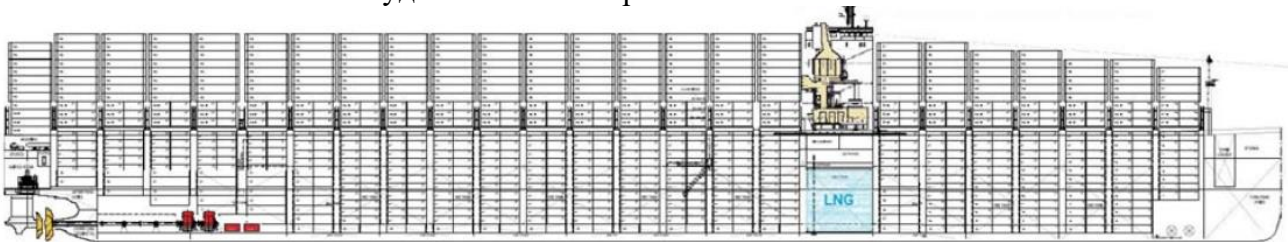


Рис.1 Боковий перетин концепт-проекта PERFECT Ship II

Пропульсивна установка судна оснащена двома синхронними електродвигунами AMZ 2500 YY, потужністю 20,8 МВт/77 rpm кожний, та одним Azipod XO2300-I4000, потужністю 20 023 kW/138 rpm [2]. Агрегати COGAS та ДГ СЕС розташовані вище головної палуби, над паливними танками.

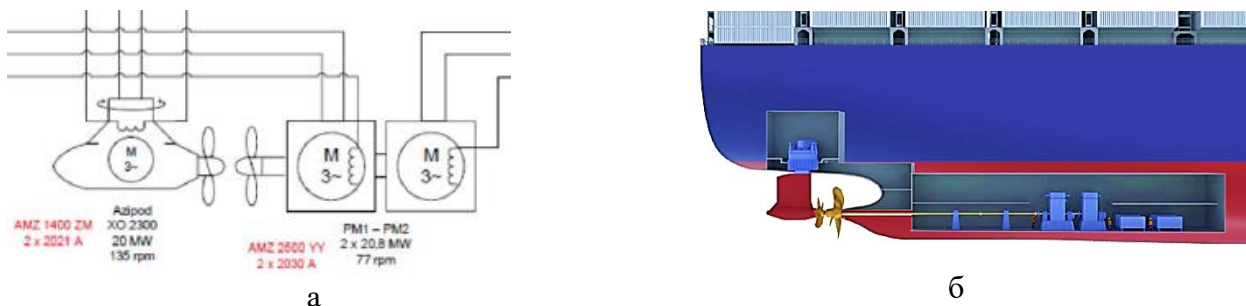


Рис. 2. Пропульсивна установка судна PERFECT Ship II,
а – електрична схема; б – розташування електричних двигунів

Задача роботи – розробка концептуального проекту суднової гібридної енергетичної установки з використанням PEMFC електрохімічних генераторів та визначення напрямів подальших досліджень, пов'язаних з проектуванням аналогічних гібридних установок.

Вихідні умови:

- головні розмірення судна та конструкція корпусу без змін;
- склад пропульсивної установка не змінюється;
- в СЕС використовуються 2 ДГ типу 8V31DF, потужністю 4600 кВт;
- в якості палива передбачити використання скраплених метану або аміаку;
- провести заміну COGAS гібридною ЕУ на основі електрохімічних генераторів з високотемпературними PEM FC;
- обладнання, що пропонується для використання в проекті, має бути апробованим та мати API (Approval in Principle) від морських класифікаційних товариств.

Пропозиції щодо проектної розробки.

Пропульсивний комплекс. Проектом передбачається обладнання судна системою повітряного змащення корпусу – «Air Lubrication system». Використання цієї системи рекомендоване класифікаційними товариствами. Згідно з даними виробника, використання цієї системи на контейнеровозах зменшує споживання палива на 5–6.5 %, завдяки зниженню буксирного опору [3], що співпадає з оціночними розрахунками авторів.

1. Суднова енергетична установка.

Головна енергетична установка. Замість агрегатів COGAS на судні встановлюються контейнерні електрохімічні генератори фірми «TECO 2030» [4].



Рис.2 Контейнерні електрохімічні генератори фірми TECO 2030.

Сумарна потужність ЕХГ дорівнює потужності агрегатів COGAS і повністю забезпечує потреби судна в електричній енергії на всіх режимах експлуатації. Аналогічні розробки пропонують інші фірми, отже ринок цього обладнання є конкурентним. Порівняльні характеристики альтернативних варіантів ГЕУ надані в таблиці 1.

PERFECt Ship II (2015) ГТГ Solar turbines [5].			PERFECt Ship III (2023) PEMFC TECO 2030		
Тип	Ne, кВт	Маса, кг	Тип	Ne, кВт	Маса, кг
Titan 250	23100×3 φ=0,9	141150×3=	FCC 6400	6400	22240 × 10=
Steam turbine	17160×1	423450	10 шт.		222 400
Габарити агрегата, 18.2×3.4×3.9			Габарити контейнера, 12×2.4×2.3		

Електроенергетичне обладнання. В проекті основним джерелом електроенергії є електрохімічні генератори, які продукують постійний струм - DC. Отже, до базової системи силової електрики [2] додається обладнання для здійснення ефективного DC/AC перетворення. ЕУ нового проекту є гібридною, отже, її ефективна робота можлива при наявності спеціальної системи управління енергетичними потоками – Energy Management System. До складу СЕС, як обладнання ESD, залучені дві АКБ ємністю по 560 kWh, які призначені для стабілізації роботи системи при пікових навантаженнях.

Системи СЕУ. До існуючої паливної системи проектом додається установка **каталітичного крекінгу** виробництва фірми Pherousa Green Technologies [6]. Це обладнання здійснює

риформінг газових палив, таких, як – CH_4 або NH_3 , і виробляє водень, придатний для використання в паливних комірках з протонобмінними мембранами – PEM FC .

До складу паливної системи доцільно залучити теплоутилізаційну термоакустичну систему регазифікації криогенного палива, яка може бути додатковим джерелом електричної енергії.

Теплова схема СЕУ. До складу СЕУ проєкта входять різні за принципом дії споживачі палива – ДВЗ та ЕХГ. Утилізація скидної теплоти дизель генераторів можлива шляхом використання стандартних рішень. Ситуація з PEM ЕХГ значно складніша і потребує додаткових досліджень. Теплові викиди цих агрегатів доцільно розглядати як два окремі матеріальні потоки:

- перший – це теплоносії системи охолодження блоків паливних комірок – зазвичай це вода, або вологий пар, з температурами на рівні $90 - 160^\circ\text{C}$;
- другий – це продукти електрохімічної реакції в катодних камерах – суміш повітря та водяної пари, температура цього теплоносія може бути в межах $95 - 180^\circ\text{C}$.

Максимально ефективно використання скидних теплових та матеріальних потоків PEM ЕХГ має передбачати, як утилізацію їх термічних потенціалів, так і отримання та зберігання великих обсягів прісної води.

Висновки

1. Електрохімічні генератори на базі високотемпературних протонобмінних комірок дозволяють суттєво зменшити масу СЕУ, підвищити її ефективність та екологічність.
2. В СЕУ з PEM FC необхідно використання потужних DC/AC конверторів та обладнання для риформінгу (каталітичного крекінгу) для продукування водню.
3. Проектування СЕУ з PEM FC електрохімічними генераторами потребує детального опрацювання питань утилізації їх теплових викидів та використання прісної води, що утворюється в процесі електрохімічного окислення водню.
4. Розрахунки показали, що термоакустична система утилізації скидної теплоти НТ PEM FC, потужністю 1 МВт, здатна забезпечити отримання $120 - 175$ кВт електроенергії.

Література

1. Creating the piston-free containership// <https://www.motorship.com/creating-the-piston-free-containership/805102.article>
2. PERFECt Ship II From vision to feasibility // <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/lng-as-marine-fuel/perfect-2.html>
3. Silverstream Technologies // <https://www.silverstream-tech.com/what-is-air-lubrication/>
4. TECO 2030 // www.teco2030.no
5. Solar turbines // https://www.solarturbines.com/en_US/products/power-generation-packages/titan-250.html
6. Pherousa Green Technologies // <http://www.pherousa.no/pherousa-green-technologies.html>

CONCEPTUAL PROJECT OF HYBRID EU CONTAINER SHIP PERFECt III

Korobko V.V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Bezushko S.O. student, 5211M, Stelmakh O.I. student, gr. 5211M, department of operation of ship power plants and thermal power engineering of Admiral Makarov National Shipbuilding University, Mykolaiv, Ukraine
volodymyr.korobko@nuos.edu.ua

Abstract. The work considers the conceptual design of a container ship with a hybrid power plant. The ship's main EU is equipped with electrochemical generators (EHG) based on high-temperature proton exchange cells (PEMFC). The propulsion unit of the vessel is equipped exclusively with electric motors. The project envisages the use of an air lubrication system for the ship's hull, which reduces the viscous component of the ship's towing resistance.

Keywords: Ship power plants, PEMFC, electrochemical generators, thermal scheme.

Секція №1. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ

УДК: 621.431

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Дощенко Г.Г. – кандидат технічних наук, доцент кафедри експлуатації суднового електрообладнання і засобів автоматики Херсонська державна морська академія, Україна
hersongala@gmail.com

Наговський Д.А. – кандидат технічних наук, доцент кафедри експлуатації суднового електрообладнання і засобів автоматики Херсонська державна морська академія, Україна
dymon.ksu@gmail.com

Анотація. Безперервне ускладнення суднових технічних засобів при незмінній надійності комплектуючих елементів, вузлів і виробів неминує веде до зниження надійності суднових систем, пристроїв і суден в цілому. Покращення надійності суднових енергетичних систем присвячена суднам з простим дизайном і відносно простим устаткуванням, а саме для загальних суден, контейнеровозів, суховантажних суден тощо.

Щоб підвищити надійність суднових енергетичних систем, спершу слід визначити, які відмови стаються у механізмах. Головний двигун, рульове управління, паливна система, електрична система, система охолодження, дизельний генератор та інші мають найбільший вплив на фатальні технічні відмови [1]. Оскільки ці перші п'ять систем відповідають за найбільшу частину відмов, то більш уваги слід спрямувати на ці системи. Ці системи є важливими для фактичної навігації судна, тому поліпшення їх надійності вимагає великих зусиль з урахуванням безпілотної навігації у майбутньому.

Ключові слова: суднова електроенергетична система, головний двигун, рульовий механізм, суднові технічні засоби, резервність двигуна.

Надійність — властивість технічних об'єктів зберігати протягом встановленого часу значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування [2]. Під технічними об'єктами розуміють пристрої, прилади, механізми, машини, комплекси обладнання, технологічні операції і процеси, системи зв'язку, інформаційні системи, автоматизовані системи управління технологічними процесами тощо. В даний час діагностування технічних об'єктів приділяється велика увага як засобу істотного підвищення їх надійності [3].

Основними шляхами підвищення надійності суднових технічних засобів (СТЗ) та їх деталей є:

- Обґрунтований вибір матеріалів деталей та широке використання методів зміцнення їх.
- Створення структурних схем з мінімальною кількістю складових елементів за високої надійності кожного елемента.
- Широке застосування уніфікованих і стандартизованих елементів.
- Оснащення конструкції контрольними та сигнальними пристроями, що запобігають виникненню аварійних ситуацій.
- Розробка системи технічних оглядів та обслуговування конструкцій.

- Використання резервування — введення у конструкцію додаткових елементів, що не є вкрай потрібними, але дублюють роботу найважливіших робочих елементів СТЗ [4,5].

Підвищення надійності головного двигуна

Перш за все, приділимо увагу питанням, що вирішують проблеми відмов з невідомим розподілом. В цієї групи надійність становить від $2,0 \times 10^{-5}$, а середнє напрацювання на відмову – 5,8 років.

Перше рішення для підвищення резервності полягає в повному резервуванні двигуна або розподіленні потужності між декількох двигунів. Через відмови з невідомим розподілом, двигун номер 1 має надійність на рівні $2,0 \times 10^{-5}$. Другий двигун, номер 2, резервна копія, або який надасть достатню потужність при меншій швидкості, так само матиме надійність на рівні $2,0 \times 10^{-5}$ для тієї самої відмови. Перемноживши ці показники, можна отримати значення надійності в цілому через цю певну відмову.

Ще одним рішенням, яке покращує резервність двигуна, є проведення кращого технічного обслуговування. Було виявлено, що рівень технічного обслуговування іноді є недостатнім, що призводить до відмов у роботі. Правильне технічне обслуговування зменшить кількість відмов на 19,3%. Знайдемо спільний ефект від запропонованих рішень:

$$\lambda_{\text{після ТО}} = \lambda_{\text{до ТО}} \times F_{\text{зниж.ТО}} = 2,0 \times 10^{-5} \times 0,807 = 1,6 \times 10^{-5}$$

$$\lambda_{\text{обидва двиг після ТО}} = \lambda_{\text{двигун \#1}} \times \lambda_{\text{двигун \#2}} = 1,6 \times 10^{-5} \times 1,6 \times 10^{-5} = 2,5 \times 10^{-10}$$

Підвищення надійності рульових механізмів

Відмови рульового обладнання на судах становлять 20,9% всіх відмов обладнання (рівень відмов $2,2 \times 10^{-5}$ та середній час між відмовами становить 5,2 роки). Будучи другою найбільшою групою відмов серед СТЗ, існують дві основні групи відмов, які призводять до відмови рульового обладнання.

Перша група — група з невідомим розподілом, становить 54,6% всіх відмов та має рівень відмов $1,2 \times 10^{-5}$ і середній час між відмовами 9,6 років. Другою групою відмов є відмова в електропостачанні та керуючих пристроях (9,5%, $9,9 \times 10^{-6}$ та 11,6 років). Для кожної з груп відмов визначено, на скільки покращення надійності досягається за допомогою тих чи інших рішень. Це дозволить визначити, які рішення є найкращими з точки зору покращення надійності. Також визначено, скільки відсотків відмови залишається після застосування рішення.

Резервування рульового управління

При розділенні рульової системи на обидві системи повинні відмовити для втрати керування судном. Це значно підвищує надійність системи рульового управління в цілому. Залишковий рівень відмов та покращення надійності цього рішення будуть визначені в наступних двох рівняннях. Припускається, що одна система рульового управління достатня для продовження руху судна або його повернення в порт.

Системи рульового управління повинні бути спроектовані таким чином, щоб відмова однієї з них не впливала негативно на маневреність судна.

$$\lambda_{\text{обох систем}} = \lambda_{\text{системи \#1}} \times \lambda_{\text{системи \#2}} = 1,2 \times 10^{-5} \times 1,2 \times 10^{-5} = 1,4 \times 10^{-10}$$

Покращення технічного обслуговування

Покращення надійності завдяки належному технічному обслуговуванню можна визначити за допомогою наступних рівнянь.

$$\lambda_{\text{після підвТО}} = \lambda_{\text{до ТО}} \times F_{\text{зменш.ТО}} = 1,2 \times 10^{-5} \times 0,807 = 9,6 \times 10^{-6}$$

$$\text{Підвищення надійності} = T_{\text{ср НВ після рішення}} - T_{\text{ср НВ до рішення}} = 1/(9,6 \times 10^{-6}) - 1/(1,2 \times 10^{-5}) = 2,3 \text{ роки,}$$

де $T_{\text{ср НВ}}$ — середнє напрацювання на відмову.

Висновки. У цьому дослідженні описані лише рішення для основного двигуна та системи рульового управління. Залишкові рівні відмов для цих систем дуже низькі. Системи, для яких не було визначено рішень, відповідають за $1,3 \times 10^{-5}$ залишкового рівня відмов. Це чітко показує, що знайдені рішення мають значущий вплив, оскільки їх залишкові рівні

відмов є незначними в порівнянні з загальним залишковим рівнем відмов. Можна припустити, що коли будуть визначені рішення для трьох інших систем, їх залишковий рівень відмов також буде незначним.

ЛІТЕРАТУРА

1. Carlton, J and Aldwinkle, J and Anderson, J and others. Future ship powering options: exploring alternative methods of ship propulsion. London: Royal Academy of Engineering, 2013. URL <http://www.raeng.org.uk/publications/reports/future-ship-powering-options>.
2. Butt, Nickie and Johnson, David and Pike, Kate and Pryce-Roberts, Nicola and Vigar, Natalie. 15 years of shipping accidents: A review for wwf, 2012. URL http://awsassets.panda.org/downloads/15_years_of_shipping_accidents_a_review_for_wwf_.pdf.
3. Chryssakis, Christos and Brinks, Hendrik and King, Tobias. The fuel trilemma: Next generation of marine fuels. 2015. URL https://www.dnvgl.com/Images/DNV%20GL_Position%20Paper%20on%20Fuel%20Trilemma_tcm8-25973.PDF.
4. Frozee, J. Steering gear systems on ships - marine engineering, October 2015. URL <http://marineengineeringonline.com/steering-gear-systems-on-ships/>.
5. Hekkenberg, Robertus Gerardus. Inland ships for efficient transport chains. TU Delft, Delft University of Technology, 2012. ISBN 978-94-6186-099-6.

RELIABILITY VESSEL POWER SYSTEMS IMPROVEMENT

Doshchenko H.G. - Ph.D., Associate professor Department of Operation vessel electrical equipment and Automation, Kherson State Maritime Academy, Ukraine
hersongala@gmail.com

Nahovskyi D.A. - Ph.D., Associate professor Department of Operation vessel electrical equipment and Automation, Kherson State Maritime Academy, Ukraine
dymon.ksu@gmail.com

Abstract. Continuous complications of ship technical means while maintaining the reliability of components, assemblies, and products inevitably lead to a decrease in the reliability of ship systems, devices, and vessels as a whole. Improving the reliability of ship power systems is dedicated to ships with a simple design and relatively simple equipment, specifically for general cargo ships, container ships, bulk carriers, and the like.

To enhance the reliability of ship power systems, it is first necessary to identify the failures that occur in the mechanisms. The main engine, steering control, fuel system, electrical system, cooling system, diesel generator, and others have the greatest impact on critical technical failures [1]. Since these first five systems are responsible for the majority of failures, more attention should be directed towards these systems. These systems are crucial for the actual navigation of the vessel, so improving their reliability requires significant efforts, taking into account unmanned navigation in the future.

Key words: ship electric power system, main engine, steering mechanism, ship technical equipment, engine redundancy.

УДК 621.4:620.9

ВИКОРИСТАННЯ РОТОРНИХ ВІТРИЛ В ПРОПУЛЬСИВНОМУ КОМПЛЕКСІ РУДОВОЗА «SAO DIANA»

Шемчук В. О.

*Студент магістратури,**кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики**Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова**м. Миколаїв, Україна*shemchyk93@gmail.com

Анотація. Основною метою розглянутої нижче теми є пошук рішень для покращення технологій очищення та зменшення шкідливого впливу роботи судової енергетичної установки на навколишнє середовище. Для цього потрібно постійно проводити моніторинг та слідкувати за сучасними розробками провідних компаній сфери проектування, та використовувати ці технології у модернізації суден або у нових проектах. Як раз однією з таких технологій і є система роторних вітрил.

Ключові слова: пропульсивний комплекс, модернізація, ротор Флетнера, ефективність, економія, викиди.

Система роторних вітрил використовує вітер для підвищення паливної ефективності вантажного або пасажирського судна. Коли вітрові умови сприятливі, роторні вітрила дозволяють зменшити потужність головного двигуна, заощаджуючи паливо та зменшуючи викиди, забезпечуючи при цьому сумарну потужність, необхідну для підтримки швидкості судна та тривалості плавання. Ця система особливо підходить для танкерів, Ro-Ro, генеральних вантажів і балкерів, а також круїзів, поромів і RoPax. Технологія вітрил заснована на концепції ротора Флетнера, який був повністю модернізований за допомогою композитних матеріалів і передових систем управління.[1]

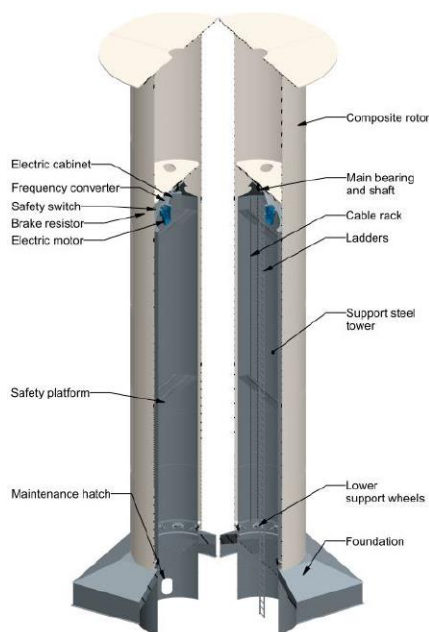


Рис. 1. Конструкція ротора та його складові [2]

Конструкція ротора складається з наступних основних компонентів:

- циліндр із композитних матеріалів, він же сам ротор;
- внутрішня опорна сталева вежа;
- головний опорний підшипник у верхній частині;
- електродвигун та привід для обертання ротора;

- роликівий підшипник у нижній частині;
- фундамент для закріплення на палубі судна.

Система роторних вітрил найкраще підходить для суден, де:

- На палубі є необхідний простір для встановлення вітрил.
- Крани та обладнання для обробки вантажів – не перешкоджають встановленню роторів.
- Велика частка часу перебування в морі та вітрові умови рейсової лінії, переважно, є сприятливими.

До складу системи входять: роторні вітрила с привідним електродвигуном, електричні кабелі для передачі ел. енергії від судової електростанції, блок автоматизації, панель управління, сенсори швидкості і напрямлення вітру. Керування системи здійснюється з містка через панель керування. Після ініціювання кнопкою пуску, контроль та регулювання параметрів системи переходить повністю в автоматизований режим, в якому електронна система управління сама визначає, коли вітер досить сильний, щоб заощадити паливо, у цей момент ротори запускаються автоматично, мінімізуючи час і ресурси екіпажу. Принципова схема системи наведена нижче.

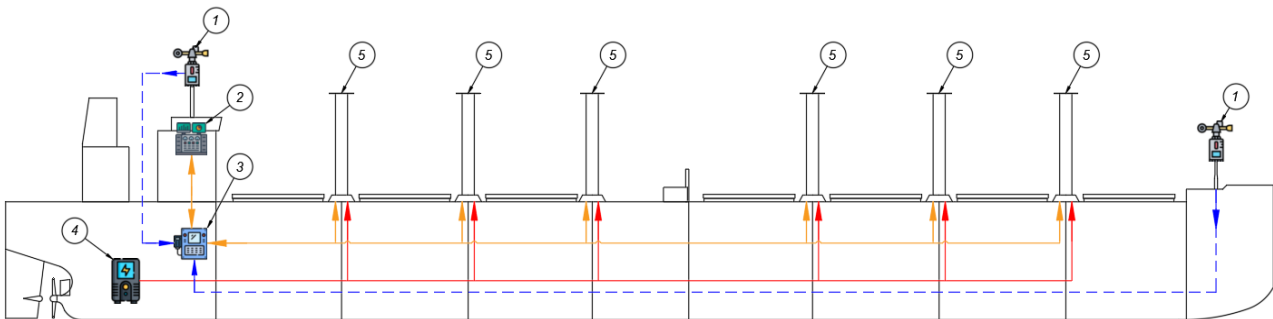


Рис. 2. Принципова схема системи роторних вітрил.

- 1 – датчик напрямку та швидкості вітру; 2 – панель управління; 3 – блок автоматизації; 4 – розподільчий щит; 5 – роторне вітрило.

При виборі комплектуючого обладнання системи роторних вітрил, перше що треба обрати це розмір самого ротора. Наразі, існує дві передові фірми, які займаються розробкою та встановленням системи роторних вітрил – «Norsepower» та «Anemoi». Для даного проекту обрано фірму «Norsepower».

Спираючись на досвід і рекомендації цієї фірми обрано ротори розмірами 24x4 м. Прийнявши розмір роторів зведено у підсумкову таблицю повний склад та характеристики обладнання системи.

Таблиця 1. Хар-ки обладнання системи роторних вітрил судна «Sao Diana» [1]

Фірма	«Norsepower»
Кількість роторів	6
Розмір роторів	24x4 м
Швидкість обертання ротора	0-225 об/хв
Макс. тяга одного ротора	175 кН
Вага одного ротора з фундаментом	43 т
Привідний двигун	80 кВт; 380-690V; 50/60 Hz
Тип монтажу	складний



Рис. 3. Наглядний приклад реалізації системи на рудовозі «Sao Diana». [3]

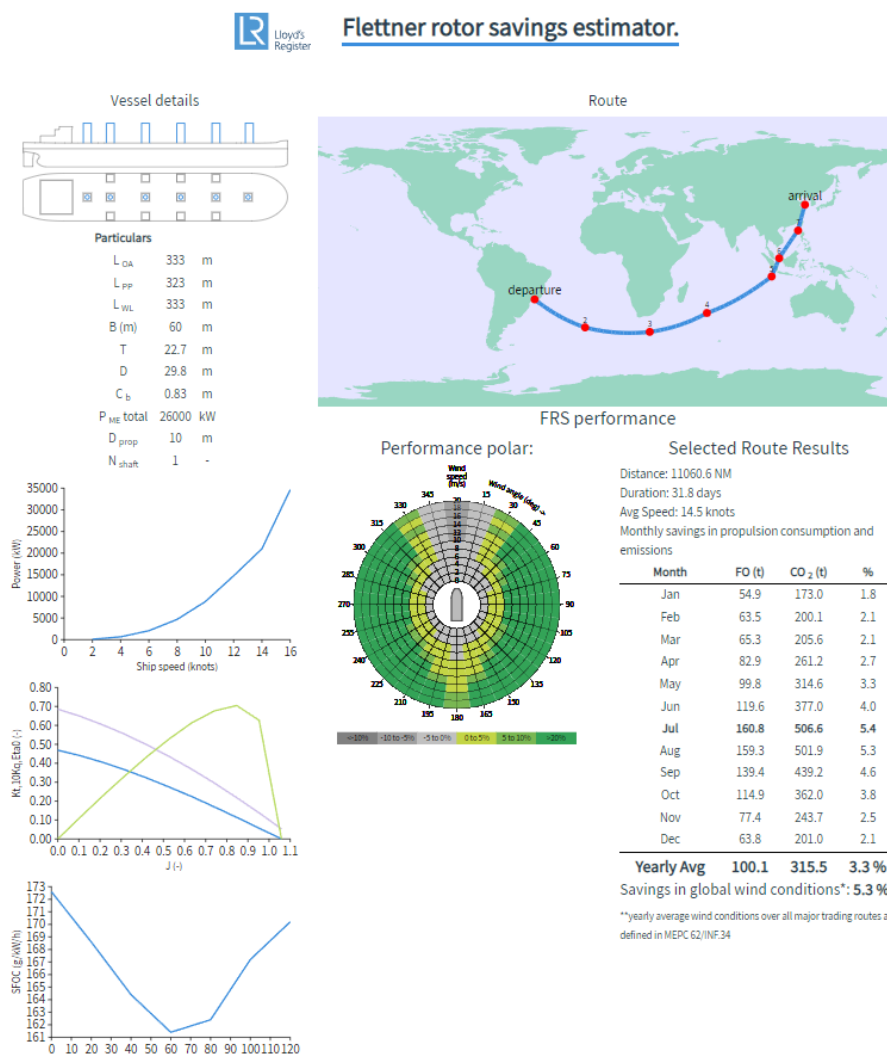


Рис. 4. Результат розрахунку ефективності за - flettner.lr.org. (результати приведені для переходу в одну сторону) [4]

Оцінити ефективність системи роторних вітрел, яка виступає допоміжною, можна за допомогою спеціально розробленого калькулятора заощаджень електронного ресурса - flettner.lr.org/. [4]

Також, є спрощені, прогнознi розрахунки, які можна розрахувати на сайтах фірм-виробників таких систем. Такі розрахунки можна виконати на сайтах фірми «Norsepower» та «Anemoi». Для виконання розрахунків потрібно зазначити параметри судна та рейсову лінію, для судна «Sao Diana» це перехід між Бразилією та Китаєм. Отримані результати (дивись рис. 4.) приблизні, більш точні розрахунки виконує фірма, яка встановлює цю систему.

Висновки.

На основі виконаних розрахунків та їх аналізу, встановлення системи роторних вітрил може надати можливість економії палива від 110 до 322 т, та зменшення викидів CO₂ на 346-1013 т в залежності від пори року, за повний перехід рейсової лінії з поверненням у порт завантаження. Ефективність системи приблизно 4-10%. При цьому середня потужність, необхідна для роботи системи складає 240 кВт.

Література:

1. brochure_ENG_screen.pdf (norsepower.com)
2. <https://northsearegion.eu/wasp/our-technologies/flettner-rotor-norsepower/how-it-works-flettner-rotor-norsepower/>
3. <https://anemoimarine.com/flettner-rotor-ship/>
4. <https://flettner.lr.org/ksDBDTfX>

USE OF ROTOR SAILS IN THE PROPULSION COMPLEX OF THE "SAO DIANA" ORE CARRIER

Shemchuk V. O.

Master's student,

Department Operation of Ship Power Plants and Thermal Power Engineering Admiral Makarov National University of Shipbuilding Mykolaiv, Ukraine

shemchyk93@gmail.com

Annotation. The main goal of the topic discussed below is to find solutions for improving cleaning technologies and reducing the harmful impact of ship power plant operation on the environment. For this, it is necessary to constantly monitor and follow the modern developments of leading companies in the field of design, and use these technologies in the modernization of ships or in new projects. One such technology is the rotor sails system.

Key words: propulsion complex, modernization, Flettner rotor, efficiency, economy, emissions.

УДК 629.5.015

ІНТЕГРАЦІЯ ВОДНЕВИХ СИСТЕМ ДО СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Д.О. Шалапко

к.т.н., доцент кафедри суднового машинобудування та енергетики,

Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Херсон, Україна

Анотація. У цій роботі розглядається моделювання та аналіз інтеграції водневих систем до суднових енергетичних комплексів. Мета роботи – вивчити можливості та переваги використання водню як альтернативного палива для зниження викидів парникових газів та підвищення енергоефективності суден. Для досягнення мети були використані такі

методи, як математичне моделювання, оптимізація, порівняльний аналіз та мультикритеріальний вибір. Результати дослідження показали, що інтеграція водневих систем до суднових енергетичних комплексів може забезпечити значне скорочення споживання традиційних палив, зменшення забруднення навколишнього середовища та збільшення економічної ефективності судноплавства. Основними проблемами інтеграції водневих систем є висока вартість водню, складність його зберігання та транспортування, а також необхідність розробки нормативно-технічної бази та стандартів безпеки. Серед найбільш перспективних водневих систем для суден можна виділити такі як паливні елементи, газотурбінні двигуни, гібридні системи та водневі реактивні двигуни.

Ключові слова: водневі системи, суднова енергетика, суднові енергетичні комплекси, енергоефективність.

В умовах стрімких змін клімату та необхідності переходу до більш екологічних джерел енергії, морське судноплавство постає перед викликом розробки інноваційних та стійких рішень для суднових енергетичних комплексів. Одним із найбільш обговорюваних напрямів стає інтеграція водневих систем у існуючі та майбутні суднові енергетичні системи. Водневі системи — це системи, які використовують водень як енергоносію або паливо для забезпечення енергії судна. Водневі системи можуть застосовуватися на сучасному судні для різних цілей, таких як:

- Зменшення викидів шкідливих речовин у атмосферу, оскільки водень є екологічно чистим паливом, що при згорянні утворює лише водяну пару.
- Збільшення енергоефективності судна, оскільки водень має високу теплоту згоряння і може бути використаний у сполученні з іншими паливами або джерелами енергії.
- Забезпечення автономності судна, оскільки водень може бути вироблений на борту судна з води за допомогою електролізу або інших методів.

Залежно від типу судна, призначення, режиму роботи і технічних характеристик, можуть бути застосовані різні види водневих систем, такі як:

- Водневі генератори, які перетворюють водень у електричну енергію за допомогою паливних елементів або двигунів з внутрішнім згорянням. Водневі генератори можуть бути використані як основне або допоміжне джерело енергії для судна, а також для живлення різних споживачів на борту, наприклад, освітлення, навігації, комунікації тощо.
- Воднева турбіна, яка перетворює водень у механічну енергію за допомогою турбокомпресора і турбогенератора. Воднева турбіна може бути використана як основне або допоміжне джерело енергії для судна, а також для приводу гвинта або інших пропульсивних пристроїв.
- Водневий двигун, який перетворює водень у механічну енергію за допомогою двигуна з зовнішнім згорянням. Водневий двигун може бути використаний як основне або допоміжне джерело енергії для судна, а також для приводу гвинта або інших пропульсивних пристроїв.

Для забезпечення безпеки і надійності роботи водневих систем на сучасному судні необхідно дотримуватися певних правил і норм, таких як:

- Забезпечення герметичності і стабільності тискання у системах зберігання і транспортування водню.
- Забезпечення адекватної вентиляції і детектування витoku водню у приміщеннях, де розташовані водневі системи.
- Забезпечення захисту від статичної електрики, іскріння, перегріву і пожеж у водневих системах.
- Забезпечення належного обслуговування і контролю за станом водневих систем.

Водневі системи на сучасному судні можуть мати значний потенціал для покращення екологічності, ефективності і автономності судноплавства, але також потребують

дотримання певних технічних і безпечних вимог. Для розвитку і впровадження водневих систем на сучасному судні необхідна наукова дослідження, інноваційні рішення і міжнародна співпраця.

Моделювання та аналіз інтеграції водневих систем до судових енергетичних комплексів є ключовим етапом у розумінні того, як водень може стати ефективним і стійким джерелом енергії для морських суден. Цей напрямок досліджень має широкий спектр практичних застосувань та технічних аспектів, що потребують уважного аналізу.

Водневі системи можуть бути інтегровані в судові енергетичні комплекси, щоб підвищити їхню енергоефективність і знизити вплив на навколишнє середовище. Водень - це чисте та відновлювальне паливо, яке може замінити або доповнити традиційні палива, такі як дизель або газ. Водневі системи можуть бути різних типів, залежно від способу виробництва, зберігання, транспортування та використання водню. Наприклад, водень може бути виготовлений з води за допомогою електролізу, зберігатися в стислому або зрідженому вигляді, транспортуватися трубопроводами або балонами, і використовуватися в паливних елементах або газотурбінних двигунах.

У процесі моделювання можна розглянути різні аспекти інтеграції водневих систем до судових енергетичних комплексів, починаючи від вибору оптимального типу водневої системи, і закінчуючи розробкою математичних моделей, що описують ефективність, енергетичну продуктивність та вплив на довкілля. Моделювання дозволяє аналізувати різні сценарії та параметри, такі як вартість, споживання, викиди, безпека та надійність. Моделювання також допомагає оптимізувати дизайн та керування судовими енергетичними комплексами з урахуванням водневих систем.

Аналіз інтеграції водневих систем також потребує врахування різних робочих режимів суден – від маневреності до тривалих морських переходів, а також адаптацію до специфічних вимог різних типів суден, включаючи вантажні, пасажирські та військові.

Дослідження та аналіз інтеграції водневих систем до морських суден є складним і багатогранним завданням, що потребує врахування різноманітних аспектів, пов'язаних з роботою суден різних типів і функціональних призначень. Процес інтеграції водневих систем до морських суден передбачає як технічні аспекти, а й операційні, економічні та екологічні чинники. Давайте розглянемо основні аспекти цієї теми докладніше.

Робочі режими суден: Різні типи морських суден мають різні вимоги до енергетичних характеристик у різних робочих режимах. Наприклад, пасажирські судна можуть вимагати високої маневреності при вході та виході з порту, тоді як вантажні судна можуть стикатися з тривалими періодами переходів на відкритому морі. Аналіз інтеграції водневих систем має враховувати ці відмінності та забезпечити оптимальну ефективність роботи суден у різних режимах.

Адаптація до різних типів суден. Різні типи морських суден мають свої особливості та потреби. Вантажні судна вимагають великої вантажопідйомності та дальності плавання, пасажирські судна – комфортних умов для пасажирів, а військові судна – здатності до виконання специфічних завдань. Аналіз інтеграції водневих систем повинен включати адаптацію технологій і систем до конкретних потреб кожного типу судна.

Технічні аспекти. Інтеграція водневих систем вимагає врахування безлічі технічних факторів, включаючи проектування та встановлення водневих паливних осередків, систем зберігання та розподілу водню, а також сумісність з іншими системами на судні, такими як системи керування та навігації.

Екологічні аспекти. Одним із ключових факторів є екологічна стійкість. Водневі системи можуть вважатися екологічно чистішими, оскільки при згорянні водень перетворюється на воду, не виділяючи шкідливих викидів. Однак важливо оцінити весь екологічний ланцюжок, починаючи від виробництва та зберігання водню до його використання та утилізації.

Таким чином, аналіз інтеграції водневих систем до морських суден є складним завданням, яке вимагає врахування безлічі аспектів, починаючи від технічних характеристик і закінчуючи економічною та екологічною доцільністю. Ефективна інтеграція водневих систем дозволить судам працювати більш ефективно, екологічно чисто та безпечно у різних умовах.

На закінчення, моделювання та аналіз інтеграції водневих систем до суднових енергетичних комплексів є актуальною і перспективною темою досліджень. Цей підхід може призвести до створення ефективних, екологічно стійких та інноваційних рішень для судноплавства, здатних впоратися з викликами світу, що змінюється, і зробити свій внесок у стійке майбутнє морської індустрії.

Література

[1]. Balcombe, P. Environmental impacts of microgeneration: integrating solar PV, Stirling engine CHP and battery storage / P. Balcombe, D. Rigby, A. Azapagic // *Applied Energy*. – 2015. – V. 139. – P. 245–259. Doi:10.1016/j.apenergy.2014.11.034.

[2]. Baldi, F. Energy Analysis of Ship Energy Systems – The Case of a Chemical Tanker [Text] / F. Baldi, H. Johnson, C. Gabrielli, K. Andersson // *Energy Procedia*. – 2014. – V. 61. – P. 1732–1735. Doi:10.1016/j.egypro.2014.12.200.

[3]. Baldi, F. Optimal load allocation of complex ship power plants [Text] / F. Baldi, F. Ahlgren, F. Melino, C. Gabrielli, K. Andersson // *Energy Conversion and Management*. – 2016. – V. 124. – P. 344–356. Doi:10.1016/j.enconman.2016.07.009.

[4]. Шалапко Д.О. Перспективні способи підвищення ефективності експлуатації суднових енергетичних установок: навчальний посібник / Д. О. Шалапко, М. А. Пирисунько, А. А. Андрєєв. — Миколаїв: Іліон, 2023. — 298 с.

INTEGRATION OF HYDROGEN SYSTEMS TO SHIP ENERGY COMPLEXES

Denys Shalapko - PhD, Lecturer of the Ship Power Plants Operation and Heat-Power Engineering Department, Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine.

Abstract. In this paper, the modeling and analysis of the integration of water systems to ship power complexes are considered. Meta work - increase the possibility and success of water as an alternative fuel for reducing greenhouse gas emissions and increasing the energy efficiency of ships. To achieve this goal, we used the same methods as mathematical modeling, optimization, linear analysis and multi-criteria selection. The results of the research showed that the integration of water systems to ship power complexes can provide a significant reduction in the speed of traditional fires, a change in the pollution of the superfluous medium and an increase in the economic efficiency of ship navigation. The main problems of the integration of water systems are the high level of water supply, the foldability of its savings and transportation, as well as the need to expand the regulatory and technical base and safety standards. Among the most promising water systems for ships, one can see such as fire elements, gas turbine engines, hybrid systems and water jet engines.

Key words: water systems, ship energy, ship energy complexes, energy efficiency.

УДК 621.431.

АНАЛІЗ ВІДМОВ ГОЛОВНИХ ДВИГУНІВ ТИПУ MAN-B&W 9L21/31 В ПРОЦЕСІ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА СУДАХ ПРОЕКТУ 17620

Бутко В.П. – аспірант кафедри експлуатації суднових енергетичних установок, Херсонська державна морська академія, Україна, технічний директор ТОВ Транспортний Судноплавний Менеджмент vadim27101964@gmail.com

Білоусов Є.В. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри експлуатації суднових енергетичних установок, Херсонська державна морська академія, Україна, ewbelousov67@gmail.com.

Анотація. Розглянуто досвід експлуатації головних високооборотних двигунів суден проекту 17620 типу «Буг» накопичений ТОВ Транспортний Судноплавний Менеджмент. Визначені основні проблеми, які виникали під час експлуатації двигунів та методи їх вирішення. Запропоновано ряд конструктивних змін до окремих елементів. Розроблено пропозиції щодо вдосконалення системи технічного обслуговування та ремонту двигунів. Виділено проблеми які потребують додаткового дослідження.

Ключові слова: високооборотний двигун, підшипники колінчатого валу, динамічність робочого процесу.

Судна проекту 17620 типу «Буг» (IХHullХMach General cargo ship) є одним з найбільш успішних проектів реалізованих вітчизняною суднобудівною галуззю за часи незалежності [1]. Судна було спроектовано ВАТ «Чорноморсудопроект» та побудовано ССЗ «Океан», м. Миколаїв. Всього за замовленням компанії ПАТ Укррічфлот у період 2005-2007 років було спущено на воду дев'ять суден даного типу. За конструкцією це однопалубні, одновинтові суховантажні судна, що мають три вантажні трюми, подвійне дно і подвійні борти. Вони призначені для перевезення генеральних наволочних, насипних, а також контейнерних вантажів з необмеженим районом плавання. В якості головного двигуна, на судах було встановлено новий високооборотний форсований двигун 9L21/31 виробництва MAN-B&W, який у перше з'явився на світовому ринку у 2002 році.

Починаючи з 2015 року судна були продані іншим компаніям, які їх успішно експлуатують до теперішнього часу здійснюючі перевезення в акваторіях Азовського, Чорного, Середземного морів з виходом до Атлантичного океану. Два судна знаходяться у власності компанії Lion Shipping Grup, технічне супроводження яких здійснює Українська компанія Транспортний Судноплавний Менеджмент.

Використання на судах даної серії в якості головного, високооборотного високофорсованого двигуна на час побудови було достатньо нетрадиційним рішенням. Під час досить тривалої експлуатації суден було виявлено ряд проблем пов'язаних з застосуванням високооборотних головних двигунів, систематизація і аналіз яких є важливим заходом з вдосконалення системи обслуговування і ремонту, як суден що вже знаходяться в експлуатації, так і суден аналогічного класу які тільки проектуються або знаходяться у стадії будівництва.

Основні характеристики двигуна 9L21/31 наведено у табл. 1 [2].

Як можна бачити з даних таблиці 1, двигун є дуже механічно напруженим, максимальний тиск циклу у 20...21 МПа, що є верхній межею для двигунів даного класу. До того ж основним призначенням цього двигуна при проектуванні було використання його переважно в складі дизель-генераторних установок, режими роботи яких суттєво відрізняється від режимів роботи головного двигуна судна. Це створює додаткові проблеми при експлуатації як двигунів так і суден в цілому.

Досвід технічного менеджменту компанії Транспортний Судноплавний Менеджмент

дозволяє виокремити ряд проблем як конструктивного характеру, які були усунені під час проведення планових або позапланових ремонтів, так і експлуатаційного характеру, пов'язаних з режимами роботи двигунів.

До виявлених та усунутих під час ремонтів конструктивних проблем можна віднести наступні:

- на початку експлуатації кулачки розподільного валу та штовхачі газорозподілу часто мали місцеві викрашування. Було встановлено, що причиною цього був конструктивний недолік – відсутність напрямних які фіксують радіальне обертання штовхача. Під час ремонту було виконано свердлення у блоці циліндрів и встановлення штифтів для запобігання обертанню. Таке доопрацювання дозволило усунути проблему, а отриманий досвід було застосовано і на інших суднах серії;

Таблиця 1 – Основні технічні характеристики двигунів MAN серії 9L21/31

Параметр	Значення
Кількість / розташування циліндрів	9 / рядне
Діаметр циліндра, мм	210
Хід поршня, мм	320
Робочий об'єм циліндра дм ³ ,	10,08
Частота обертання, хв ⁻¹	900, 1000
Циліндрова потужність при 900/1000 хв ⁻¹ , кВт	200/220
Ступінь стиснення	15,5
Тиск наддувочного повітря, МПа	0,30...0,32
Максимальний тиск циклу, МПа	20,0...21,0
Температура відпрацьованих газів до турбокомпресора, °С	480...530
Температура відпрацьованих газів, після турбокомпресора, °С	300...350
Середній ефективний тиск, 900/1000 хв ⁻¹ , МПа	24,8/24,0
Ефективна витрата палива, 900/1000 хв ⁻¹ , г/(кВт×год.)	181
Питома витрата циркуляційного масла, г/(кВт×год.)	0,5...0,8
Середня швидкість поршня, 900/1000 хв ⁻¹ , м/с	9,3 / 10,3

- у процесі експлуатації періодично спостерігалось віддавання бовтів кріплення цапфи проміжної шестерні газорозподілу. Було зафіксовано випадок, коли за рахунок цього сталася аварія – ослаблення бовтів призвело до порушення фаз газорозподілу на повному ході судна. В результаті відбулося пошкодження одного з робочих циліндрів. Для усунення проблеми було виконано свердлення у головках бовтів кріплення та їх фіксація за допомогою шплінтування дротом;

- на деяких двигунах під час експлуатації спостерігалось заклинювання редукційного клапану масляної циркуляційної системи в наслідок утворення на робочій поверхні поршенька натірів та задирів, що призводило до падіння тиску у системі. Для усунення заклинювань було збільшено зазор між напрямною та поршеньком шляхом шліфування останнього. Крім того поршеньок було розгорнуто на 90° відносно його початкового положення.

До конструктивних недоліків які було виявлено під час експлуатації та повідомлено про них виробника двигунів можна віднести наступні:

- паливна система двигуна має послідовне підключення ПНВТ при якому трубопровід подачі палива проходить через перший і далі по порядку до останнього насосу. В наслідок роботи насосів відбувається нагрівання палива температура якого при надходженні до останнього ПНВТ може досягати 140°C. Це порушує умови паливоподачі та призводить до заклинювання ПНВТ особливо в літній період. Виходячи з цього, виробнику запропоновано змінити схему підведення палива до ПНВТ з послідовної на паралельну;

- достатньо складні умови експлуатації двигуна в якості головного (наприклад робота

в штормових умовах коли відбуваються великі закидання обертів на хвилі) призводять до значних навантажень на підшипникові вузли дизеля. Після двох з половиною років експлуатації шатунні головки мають еліпс вище припустимого на 0,002...0,005 мм. Виробнику запропоновано внести до переліку відновлювальних операцій процедуру шліфування торців верхньої та нижньої частини головки шатуна на 0,01...0,02 мм з подальшим розточування посадкового місця в обжатому положенні під номінальний розмір.

Проблема, природа якої потребує більш детального вивчення пов'язана з прискореним зносом підшипників колінчастого валу. Частково такий прискорений знос може бути пояснено високими навантаженнями при зміні режимів роботи. Але для двигунів які працюють у складі дизель-генераторів цієї проблеми не спостерігається, хоча при набросі навантаження, сили, що діють на елементи групи руху, можуть досягати дуже суттєвих значень [3]. Як робоча гіпотеза можна припустити, що процес зношування пов'язано не стільки з виникненням суттєвих навантажень на перехідних режимах, як з підвищеною динамічністю робочого процесу на основних експлуатаційних режимах. Зрозуміло, що це припущення потребує ретельної перевірки, здійснення якої заплановано авторами у ході виконання науково-дослідної роботи на базі компанії Транспортний Судноплавний Менеджмент та кафедри експлуатації суднових енергетичних установок Херсонської державної морської академії з використанням напрацювань, та обладнання яке є в розпорядженні лабораторій кафедри [4, 5].

Література.

1. Karewood Brave, IMO 9281516 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ships.jobmarineman.com/pl/karewood-brave-9281516/> – Дата перегляду: 27.09.2023.
2. Modern Marine Internal Combustion Engines / I. Bilousov, M. Bulgakov, V. Savchuk. – Springer Series on Naval Architecture, Marine Engineering, Shipbuilding and Shipping, Springer, Cham., 2020, doi.org/10.1007/978-3-030-49749-1.
3. Service Experience. Small Bore Four-stroke Engines. MAN Diesel & Turbo, 5510-0118-00ppr, Aug 2012, Denmark. – 20 p.
4. Белоусов Е.В., Савчук В.П., Штанько А.Д. Опыт создания оптоволоконных датчиков для индексирования рабочего процесса двигателей. // Грузовик & Строительно-дорожные машины, автобус, троллейбус, трамвай. М.: «Машиностроение», №12. – 2007. С. 23-27.
5. Automated Diagnostic System for Engine Cylinder-Piston Group. / Saraiev O., Saraieva I., Gritsuk I.V., Volkov V. et al., // SAE Technical Paper 2020-01-2022, 2020, doi:10.4271/2020-01-2022.

ANALYSIS OF FAILURES OF MAIN ENGINES TYPE MAN-B&W 9L21/31 DURING THEIR OPERATION ON PROJECT 17620 SHIPS

Butko V.P. – postgraduate student of the department of operation of ship power plants, Kherson State Maritime Academy, Ukraine, technical director of Transport Shipping Management LLC vadim27101964@gmail.com

Belousov E.V. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Operation of Ship Power Plants, Kherson State Maritime Academy, Ukraine, ewbelousov67@gmail.com.

Abstract. The experience of operating the main high-speed engines of Project 17620 Bug type vessels accumulated by Transport Shipping Management LLC is considered. The main problems that arise during the operation of engines and methods for solving them are identified. A number of design changes to individual elements have been proposed. Proposals have been developed to improve the engine maintenance and repair system. Problems that require additional research are highlighted.

Key words: high-speed engine, crankshaft bearings, dynamic working process.

УДК 629.123

ЕНЕРГЕТИКА, ПАЛИВО Й ЕКОЛОГІЯ ТРАНСПОРТНИХ СУДЕН**Шостак В.П.**

кандидат технічних наук, професор кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова м. Миколаїв, Україна
shostakvolodymyr7@gmail.com

Самохвалов В.С.

кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м.Херсон, Україна

Личко Б.М.

кандидат технічних наук, доцент, в.о. завідувача кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова м. Миколаїв, Україна
bogdan.lychko@gmail.com

Анотація. Аналізується п'ять способів зниження витрат палива та викидів токсичних оксидів з відхідними газами малообертового двигуна й акцентується увага на впровадження цих способів на судах ближньої перспективи.

Ключові слова: малообертовий двигун, зниження витрат палива, токсичні викиди, впровадження на судна, ІМО.

Шкідливий вплив на морське довкілля транспортних суден очевидний для більш-менш освідчених у питаннях суднової енергетики, оскільки головний двигун, а це, як правило, малообертовий дизель значної потужності, викидає з відхідними газами в атмосферу значну кількість токсичних оксидів. Шлях до послаблення цього впливу лежить, зокрема, через зменшення витрати палива на суднову пропульсивну установку.

Інтенсивність морських перевезень з плином часу не знижується, а навпаки зростає, бо транспортування вантажів морем найдешевше, з одного боку, а, з іншого, світова торгівля розвивається стрімкими темпами. Отож проблема забруднення довкілля токсичними оксидами з суден стає все більш актуальною.

Виникає питання: чи все із наявного для відчутного зниження витрати палива використовується інженерно-штурманською спільнотою, причетною до транспортування вантажів морем.

У зв'язку з цим розглянемо низку способів підвищення паливної ефективності суднової пропульсивної (рухової) установки, що обумовлюють рейсову витрату палива. Це, в першу чергу, *глибока утилізація* на ходових режимах судна вторинної теплоти головного малообертового двигуна [1, 3, 4, 8, 11, 15]. Далі:

- застосування поряд з дизель-генераторами потужного *валогенератора*, який може також працювати у режимі гребного електродвигуна;
- використання в окремих випадках *дизель-редукторної установки* з малообертовим двигуном [5];
- встановлення на судах як допоміжного рушія повітряного змія – *кайта* [7, 9, 10, 13, 14];
- рух судна у кожному окремому рейсі по *раціональному шляху* на рекомендованій маршрутній лінії [2, 6, 12].

Вказані способи є реальними, в тій чи іншій мірі апробованими і безперечно, на наш погляд, корисними для екології.

Вторинна теплота від малообертового двигуна для отримання механічної енергії, як відомо, тим краща, чим вище температура. Для її глибокої утилізації придатні відхідні газы (~250 °С) і стиснене у турбокомпресорі повітря (~200 °С). У енергетичному балансі вказаного двигуна вони складають ~40 % (~20 + 20). Вода охолодження циліндрів (80 °С) і циркуляційне масло (~60 °С) для цього практично не придатні. Досяжна потужність утилізаційної турбіни становить щонайменше 10 % від потужності малообертового двигуна при використанні теплоти газів і стисненого повітря [4, 8]. Поряд з цим відмітимо, що є ще резерви (оптимізація цикла "пар-конденсат", корегування відкриття випускного клапана, застосування силової газової турбіни [11, 15] тощо), які додадуть 2-3 % до 10 %.

Останнім часом поширюється застосування середньообертового двигуна у якості головного. При цьому замовчується, що його питома витрата палива на ~10 г/(кВт·год) вища від малообертового. Отож домінуючим залишатиметься останній. Для забезпечення як найбільшого ККД гребного гвинта пропонується пропульсивна дизель-редукторна установка з малообертовим двигуном з діаметром циліндрів 260 мм і частотою обертання 250 хв⁻¹ [5]. У цьому аспекті варті уваги проекти значних за розмірами суден, оснащених дизель-редукторною установкою з малообертовим двигуном: танкер "Tsukuba maru" (2× 9000 кВт) та навалювальник (2× 7000 кВт) – див. журнал "The Motor Ship", 1983. Завдяки редуктору ККД гвинта зростає на 3-4 %. Крім того, наявність редуктора сприяє застосуванню валогенератора і утилізаційного гребного турбозубчастого агрегата. Отже, дизель-редукторна установка з малообертовим двигуном має свою сферу доцільного застосування і дає найменшу витрату палива за рейс.

Використання у складі суднової електростанції валогенератора вважається корисним, зокрема завдяки створеним фірмою Renk мультиплікаторів-редукторів, оскільки питома витрата палива малообертового двигуна суттєво менша двигунів дизель-генераторів. Технічне обслуговування валогенератора набагато дешевше від дизель-генератора. Таким чином, доцільність валогенератора безперечна.

Компанія SkySails запропонувала, створила й провела натурні дослідження буксирувального керованого повітряного змія – кайта площею 40-640 м², який суттєво може "допомогти" головному двигуну. Кайт-система повністю автоматизована. При сприятливому вітрі максимальний за площею кайт дає корисну тягу близько 300 кН. При необхідності можуть бути створені кайти і більшою площею [14]. Проте наголосимо, що кайт працює далеко не за будь-яких умов. Найбільш сприятливі для його застосування трансатлантичні та транстихоокеанські рейсові лінії для відносно тихохідних суден: балкерів і танкерів [7, 13]. На вказаних лініях за строк служби, наприклад, танкера водотоннажністю 36 тис. т економія палива сягає 15 %. З точки зору витрати палива і екології застосування кайта на тихохідних суднах завжди корисне.

Оскільки опір руху судна залежить від напрямків вітру й хвиль та інших чинників, то абсолютно очевидно, що в кожному окремому рейсі мають місце раціональні відхилення напрямку руху від рекомендованого маршруту. Якщо оснастити бортовий комп'ютер відповідним програмним продуктом, який базується на динамічному програмуванні і широких можливостях пропульсивної установки стосовно її потужності на режимах повного ходу, то за період експлуатації судна зниження витрати палива може становити 2-4 % [2, 6].

Впровадження перелічених вище способів, які практично не реалізовано, знизить, на наш погляд, шкідливі викиди з відхідними газами понад 10-15 %. І цьому впровадженню, з технічної точки зору, немає перешкод.

Таке впровадження може здійснити ІМО директивним шляхом, тим більше що вона має досвід при усуненні проблеми ефемерних озонових дірок. І не тільки може, а й зобов'язана, адже йдеться про покращення екології нашого спільного дому – довкілля. Крім того, ми вважаємо, що це ще й знизить собівартість морських перевезень.

Література

1. Вторинні енергоресурси та енергозбереження на судах [Текст]: навчальний посібник / С. Самохвалов, Д.В. Коновалов, М.Ю. Багненко та ін., за загал. ред. В.С. Самохвалова. – Миколаїв: Ілліон, 2016. – 430 с.
2. Гершаник, В.И. Определение рационального скоростного режима работы главного двигателя с учетом гидрометеорологических условий мореплавания [Текст]/В.И. Гершаник // Зб. наук. праць НУК, № 2 (407). – Миколаїв, 2016. – С. 71-80.
3. Захаров, Ю.В. Анализ экономической эффективности способов утилизации тепла отходящих газов судовых дизелей [Текст] / Ю.В. Захаров, В.П. Шостак // Судостроение, № 8, 1972. – С. 31–35.
4. Шостак, В.П. Глибока утилізація теплоти відхідних газів і стисненого повітря сучасного малооборотного двигуна [Текст] / В.П. Шостак, А.Ю. Манзюк // Віс. НУК. – Миколаїв, 2016. – С. 21-25.
5. Шостак, В.П. К вопросу о применении дизель-редукторной установки с малооборотным двигателем на транспортных судах [Текст] / В.П. Шостак, Б.М. Личко // Зб. наук. праць НУК.– Миколаїв, 2005. – № 5– С. 60-68.
6. Шостак, В.П. Минимизация рейсовых расходов топлива [Текст] // В.П. Шостак, В.И. Гершаник, В.Е. Бридан, С.А. Постыка // Зб. наук. праць УДМТУ.– Миколаїв: УДМТУ, 1998. – №11.– С. 65-76.
7. Шостак, В.П. Расход топлива и экологичность судовой пропульсивной установки с кайтом [Текст] // В.П. Шостак, А.И. Кисарова // Электронный вестник НУК. – Миколаїв: НУК, 2013 – №3.
8. Шостак, В.П. Суднові пропульсивні установки з головним поршневым двигуном і утилізаційною паровою або газовою турбіною [Текст] // В.П. Шостак, Б.М. Личко, А.Ю. Манзюк // "Суднова енергетика: стан та проблеми". – Матеріали Х Міжнародної науково-технічної конференції 4-5 листопада 2021 р. – Миколаїв: НУК. – С. 299-301.
9. Aschenbeck, S. Testergebnisse des SkySails – Systems [Text] / S. Aschenbeck, T. Lenger, W. Szczesny, R. Kreutzer, M. Schlaak // Schiffbau & Schiffstechnik, Heft 1, 2009. – №1. – P. 36-40.
10. Elsner, R. Simulating possible Savings of the SkySails–System on International Merchant Ship Fleets [Text] / R. Elsner, R. Kreutzer, M. Schlaak // Trans RINA, Vol. 151, Part A4, 2009. – P. 25-37.
11. Schmid, H. Less Emissions Through Waste Heat Recovery [Text] / Heinrich Schmid// Switzerland: Wärtsilä Corporation, 2004. –10 p.
12. Shostak V.P. Fuel consumption and energy flows in marine power plants [Text] / V.P. Shostak, V.I. Gershanik // Maritime Engineering, Science and Technology. – London: IMEST, 2011. – № 9. – P. 134-143.
13. Shostak V. Tools for forecasting and optimizing the tuning parameter of the low-speed engine for designing a ship with the kite. / V.P. Shostak, A. Kisarova. Восточно-европейский журнал передовых технологий, 2018. – № 2/3(92). – С. 13–20.
14. SkySails. URL:<http://www.skysails.info> (Last accessed: 03.03.2018).
15. Waste Heat Recovery System (WHRS) for Reduction of Fuel Consumption, Emission and EEDI [Text] / MAN Diesel & Turbo // Copenhagen, Denmark, 30 p.

ENERGY, FUEL AND ENVIRONMENT OF TRANSPORT VESSELS

Shostak V.P. *candidate of technical sciences, professor of the department operation of ship power plants and thermal power engineering Admiral Makarov National Shipbuilding University Mykolaiv, Ukraine* shostakvolodymyr7@gmail.com

Samokhvalov V.S. *candidate of technical sciences, associate professor of the department of heat engineering Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine.*

Lychko B.M. *candidate of technical sciences, associate professor, acting the head of the department operation of ship power plants and thermal power engineering Admiral Makarov National Shipbuilding University Mykolaiv, Ukraine*
bogdan.lychko@gmail.com

Abstract. Five methods of reducing fuel consumption and emissions of toxic oxides with waste gases of a low-speed engine are analyzed, and attention is focused on the implementation of these methods on ships in the near future.

Key words: low-speed engine, reduction of fuel consumption, toxic emissions, implementation on ships, IMO.

УДК 621.45.034

МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВОДНЕВОГО ПАЛИВА ПРИ РОБОТІ КАМЕРИ ЗГОРЯННЯ ГІБРИДНОЇ ГАЗОПАРОВОЇ УСТАНОВКИ

С. І. Сербін, д.т.н., професор¹, Б. Т. Діасамідзе, Ph.d., асистент²
О.А. Шмарков, аспірант³

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Україна, м. Миколаїв

¹ serhiy.serbin@nuos.edu.ua, ² badri.diasamidze@nuos.edu.ua,

³ shmarkov.oleksandr@gmail.com

Анотація. Розглянуто питання екологічного впливу гібридної газопарової установки з впорскуванням пари у камеру згоряння, яка працює на водні, представлено контури температур у жаровій трубі та концентрацій шкідливих речовин у її вхідному перерізі.

Ключові слова: газотурбінний двигун; зелена енергетика; водень; гібридний цикл; камера згоряння; навколишнє середовище.

Вступна частина. Вирішуючи актуальні екологічні питання, інженери-турбінобудівники шукають нові поєднання методів: підвищення енергетичних показників та одночасного зниження емісії шкідливих речовин. Поставлених цілей можливо досягти різними шляхами, але вплив одних підходів може позитивно впливати на певні показники установок та погіршувати стан інших або навпаки. Тому ціллю розробки нових систем та установок стає поєднання декількох способів підвищення ефективності та екологічності, які б своїми перевагами компенсували негативний вплив один на одного, що у загальному рішенні дає бажаний результат.

Ціль роботи – визначення можливостей поєднання у одній установці впорскування водяної пари у камеру згоряння з використанням водню у якості палива, а також аналіз екологічного ефекту такого підходу.

Основна частина. Виходячи зі стану сучасної економіки та промисловості, видобуток нафти і газу залишається одним з основних видів сировини для сучасної енергопромисловості та суттєво впливає на них [1]. На противагу традиційним вуглеводневим видам палива у світі поширюються тенденції використання альтернативних палив, таких як водень, рослинні олії, синтетичний гас, етанол, метанол, біодизель та інші [2].

Ефективність використання енергії палива розглядається, як один з ключових аспектів у питанні підвищення екологічних показників енергетичних установок через її зв'язок з так званім індексом EEDI (Energy Efficiency Design Index) [1]. Шляхом зниження значення питомої витрати палива можливо досягти зменшення маси виробленого судном парникового газу, тим самим зменшуючи негативний екологічний вплив. Також сучасні тенденції для зниження емісії CO₂ пропонують використовувати паливні суміші вуглеводнів

з не вуглеводними паливами або використовувати альтернативні види палива, які у своєму складі взагалі не містять вуглець [3].

Особливої уваги, у рамках створення декарбонізованих енергетичних систем, заслуговує варіант використання у якості палива водню, інтерес до якого останнім часом зростає. За своїми характеристиками водень має як переваги, так і недоліки [5].

Враховуючи високу температуру горіння водню та високу швидкість розповсюдження його полум'я, одним із підходів для отримання стійкого процесу горіння та зниження емісії оксидів азоту є застосування технології впорскування пари у камеру згоряння (так звані установки типу «Водолій» або STIG) [6,7].

Отже поєднання у одній установці таких підходів є перспективним як з точки зору ефективності, так і з точки зору відповідності встановленим вимогам щодо викидів шкідливих речовин. Дослідження таких схем представлено у [8,9].

Орієнтуючись на можливе застосування таких гібридних газопарових установок на судах типу FPSO [10] та базуючись на результатах розрахунків у роботі [9], обрано режим роботи установки на рівні потужності 100 МВт. Для проведення розрахунків було розроблено математичну модель робочого процесу у камері згоряння, створено 3-D модель камери та за допомогою сучасних розрахункових CFD комплексів (Ansys Fluent) проведено ряд числових експериментів. Під час цих розрахунків досліджувалось вплив масової частки екологічного пари G_{env_s} , яка подається у первинну зону згоряння у діапазоні від 6 до 15 % з кроком у 3 % від загальної витрати повітря через камеру згоряння G_c .

За результатами розрахунків побудовано графік залежності викидів оксидів азоту від витрати екологічної пари відносно витрати повітря через компресор (рис. 1).



Рис. 1 – Залежність викидів оксидів азоту від витрати екологічної пари відносно витрати повітря через компресор

Аналізуючи побудований графік, відмітимо, що емісія оксидів азоту при роботі на номінальному режимі досягає рівня менш ніж 25 ppm при частці пари близько 13%. На рис. 2 та 3 представлено розподіл температур у повздовжньому перерізі жарової труби та контури концентрацій оксидів азоту у вихідному її перерізі на режимі роботи камери згоряння при частці пари 12%.

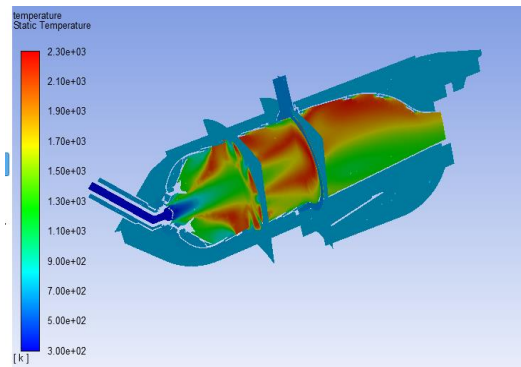


Рис. 2 - Розподіл температур у повздовжньому перерізі жарової труби при відношенні витрати екологічної пари до витрати повітря через камеру 12 %

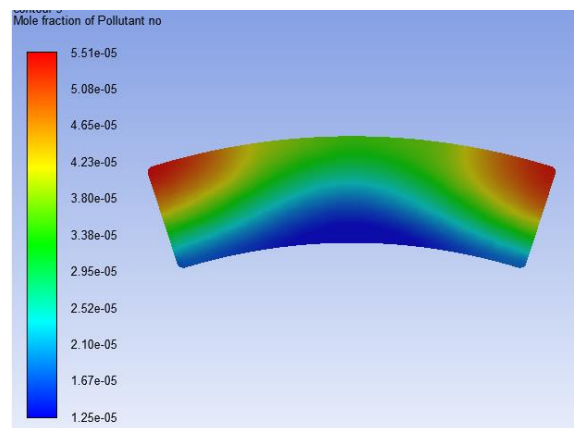


Рис. 3 - Контури концентрацій оксидів азоту у вихідному перерізі жарової труби при відношенні витрати екологічної пари до витрати повітря через камеру 12 %

Висновки. Аналізуючи отримані дані, можна відзначити, що поєднання у одній схемі впорскування пари у камеру згоряння та роботи газотурбінної установки контактного типу на чистому водні задовольняє сучасним тенденціям розвитку енергомашинобудування та встановленим Європейським нормам щодо викидів шкідливих речовин газотурбінними двигунами. Отже подальші дослідження таких схем є доцільним та перспективним у рамках покращення емісійних характеристик суднових енергетичних установок.

Список літератури

- [1] О. К. Чередніченко, С. І. Сербін. (2020). Термохімічні технології для енергетичних модулів плавучих об'єктів нафтогазовидобутку та суден-газовозів. Монографія. Миколаїв: Торубара. 132 с.
- [2] Michel Molière. (2023). The Fuel Flexibility of Gas Turbines: A Review and Retrospective Outlook. *Energies*, 16, 3962. <https://doi.org/10.3390/en16093962>
- [3] Chiong, M. C., Chong, C. T., Ng, J. H., Mashruk, S., Chong, W. W. F., Samiran, N. A., ... & Valera-Medina, A. (2021). Advancements of combustion technologies in the ammonia-fuelled engines. *Energy Conversion and Management*, 244, 114460.
- [4] N. Tekin, M. Ashikaga, A. Horikawa, H. Funke. (2018). Enhancement of fuel flexibility of industrial gas turbines by development of innovative hydrogen combustion systems. *Gas for energy*, no. 2/2018. pp. 1-6.
- [5] Сербін, С.І., Шмарков, О.А. (2022) Обґрунтування використання водню як палива ГТД контактного типу. *Сучасний стан та проблеми двигунобудування: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції*. Миколаїв: Торубара В.В.

- [6] K.S. Burunsuz, V. V. Kuklinovsky, S. I. Serbin. (2019). Investigations of the emission characteristics of a gas turbine combustor with water steam injection. *Холодильна техніка та технологія*, 55 (2), pp 77-83.
- [7] Varia, N., Patel, D., Reddy Bale, V., Srinivas, T. (2018) Effects of Steam Injection on the Performance of Natural Gas Combined Cycle Power Generation System. *CSME International Congress 2018*. Toronto, On, Canada.
- [8] Serbin, S., Washchilenko, N., Dzida, M., Kowalski, J. (2021) Parametric analysis of the efficiency of the combined gas-steam turbine unit of a hybrid cycle for the fpso vessel. *Polish maritime research*, № 112(4), pp. 122-132.
- [9] S. I. Serbin. O.A. Shmarkov. (2023). Parameters of the hybrid gas-steam power plant operating on hydrogen fuel. *Збірник наукових праць НУК*, №1 (490), pp. 103-110.

Serbin S., Diasamidze B., Shmarkov O.

Possibilities of utilizing hydrogen fuel in the combustion chamber of a hybrid gas-steam power unit

The issue of the environmental impact of a hybrid gas-steam power unit with steam injection into the combustion chamber and operating on hydrogen has been discussed. The temperature profiles in the flame tube of the combustion chamber and the concentrations of pollutant substances in its inlet section have been presented.

УДК 621.45.034

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ У МОРСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ

Б. Т. Діасамідзе, Ph.d., асистент¹, О.А. Шмарков, аспірант²
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Україна, м. Миколаїв

¹badri.diasamidze@nuos.edu.ua, ²shmarkov.oleksandr@gmail.com

Анотація. Розглянуто принципи застосування газотурбінних двигунів (ГТД) морського призначення та їх основні емісійні характеристики, запропоновано шляхи для зниження викидів токсичних компонентів.

Ключові слова: газотурбінний двигун; процес горіння палив; емісійні характеристики.

Вступна частина. У зв'язку з значною кількісною перевагою двигунів внутрішнього згорання на судах нормативні акти, що стосуються викидів шкідливих викидів, передбачають показники переважно для поршневих двигунів. Один із таких актів - Міжнародна конвенція з запобігання забрудненню судами від 1973 року, підписана в Лондоні 2 листопада 1973 року із змінами згідно Протоколу, укладеному в Лондоні 17 лютого 1978 року, та Протоколу, укладеному в Лондоні 26 вересня 1997 року, і відома під назвою "Конвенція МАРПОЛ" [1]. Всі двигуни, що використовуються на військових судах, звільнені від відповідності стандартам викидів шкідливих викидів. Варто відзначити, що відсоток кількості газотурбінних двигунів, встановлених на військових судах, в декілька разів вищий у порівнянні з громадським флотом. Проте уряди ряду країн прагнуть впроваджувати положення, що стосуються захисту морського середовища (наприклад, MARPOL), і на військових судах, наскільки це можливо.

Ціль роботи – аналіз екологічних характеристик сучасних морських газотурбінних двигунів.

Основна частина. Енергетичні потреби морського транспорту, викликані їх операційними потребами, пов'язаними з функцією руху судна та призначенням, давно задовольняються переважно за допомогою поршневих двигунів внутрішнього згорання. У

випадку турбінних двигунів, залежно від призначення судна та потреб в енергії, використовуються: а) силові агрегати та морські енергетичні установки з паровими турбінами у випадках, коли використовуються ядерні енергетичні установки, та б) системи з газовими турбінами у вигляді газотурбінних двигунів. Внаслідок меншої енергоефективності та відповідно вищого споживання пального, газотурбінні двигуни для морського використання поступово замінюються поршневіми двигунами та становлять лише кілька відсотків загальної кількості двигунів внутрішнього згоряння у морському транспорті. Однак газотурбінні двигуни мають одну значущу перевагу - вони характеризуються високою концентрацією потужності, вираженою у співвідношенні, яке отримують при обмовленій ваговій характеристиці двигуна. Відмітимо, що потрібно враховувати масу всього привідного агрегату двигуна, оскільки використання газотурбінного двигуна вимагає додаткового редуктора для зміни обертової швидкості валу приводу до бажаної швидкості руху судна.

Газові турбіни є одними з основних двигунів для приводу. Однак через специфічність, їх застосування наразі зустрічається здебільшого на бойових кораблях, хоча компанія General Electric сьогодні будує морські газові турбіни з ефективністю 0,36 і потужністю 25 МВт [2] для цивільного використання (рис. 1). В останні роки газові турбіни все частіше встановлюють на пасажирських суднах, так званих H.S.S. (High Speed Ship). Головною перешкодою для використання газових турбін, особливо на суднах зі скрапленим природним газом (LNG), є висока ціна порівняно з традиційними двигунами. Але на сьогодні ці ціни мають тенденцію до рівняння: 1350 доларів за кВт для традиційного дизельного двигуна порівняно з 1250 доларів за кВт для ГТД простого циклу [3]. Найважливіші переваги полягають в тому, що це найменші двигуни (за розмірами) надають велику потужність, створюють мінімальні вібрації, мають мінімум рухомих деталей, здійснюють високошвидкісний оберт вихідного валу, витрачають мало масла для змащення і мають можливість для швидкого пуску. В морських системах можна використовувати три типи газових турбін: з відкритим контуром, з підігрівом повітря після компресії та закритим контуром.

Зростаючий викид вихлопних газів від морських двигунів вимагає розробки нових концепцій будівництва морських енергетичних установок для цивільних і військових суден. Зростаюча увага зосереджується на використанні газових турбінних двигунів у морських енергетичних установках з фокусом на виробництві електроенергії, яку використовують для приводу судновими електродвигунами. У випадку газових турбінних двигунів недоліком є менша ефективність генерації електроенергії, як це підтверджується високим значенням специфічної витрати пального [4], але важливою перевагою є висока концентрація згенерованої енергії в об'ємі системи.

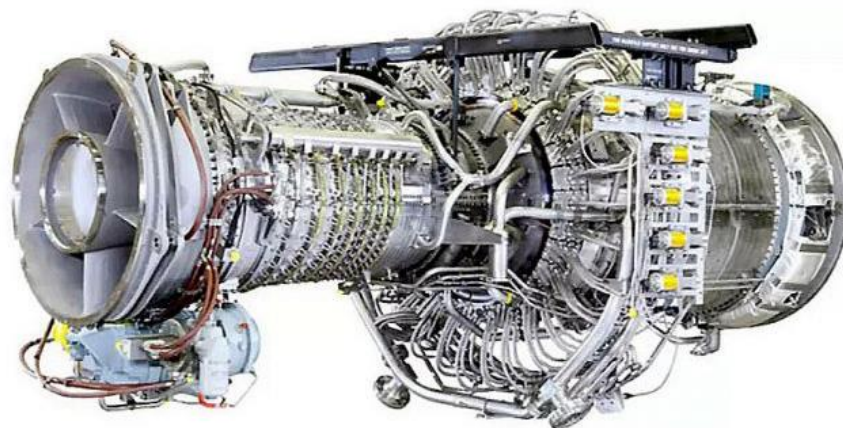


Рисунок 1 – Морський газовий турбінний двигун GE для фрегатів класу "Констеляція"
[3, 4]



Рисунок 2 – ГТД LM2500 морського призначення [5]

Перевагою використання газових турбінних систем є можливість роботи цих двигунів на газоподібних і рідких паливах з низьким вмістом сірковмісних сполук, альтернативних паливах, таких як ефіри рослинних олій, метанол, етанол, метан та газоподібні палива, такі як природний газ та пропан-бутан. Використання природного газу для живлення морських енергетичних установок може бути особливо вигідним для суден, які транспортують скрапений природний газ. Аргументом на користь використання систем ГТД є можливість збільшення вантажного простору (рис. 3), що покращує відношення вартості до результативності перевезення судна, усуваючи нижчу загальну ефективність газових турбінних двигунів. Особливо важливою є перевага альтернативних і легких палив, таких як природний газ, пропан-бутан, ефіри рослинних олій, метанол чи етанол.

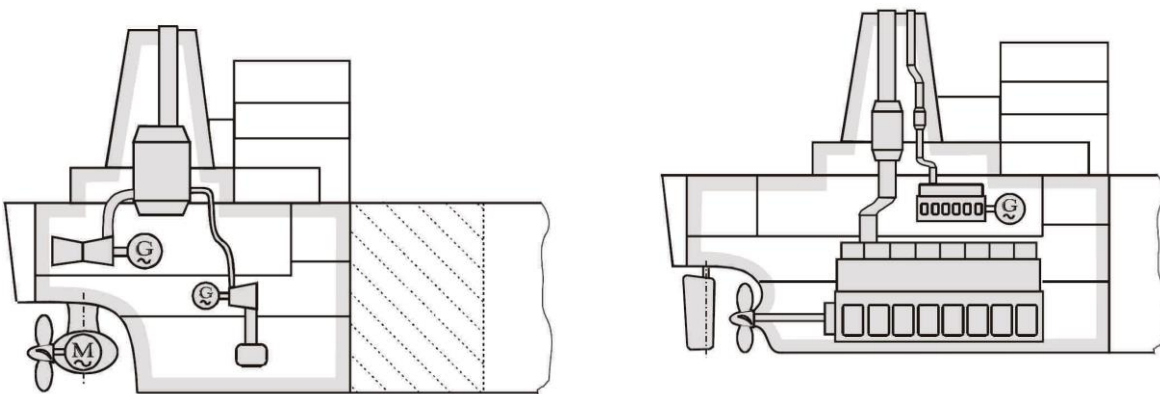


Рисунок 3 – Порівняння системи приводу ГТД на судні для перевезення скрапеного природного газу (LNG) із традиційним безпосереднім приводом малообертового дизельного двигуна [6]

В роботах [4-7] проведено ряд експериментальних та теоретичних досліджень енергетичних та емісійних характеристик двигуна LM 2500 фірми General Electric, для фрегатів типу «Олівер Газард Перрі».

На основі отриманих результатів проведено аналіз, що привів до визначення емісійних характеристик ГТД, які представлено як функція індикатора навантаження (рис. 4 і рис. 5).

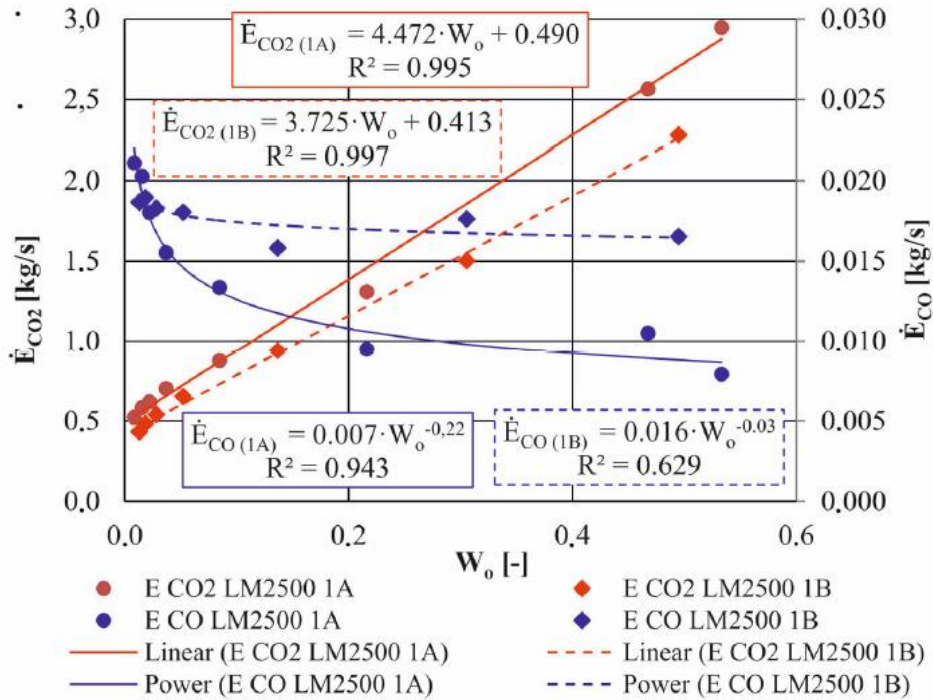


Рисунок 4 – Викиди вуглекислого газу (\dot{E}_{CO_2}) та оксиду вуглецю (\dot{E}_{CO}) двигунів LM 2500 1A та 1B як функція коефіцієнта навантаження двигуна (W_o) [7]

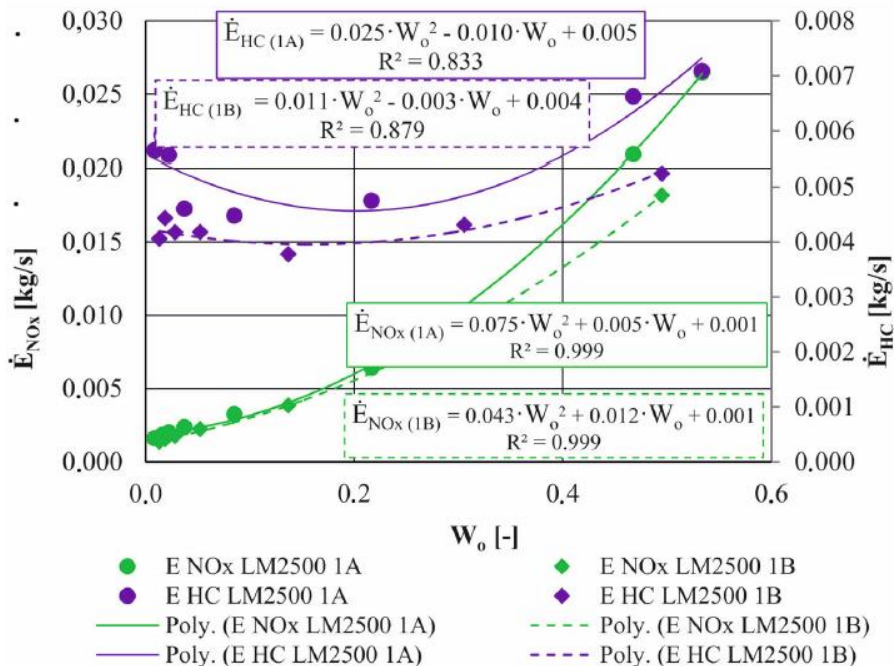


Рисунок 5 – Викиди оксидів азоту (\dot{E}_{NOx}) та вуглеводнів (\dot{E}_{HC}) двигунів LM 2500 1A та 1B як функція коефіцієнта навантаження двигуна (W_o) [7]

В якості майбутніх досліджень та поглиблення знань про фізико-хімічні властивості горіння палив і покращення емісійних характеристик газотурбінних двигунів морського призначення пропонуємо один з наступних варіантів: інтенсифікацію горіння за допомогою низькотемпературної плазми [8-11] та можливе застосування альтернативних палив чи двофазного горіння [12-15].

Висновки. 1. Проаналізовано можливості використання газотурбінних двигунів в морському транспорті. 2. Запропоновано для покращення екологічних характеристик газотурбінних двигунів використовувати альтернативні палива, в тому числі водень, а також системи плазмохімічного горіння різних за фізичним складом палив.

Список літератури

- [1] *The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973/1978 MARPOL*, Publisher PRS, Gdansk 2015.
- [2] Mrzljak, V., Poljak, I., & Mrakovčić, T. (2017). Energy and exergy analysis of the turbo-generators and steam turbine for the main feed water pump drive on LNG carrier. *Energy Conversion and Management*, 140, 307-323.
- [3] Krmek, I., Mrzljak, V., & Poljak, I. (2022). Analysis and Comparison of Ship Propulsion Systems. *Pomorski zbornik*, 62(1), 75-95.
- [4] Wirkowski, P., & Kniaziewicz, T. (2017). Evaluation of marine gas turbine engine parameters in terms of exhaust harmful emissions. *Combustion Engines*, 56.
- [5] Wirkowski, P., Kniaziewicz, T., & Markowski, J. (2016). Assessment of operating parameters of marine gas turbine engine in terms of emissions of harmful exhaust gases compounds. *Journal of Polish CIMEEAC*, 11(1).
- [6] European Defence Review. GE Marine to Provide Gas Turbine Engines to Fincantieri for Constellation Class Frigates. Retrieved from <https://www.edrmagazine.eu/ge-marine-to-provide-gas-turbine-engines-to-fincantieri-for-constellation-class-frigates>
- [7] Wirkowski, P., Markowski, J., Imilkowski, P., Iliev, I., Jesionek, K., Badur, J., ... & Benedict, P. (2023). Modeling of pollutant emissions from the turbine engine of the main propulsion of a vessel in operating conditions. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 404, p. 01001). EDP Sciences.
- [8] Serbin, S. I., Matveev, I. B., & Mostipanenko, G. B. (2011). Investigations of the working process in a "Lean-Burn" gas turbine combustor with plasma assistance. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 39(12), 3331-3335.
- [9] Vincent-Randonnier, A., & Teixeira, D. (2008). Plasma assisted methane diffusion flame: experiments and numerical simulation. *International Journal of Plasma Environmental Science & Technology*, 2(2), 119-127.
- [10] Романовский, Г. Ф., & Сербин, С. И. (1998). Плазмохимические системы судовой энергетики. *Николаев: УГМТУ*.
- [11] Matveev, I. B., Matveeva, S. A., Kirchuk, E. Y., Serbin, S. I., & Bazarov, V. G. (2010). Plasma fuel nozzle as a prospective way to plasma-assisted combustion. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 38(12), 3313-3318.
- [12] Serbin, S., Burunsuz, K., Chen, D., & Kowalski, J. (2022). Investigation of the characteristics of a low-emission gas turbine combustion chamber operating on a mixture of natural gas and hydrogen. *Polish Maritime Research*.
- [13] Nemati, A., Ong, J. C., Pang, K. M., Mayer, S., & Walther, J. H. (2022). A numerical study of the influence of pilot fuel injection timing on combustion and emission formation under two-stroke dual-fuel marine engine-like conditions. *Fuel*, 312, 122651.
- [14] Chiong, M. C., Chong, C. T., Ng, J. H., Mashruk, S., Chong, W. W. F., Samiran, N. A., ... & Valera-Medina, A. (2021). Advancements of combustion technologies in the ammonia-fuelled engines. *Energy Conversion and Management*, 244, 114460.
- [15] Сербін, С.І., Шмарков, О.А. (2022) Обґрунтування використання водню як палива ГТД контактного типу. *Сучасний стан та проблеми двигунобудування: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції*. Миколаїв: Торубара В.В.

Diasamidze B., Shmarkov O.

Possibilities of using gas turbine engines in maritime transport

In this study the principles of using gas turbine engines for naval purposes and their emission characteristics have been examined, moreover, ways to deepen knowledge and reduce emissions of toxic components have been proposed.

Keywords: gas turbine engine; dual-fuel low-emission combustor; combustion process; emission characteristics.

УДК 62-713.82

ПРОТИДІЯ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНІЙ КОРОЗІЇ ГІЛЬЗИ ЦИЛІНДРІВ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ

**Худяков І.В.¹, Грицук І.В.², Погорлецький Д.С.³, Поліщук О.В.⁴,
Літвінов М.Є.⁵**

*¹к.т.н. доцент; ²д.т.н. професор; ³к.т.н. доцент; ^{4,5}аспірант
кафедра експлуатації суднових енергетичних установок*

Херсонської державної морської академії. м. Херсон, Україна

¹Igor.khudiakov563@gmail.com; ²gritsuk_iv@ukr.net;

³dimon150582@gmail.com; ⁴polishukalex591@gmail.com; ⁵mykhaylolitvinov@gmail.com

Анотація. Розглянуто особливості вирішення однієї з проблем суднових малооборотних двигунів, під час роботи яких на часткових та мінімальних режимах навантаження є виникнення низькотемпературної корозії гільз циліндрів. Висвітлено причини виникнення та способи боротьби з низькотемпературною корозією суднових двигунів. Приділено увагу способам регулювання системи охолодження суднових двигунів, концепції регулювання в системі охолодження, яка передбачає автоматичне регулювання режимних показників за рахунок встановлення частотно-регульовальних насосів системи охолодження і регулювання водно-хімічних параметрів.

Ключові слова: суднова енергетична установка, малооборотний двигун, низькотемпературна корозія, система охолодження, частотне регулювання.

Вплив на процеси теплообміну в порожнинах системи охолодження двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) дозволяє скоротити теплові втрати з охолоджуючою рідиною, і за рахунок цього підвищити індикаторний ККД двигуна та поліпшити паливну економічність. Додаткове підвищення ефективного ККД може бути виконано за рахунок зниження механічних втрат на прокачуванням теплоносія (охолоджуючої рідини) контурами систем охолодження. Підвищення температурного рівня деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ) сприяє скороченню періоду затримки займання, що в свою чергу позитивно впливає на екологічні характеристики суднового ДВЗ. Якщо двигун працює неефективно на малих обертах, це відноситься до двохтактних малооборотних суднових ДВЗ, температура гільзи циліндру нижче точки роси (суміш сірчаної кислоти і води 120...160 °С). Корозійні суміші конденсуються на стінках, визиваючи низькотемпературну корозію стінок циліндрів. Під час використання палива з низьким вмістом сірки пізніше або повільніше згоряння палива збільшує теплове навантаження на деталі ЦПГ, що призводить до перегріву, проблем з мащенням та низькотемпературною корозією. Важке паливо, яке використовують для суднових ДВЗ, негативно впливає на деталі двигуна (через присутні в ньому домішки) і через неповне згоряння. Корозія є основною проблемою на судах, коли йдеться про спалювання мазуту в суднових ДВЗ. Низькотемпературна корозія, виникає через наявність сірки в важкому паливі і впливає на стан гільзи циліндрів та інші деталі камери згоряння ДВЗ. Суднові ДВЗ з довгим ходом поршня і більш високим тиском згоряння створюють суворі умови експлуатації під час спалювання важкого палива з низьким вмістом сірки. Використання режиму повільного підігріву палива, та невеликих робочих обертів, низької робочої температури ДВЗ,

призводить до виникнення низькотемпературної корозії. Тепловий стан суднового ДВЗ, забезпечується ефективною роботою системи охолодження, надає значний вплив на техніко-економічні показники суднового ДВЗ, такі як надійність, економічність і екологічна безпека [1-4]. Особливе значення має тепловий стан деталей ЦПП, він визначає якість протікання робочого циклу, умови змащування деталей, механічні втрати, витрату мастила на чад, інтенсивність зношування ЦПП, швидкість газової корозії і ресурс випускних клапанів, ймовірність тріщин у кришках та гільзах циліндрів, інтенсивність ерозійно-корозійних руйнувань поверхонь, які омиваються охолоджувальною рідиною, накипоутворення в сорочці системи охолодження. Відцентрові насоси які застосовуються в системах охолодження головних суднових ДВЗ, зазвичай працюють з постійною максимальною продуктивністю 24 год. на добу, перевагою буде застосування автоматичного регулювання продуктивності насосів у системі. А одним зі способів регулювання робочих параметрів відцентрового насоса є регулювання швидкості. Даний метод регулювання переважно здійснюється за допомогою частотного перетворювача, у порівнянні з іншими способами регулювання швидкості він забезпечує максимальний ККД та ефективніше використання енергії. Частотно-регульовані насоси використовують кількість енергії, яка необхідна для виконання насосом певної роботи. Виникнення низькотемпературної корозії має велике значення для двотактних суднових ДВЗ фірми MAN-B&W за умов роботи на сортах палив з низьким вмістом сірки (ULSFO), не більше 0,10 %; (VLSFO), не більше ніж 0,50 % та мазут, сірки трохи більше 3,50 %. IMO 2020 року диктує вимоги використання палива з максимумом 0,5 % сірки, коли не використовується скруббер. Робота суднового ДВЗ на паливі з низьким вмістом сірки зменшує корозійний знос до ступеня, коли знос легко контролювати без підвищення температури охолоджуючої рідини. У сервісному листі SL2019-671 рекомендовано деактивувати систему JVB при використанні палива до 0,50 % SVLSFO, і систему охолодження гільзи циліндрів load dependent cylinder liner (LDCL) робота якої залежить від навантаження суднового ДВЗ [1-4]. Система LDCL з додатковим контуром змішування на судновому ДВЗ, включає насос, триходовий клапан та систему керування. Метою цих заходів є підвищення температури стінки гільзи циліндрів на великій площі у верхній частині гільзи, за рахунок цього зменшується число циліндрового масла BN та може бути встановлена нижча необхідна швидкість подачі циліндрового масла.

Для запобігання виникненню низькотемпературної корозії розроблено ряд контрзаходів: обвідна сорочка охолоджувальної рідини втулки циліндрів, базова (JVB), система LDCL з додатковим контуром змішування та застосування нової конструкції циліндрової втулки (RDL) [1-4]. Принцип роботи системи LDCL полягає в тому, щоб отримати змінну температуру сорочки системи охолодження циліндрової втулки, залежно від навантаження ДВЗ шляхом введення додаткового циркуляційного контуру до системи охолодження сорочки двигуна, циркуляційний контур має змінювати температуру (до 130 °C), яка контролюється за допомогою триходового клапана. Принципова схема роботи системи LDCL та додатково встановленого частотного регулятора зображено на рис. 1 [1-4].

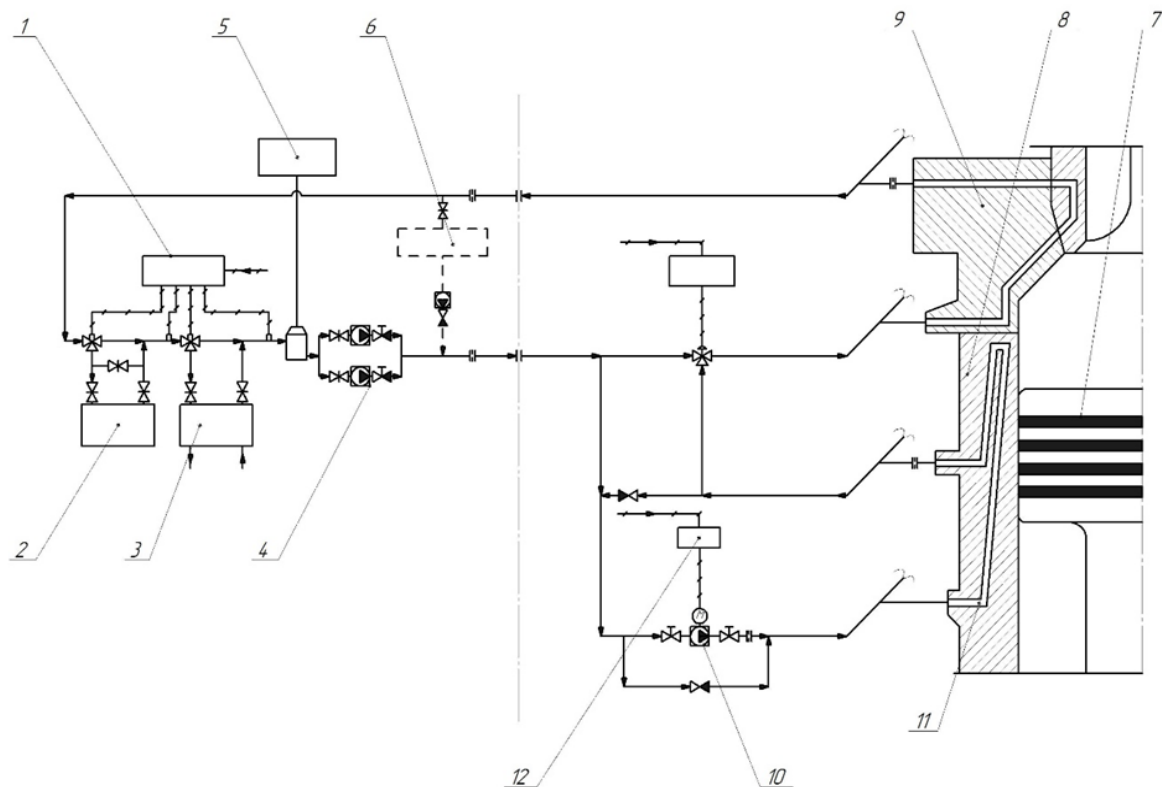


Рисунок 1 – Принципова схема роботи LDCL: 1 - клапан контролер; 2 - водопріснювальна установка; 3 - теплообмінний апарат; 4 - циркуляційний насос; 5 - розширювальний бак; 6 – підігрівач; 7 – поршень; 8 - циліндрова втулка; 9 - циліндрова кришка; 10 - циркуляційний насос системи LDCL; 11 - канал охолодження циліндрової втулки; 12 – частотний регулятор

Висновок. Розглянуто способи протидії, зменшенню впливу і виникненню низькотемпературної корозії гільзи циліндрів суднового ДВЗ. Виявлено, що низькотемпературній корозії гільзи циліндрів, протидіють підвищенням температури відкритих частин гільзи циліндрів в допустимих межах шляхом внесення змін до системи охолодження циліндрової втулки. Розглянуто можливість використання насосів з частотним регулюванням в системі охолодження головного суднового ДВЗ, для економії палива дизель-генераторних установок, та загальної економії електроенергії на судні.

Література:

1. Service letter SL2019-671/JAP. URL: <https://www.man-es.com/docs/default-source/service-letters/sl2019-671.pdf>
2. Service Letter SL2019-687/NHN. URL: https://www.man-es.com/docs/default-source/service-letters/sl2019_687.pdf?sfvrsn=4fba319_6
3. Service Letter SL2020-692/KAMO. URL: <https://www.man-es.com/docs/default-source/service-letters/sl2020-692.pdf>
4. Погорлецький Д.С. Грицук І.В., Худяков І.В. Особливості експлуатації лубрикаторної системи мащення суднового двигуна MAN - B&W 5S70ME-C/Матеріали 14-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування» 16-18 березня 2023 р. – Херсон. ХДМА

LOW-TEMPERATURE CORROSION PROTECTION OF MARINE ENGINE CYLINDER SLEEVES

Khudiakov Igor Valentynovych; Gritsuk Igor Valeriyovych;
Pohorletskiy Dmytro Serhiiovych; Polishchuk Oleksandr Volodymyrovych;
Litvinov Mykhailo Evgenovich
Kherson State Maritime Academy

Abstract. The peculiarities of solving one of the problems of low-speed marine engines, during which low-temperature corrosion of cylinder liners occurs during operation at partial and minimum load modes, are considered. The causes and methods of combating low-temperature corrosion of marine engines are highlighted. Attention is paid to the methods of regulating the cooling system of ship engines, the concept of regulation in the cooling system, which involves automatic regulation of operating parameters due to the installation of frequency-regulating pumps of the cooling system and regulation of water-chemical parameters.

Key words: ship power plant, low-speed engine, low-temperature corrosion, cooling system, frequency control.

УДК 629.5:330.332

ОЦІНКА ПОТУЖНОСТІ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА МОТОРНОЇ ЯХТИ

Казарезов А. Я.,

*доктор технічних наук, професор, заступник начальника відділу
Миколаївського науково-дослідного експертно-криміналістичного центру; професор
Навчально-наукового центру морської інфраструктури Національного університету
кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна;
KazariezovAnatoli1950@gmail.com*

Анотація Для орієнтовної оцінки потужності головного двигуна моторної яхти в роботі використано порівняльний підхід. Шляхом статистичної обробки бази даних 71 моторної яхти здійснена кількісна оцінка потужності головного двигуна моторної яхти в залежності від характеристик яхти. За допомогою коефіцієнтів кореляції досліджено вплив деяких параметрів яхти на потужність головного двигуна моторної яхти. Моторні яхти поділені на три групи в залежності від матеріалу корпусу. Для кожної групи яхт наведені пропозиції по прогнозуванню очікуваної потужності головного двигуна моторної яхти від максимальної швидкості та кубічного модулю яхти.

Ключові слова: моторна яхта, кубічний модуль, матеріал корпусу, швидкість ходу, потужність двигуна

Вступна частина

На початковій стадії проектування моторних яхт, при їх модернізації, при корегуванні вартості моторних яхт-аналогів для здійснення оцінки технічного стану та вартості судноплавних засобів виникає потреба в орієнтовному визначенні потужності головних двигунів яхти в залежності від швидкості руху та інших параметрів яхти.

В перелічених вище випадках необхідно мати можливість швидко здійснити оцінку потужності головних двигунів моторної яхти за умов використання деяких з характеристик яхти. Тому актуальність обраної тема дослідження не викликає сумніву.

В роботі використовується статистичний метод для оцінки потужності головних двигунів моторних яхт. При статистичному визначенні потужності головних двигунів моторних яхт до уваги приймалися нові моторні яхти як готові до продажу так і таки, будівництво яких завершується в найближчий час, за умови, що ціна на моторні яхти заявлена виробником чи продавцем. Моторні яхти, ціна на які вказана як договірна безпосереднє при продажу, до статистичного дослідження не залучались. В якості джерела інформації про моторні яхти використовувався сайт [1].

Мета роботи полягає в корегуванні формул для кількісної приблизної оцінки потужності головних двигунів моторної яхти в залежності від відомих характеристик яхти.

Основна частина

В багатьох випадках виникає необхідність в оцінці потужності головних двигунів моторної яхти. Фахівці не мають часу для повного та детального дослідження моторної яхти, здійснення розрахунків та випробувань. В ряді випадків достатньо мати приблизну оцінку потужності головних двигунів яхти, яку можливо здійснити за приблизними формулами.

Відомі приблизні формули, що визначають потужність головних двигунів моторної яхти [2], [3], [4] та інші. В якості факторних ознак, за якими визначається результуюча ознака – потужність головних двигунів моторної яхти авторами попередніх досліджень розглядаються: водотоннажність та максимальна швидкість ходу яхти. Інформація про водотоннажність яхти в каталогах у більшості випадків або відсутня, або не вказано до якої з водотоннажності має відношення наведене значення.

В даному дослідженні запропоновано замість водотоннажності моторної яхти використовувати кубічний модуль – добуток довжини на ширину та осадку, як це здійснено при оцінці вартості моторних яхт в [5]. Вказані значення приймаються максимальними згідно з характеристиками яхт, наведеними в [1]. В дослідженні доведено, що високий коефіцієнт кореляції між повною водотоннажністю яхти з 50% запасів та кубічним модулем яхти підтверджують справедливості запропонованого підходу до розрахунків потужності головних двигунів моторної яхти. В якості результуючої ознаки прийнято адміралтейський коефіцієнт, обчислений відносно кубічного модуля яхти в ступені 0,5 та максимальної швидкості ходу яхти в кубі, згідно з рекомендаціями [2, стор. 201 - 203], [3, стор. 41], [4, стор. 78].

Оцінка впливу прийнятих факторних ознак для усієї сукупності моторних яхт здійснена шляхом розрахунку парних коефіцієнтів кореляції. Результати розрахунку наведені в табл. 1 у групі №4.

Ступень зв'язку характеристик яхт, наведений в таблиці 1 для усієї сукупності, є невеликим – помітним. В дослідженні встановлено, що на залежність між потужністю головних двигунів моторної яхти та її швидкістю і кубічним модулем значною мірою впливає ще одна ознака – матеріал корпусу яхти. Конструктори для тихохідних яхт обирають сталеві корпуси більш традиційної конструкції, для швидкісних яхт – корпуси з легкого сплаву на основі алюмінію та пластикові корпуси. Ознака матеріал корпусу є вторинною – не матеріал корпусу визначає швидкість ходу яхти при проектуванні моторної яхти, а навпаки швидкість яхти визначає з якого матеріалу буде виготовлюватись корпус моторної яхти.

В таблиці 1 наведені дані розрахунку характеристик для 3-х груп моторних яхт в залежності від матеріалу корпусу.

Табл. 1

Залежність характеристик яхти від матеріалу корпусу

Характеристика яхти	Значення
Група №1. Матеріал корпусу сталь	
Коефіцієнт кореляції між кубічним модулем та потужністю двигунів	0,356
Коефіцієнт кореляції між швидкістю ходу та потужністю двигунів	0,833
Середня швидкість ходу по групі, вузли ($\alpha = 0,05$)	15,32±1,04
Адміралтейський коефіцієнт по групі ($\alpha = 0,05$)	61,65±9,38
Група №2. Матеріал корпусу сплав алюмінію	
Коефіцієнт кореляції між кубічним модулем та потужністю двигунів	0,462
Коефіцієнт кореляції між швидкістю ходу та потужністю двигунів	0,407
Середня швидкість ходу по групі, вузли ($\alpha = 0,05$)	19,57±1,49
Адміралтейський коефіцієнт по групі ($\alpha = 0,05$)	89,2±23,3
Група №3. Матеріал корпусу пластик	
Коефіцієнт кореляції між кубічним модулем та потужністю двигунів	0,141

	0,278
Коефіцієнт кореляції між швидкістю ходу та потужністю двигунів	
Середня швидкість ходу по групі, вузли ($\alpha = 0,05$)	28,63±3,69
Адміралтейський коефіцієнт по групі ($\alpha = 0,05$)	272,36±92,85
Група №4. Загалом по сукупності	
	0,223
Коефіцієнт кореляції між кубічним модулем та потужністю двигунів	
Коефіцієнт кореляції між швидкістю ходу та потужністю двигунів	0,248
Середня швидкість ходу по сукупності, вузли ($\alpha = 0,05$)	21,80±2,04
Адміралтейський коефіцієнт по сукупності ($\alpha = 0,05$)	155,82±43,43

З таблиці 1 можна зробити висновок, що для групи моторних яхт з корпусами з легкого сплаву середня швидкість ходу більша за середню швидкість ходу яхт зі сталевими корпусами в 1,3 рази, для групи яхт з корпусами з пластику в порівнянні зі сталевими корпусами – в 1,9 рази. Відповідно і адміралтейські коефіцієнти для груп яхт різняться у співвідношенні 1:1,45:2,53.

Вказане співвідношення характеризує ефективність використання легких сплавів та пластиків для виготовлення корпусів моторних яхт. При оцінці потужності головних двигунів моторних яхт необхідно враховувати означений фактор.

Висновки

Встановлено, що на потужність головних двигунів моторної яхти окрім швидкості і кубічного модулю значною мірою впливає матеріал корпусу яхти.

Рекомендується для кожного матеріалу корпусу моторної яхти використовувати окремі формули для визначення потужності головних двигунів моторної яхти, запропоновані в роботі, що дозволяє підвищити точність розрахунків.

Література

- [1] Електронний ресурс: <https://arconyachts.com/ru/sales/new> .
- [2] Ашик В. В. Проектирование судов: Учебник. – 2-е изд., перераб. И доп. – Л.: Судостроение, 1985. – 320 с.
- [3] Ногид Л. М. Проектирование морских судов. – Л.: «Судостроение», 1976. – 208 с.
- [4] Гернер Г., Ферховсек Р. Проектирование и оборудование торговых судов. Перевод с немецкого Веллер Е. Л. – М.: «Морской транспорт», 1956. – 324 с.
- [5] Казарезов А. Я., Комишник В. І. Оцінка вартості моторних яхт. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: 14 Міжнародна науково-технічна конференція: матеріали. – Миколаїв: НУК, 2023. – 768 с.

EVALUATION OF THE POWER OF THE MAIN ENGINE OF A MOTOR YACHT

Anatoli Ya. Kazariezov,

Mykolaiv scientific and recent expert-criminalistics center

Abstract. A comparative approach was used in the work to estimate the power of the motor yacht's main engine. Through statistical processing of the database of 71 motor yachts, a quantitative assessment of the power of the main engine of the motor yacht was carried out, depending on the characteristics of the yacht. With the help of correlation coefficients, the influence of some parameters of the yacht on the power of the main engine of the motor yacht was investigated. Motor yachts are divided into three groups depending on the material of the hull. For each group of yachts, suggestions are given for predicting the expected power of the main engine of a motor yacht from the maximum speed and cubic module of the yacht.

Keywords: motor yacht, cubic module, hull material, speed, power of engines

УДК 621.6

КРИТЕРІЇ ВИБОРУ СКЛАДУ ЕНЕРГОКОМПЛЕКСУ ПЛАВУЧОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Чередніченко О.К.

Доктор технічних наук

Професор кафедри Експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національний Університет Кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна
oleksandr.cherednichenko@nuos.edu.ua

Коробейнікова Н.В.

Асистент кафедри Експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національний Університет Кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна
natalya.korobeinikova@nuos.edu.ua

Басов О.Ю.

Аспірант

Національний Університет Кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна
olegbasov39@gmail.com

Анотація. Проведено аналіз методології вибору складу енергетичного комплексу. Визначено пріоритетність критеріїв в залежності від типу мобільного енергокомплексу. Проведено порівняння різних типів двигунів на плавучих електростанціях.

Ключові слова: плавуча електростанція, критерії вибору, газотурбіна установка

У методології проектування вагомість основних етапів розв'язання технічної задачі - фази визначення проблеми і фази рішення проблеми співвідноситься як 4/1 [1]. У зв'язку з цим вибір критеріїв оцінки прийнятих технічних рішень є найважливішою складовою процесу проектування.

Підходи, сформовані в судновій енергетиці, дають змогу згрупувати критерії вибору складу енергокомплексу за принципами максимізації та мінімізації показників [2,3]. Різноманітність вимог, частина з яких може суперечити одна одній, призводить до необхідності визначення значущості критеріїв і виділення "визначальних" критеріїв для кожного типу мобільного енергокомплексу. Під час розв'язання завдання оптимізації складу установки енергокомплексу необхідно згрупувати схожі критерії та проаналізувати значення показників залежно від цільової функції об'єкта.

Для єдиної електроенергетичної установки плавучої електростанції пріоритетність критеріїв вибору складу енергокомплексу наведено в таблиці 1. [4,5]

Таблиця 1. Пріоритетність критеріїв вибору складу енергокомплексу плавучої електростанції

Пріоритети першого рівня	Критерії забезпечення експлуатаційної працездатності в умовах впливу зовнішніх і внутрішніх джерел
Пріоритети другого рівня	Показники економічної ефективності
	Екологічні показники
	Віброакустичні показники

Показники критеріїв, віднесених до пріоритетів першого рівня, істотно впливають на показники критеріїв, віднесених до пріоритетів другого рівня. Наприклад, зниження показників критеріїв забезпечення експлуатаційної працездатності призводить до погіршення показників економічної ефективності.

Прикладом пріоритетності критеріїв забезпечення експлуатаційної працездатності, а також екологічних і масогабаритних показників над показниками економічної ефективності може слугувати той факт, що понад 50% мобільних енергокомплексів високотехнологічних об'єктів, як-то спеціалізовані судна для видобутку й накопичення вуглеводневої сировини FPSO, морські бурові платформи створено на базі газотурбінних установок [6]. Досить широке поширення ГТУ набули на плавучих електростанціях. З погляду оптимізації

показників енергетичної ефективності, як складової групи показників економічної ефективності, більш доцільним є застосування у складі мобільних енергокомплексів малообертових дизельних двигунів (високий ККД, можливість роботи на важких сортах палива). Однак у цьому разі ефект від оптимізації енергоефективності може бути нейтралізовано погіршенням екологічних, масогабаритних і віброакустичних показників. Інший приклад з метою зниження викидів CO₂ та NO_x можливе застосування ГТД з камерами згоряння типу DLE (Dry Low Emissions). Згідно з [6] зафіксовано випадки, коли робота ГТД з DLE на часткових режимах призводила до значного перевищення емісії NO_x і СО. Крім того встановлено, що на ефективність роботи камер DLE істотно впливає якість паливного газу, вміст метану в якому в умовах використання попутного газу може коливатися від 65 до 85 %.

Висновки

Аналіз методології вибору складу енергетичного комплексу показує необхідність визначення значущості критеріїв залежно від цільової функції об'єкта, до складу якого входить енергокомплекс. Для плавучих електростанцій критерії забезпечення експлуатаційної працездатності в умовах впливу зовнішніх і внутрішніх джерел є пріоритетними.

Література

- 1 Bakountouzis, L. N. Marine power plants: design methodology and trends / L. N. Bakountouzis // Transactions on the Built Environment. – 1993. – Vol. 1. – P. 85–95.
- 2 Handling Complexity Aspects in Conceptual Ship Design / H. Gaspar, A. Ross, D. Rhodes, S. Erikstad // Int'l Maritime Design Conf. – Glasgow, 2012.
3. Erikstad, S. A Ship Design and Deployment Model for Non-Transport Vessels / S. Erikstad, S. Solem, K. Fagerholt // Ship Technology Research. – 2011. – Vol. 58, No. 3. – P. 132–141
4. A. Kleijn, "Summary assessment of the status of floating powerplants," CE Delft, Netherlands, 2022. Retrieved from: <https://policycommons.net/artifacts/3154501/summary-assessment-of-the-status-of-floating-powerplants/3952363/>
5. Vard Marine's floating power plant, 2023. Retrieved from: <https://vardmarine.com/vessels/vard-9-series-specialized-vessels/floating-power-plants/>
6. THE UK OIL AND GAS INDUSTRY ASSOCIATION LIMITED // Offshore Gas Turbines and Dry Low NO_x Burners. An analysis of the Performance Improvement. – 2015. – Retrieved from : <https://oilandgasuk.co.uk/wp-content/uploads/2015/05/produccys-cayrgory.pdf>.

CRITERIA FOR SELECTING THE COMPOSITION OF THE POWER COMPLEX OF A FLOATING POWER PLANT

Cherednichenko O.K.

d.t.s., prof. of the Department of Ship Power Plants Operation and Heat Power Engineering
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaiv, Ukraine

Korobyeynikova N.V.

Assistant of the Department of Ship Power Plants Operation and Heat Power Engineering
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaiv, Ukraine

Basov O.Y.

Graduate student of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaiv, Ukraine

Abstract. The methodology for selecting the composition of the energy complex is analyzed. The priority of criteria is determined depending on the type of mobile power complex. The comparison of different types of engines on floating power plants is carried out.

Key words: floating power plant, selection criteria, gas turbine plant

УДК 621.4:620.9

МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ СУДНА CON-RO “EL COQUI”**Маховський А. А.***Провідний інженер-конструктор відділу суднових систем компанії**Марін Дизайн Інжиніринг Миколаїв, м. Миколаїв, Україна**andreymak01313@gmail.com*

Анотація. Проведено аналіз пропульсивного комплексу і параметрів ЕУ судна Con-Ro “El Coqui”. Проаналізована конструкція і характеристики ГД, запропоновано заходи по зменшенню потужності ГД для зменшення витрати палива та викидів шкідливих речовин (обмеження емісії GHG, SO_x, NO_x та інших забруднень) у навколишнє середовище.

Ключові слова: пропульсивний комплекс, суднова енергетична установка (СЕУ), судномеханічний комплекс (СМК), головний двигун (ГД).

Активне використання Світового океану як найважливішої транспортної магістралі, експлуатація його харчових, сировинних і енергетичних ресурсів, освоєння континентального шельфу, забруднення річок, водоймищ, що мають стік в Світовий океан, створили реальну загрозу його екологічного балансу.

Охорона морського середовища від забруднення передбачає комплекс заходів, направлених на запобігання появи нових причин джерел забруднення, і зведення до мінімуму і повну ліквідацію вже існуючих.

Спостереження і контроль за виконанням вимог по безпеці мореплавства здійснюється під егідою ряду міжнародних організацій, серед яких Міжнародна Морська Організація (ІМО).

Зазначена організація здійснює контроль за безпекою мореплавства по трьох основних видах:

1. технічний (контролюється виконання Правил технічної експлуатації й ін. подібних норм, тобто поведінки людини стосовно техніки).
2. адміністративно-технічний (перевіряється виконання технічних і правових норм).
3. адміністративний (контролюється дотримання вимог, законів, підзаконних актів і міжнародних договорів).

Технічні рішення, що забезпечують конструктивну безпеку судна, приймаються в процесі його проектування.

Американська компанія Crowley Maritime Corporation взяла на себе постачання одного з перших у світі комбінованих контейнеровозів / ролкерів (Con-Ro), що працюють на зрідженому природному газі (LNG), від суднобудівника VT Halter Marine Inc. Судно Con-Ro *El Coqui* (рис. 1.1.1 [3]), перше із двох суден класа Commitment Class, LRG-конвеєр Con-Ro, призначених для судноплавства та логістичних послуг між Джексонвілем, Флорида та Сан-Хуаном, Пуерто-Ріко.

На судно встановлено один головний двигун (ГД) MAN 8S70ME-C8.2-GI – двотактний, малооборотний, двопаливний, нереверсивний, дизельний двигун. Номінальна потужність – 26160 кВт та частота обертання 91 хв-1. Швидкість ходу 22 вузла. Через те, що використовується малооборотний двигун, передача від двигуна до рушія відбувається напряму, без використання редуктора. Електричною енергією судно забезпечують три дизель – генератори MAN 9L28/32DF, потужністю 1740 кВт кожний.

Двотактний двопаливний двигун MAN 8S70ME-C8.2-GI — одна з найнадійніших платформ у галузі, що забезпечує високу ефективність експлуатації та незначні викиди метану для великих торгових суден. На основі більш ніж десятирічного досвіду двигун був удосконалений, щоб запропонувати спрощену конструкцію, виключно низький рівень викидів метану, а також модернізацію ключових компонентів.



Рис. 1. Загальний вигляд судна Con-Ro *El Coqui*

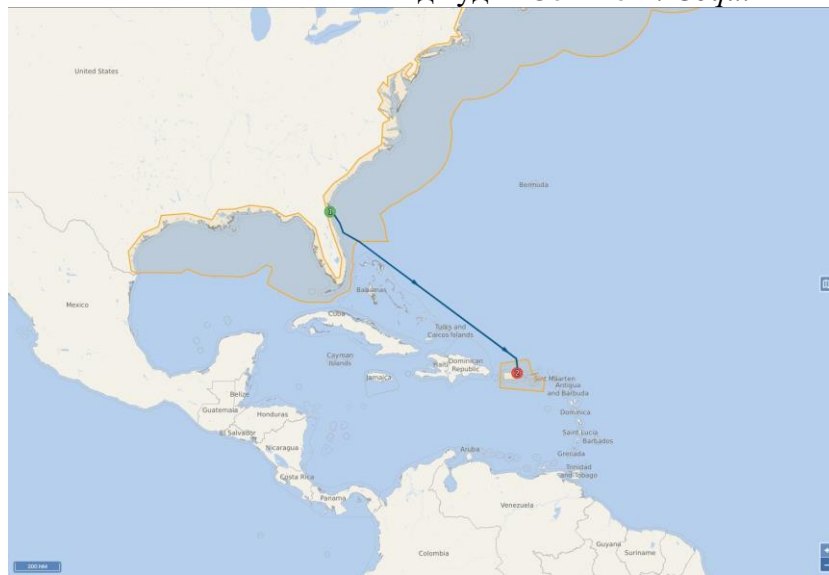


Рис. 2. Рейсова лінія судна Con-Ro *El Coqui*
Джексонвіль, Флорида - Сан-Хуан, Пуерто-Ріко

Це, у свою чергу, підвищило надійність, а також забезпечило більшу ступінь гнучкості для дотримання норм викидів. Двигун MAN 8S70ME-C8.2-GI ідеально підходить як для нових проектів, так і для модернізації. Він мінімізує експлуатаційні витрати, забезпечуючи однаково найкращу в галузі теплову ефективність незалежно від того, яке паливо ви використовуєте. Це величезна перевага, особливо для контейнеровозів на ринку, де ціни на паливо коливаються. ME-GI також може працювати як на біометані, так і синтетичному природному газі, що забезпечує чіткий шлях до скорочення викидів парникових газів. При такій роботі можна виконувати вимоги Tier III, що стане у нагоді при запланованих вимогах ІМО що до зниження шкідливих викидів в атмосферу. Так як двигун має позначку G (green) двигун відповідає вимогам викиду газів у навколишнє середовище.

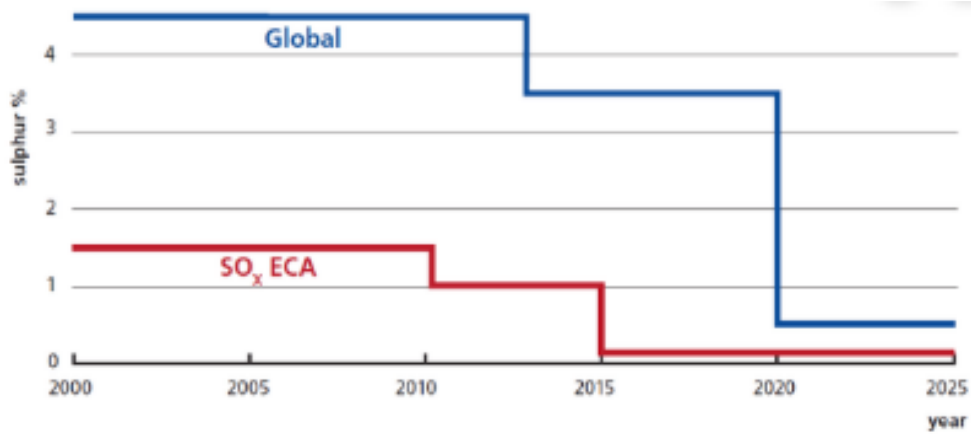
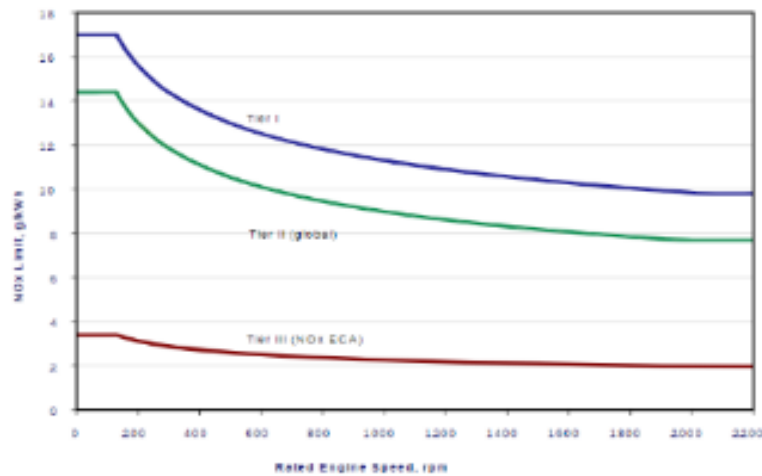
Рис. 3. Обмеження викидів SO_x від суднових двигунів.

Рис. 4. Обмеження вмісту оксидів азоту в паливі.

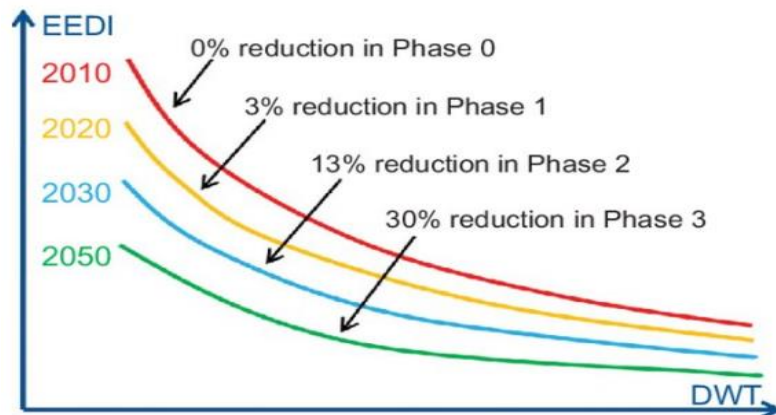


Рис. 5. Графік обмеження викидів від суднових двигунів.

Існує багато заходів модернізації та вдосконалення пропульсивного комплексу судна. Нижче приведенні приклади деяких з них (рис. 6).

Для зменшення навантаження на суднову енергетичну установку (СЕУ) та зниження необхідної потужності головного двигуна (зменшення витрати палива), що у свою чергу призведе до додаткового зменшення викиду шкідливих речовин в атмосферу (CO_x, SO_x, NO_x), запропоновано встановлення нового типу валогенератора останнього покоління, виробництва компанії DSME, також розглянуто можливість модернізації існуючого гвинта фіксованого кроку (ГФК) або його заміни на гвинт регульованого кроку (ГРК), для збільшення енергоефективності судномеханічного комплексу.

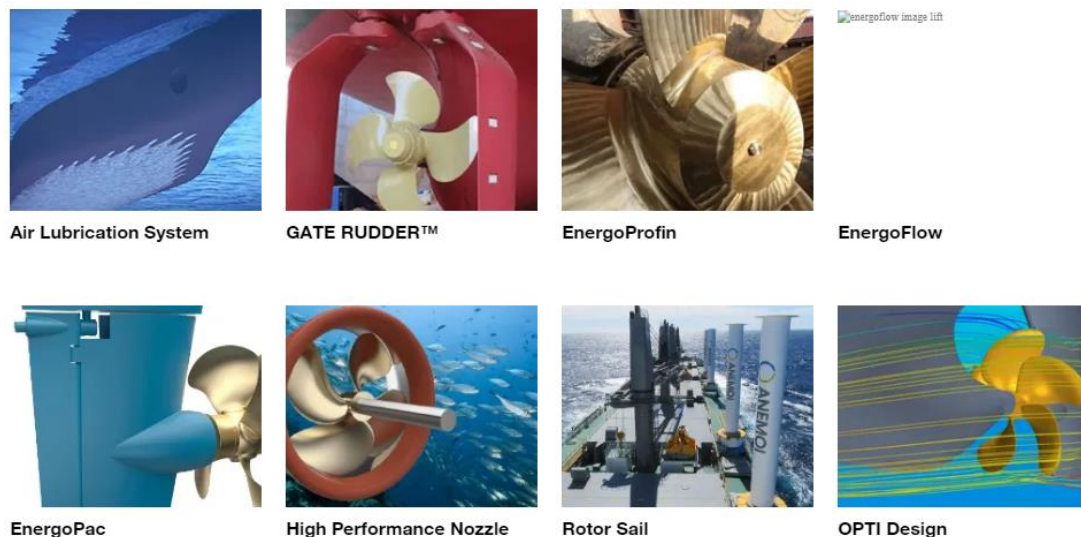


Рис. 6. Засоби модернізації пропульсивного комплексу судна, апробовані Energy Saving Devices (ESD) та рекомендовані фаховими організаціями.

Усі стандартні двигуни компанії MAN відповідають існуючим нормативам щодо рівня викидів NO_x , встановленим Міжнародною морською організацією (IMO), а також більшості місцевих нормативів щодо викиду вихлопних газів без додаткових модифікацій.

Паливна система даного судна влаштована таким чином, що можна використовувати як дизельне паливо (MGO), так і зріджений природний газ (LNG).

На даний час судна використовують LNG як паливо для головних двигунів та дизель-генераторів, тому що, виходячи з фактів, що LNG не містить сірки, і процесу його згоряння, LNG виробляє низький вміст NO_x в порівнянні з судновим дизельним паливом. LNG не лише дає низький рівень викидів, а й має економічні переваги.

За даними DNV GL, при використанні LNG як суднового палива та заміни традиційних видів палива на нафтовій основі (мазуту, суднового газойлю або дистильного палива) відбувається значне зниження місцевого забруднення повітря — починаючи від викидів SO_x і NO_x у двоокис вуглецю, тверді частки (PM) та чорний вуглець. Повне видалення викидів SO_x та твердих частинок PM, а також скорочення викидів NO_x до 85 % за рахунок використання LNG є вагомим аргументом на користь використання LNG, особливо у прибережних та чутливих екосистемах. Крім того, LNG також знижує викиди не менш ніж на 20%. Як паливо LNG пропонує безліч переваг як здоров'ю людини, так навколишнього середовища.

Ще однією з основних переваг, через яку LNG стає кращим паливом, є нижча ціна порівняно з мазутом (HFO), судновим дизельним паливом (MDO) та мазутом з низьким вмістом сірки (LSHFO).

На судно встановлена колонка EGR, яка здатна направляти до 40% відпрацьованих газів через попередній розпилювач та блок EGR (охолоджувач EGR та WMC) до точки змішування в головній колоні.

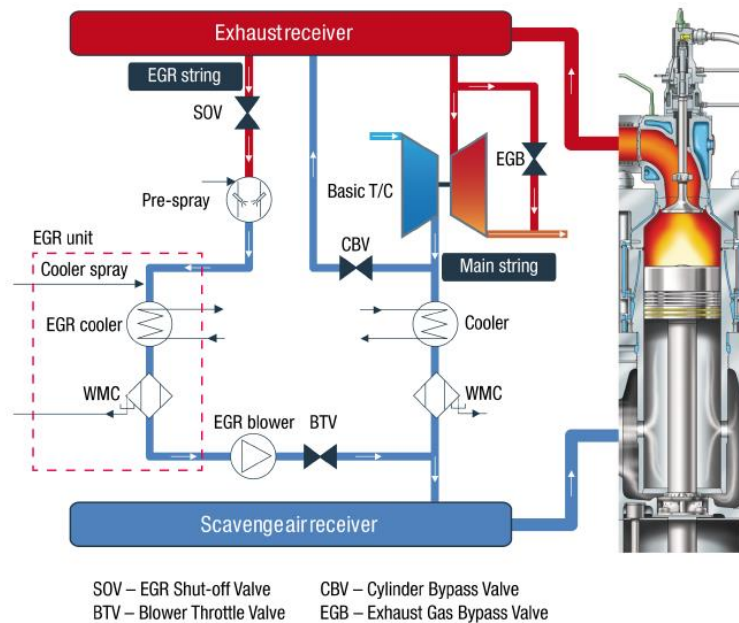


Рис. 7. Система EGR.

Система EGR використовується для зниження кількості оксидів азоту (NO_x), які утворюються при згоранні палива в дизельних двигунах. Ці гази є шкідливими для навколишнього середовища і людського здоров'я, тому їх зменшення є важливою задачею для промисловості.

Оскільки екологічне законодавство вимагає від судновласників ще більше мінімізувати викиди CO₂ та підвищити ефективність судномеханічного комплексу, валогенератор, що колись вважався економічно неефективним рішенням, у поєднанні з перетворювачем частоти та першокласною конструкцією суден може досягти небаченого раніше рівня ефективності. Система забезпечує гнучкість мережі судна та потужності двигуна, дозволяючи оператору легко справлятися з різними ситуаціями, з якими може зіткнутися при керуванні судном.

Тому при модернізації зазначеного судна запропоновано залишити наявний ГД, але передбачити можливість зменшення його потужності – *low load deratings* та використання Energy Saving Devices (ESDs):

1. Використати новий тип валогенератора;
2. Замінити існуючий гвинт фіксованого кроку (ГФК) на гвинт регульованого кроку (ГРК), для збільшення енергоефективності судномеханічного комплексу.

Екологічній ефективності водного транспорту приділяють значну увагу в рамках глобальної стратегії зниження антропогенного впливу на оточуюче середовище.

Виділяють наступні критерії оцінки екологічної ефективності суден: індекси енергетичної ефективності для нових суден та суден, що знаходяться в експлуатації (EEDI і EEOI, відповідно), для оцінки питомих викидів CO₂, екологічний судовий індекс (ESI), що враховує викиди оксидів азоту, сірки і опосередковано CO₂.

EEDI визначається для суден валовою місткістю більше 400 т з головними дизельними пропульсивними установками (з прямою чи механічною передачею потужності на гвинт).

Література:

5. SIGNIFICANT SHIPS OF 2018 © 2018. The Royal Institution of Naval Architects.
6. Оцінка енергоефективності морського судна: методичні рекомендації до виконання розділу випускної кваліфікаційної роботи / В.М. Горбов, В.С. Мітенкова, Є.В. Білоусов, В.П. Савчук Херсон: ХДМА, 2019.
7. Горбов В.М. Основи судової енергетики: збірник практичних завдань /В.М. Горбов, І.П. Єсін, В.С. Мітенкова. – Миколаїв: НУК, 2018.–244 с

8. Артемов Г.А., Волошин В.П. и др., «Судовые энергетические установки», 1987.
9. IMO (2016). Train the Trainer (TTT) Course on Energy Efficient Ship Operation. Module 2 – Ship Energy Efficiency Regulations and Related Guidelines.
10. Gorbov V. M., Mitienkova V. S., Serbin S. I. Alternative Fuels in Ship Power Plants: Monograph. – Mykolaiv: publisher Torubara V. V., 2017. – 120 p.

Power plant modernization of the vessel Con-Ro “El Coqui”

Andrii Makhovskyi

Lead Engineer Mechanical in Marine Design Engineering Mykolayiv, LLC

Annotation.

An analysis of the propulsion complex and parameters of the power plant of the Con-Ro vessel “El Coqui” was carried out. The design and characteristics of the main engine are analyzed, measures are proposed to reduce the power of the main engine to reduce fuel consumption and emissions of harmful substances (reducing emissions GHG, SO_x, NO_x and other pollutants) into the environment.

Keywords: propulsion complex, ship power plant, marine mechanical complex, main engine (ME)

УДК 621.4:620.9

РОЗРОБКА ГІБРИДНОЇ ПРОПУЛЬСИВНОЇ УСТАНОВКИ LNG ТАНКЕРА «BRITISH PARTNER»

Костюк А. І.

студент групи 6211м,

*кафедра експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

artem1735@gmail.com

Анотація. В останні 20-30 років, через жорсткіші екологічні норми у світі, все більш різко постає питання зменшення шкідливих викидів від головного двигуна (ДВЗ) судна. На практиці вже широко застосовуються системи рециркуляція відпрацьованих газів (EGR) та система виборчої каталітичної нейтралізації відпрацьованих газів (SCR). Останніми роками особливо актуальними стали гібридні системи пропульсивного комплексу із застосування електричних батарей та паливних елементів що дозволяє підвищити енергоефективність та значно зменшити шкідливі викиди в атмосферу.

Ключові слова: гібридна установка, паливний елемент, риформінг, системи діагностики, шкідливі викиди, батарея.

Гібридна судова силова установка на паливних елементах складається з кількох частин. Серцем системи є паливний елемент, який перетворює паливо (водень) в електричну енергію. Ця потужність подається через бортову систему розподілу електроенергії до великих споживачів, таких як електродвигуни (валогенератор), що приводять у рух гвинти та лебідки, а також до менших «побутових» споживачів. Бортова система розподілу також має накопичувальний пристрій – як правило, літій-іонну батарею – для тимчасового накопичення енергії. Ця батарея допускає часову затримку між генерацією та споживанням електроенергії, таким чином відкриваючи можливість синхронізувати роботу окремих компонентів для досягнення максимальної ефективності. Це вимагає інтелектуальної системи керування живленням для контролю окремих компонентів.

Система паливних елементів, що працює на водні, підходить для використання на внутрішніх водних шляхах, таких як озера та фіорди, а також для прибережної навігації та використання на портових поромках. Оскільки судна можна регулярно заправляти паливом на суші, маршрути, які необхідно пройти, є здійсненними за допомогою сучасних найсучасніших технологій.

Паливний елемент подібний до батареї в тому, що він виробляє постійний струм шляхом хімічної реакції. Знову ж, подібно до батареї, паливний елемент включає анод, катод і електроліт. Однак, на відміну від батарей, паливні елементи не можуть накопичувати електричну енергію, не розряджаються та не вимагають електрики для повторної зарядки. Паливні елементи можуть постійно виробляти електроенергію, доки вони мають запас палива та повітря.

На відміну від інших генераторів електроенергії, таких як ДВЗ або турбіни, що працюють на газі, вугіллі, мазуті та ін., паливні елементи не спалюють паливо. Це означає відсутність гучних роторів високого тиску, гучного шуму при вихлопі, вібрації. Паливні елементи виробляють електроенергію шляхом безшумної електрохімічної реакції. Іншою особливістю паливних елементів є те, що вони перетворюють хімічну енергію палива безпосередньо на електрику, тепло та воду.

Для зберігання великого запасу водню для паливних елементів потребує балонів великих габаритів, то раціонально буде застосувати установки для генерації водню і невеликий балон для зберігання водню.

Враховуючи те що обране судно має великі запаси метану, логічно буде обрати генерацію водню методом парової конверсії (риформінг).

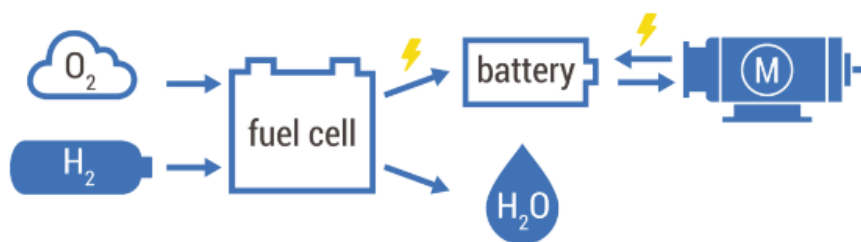
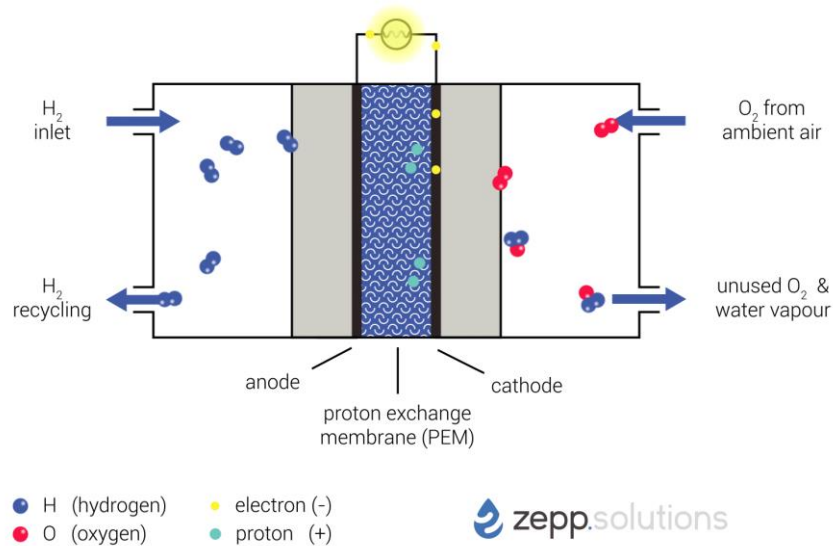


Рис. 1. Основний принцип роботи паливного елемента

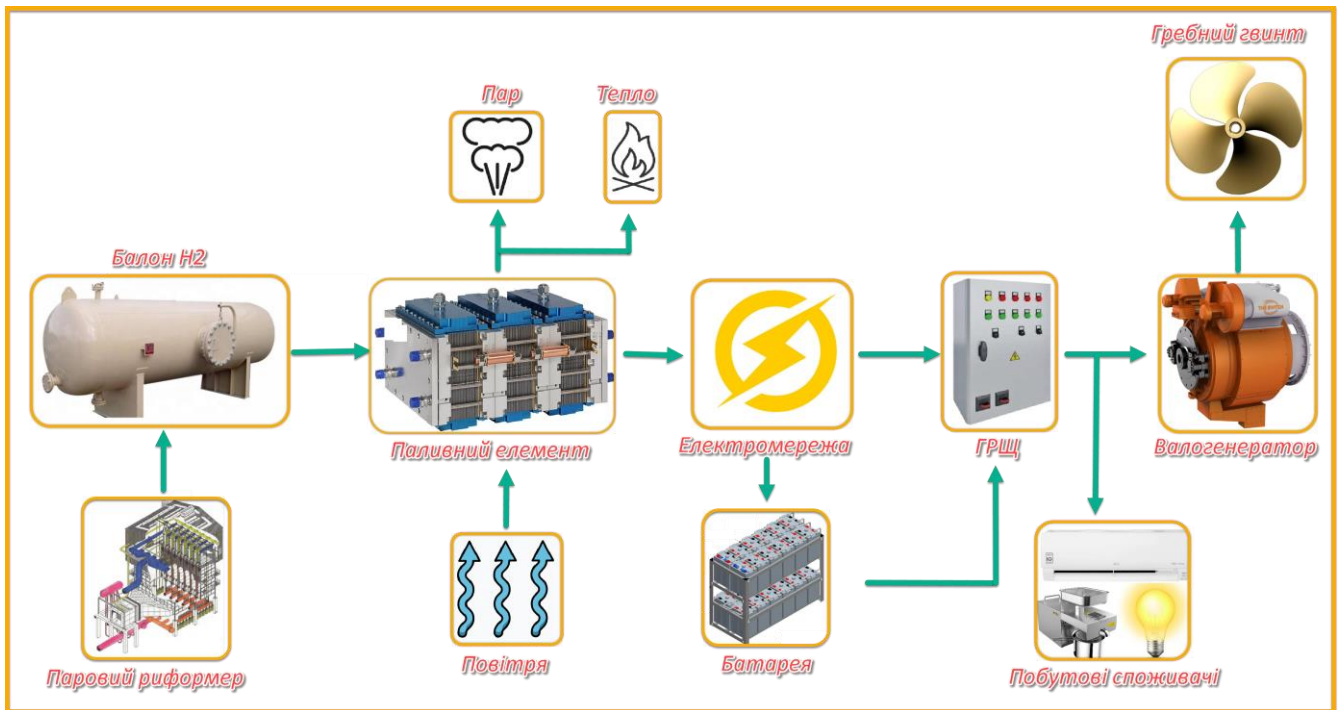


Рис. 2. Принципова схема гібридної водневої силової установки

Враховуючи те, що судно вже побудоване і на етапі проектування не було передбачено спеціальних приміщень у МВ для паливних елементів, доцільно буде взяти вже готове рішення в окремому блоці.

Водневі паливні елементи на сьогодні є найефективнішим способом зберігання енергії як синтетичного палива та виробництва електроенергії. TECO пропонує спеціально розроблену модульну систему паливних елементів для важких морських застосувань.

Для розглянутого судна доцільно буде обрати готове рішення на базі 10 футового контейнера потужністю 1600 кВт. Дане рішення має надмалі габарити в поєднанні з досить високою вихідною потужністю.



Рис. 3. Паливний елемент TECO 1600 кВт

Основними перевагами паливних елементів TECO є: вирішення проблеми компромісу між щільністю потужності та довговічністю; конструкція з кількома стеками забезпечують надійну та резервну продуктивність; суворі протоколи безпеки; компактний розмір системи (менше 2/3 порівняного дизельного генератора), що спрощує модернізацію; модульна конструкція системи надає нову гнучкість новозбудованим суднам; забезпечує справжню нульову енергію викидів для судна; удосконалена система кондиціонування палива, що

дозволяє працювати зі стисненим і рідким H_2 , аміаком, метанолом та іншими носіями на основі H_2 .

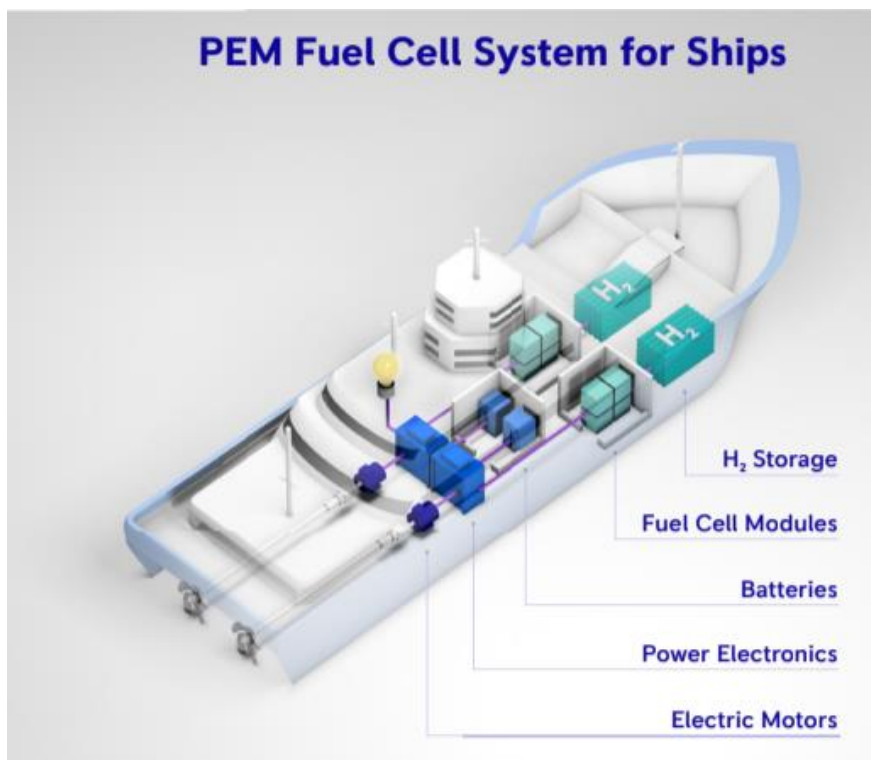


Рис. 4. Складові установки із застосування PEM паливних елементів

Система гібридної установки може бути запропонована як для модернізації вже діючого судна так і для нового. Останнім часом все більше судновласників починають думати про застосування на суднах паливних елементів щоб відповідати жорстким екологічним нормам та збільшувати енергоефективність судна. На поточний момент в світовому торговому флоті ще не так багато суден із застосування паливних елементів, але цей напрямок стрімко розвивається і, на мою думку, найближчі 10-15 років можна очікувати бум на використання паливних елементів в гібридних силових установках на суднах.

Висновки:

За рахунок впровадження гібридного пропульсивного комплексу очікується загальний ефект на рівні 12-15% зменшення EEDI до 3.62 г CO_2 /(т·милю).

Література:

1. <https://zepp.solutions/en/technology/>
2. <http://masters.donntu.ru/2011/fkita/petrenko/library/translate.htm>
3. <https://teco2030.no/solutions/teco-marine-fuel-cell/>
4. <https://www.mtu-solutions.com/au/en/technical-articles/2020/moving-towards-climate-neutrality-fuel-cell-technology-for-future-energy-and-propulsion-systems.html>
5. NHI's New Fuel Saving Propeller Attachment Can Save Up To 2.5 % of Fuel (marineinsight.com)

DEVELOPMENT OF HYBRID PROPULSION SYSTEM FOR LNG CARRIER "BRITISH PARTNER"

Kostiuk A.

Student group 6211m, Department Operation of Ship Power Plants and Thermal Power Engineering Admiral Makarov National University of Shipbuilding Mykolaiv, Ukraine
artem1735@gmail.com

Abstract. In the last 20-30 years, due to stricter environmental standards in the world, the question of reducing harmful emissions from the main engine of the ship has become more and more acute. Exhaust gas recirculation (EGR) and selective catalytic neutralization of exhaust gases (SCR) systems are already widely used in practice. Hybrid systems of the propulsive complex with the use of electric batteries and fuel cells have become especially relevant, which allows to increase energy efficiency and significantly reduce harmful emissions into the atmosphere.

Key words: hybrid system, fuel cell, reforming, diagnostic systems, harmful emissions, battery.

УДК 622.997

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОАСОСНИХ УСТАНОВОК В СТІЧНИХ СИСТЕМАХ МОРСЬКИХ СУДЕН

Семенов М.М.

*доцент НУК кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
mikola.semenov@nuos.edu.ua*

Шаповалов Ю.О.

*кандидат технічних наук,
доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
yuriy_shapovalov_2011@ukr.net*

Качмар А. С.

студент

*Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
kachmar198@gmail.com*

Попенко М. І.

студент

*Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
propenko82@gmail.com*

Анотація. Розглядається можливість енергозбереження за рахунок використання теплоти стічних вод на морських судах. Розглянуті схеми та виявлені переваги та межі застосування теплоасосних установок.

Ключові слова. Стічна система, теплоасосна установка, енергозбереження

Оскільки світ бореться з енергетичною кризою та жахливими наслідками зміни клімату, важливо знайти інноваційні та нові рішення енергозбереження. Одним з методів енергозбереження є використання енергії стічних вод. Енергія стічних вод має унікальні можливості для вирішення кількох нагальних проблем, що робить її перспективним рішенням для чистішої енергії в майбутньому.

Цей метод вирішує такі проблеми, як:

- Дефіцит чистих енергетичних ресурсів
- Зростання попиту на енергоефективність
- Потреба в стійких рішеннях для опалення та охолодження
- Зменшення впливу виробництва енергії на навколишнє середовище.

Використовуючи енергетичний потенціал стічних вод, ми можемо створити відновлюване джерело енергії, яке вирішить ці проблеми, доповнюючи інші технології чистої енергії.

Мета дослідження: дослідити межі застосування телонасосних установок для використання вторинних ресурсів з стічних вод на судах.

Пропонуються дві принципові схеми впровадження телонасосних установок для теплопостачання та холодопостачання. (рис. 1 та рис 2)

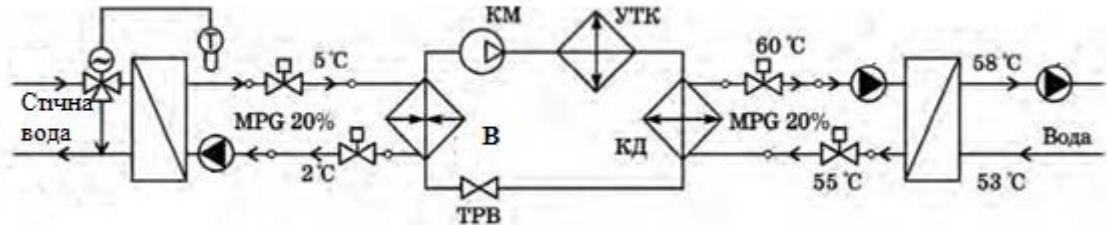


Рис 1. Принципова схема роботи телонасосної установки у режимі нагріву.

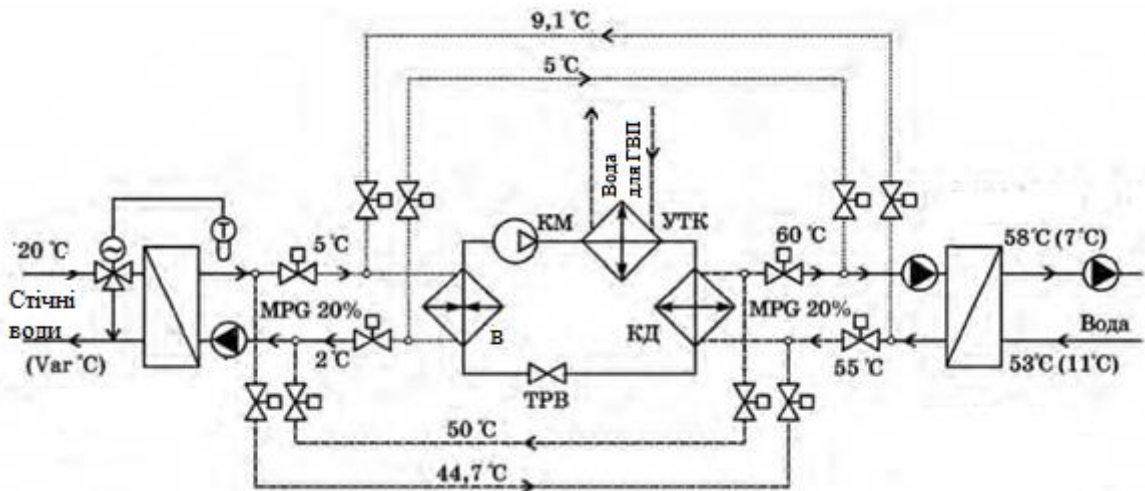


Рис.2 Принципова схема роботи телонасосної установки у режимі охолодження.

КМ-компресор, УТК-утилізатор теплоти конденсації, КД- конденсатор, ТРВ- терморегулюючий вентиль, В - випарник.

Джерелом низкопотенційної теплоти служить судові стічні води. Якщо розглядати стандартну телонасосну установку наприклад Vitocal 200-G, типу 201.A606-A17, [2] то для її роботи необхідно мінімальна об'ємна витрата 820 л/год. За вимогою МАРПОЛ мінімальна кількість води на одного члена екіпажу або пасажера дорівнює 50 літрів на добу, або 2 л/год. Для забезпечення роботи установки потрібно щоб на судні знаходилось 410 чоловік. Приведемо у таблиці 1 технічні данні Vitocal 200-G[2].

Таблиця 1. Технічні характеристики Vitocal 200-G, тип WVC 201.A06-A17

Тип WVC 201.A	06
Робочі дані відповідно до стандарту EN 14511 (В0/W35, різниця температур 5 К)	
Номінальна теплова потужність, кВт	5,64
Потужність охолодження, кВт	4,37
Споживана елек. потужність, кВт	1,27
Коефіцієнт потужності ϵ (COP)	4,46
Розсіл (первинний контур)	
Об'єм, л	1,1
Мінімальна об'ємна витрата, л/год	820

Залишковий напір (за мінімальної об'ємної витрати), кПа	6
Макс. температура подачі, °С	25
Мін. температура подачі, °С	-5
ГВП (вторинний контур)	
Об'єм л	1,1
Номінальна об'ємна витрата, л/год	990
Залишковий напір (за номінальної об'ємної витрати),	55
Мінімальна об'ємна витрата, л/год	520
Залишковий напір (за мінімальної об'ємної витрати),кПа	63
Макс. температура подачі, °С	60

Використовуючи надані припущення, ми можемо розрахувати потенційну економію енергії та зменшення викидів CO₂ для судна, якщо будемо використовувати енергію стічних вод:

Щоденна кількість стічних вод = 19,680 м³/доб або 19680кг/доб.

Добова енергоємність стічних вод = (19,680) * (1,16Вт*год/(кг К)) = 22,8кВт/доб.

Висновки

Розглянуто особливості роботи утилізаційних теплонасосних установок на судах морського флоту. Проаналізовано варіанти використання вторинних енергетичних ресурсів суднових енергетичних установок для тепло- та холодопостачання. Отримані результати показали перспективність запропонованих технічних рішень для використання вторинних енергетичних суднових енергетичних установок у стічній системі на судах морського флоту

Література

1. Остапенко В.М., Уланов М.М., Уланов Н.М. Утилізація теплоти вод, що циркулюють у системах водопровідно-каналізаційних господарств міст України// Збірник доповідей Міжнародної конференції. Теплові насоси Київ, Львів. 2007. – С. 121-125.
2. VIESMANN VITOCAL Інструкція з проектування[Electronic resource] <https://www.viessmann.ua/content/dam/virands/UA/PDF>

STUDY OF THE POSSIBILITY OF USING HEAT PUMP INSTALLATIONS IN SEWAGE SYSTEMS OF SEA VESSELS

Semenov Mykola Mykolaevich, Shapovalov Yuriy Olexandrovich, Kachmar Andriy Stepanovych, Popenko Margarita Ihorivna

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The possibility of energy saving due to the use of waste water heat on sea vessels is being considered. The schemes were considered and the advantages and limits of the use of heat pump units were identified.

Keywords. Sewage system, heat pump installation, energy saving

УДК 621.4:620.9

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПОВІТРЯНОГО ЗМАЩЕННЯ
КОРПУСУ СУДНА ГАЗОВОЗУ «BW Tulip»****Орлов М. В.**

студент групи 6211м, кафедра експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

orlovmaksym@gmail.com

Анотація. З самого початку суднобудування людство намагалось вдосконалити СЕУ та оптимізувати корпус судна для зменшення буксирувального опору. І здавалось, вищезгадані покращення майже досягли свого максимуму. З'явилась ідея впровадження системи повітряного змащення корпусу судна, що також зменшує опір судна у воді та дає економію палива приблизно в 5-7%

Ключові слова: повітряне змащення, безмасляний компресор, зниження буксирувального опору, повітровипускні камери

Система повітряного змащування працює за простим принципом утримання шару повітряних бульбашок під корпусом судна. Повітродувка або компресор використовується для генерування бульбашок, які постійно пропускаються під поверхнею судна. Випускні отвори для повітряних бульбашок розташовуються в різних місцях уздовж днища корпусу, симетрично по обидва боки від осової лінії судна. Повітря продувається з постійною швидкістю, утворюючи шар бульбашок, що зменшує опір між судном та водою. Щоб досягти бажаного ефекту, система повинна постійно створювати та підтримувати повітряний шар із бульбашок.

Однією з умов впровадження системи є конструктивні особливості корпусу. Нажаль кораблі та судна з V-подібним корпусом, як відповідно деякі військові або прогулянкові, поки що не мають змоги скористатися перевагами цих новацій, адже основним критерієм тут виступає пласке днище, що слугує для утримання повітряного шару. Великий коефіцієнт повноти корпусу газозова утворює достатньо пласке днище, що дозволить нам застосувати технологію повітряного змащення.

З іншого боку виникають побоювання, що бульбашки повітря, які переміщуються вздовж корпусу, потрапляють на гвинт судна. Це може вплинути на ефективність, шум і вібрацію гвинта, але згідно з експериментами, проведеними компанією Mitsubishi, вплив бульбашок повітря на гвинт був незначним [1].

Для отримання бажаного ефекту в роботі системи важливо, щоб повітряні бульбашки були однакового розміру і рівномірно розподілялися під поверхнею корпусу. Крім того, зміна діаметра повітряних бульбашок різко вплине на розподіл повітряних бульбашок під корпусом. Тому необхідно досягти умов які гарантують, що бульбашки будуть мати однаковий діаметр (якщо можливо) і рівномірно розподіляться під корпусом судна.

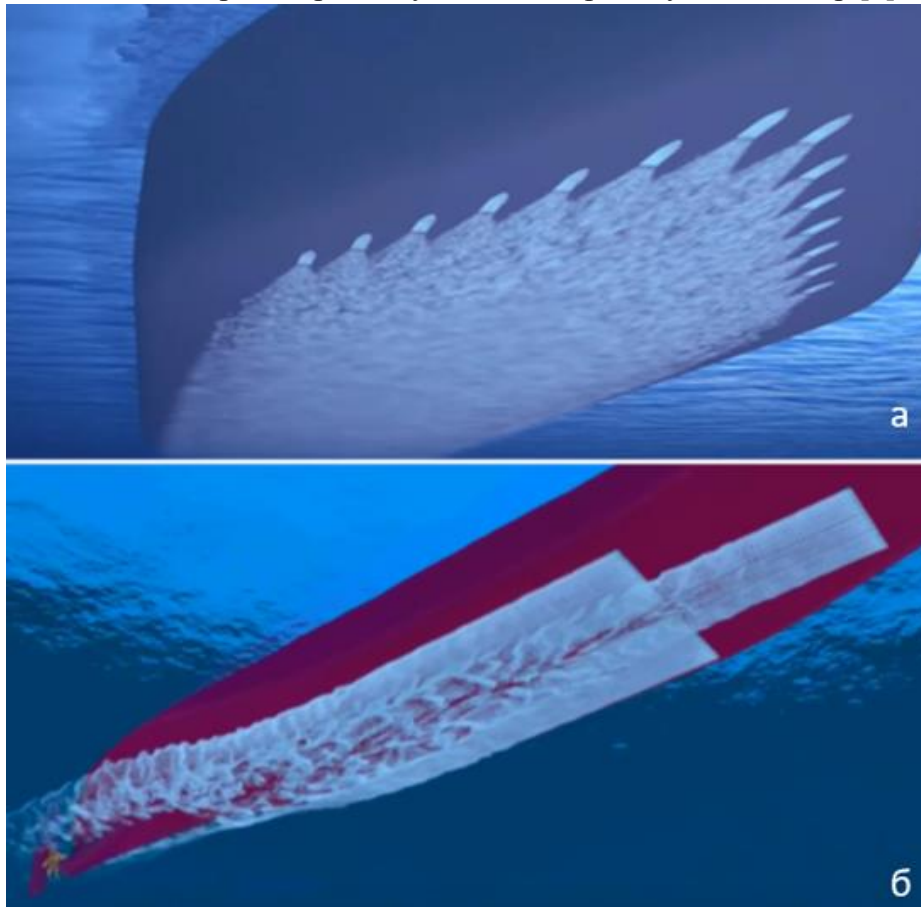
Слід зазначити, що при проектуванні даної системи задача вирішується у декілька етапів. Це потребує інформаційного пошуку та аналізу. Перше з чим стикається проектувальник системи, це вибір джерела генерації повітряного шару. Це може бути як використання відхідних газів дизель генераторів, так і встановлення додаткових компресорів.

З огляду на той факт, що дизель-генератори розташовані в машинному відділенні, в кормовій частині судна, вибір першого варіанта ускладняється наявністю довгих трубопроводів, що повинні йти в носову частину судна де розташовані повітровипускні камери. На основі цих міркувань був обраний варіант системи з встановленням додаткових компресорів.

Компресори можуть бути зручно розташовані в носовій частині. З кормової частини протягується сигнальний кабель для управління системою та кабель електричного живлення компресорів від дизель-генераторів.

Слід зауважити, що важливу роль відіграє форма та розташування повітровипускних камер. На (рис.1) показані основні концепції двох лідерів у розробці систем повітряного змащування.

Рис.1. Форма та розташування повітровипускних камер [2]



а) Silverstream Technologies - arrow-formation of injectors

б) Mitsubishi Heavy Industries' - double curtain-formation of injectors

За основу концепції повітровипускних камер була взята ідея компанії Mitsubishi Heavy Industries, [3] що являє собою набір дрібних отворів у два ряди.

Вибір типу компресора був обумовлений тим, що подача до повітровипускних камер повинна здійснюватися плавним постійним потоком. Також компресор повинен бути Oil free, щоб відповідати вимогам класифікаційних товариств, які не допускають присутності мастила в повітрі що видається під днище.

Необхідний тиск який повинен створюватись компресором P_k , повинен перевищувати гідростатичний тиск P_r , а також врахувати втрати місцевого опору труб P_m

$$P_k = P_r + P_m$$

Витрату повітря можна кількісно визначити в еквіваленті товщини повітряної плівки t_L наступним чином [4];

$$t_L = \frac{Q_L}{B \cdot V_M}$$

Q_L - витрата повітря, л/хв

B - ширина повітровипускної камери

V_M - швидкість судна

На основі практичних експериментів зазначається, що збільшення товщини повітряного шару призводить як до зниження опору так і до економії потужності [5]

	Horsepower reduction	Blower electric power consumption	Net energy-saving effect
7 mm	680 kW	211 kW	469 kW (12%)
5 mm	530 kW	143 kW	387 kW (10%)
3 mm	380 kW	72 kW	308 kW (8%)

Тож для задач повітряного змащення обраний відцентровий тип компресора з відповідними сертифікатами.

Стиснене повітря після компресора охолоджується через трубний теплообмінник за допомогою відцентрового насоса забортної води який в свою чергу повинен бути розташований в носовому рудовому відсіку. Забір води можливий через вже діючий кінгстоний ящик та фільтри, які були встановлені у базовому проекті.

У своїй фінальній концепції система має наступний вигляд (Рис.2)

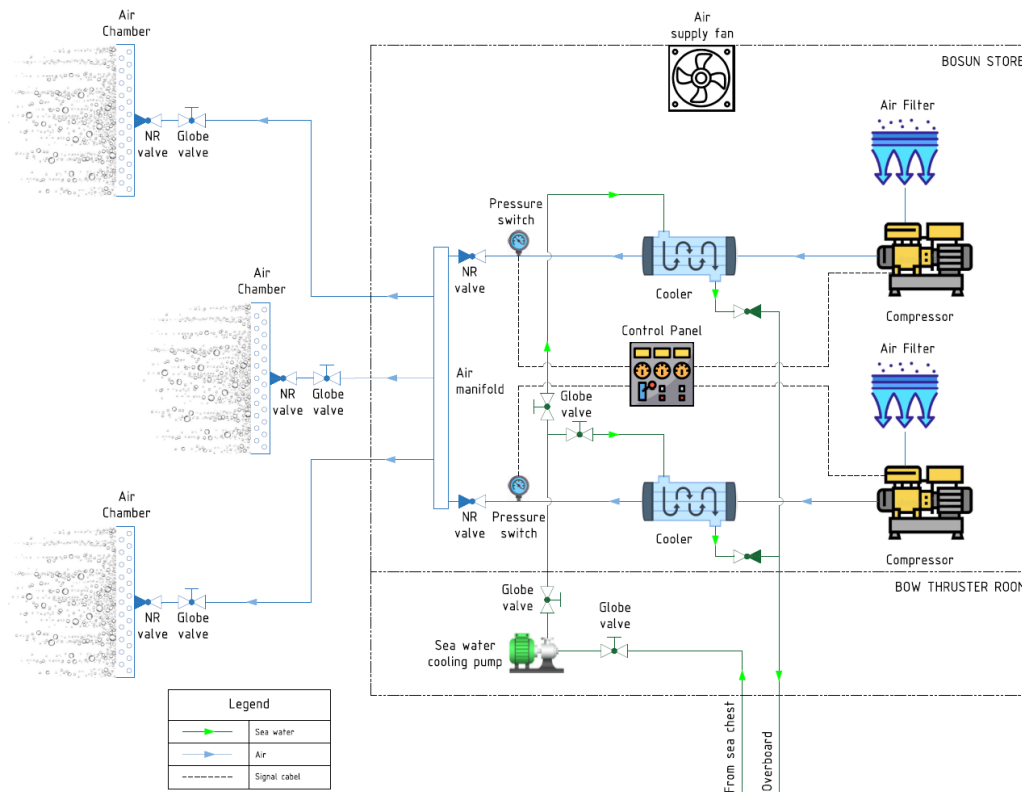


Рис. 2. Схема повітряного змащення корпусу судна газозову «BW Tulip»

Система може бути запропонована як для модернізації вже діючого судна так і для нових. Слід зазначити, що все більше судновласників вдаються до подібних модернізацій свого торгового флоту, що б відповідати екологічним нормам та лишатись на легальному ринку морських перевезень. Тож можна сказати, що напрямок подібних модернізацій є необхідним та перспективним.

Висновки:

За рахунок ALS можливе зменшення буксирувального опору судна на 7%.

Загальне зниження потужності ГД завдяки ALS	Потужність необхідна для роботи ALS	Чистий ефект економії енергії
1463 кВт	761 кВт	702 кВт (3%)

Література:

- <https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e481/e481053.pdf>
- <https://www.mdpi.com/2079-3197/8/2/38>

3. <https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e502/e502044.pdf>
4. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2092678216306409>
5. <https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e473/e473041.pdf>

DEVELOPMENT OF THE AIR LUBRICATION SYSTEM FOR GAS CARRIER "BW Tulip"

Orlov M. V.

Student group 6211m, Department Operation of Ship Power Plants and Thermal Power Engineering Admiral Makarov National University of Shipbuilding Mykolaiv, Ukraine
orlovmaksym@gmail.com

Annotation. Since the beginning of shipbuilding, mankind has tried to improve the ship energetic plants and optimize the hull shapes to reduce towing resistance. And it seemed that the aforementioned improvements almost reached their maximum. Appear the new idea of air lubrication system for hull, which also reduces the resistance of the ship in the water and gives fuel savings of about 5-7%

Key words: air lubrication, oil free compressor, reduction of towing resistance, air chamber

УДК 621.182:628.583

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВИХ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК

¹Спіфанов О. А., канд. техн. наук, доцент

²Пацурковський П. А., канд. техн. наук, доцент

^{1,2}Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

^{1,2}м. Миколаїв, Україна

¹epifanov.nuk@gmail.com

²pavlo.patsurkovskyi@nuos.edu.ua

Анотація. Виконано аналіз методів зменшення шкідливих викидів при експлуатації суднових котельних установок та конструкцій сучасних екологічних суднових котлів. Розроблено математичну модель суднового котла з рециркуляцією димових газів до топки. Рекомендовано оптимальний ступінь рециркуляції димових газів до топки.

Ключові слова: судновий котел; рециркуляція димових газів; викиди оксидів азоту; зниження шкідливих викидів.

Показники екологічності суднових котлів характеризуються кількістю шкідливих викидів до атмосфери та водного басейну при їх експлуатації. Основними шкідливими компонентами, які містяться в димових газах при спалюванні в котлах мазуту, є наступні: оксиди сірки SO₂ та SO₃, азоту NO_x, вуглецю CO та CO₂, ванадію V₂O₅; вуглеводні; бенз(а)пирен C₂₀H₁₂; тверді частинки. Допоміжний котел паропроодуктивністю 0,28 кг/с, що працює на мазуті, викидає до атмосфери 4 кг SO₂ і 2,25 кг NO_x за годину. Вимоги Додатку VI до МАРПОЛ-73/78, які вступили в дію 19 травня 2005 р., запроваджують правила запобігання забрудненню атмосфери з суден й межі викидів оксидів азоту й сірки [1, 2].

Оксиди азоту NO_x є найбільш небезпечними за ступенем впливу на організм людини. Вони утворюються головним чином за рахунок азоту та кисню повітря у високотемпературній області горіння (при температурах більше 1500 °С) та в результаті окиснення власного азоту палива. Викиди оксидів азоту визначаються концентрацією кисню у зоні горіння та температурою процесу, крім того, суттєвий вплив має час перебування компонентів в зоні високих температур. Зменшення викидів оксидів азоту досягається удосконаленням процесу горіння (первинні методи) або шляхом очищення продуктів згорання (вторинні методи). До первинних належать такі методи: зниження коефіцієнта

надлишку повітря; двостадійне спалювання палива; рециркуляції димових газів до топки; впорскування у факел води або пари. Селективне некаталітичне і селективне каталітичне відновлення представляють групу вторинних методів [3].

Зниженням коефіцієнта надлишку повітря α з 1,2 до 1,02 можна зменшити викиди NO_x на 50...70 %. При двостадійному спалювання палива в первинну зону горіння подається кількість повітря менша, ніж це теоретично необхідно для спалювання палива ($\alpha = 0,8 \dots 0,95$). У цій зоні відбувається неповне згоряння палива з частковою його газифікацією при більш низькій температурі і, отже, зниженому вмісті оксидів азоту. До вторинної зони подається чисте повітря або збіднена паливом суміш для допалювання продуктів неповного згоряння. Горіння йде при більш низькій температурі. Цей спосіб дозволяє зменшити кількість оксидів азоту на 25...35 %.

Рециркуляцією димових газів до топки котла можна забезпечити температуру в зоні активного горіння нижче 1500 °С та пригнітити утворення NO_x . Зниження температури горіння пояснюється зменшенням швидкості ланцюгових реакцій внаслідок присутності інертних газів і зниження концентрацій реагуючих речовин. В результаті випробувань встановлено, що рециркуляцією до топки 25 % димових газів можна зменшити емісію NO_x майже у два рази [3].

Селективне некаталітичне і селективне каталітичне відновлення представляють групу вторинних методів. При селективному каталітичному відновленні (метод SCR – Selective Catalytic Reduction) димові гази змішують з аміаком в каталізаторі. У ньому при температурі 300...400 °С відбувається перетворення NO_x на азот та воду.

Останнім часом іноземні фірми приділяють значну увагу розробці екологічних суднових котлів. Вертикально-циліндричний газотрубний паровий котел FMB-VF-LONOX фірми «Саак» з низьким викидом NO_x показаний на рис. 1.

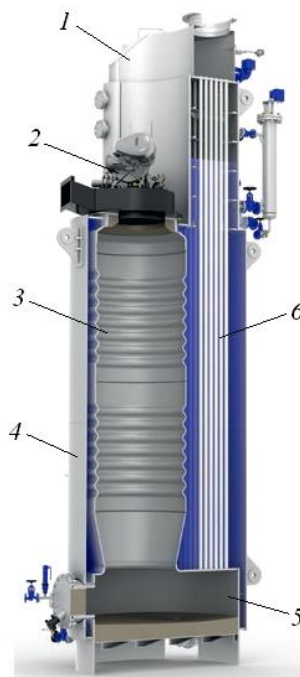


Рис. 1. Екологічний котел FMB-VF-LONOX з рециркуляцією димових газів до топки: 1 – димова коробка; 2 – топковий пристрій; 3 – жарова труба; 4 – корпус; 5 – вогнева камера; 6 – димогарні труби

Котел задовольняє вимогам щодо зменшення викидів NO_x до навколишнього середовища та дозволить експлуатацію котла в будь-якому порту світу. В конструкції котла реалізована система згоряння з низькими викидами окислів азоту (Low NO_x Combustion

System). Особливість системи – рециркуляція димових газів до топки. Це дозволяє зменшити викиди NO_x до таких показників: при спалюванні легких сортів рідкого палива – 0,12, важкого – 0,3, а газоподібного – 0,08 г/нм³ (без рециркуляції газів відповідно 0,3, 0,8 та 0,2 г/нм³). При використанні важких палив ця система згоряння передбачає інжектування води, що зменшує викиди твердих частинок (сажі) [4, 5].

Аналіз літературних даних показав, що одним з найбільш ефективних і дешевих методів зниження викидів оксидів азоту є метод рециркуляції відпрацьованих газів до топки котла. На основі розробленої математичної моделі, реалізованої на ЕОМ, визначено вплив рециркуляції димових газів до топки на техніко-економічні показники роботи суднового котла. Встановлено, що оптимальний ступінь рециркуляції газів знаходиться в межах 10...15 %, що відповідає зниженню викидів оксидів азоту в діапазоні від 33% до 44%.

Література

[1] Эксплуатация судовых котельных установок [Текст]: учеб. для высш. инж. мор. уч-щ / В. М. Федоренко, В. М. Залетов, В. И. Руденко, И. Г. Беляев. – М.: Транспорт, 1991. – 272 с.

[2] Приложение VI к МАРПОЛ 73/78. Правила предотвращения загрязнения атмосферы с судов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.morkniga.ru>.

[3] Кобзарь С.Г., Халатов А.А. Снижение выбросов оксидов азота в газовых котлах методом рециркуляции дымовых газов. // Пром. теплотехника – 2009, – Т. 31, № 4. – С. 5 – 11.

[4] Єпіфанов О.А. Конструкції суднових котлів. Миколаїв: НУК, 2016. – 198 с.

[5] SAACKE GmbH [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.saacke.com/products/marine-boilers>.

Intensification of heat transfer in modern marine boilers

Yepifanov O. A., Patsurkovskyi P.A.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. *The analysis of methods for reducing harmful emissions during the operation of marine boiler installations and the design of modern environmentally friendly marine boilers has been completed. A mathematical model of a marine boiler with flue gas recirculation has been developed. The optimal degree of flue gas recirculation to the combustion chamber has been recommended.*

Keywords: *boiler; flue gas recirculation; nitrogen oxides emissions; reduction of harmful emissions.*

УДК 629.56: 629.5.064

ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОПУЛЬСИВНОГО КОМПЛЕКСУ ХІМОВОЗУ «FURE VINGA»

Мессер Д.О. магістр

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Україна, Миколаїв

dimamesser2000@gmail.com

*під керівництвом к-та техн. наук, доцента каф. ЕСЕУ та ТЕ Кузнецовой С.А.

Анотація. Для забезпечення виконання сучасних вимог ІМО за рахунок підвищення ефективності роботи пропульсивного комплексу хімовозу «Fure Vinga» виконано аналіз, вибір та обґрунтування технічних заходів модернізації рушійного комплексу до якого відносяться корпус-рушій-кермо. Розглянуто концепцію Wärtsilä де окремо розглядаються

шляхи підвищення ефективності роботи гвинта при застосуванні систем *EnergoProFin* або *EnergoFlow*, гвинта з прямою насадкою, а також керма *EnergoPac*, що включає гвинт. Запропоновано використання системи *EnergoFlow* що дозволяє для тихоходних суден досягти зменшення витрат пального до 10%. Застосування такої системи на хімовозу «*Fure Vinga*» при зменшенні витрати пального від 4% та вище забезпечує виконання сучасних ІМО.

Ключові слова: модернізації, пропульсивний комплекс, гвинт, кермо, системи, споживання палива.

Сучасна морська індустрія стрімко розвивається, прагнучи досягти стійкого енергозабезпечення судна під час зростання ефективного використання енергоресурсів, а також зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. В цьому контексті модернізація пропульсивного комплексу судна, що вже знаходиться у експлуатації з 2018 року [1], може бути використана для досягнення цих цілей. Так до складу цього комплексу входить головний двигун 9L34DF номінальною потужністю 4500 кВт при частоті обертання 750 об/хв, редуктор SCV105-PDM63 завдяки якому здійснюється відбір потужності на валогенератор, а також валопровід та рушійний комплекс до якого відносяться гвинт регульовано кроку у насадці, кермо та кормова частина корпусу судна. Основні елементи якого, а саме двигун, редуктор, гвинт виконані фірмою Wärtsilä [1], тому при розгляді різних концепцій особу увагу було пропозиціям саме цієї фірми.

Метою роботи є оцінка ефективності застосування системи *EnergoProFin* або *EnergoFlow*, гвинта з прямою насадкою, а також керма *EnergoPac* під час модернізації для зменшення витрати пального та задоволення вимогам ІМО. Об'єкт дослідження – процеси, що дозволяють підвищити ефективність окремих елементів, а предмет – показник зниження витрати пального.

Основними об'єктами аналізу є система *EnergoProFin*, пряма насадка гребного гвинта, кермо *EnergoPac* та система *EnergoFlow*. [2, 3, 4, 5]. Що мають ряд переваг та дозволяють досягти мету дослідження.

Система EnergoProFin (рис. 1а) – це енергозберігаюче рішення компанії Wärtsilä, яке представляє собою обладнану стабілізаторами обтікача втулки гребного гвинта, який обертається разом із гребним гвинтом. *EnergoProFin* підвищує ефективності шляхом послаблення завихрення потоку біля втулки та використання кінетичної енергії закрученого потоку, що виходить від лопатей гвинта. Це рішення забезпечує зниження споживання палива в середньому на 2%. Wärtsilä *EnergoProFin* може застосовуватися для гвинтів як з регульованим, так і фіксованим кроком [2].

Пряма насадка гребного гвинта (рис.1б). Використання високоефективної прямої насадки Wärtsilä удосконаленого типу у поєднанні з гребними гвинтами Wärtsilä дозволяє збільшити тягу при швартових роботах на 5% порівняно із звичайними направляючими насадками, що використовуються на хімовозі «*Fure Vinga*». Крім того насадка може також принести користь тим судам, які плавають із низькою та середньою розрахунковою швидкістю, наприклад, судам внутрішнього плавання та деяким типам суден для перевезення генеральних вантажів. Високоефективна пряма насадка Wärtsilä має подвійний профіль вхідного поперечного перерізу. [3]. При цьому може бути досягнута значна економія витрат палива залежно від оборотів і потужності двигуна під час маневрування судна.

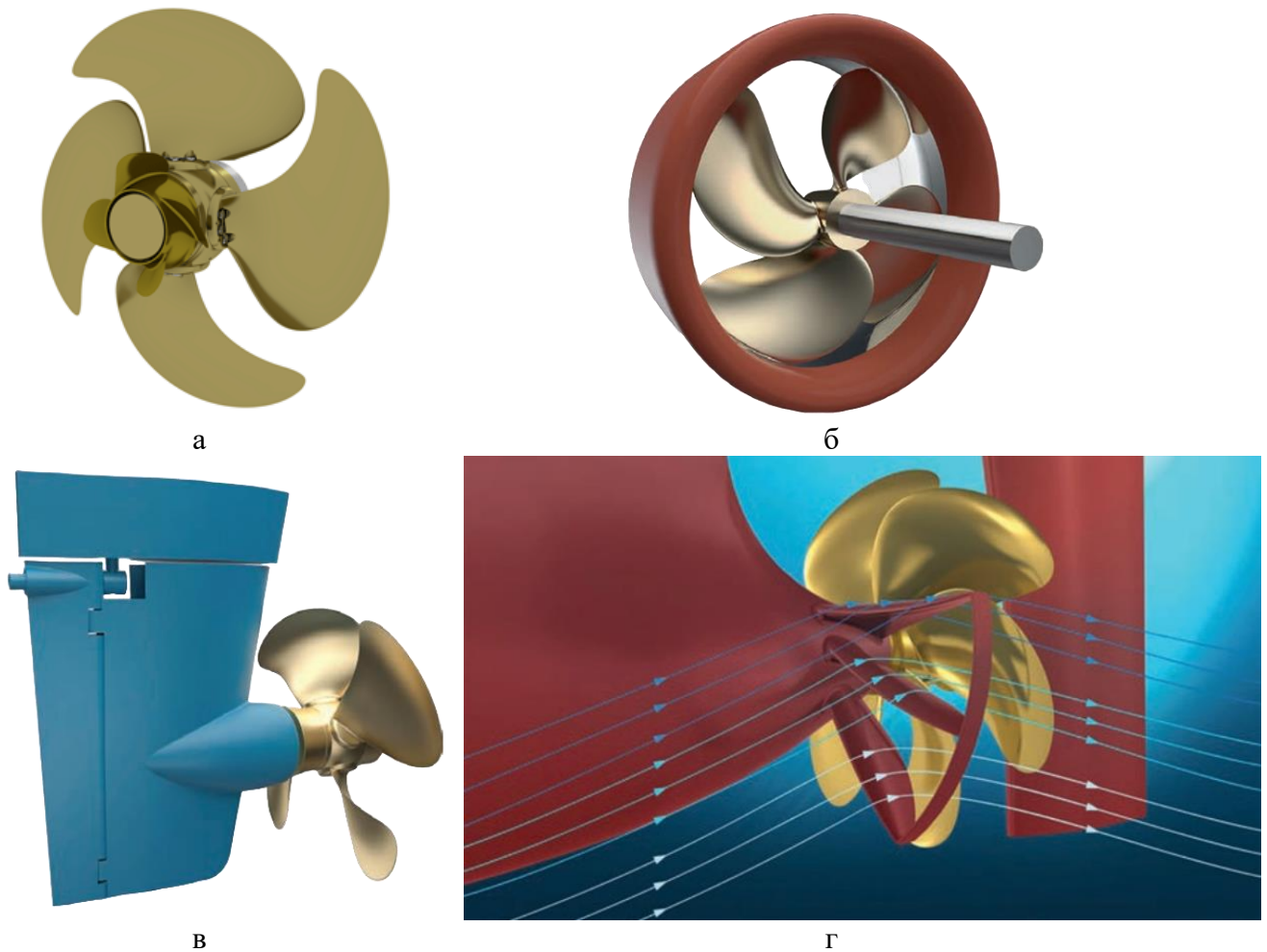


Рис.1 Елементи рушійного комплексу фірми Wärtsilä:
 а – система EnergoProFin; б – напрямна насадка; в – кермо EnergoPac;
 г – система EnergoFlow.

Кермо Wärtsilä EnergoPac (рис. 1в) є оптимізованим рішенням для забезпечення руху і маневрування суден морського і прибережного плавання. Основною перевагою EnergoPac є зниження витрати палива за рахунок об'єднання конструкцій гребного гвинта та пера керма; ефективно протидіє відриву потоку зі ступиці гребного гвинта і тим самим знижує витрату палива. Як показали ретельні дослідження, EnergoPac створює менший опір у порівнянні зі звичайним кермом за аналогічної керованості судна. [4].

Система Wärtsilä EnergoFlow (рис. 1г) – інноваційне економічно ефективне рішення, що є статором для попереднього завихрення потоку. EnergoFlow оптимізує параметри потоку, що набігає на гребний гвинт, частково розгортаючи його з одного борту корми в напрямку, протилежному гребному гвинту. Тим самим створюється попереднє завихрення потоку. Статор, що складається з декількох вигнутих стабілізаторів і прямого кільця і закріплюється на корпусі судна, призначений для запобігання втратам потужності, які зазвичай виникають при виході потоку з гребного гвинта. Вигнуті стабілізатори підвищують ККД гребного гвинта, при цьому його опір зберігається на прийнятному рівні. Таким чином, оптимізація ККД рушії досягається за рахунок використання гребного гвинта Wärtsilä у поєднанні з пристроєм EnergoFlow.

Економія енергоспоживання за рахунок використання EnergoFlow може бути різною від 2% до 12%. На наведеному графіку (рис. 2) показано орієнтовне зниження енергоспоживання залежно від швидкості судна та обертового моменту на гвинті. Максимальна економія палива (не більше 10%) може бути досягнута для тихохідних суден до яких належить балкери. Швидкісні судна, наприкладі контейнеровозів, мають відносно

високий ККД пропульсивного комплексу, проте і вони можуть досягти зниження використовуваної потужності до 8%. [6] Ефективність використання цих систем на танкерах підтверджено під час експлуатації. [7].

Ефективність застосування наведених елементів розробляється з урахуванням конкретних вимог до судна під час проектування, що дозволяє оптимізувати загальну енергоефективність пропульсивного комплексу без зниження маневреності та рівня комфорту. Для модернізації пропульсивного комплексу хімовоза *Fure Vinga* було обрано систему *Wärtsilä EnergoFlow*. При експлуатації на швидкості 13 вузлів і потужності 0,8 від номінальної [1]. Це судно може бути віднесено до тихохідних тобто знизити потужність до 6%. При використанні 9L34DF економія пального може скласти до 5%.

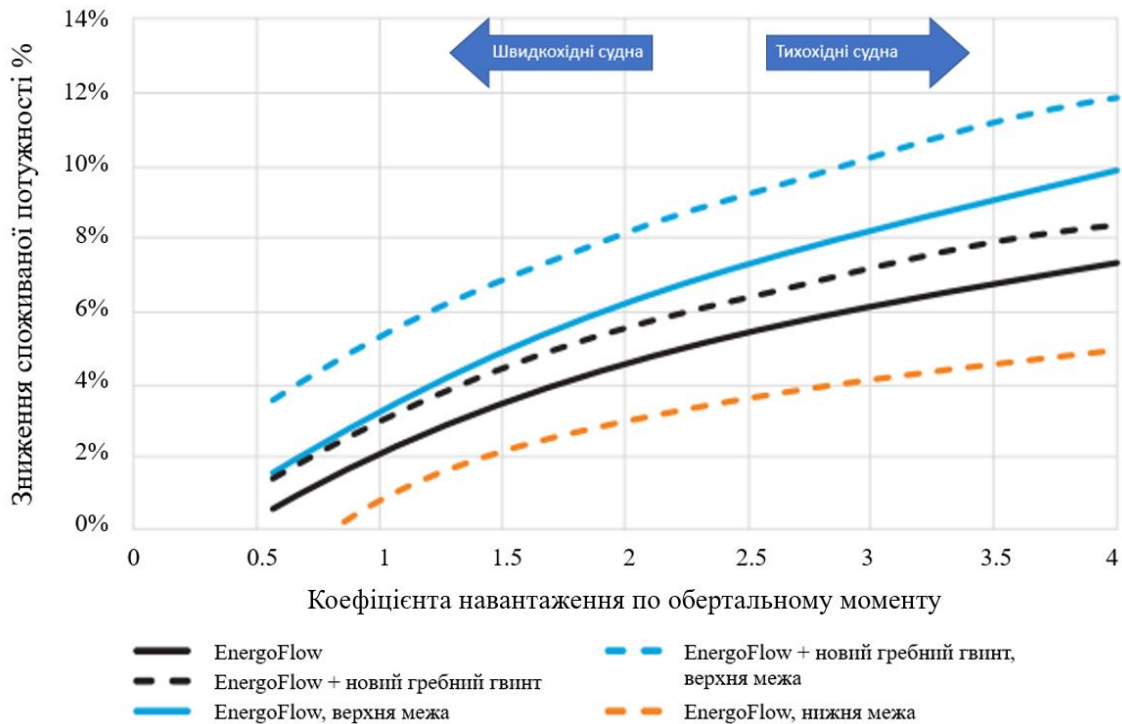


Рис. 2 Зниження потужності, що використовується на рух в залежності від коефіцієнта навантаження по обертовому моменту.

Висновки. Використання системи *Wärtsilä EnergoFlow* на хімовозі *Fure Vinga* дозволить знизити витрату пального до 5%. При зниженні витрати пального навіть на 4% вже виконуються вимоги ІМО.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Significant Ships of 2018. URL: <https://rina.org.uk/publications/significant-ships/>
- [2] Wärtsilä EnergoProFin. URL: <https://www.wartsila.com/services-catalogue/propulsion-services/energoprofin>
- [3] High Performance Nozzle Wärtsilä. URL: <https://www.wartsila.com/services-catalogue/propulsion-services/propulsion-efficiency-upgrade-with-nozzle>
- [4] Wärtsilä EnergoPac. URL: <https://www.wartsila.com/marine/products/propulsors-and-gears/energy-saving-technology/energopac>
- [5] Wärtsilä EnergoFlow. URL: <https://www.wartsila.com/services-catalogue/propulsion-services/energoflow>
- [6] WÄRTSILÄ ENERGOFLOW – INCREASE ENERGY EFFICIENCY AND REDUCE EMISSIONS URL: <https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/service-catalogue-files/propulsion-services/wartsila-energoflow.pdf>

[7] Wärtsilä tech shows ‘significant reductions’ in Vitol’s tanker emissions.

URL: <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/wrtsil-technology-shows-significant-reductions-in-vitols-tanker-emissions-77096>

[8] Marine Solutions 2019 стр 141. URL: https://www.wartsila.com/docs/default-source/local-files/russia/marine-solutions/marine-solutions-2019-rus.pdf?sfvrsn=26666544_4

Messer D.O.

Upgrades of the propulsive installation for the chemical tanker «Fure Vinga»

Abstract. In order to ensure the fulfillment of modern IMO requirements by increasing the efficiency of the "Fure Vinga" propulsive chemical transport complex, the analysis, selection and justification of technical measures for the modernization of the propulsion complex, which includes the hull-propulsion-rudder, were performed. The Wärtsilä concept is considered, where the ways of increasing the efficiency of the propeller when using the EnergoProFin or EnergoFlow systems, the propeller with a guide nozzle, and the EnergoPac rudder, which includes the propeller, are separately considered. It is proposed to use the EnergoFlow system, which allows slow-moving vessels to reduce fuel consumption by up to 10%. The application of such a system on the "Fure Vinga" chemical transporter with a reduction in fuel consumption of 4% and above ensures the fulfillment of modern IMO.

Keywords: modernization, propulsive complex, propeller, rudder, systems, fuel consumption.

УДК 620:178.3

ОЦІНКА ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КОРПУСУ ЕЛЕКТРОХОДА НА ІНЕРЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

О.М. Шумило

к.т.н., професор кафедри

«Судові енергетичні установки та технічна експлуатація»

Одеський національний морський університет, shumylo.alexander@gmail.com

Анотація. Запропоновано метод оцінки інерційних характеристик. Результати порівняльного аналізу показали, що зі збільшення довжини судна на 10%, приблизно на стільки ж погіршуються параметри, які характеризують інерційність електроходів, але вони залишаються в межах, що регламентовані Регістром судноплавства.

Ключові слова: електрохід; інерційні характеристики; вплив довжини судна на їх показники.

В основі розрахункових методів оцінки керованості лежать результати рішення системи диференціальних рівнянь руху судна і роботи двигунів гребних гвинтів [1-3]. Оцінку інерційні характеристики розглянемо на прикладі електрохода з частотно-керованими гребними електродвигунами. Визначення цих характеристик пропонується проводити за результатами розрахунку відповідних маневрів, які виконуються судновим пропульсивним комплексом.

За допомогою розробленого методу розрахунку було проведено дослідження перехідних режимів роботи пропульсивних комплексів під час руху на прямолінійній траєкторії. Метою досліджень була оцінка інерційних характеристик електроходів з різною геометрією корпусу судна.

Закони зміни керуючих сигналів кожного силового контуру мають вигляд [3-5]:

а) при розгоні $\mu_{Macc} = \mu_{Maccset} (1 - e^{-K_{1acc}T})$;

б) при реверсі з переднього ходу на задній $\mu_{Mrev} = (-\mu_{Maccset} - \mu_{Mrevset}) (1 - e^{-K_{1rev}T})$,

де μ_{Macc} і μ_{Mrev} – сигнали управління перетворювачами електроенергії, які забезпечують живлення гребних електродвигунів при розгоні і реверсі, та їх усталенні значення – $\mu_{Maccset}$ і $\mu_{Maccset}$;

K_{1acc} і K_{1rev} – постійні часу при розгоні і при реверсі ГЕД.

У якості критеріїв (показників якості) оцінки впливу величин K_{1acc} , K_{1rev} і μ_{Mrev} на перехідні процеси в комплексі прийняті: максимальні значення кидка струму генератора $I_{Gaccmax}$ (потужності теплового двигуна $P_{Daccmax}$) на початковому етапі розгону електрохода; значення струму генератора $I_{Gaccset}$ (потужності теплового двигуна $P_{Daccset}$), що встановлюються після закінчення перехідного режиму розгону електрохода; максимальні значення кидка струму гребного електродвигуна $I_{Maccmax}$ на початковому етапі розгону електрохода; значення струму гребного електродвигуна $I_{Maccset}$, що встановлюються після закінчення перехідного режиму розгону електрохода; пройдений електроходом шлях – повний вибіг – X_{1acc} ; тривалість розгону T_{acc} ; максимальні значення кидка струму генератора $I_{Grevmax}$ (потужності теплового двигуна $P_{Drevmax}$) на початковому етапі гальмування; значення струму генератора $I_{Grevset}$ (потужності теплового двигуна $P_{Drevset}$), наприкінці гальмування електрохода; максимальні значення кидка струму гребного електродвигуна $I_{Mrevmax}$ на початковому етапі гальмування електрохода; струм гребного електродвигуна $I_{Mrevset}$ наприкінці гальмування електрохода; гальмівний шлях електроходу X_{1rev} ; тривалість реверсу T_{rev} .

Усі критерії оцінювалися у відносних одиницях. Нижче представлені результати досліджень впливу K_{1acc} (табл. 1), K_{1rev} (табл. 2) і μ_{Mrev} (табл. 3) на перелічені вище критерії при розгоні і гальмуванні судна.

Вплив коефіцієнта K_{1acc} на показники розгону

Таблиця 1

Показник якості	Значення коефіцієнта K_{1acc}					
	0,3	0,5	1	2	5	8
$I_{Gaccmax}$	1,1	1,2	1,25	1,3	1,33	1,35
$I_{Gaccset}$ ($P_{Daccset}$)	1	1	1	1	1	1
$I_{Maccmax}$	1,2	1,32	1,45	1,5	1,55	1,55
$I_{Maccset}$	1	1	1	1	1	1
X_{1acc}	19,7	16,5	15	14,4	14	13,8
T_{acc}	11,47	10,05	9,62	9,54	9,52	9,51

Аналіз результатів показує таке. При інтенсивному розгоні ($K_{1acc} = 2 \dots 8$) гребних електродвигунів різко зростають навантаження на генераторні агрегати, і особливо їх теплові двигуни, що неминуче призведе до спрацьовування захисту від перевантаження. У діапазоні $K_{1acc} = 0,3 \dots 2$ навантаження знаходяться в допустимих межах, проте суттєво зростає тривалість розгону та пройдений судном шлях. Прийнятним варіантом є $K_{1acc} = 1$.

Вплив коефіцієнта K_{1rev} , (інтенсивності гальмування) проілюстровано в табл. 2.

Вплив коефіцієнта K_{1rev} на показники гальмування

Таблиця 2

Показник якості	Значення коефіцієнта K_{1rev}			
	0,5	0,75	1	1,3
$I_{Grevmax}$	0,8	0,85	0,9	0,98
$I_{Grevset}$ ($P_{Drevset}$)	1,07	1,08	1,09	1,3
$I_{Mrevmax}$	0,65	0,77	0,82	0,95
$I_{Mrevset}$	1,12	1,15	1,156	1,49
X_{1rev}	5,04	4,41	4,04	3,36
T_{rev}	9,7	8,8	8,3	6,7

Аналіз результатів показує, що з урахуванням динамічних навантажень на електроенергетичну установку та ступеня погіршення інерційних характеристик судна при підвищенні інтенсивності гальмування електроходу, прийнятним варіантом є $K_{1rev} = 1$.

Вплив значення частоти обертання гребних електродвигунів μ_{Mrev} , яка має бути встановлена системою управління, при перекладі рукоятки ПУ в положення заднього ходу, проілюстрована в табл. 3.

Вплив μ_{Mrev} на показники гальмування

Таблиця 3

Показник якості	Значення μ_{Mrev}			
	0,4	0,6	0,7	0,8
$I_{Grevmax}$	0,84	0,9	0,95	0,97
$I_{Grevset}$ ($P_{Drevset}$)	0,75	1,1	1,3	1,5
$I_{Mrevmax}$	0,77	0,82	0,84	0,9
$I_{Mrevset}$	0,58	1,156	1,49	1,85
X_{1rev}	5,56	4,07	3,61	3,27
T_{rev}	12,9	8	6,9	5,9

Порівняння інерційних властивостей судна і показників, які характеризують навантаження на електроенергетичну установку, дає підстави обмежити значення μ_{Mrev} величиною у $\mu_{Mrev} = 0,6$.

Результати проведених досліджень дозволили перейти до вирішення основного завдання – оцінки впливу геометричних параметрів корпусу електроходу на його інерційні характеристики.

Як приклад, розглянемо електрохід, основні параметри якого наведені у табл. 4.

Основні параметри електроходів

Таблиця 4

Параметр	Базове судно	Альтернативне судно	Параметр	Базове судно	Альтернативне судно
Маса, т	29.698	32.757	Сумарний упор гребних гвинтів, кН	1602	1602
Довжина по КВЛ, м	251,2	276,2	Момент інерції гребного гвинта, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$	7132	7132
Ширина по КВЛ, м	32	32	Обертний момент ГЕД, $\text{кН}\cdot\text{м}$	146,1	146,1
Осадка середня, м	6,6	6,2	Потужність електроенергетичної установки, кВт	30.600	30.600
Швидкість руху, м/с	11,3	11,3	Діаметр гвинта, м	4,95	4,95
Коефіцієнт повноти модель шпангоуту	0,98	0,98	Пропульсивна потужність одного ГЕД, кВт	9.180	9.180
Наведена площа зануреної частини діаметральної площини, м^2	1615	1668	Приведений до валу ГЕД момент інерції, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$	7404	7404
Площа керма, м^2	28	28	Частота обертання гвинта, об/хв	120	120
Коефіцієнт засмоктування	0,136	0,137			

Відповідно до математичної моделі [5] перехідних режимів роботи, поточні значення режимних показників і основні показники якості маневрування визначаються узагальненими безрозмірними параметрами пропульсивного комплексу електрохода. У альтернативного судна, при русі прямолінійною траєкторією істотно змінюються чисельні значення безрозмірних параметрів N_X , N_M і відносний час T : $N_X = \frac{L \sum K_{Pj} P_{ej0}}{(m + \lambda_{11}) v_0^2}$; $N_M = \frac{M_{M0} L}{J_M \omega_{M0} v_0}$;

$$T = \frac{v_0}{L} t,$$

де: L – довжина судна; P_{ej} и K_{Pj} – корисний упор гребного гвинта та його частка у сумарному упорі відповідно; m – маса судна; λ_{11} – приєднані маси води вздовж осі X ; v_0 – швидкість руху судна; J_M – приєднаний до валу гребного електродвигуна момент інерції двигуна, гвинта та приєднаної до нього маси води; ω_M – кутова швидкість обертання ГЕД, t – поточний час.

Оцінка впливу геометричних розмірів на інерційні характеристики проведена на прикладі розрахунку двох маневрів, що чергуються. Це – розгін судна до встановленого значення швидкості $v = 0,98$ (у відносних одиницях) – активне гальмування переведенням рукоятки ПУ в положення заднього ходу (з урахуванням обмежень на K_{1rev} і μ_{Mrev} , відповідно до табл. 2 і табл. 3) до $v = 0$.

Аналіз поточних значень основних режимних показників (ці криві – аналогічні тим, що були приведені на рис. 2) показав, що основні показники якості роботи електроенергетичної установки як у базового, так і у альтернативного судна на розглянутих маневрах перебувають у допустимих межах.

Таким чином, обидва судна успішно виконали маневр. Результати порівняльного аналізу інерційних характеристик (в абсолютних одиницях) для базового та альтернативного електроходів наведені в табл. 5.

Порівняння результатів розрахунків показує таке: як і слід було очікувати, зі збільшенням довжини судна, його інерційні характеристики змінюються у гірший бік. Всі показники – і тривалості розгону і гальмування, і пройдений електроходом шлях збільшуються.

Однак, погіршення цих характеристик невелике, і воно залишається в межах, що регламентуються Регістром суднопластва.

Інерційні характеристики електрохода

Таблиця 5

	Показники інерційних характеристик			
	Тривалість розгону t , с	Вибіг судна X_{acc} , м	Тривалість гальмування t , с	Тормозний шлях X_{rev} , м
Базовий електрохід	358,8	2431	199	1100
Альтернативний електрохід	392,1	2657	218	1212
Ступінь погіршення (збільшення) показників, %	9,3	9,3	9,3	10

ЛІТЕРАТУРА

1. Першиц Р.Я. Управляемость и управление судном. - Л.: Судостроение, 1983. - 272 с.
2. Teresa Abramowicz-Gerigk, Mirosław K. Gerigk. Experimental study on the selected aspects of bow thruster generated flow field at ship zero-speed conditions. Ocean Engineering, 2020, vol. 209(92):107463. doi: 10.1016/j.oceaneng.2020.107463.

3. Яровенко В.А. Расчет и оптимизация переходных режимов пропульсивных комплексов электроходов. - Одесса: Маяк, 1999. - 188 с.
4. Яровенко В.А. Метод расчета переходных режимов гребных электроэнергетических установок электроходов / В. А. Яровенко, П. С. Черников // Електротехніка і електромеханіка. – 2017. – №6. С. 32-41. doi: 10.20998/2074-272X.2017.6.05

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF THE GEOMETRIC PARAMETERS OF HULL OF THE SHIP WITH ELECTRICAL PROPULSION ON THE INERTIAL CHARACTERISTICS

Shumylo Oleksandr Mykolayovych, Ph.D., professor of the department
"Ship power plants and technical operation"

Odesa National Maritime University, shumylo.alexander@gmail.com

Abstract. A method of estimating inertial characteristics is proposed. The results of the comparative analysis showed that with a 10% increase in the length of the ship, the parameters characterizing the inertia of electric drives deteriorate by approximately the same amount, but they remain within the limits regulated by the Register of Shipping.

Key words: electric train; inertial characteristics; the influence of the length of the ship on their indicators.

УДК 621.4:620.9

ЗМЕНШЕННЯ ЕМІСІЇ ДВООКИСУ ВУГЛЕЦЮ ЕУ КОНТЕЙНЕРОВОЗА «SABRE TRADER»

Смирнов Р. Ю.

студент групи 6211м,

кафедра експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

romalider94@gmail.com

Анотація. ІМО розробила глобальні правила енергоефективності для суден і продовжує вживати конкретних заходів, щоб гарантувати, що міжнародне судноплавство несе справедливую частку відповідальності у вирішенні проблеми зміни клімату. Після кількох місяців переговорів сесія МЕРС 80 прийняла Стратегію ІМО щодо скорочення викидів парникових газів із суден на 2023 рік із розширеними цільовими показниками для боротьби зі шкідливими викидами. Завдання, скоротити викиди CO₂ на одну транспортну роботу в середньому по міжнародному судноплавству щонайменше на 40% до 2030 року порівняно з 2008 роком;

Ключові слова: викиди CO₂, бортове вловлювання CO₂, система вловлювання вуглецю.

Carbon capture system (CCS) потрібна для вловлювання вуглецю, який міститься у вихлопних газах двигуна, після згоряння в ньому палива. Система дозволяє значно зменшити викиди CO₂ в атмосферу, шляхом його збору, зрідженню та зберіганню з подальшою можливістю видачі на берег. Як правило, все необхідне обладнання встановлюють поблизу вихлопної труби судна. Принципова схема зображена на рис. 1. Першим кроком у багатьох системах очищення вихлопних газів для уловлювання вуглецю є зменшення кількості домішок і газів, включаючи SO_x, тверді частинки (PM), важкі метали, золу та оксиди азоту (NO_x), які можуть бути присутні у вихлопних газах.

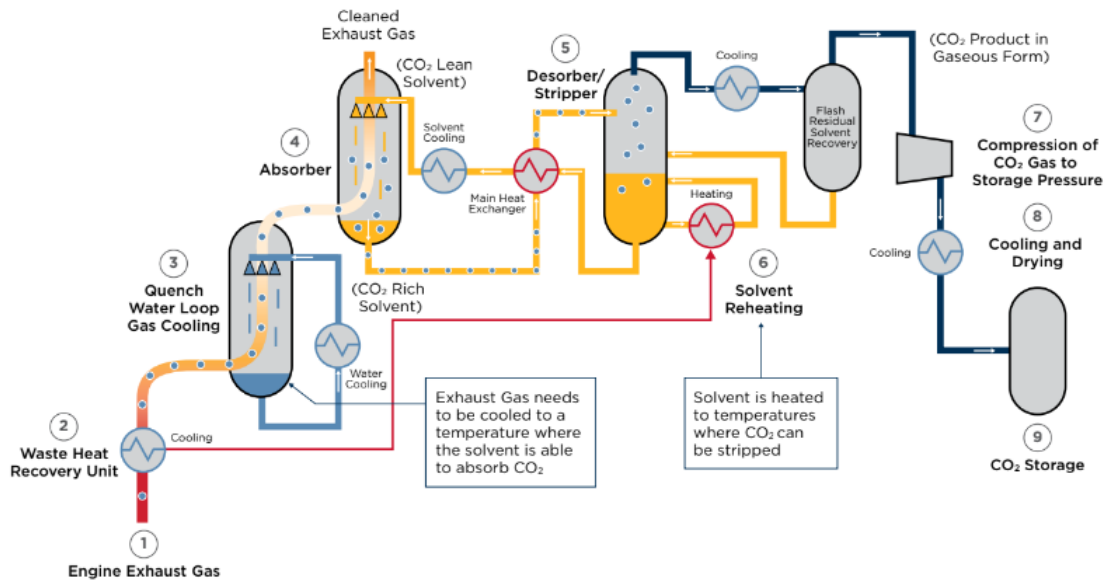


Рис. 1. Загальний вигляд системи вловлювання вуглецю з використанням розчинників

Бортові системи уловлювання вуглецю можуть використовувати вологу очистку на стадії гасіння/охолодження вихлопних газів, а потім використовувати блок поглинача, де розчинник витягує CO₂ з потоку вихлопних газів. Збагачений CO₂ розчинник потім подається до десорбера, щоб відокремити CO₂ від розчинника та відновити розчинник для повторного використання.



Рис. 2. Компонівка системи на судні

Залежно від типу використовуваного розчинника вони можуть з часом руйнуватися з різною швидкістю та вимагати поповнення або заміни, тоді як використаний розчинник або залишок потребують належного поводження та утилізації.

Допоміжні системи для основних стадій процесу включають видалення водяної пари, теплообмінники для контролю температури та складової фази, повітрорудки або насоси для циркуляції або інші системи для досягнення бажаної якості вловленого CO₂.

Розчинники працюють як рідинні носії, які поглинають надлишок молекул CO₂ із газового потоку та можуть складатися з комбінації зріджених хімічних речовин. Технічні аспекти поглинання вуглецю за допомогою таких розчинників, як MEA, діетаноламін (DEA) і метилдіетаноламін (MDEA), які зазвичай називають амінами, вже використовуються в наземних системах, вони перевірені та добре вивчені.

Ці три аміни демонструють подібні характеристики і зазвичай називаються просто MEA. Хоча поводження з MEA на суші добре відоме, це може стати новою проблемою для

обробки та зберігання на борту судна. Інші розчинники, для хімічної абсорбції вуглецю або прямого відділення вуглецю, це водний розчин аміаку, гідроксид калію (KOH).

На основі критеріїв для системи або операційних обмежень можна використовувати різні архітектури системи та типи розчинників для досягнення різних показників уловлювання вуглецю та енергоефективності або оптимізації розміру/ваги системи. Як правило, для систем розчинників є потреба в енергії, необхідна (теплота реакції) для поглинання CO₂, нагрівання насиченого CO₂ розчину аміну до температури регенератора або виробництва пари, необхідної для регенерації розчинника.

Для всіх систем уловлювання вуглецю на основі розчинників може знадобитися ретельний аналіз амінів або хімічних речовин, необхідних для роботи. Наприклад, розчинники, які потребують періодичного поповнення або заміни, можуть мати особливі вимоги щодо обсягів або постачання додаткового розчинника, обробки відпрацьованих хімікатів або залишків і процедур скидання.

Для компактного зберігання CO₂, його треба зріджувати, для цього знадобиться компресор, охолоджувач та турбо-детандер. У випадку з контейнеровозом, зручніше всього зберігати CO₂ в 20 футових танк-контейнерах.

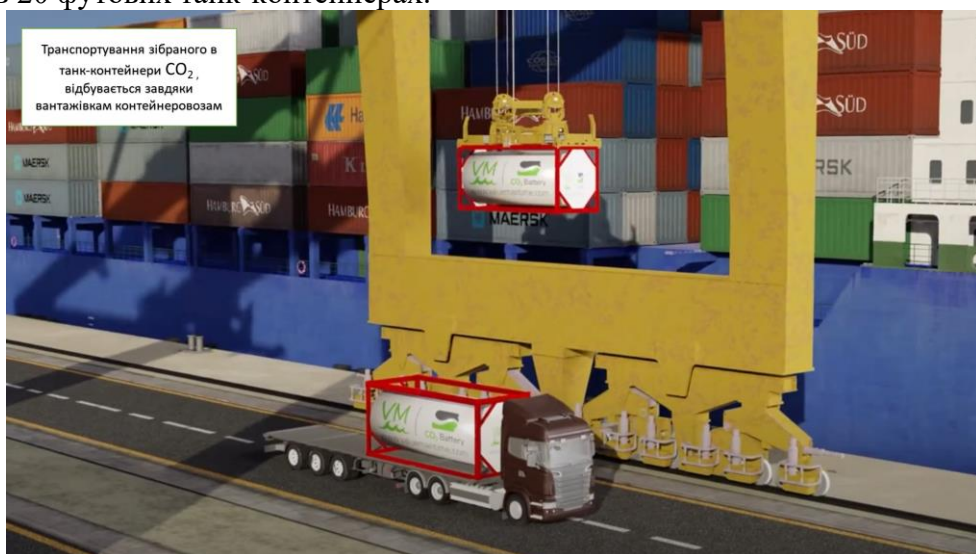


Рис. 3. Транспортування CO₂

Висновки:

CCS дозволяє значно зменшити викиди CO₂ в атмосферу. На даному судні планується вловлювати 40% CO₂, це дозволить зменшити EEDI з 15,3 до 6,12 г CO₂/(т·милю).

Література:

1. [https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/MEPC-80.aspx#:~:text=7%20July%202023-,Marine%20Environment%20Protection%20Committee%20\(MEPC,\)%2C%203%2D7%20July%202023&text=The%20MEPC%2080%20session%20adopted,tar%20to%20tackle%20harmful%20emissions.](https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/MEPC-80.aspx#:~:text=7%20July%202023-,Marine%20Environment%20Protection%20Committee%20(MEPC,)%2C%203%2D7%20July%202023&text=The%20MEPC%2080%20session%20adopted,tar%20to%20tackle%20harmful%20emissions.)
2. <https://ww2.eagle.org/en/publication-flip/insights-into-onboard-carbon-capture.html>

DEVELOPMENT OF HYBRID PROPULSION SYSTEM FOR LNG CARRIER "BRITISH PARTNER"

Smyrnov R.

Student group 6211m,

Department Operation of Ship Power Plants and Thermal Power Engineering

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Mykolaiv, Ukraine

romalider94@gmail.com

Abstract. IMO has developed global regulations on energy efficiency for ships and continues to take concrete actions to ensure that international shipping bears its fair share of responsibility in addressing climate change. After several months of negotiations, the MEPC 80 session adopted the 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships, with enhanced targets to tackle harmful emissions. The task to reduce CO₂ emissions per transport work, as an average across international shipping, by at least 40% by 2030, compared to 2008.

Key words: CO₂ emissions, onboard CO₂ capture, carbon capture system.

УДК 621.444

АНАЛІЗ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ СУДНОВИХ ДВЗ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ КАТАЛІТИЧНИХ НЕЙТРАЛІЗАТОРІВ

Пирисунько М.А.¹, Алтухов Є.П.², Герус Є.С.²

¹ кандидат технічних наук, доцент кафедри суднового машинобудування та енергетики Херсонського навчально-наукового інституту

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Херсон, Україна
maximka1786@gmail.com

² студент, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Херсонський навчально-науковий інститут, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Значний вплив на навколишнє середовище в результаті викиду в атмосферу шкідливих речовин надають суднові силові установки до складу яких входять головні та допоміжні дизелі, погіршуючи, тим самим екологічну обстановку безпосередньо у водоймах, районах портів, баз ремонтів, а також негативно впливаючи на флору і фауну водних басейнів та на здоров'я людей. При цьому постійно стають все більш жорсткими допустимі норми щодо шкідливих викидів, що диктуються багатьма міжнародними та державними документами. Завдання зниження кількості шкідливих викидів, що утворюються в результаті згоряння дизельного палива при експлуатації суднового транспорту є актуальною. Одним з ефективних шляхів зниження шкідливих речовин, що утворюються в результаті експлуатації суднових дизелів, є модернізація здійснюваних робочих процесів, а також використання процесу каталітичної нейтралізації відпрацьованих газів суднових дизелів.

Ключові слова: шкідливі викиди, відпрацьовані гази, двигун внутрішнього згоряння, каталітична нейтралізація.

Діюча Міжнародна конвенція жорстко регламентує вимоги щодо стану судів та процесу їх експлуатації, і, у разі невідповідності, накладаються обмеження адміністративного характеру на експлуатацію судна чи повну заборону.

За своїм складом гази, що утворюються в результаті згоряння дизельного палива є сумішшю, що складається з газоподібних, рідких і твердих сполук переважно органічного походження. Загальна кількість різних сполук, виявлених у відпрацьованих газах дизелів, нині налічує кілька сотень і безперервно зростає з розширенням досліджень.

З метою очищення відпрацьованих газів суднових дизелів застосовуються різні методи, що володіють різною ефективністю та запобігають екологічним збиткам.

Можливі наступні напрямки реалізації можливих рішень:

1. Зміни конструктивного характеру, які тягнуть за собою, насамперед зміни в конструкції та комплектації дизельних двигунів, які забезпечують здійснення основних робочих процесів, організацію процесів подачі дизельного палива в циліндри, модернізацію систем наддуву та охолодження повітря, що нагнітається, рециркуляцію відпрацьованих газів [1] і т.д.;

2. Використання сучасних альтернативних рідких та газоподібних палив та антидимних присадок;

3. Зниження кількості шкідливих речовин у відпрацьованих газах дизелів внаслідок відповідних регулювань паливної апаратури;

4. Своєчасна заміна, відновлення та модернізація зношених деталей, механізмів циліндро-поршневої групи дизелів та інших окремих систем з метою зниження шкідливих речовин у газах, що утворюються;

5. Перспективним і ефективним шляхом зниження кількості відпрацьованих газів судових дизелів є використання процесу каталітичної нейтралізації, що дозволяє значно знизити викиди відпрацьованих газів, по NO_x до 60 %, CO - на 60-90 %, C_xH_y - на 75-80 % та тверді частинки - на 90 % . Однак, використання даного методу внаслідок створюваних протитисків на впуску призводить до зниження потужності двигунів у середньому до 10 % [2, 3].

На сьогоднішній день існує проблема, яка полягає в тому, що для нейтралізаторів як каталітичний матеріал використовують рідкісноземельні та благородні метали. Тому важливим завданням є часткове, а краще повне заміщення дорогих компонентів дешевшими та доступнішими матеріалами.

Широке поширення для очищення відпрацьованих газів, як каталітичні нейтралізатори використовуються такі типи матеріалів (рис. 1), які отримують на основі металів, органічних і неорганічних сполук і композитів:

- каталізатор з нанесенням на металеву сотоподібну підкладку;
- сотоподібний керамічний нейтралізатор;
- пористий проникний металокерамічний матеріал, отриманий СВ-методом;
- насипні кулькові нейтралізатори.

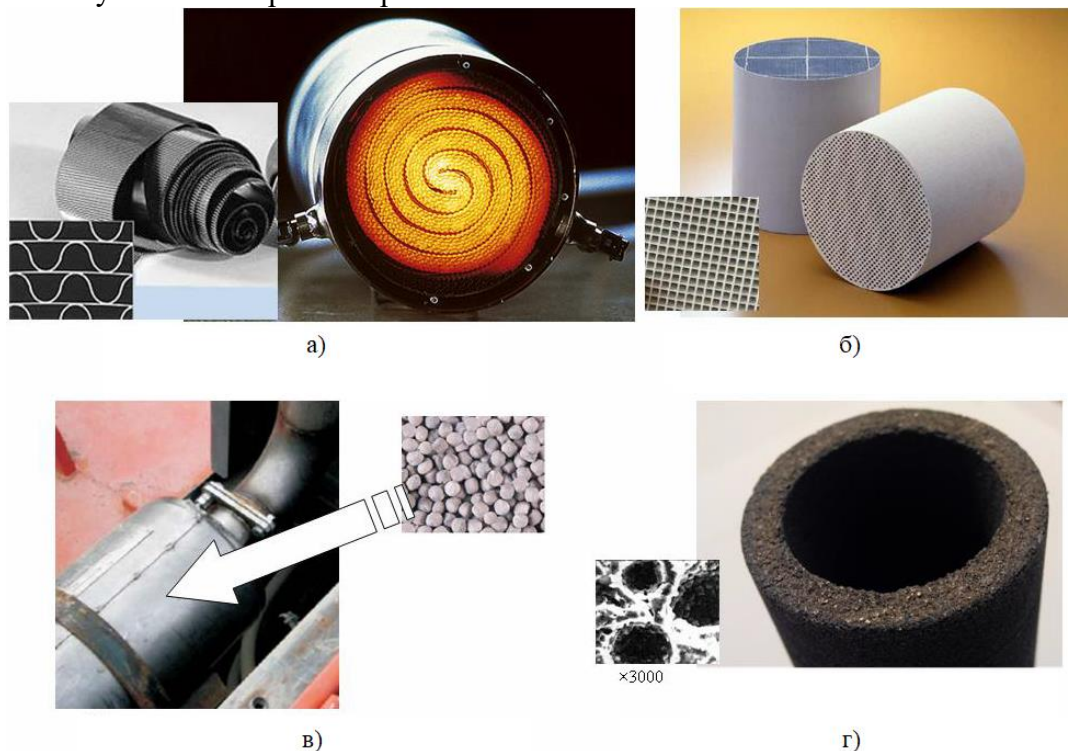


Рисунок 1. Види матеріалів, що застосовуються в системах каталітичного очищення двигунів внутрішнього згорання, що відпрацьовали газів:

а) каталізатор із нанесенням на металеву підкладку; б) сотоподібний керамічний каталізатор; в) насипний кульковий каталізатор; г) пористий металокерамічний проникаючий каталітичний матеріал, отриманий СВ – синтезом

Особливістю матеріалів для очищення газів є наявність комплексу специфічних фізичних, фізико-механічних та функціональних властивостей [4]. Особливий інтерес

становлять технології, що дозволяють отримувати каталітичні матеріали із заданими каталітичними властивостями. Перспективними методами є нанотехнології.

Як альтернативні матеріали, великий інтерес набувають технології самопоширювального високотемпературного синтезу (СВС), як такі, що володіють цілим рядом переваг перед іншими. Насамперед: безвідходність, мала енергоємність, можливість використання відходів машинобудівних виробництв та металургії, можливість забезпечення заданих властивостей матеріалів.

При аналізі вітчизняного та закордонного досвіду, виявлено основні шляхи підвищення ефективності очищення відпрацьованих газів дизелів у каталітичних нейтралізаторах – це покращення характеристик фільтрів каталітичних нейтралізаторів для суднових дизельних енергетичних установок та зниження шкідливих викидів із відпрацьованими газами:

- організація процесів очищення газів, що відпрацювали, в реакторах каталітичних нейтралізаторів;
- підбір каталізаторів та носіїв матеріалів каталітичних нейтралізаторів;
- конструкторське опрацювання щодо забезпечення процесів у реакторах нейтралізаторів;
- забезпечення вимог експлуатації та надійності систем каталітичного очищення відпрацьованих газів.

Література:

[1]. Radchenko, R., Pyrysunko, M., Kornienko, V., Konovalov, D., & Girzheva, O. (2021). Enhancing energy efficiency of ship diesel engine with gas ecological recirculation. In *Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange* (pp. 391-400). Cham: Springer International Publishing.

[2]. Kawashita, M. Prediction technique for dynamic stress on bellows exhaust pipe (1)/ M. Kawashita, T. Ohno, A. Hoshi, Ito Kenji et al.// *Nihon kikai gakkai ronbunshu = Trans. Jap. Soc. Mech. Eng.* 2015. – 81, № 828. – P. 15–00114.

[3]. Yang, J. Single wall diesel particulate filter (DPF) filtration efficiency studies using laboratory generated particles/ J. Yang, M. Stewart, G. Maupin, D. Herling, A. Zelenyuk// *Chem. Eng. Sci.* 2009. – 64, № 8. – P. 1625–1634.

[4]. Zervas, E. Impact of different configurations of a Diesel oxidation catalyst on the CO and HC tail-pipe emissions of a Euro4 passenger car/ *Appl. Therm. Eng.* 2008. – 28, № 8–9. – P. 962–966.

ANALYSIS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF CLEANING THE EXHAUST GASES OF SHIP FUEL ENGINES THROUGH THE USE OF CATALYTIC NEUTRALIZERS

Maxim Pyrysunko - PhD, Lecturer of the Ship Power Plants Operation and Heat-Power Engineering Department, Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine.

Yehor Altukhov, Yevhenii Herus - student of Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine.

Abstract. Ship power plants, which include main and auxiliary diesel engines, have a significant impact on the environment as a result of the emission of harmful substances into the atmosphere, thus worsening the ecological situation directly in reservoirs, port areas, repair bases, as well as negatively affecting the flora and fauna of aquatic pools and on people's health. At the same time, the permissible norms regarding harmful emissions, which are dictated by many international and state documents, are constantly becoming stricter. The task of reducing the number of harmful emissions resulting from the combustion of diesel fuel during the operation of ship transport is urgent. One of the effective ways to reduce harmful substances produced as a result of the operation

of marine diesel engines is the modernization of the work processes carried out, as well as the use of the process of catalytic neutralization of the exhaust gases of marine diesel engines.

Keywords: harmful emissions, exhaust gases, diesel engine, catalytic neutralization.

УДК 628.31

ЗАХИСТ СУДНОВОГО ОБЛАДНАННЯ ВІД КОРОЗІЇ

Авдюнін Р.Ю., викладач кафедри суднового машинобудування та енергетики,
Roman021187@gmail.com;

Руденчик В.А., група 2217ст, vlad.rudenchik03@gmail.com;

Пошивай М. І., група 2217ст, poshivay.maksim@gmail.com

Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету
кораблебудування імені адмірала Макарова

Анотація. У роботі розглянуто можливість захисту суднового обладнання від корозії за рахунок магнітно-імпульсна обробки. Надані деякі експериментальні дослідження, що підтверджують вплив ІМО на корозійну стійкість матеріалів.

Ключові слова: ІМО, крозія, електрокінетичного потенціал.

Серед основних проблем людства на сучасному етапі своє місце міцно зайняла і корозійна проблема. Останнім часом в усіх промислово розвинених країнах спостерігається значне зростання збитків від корозії, пов'язане з технічним прогресом, розширенням асортименту конструкційних сплавів, ускладненням умов експлуатації тощо. Значення корозійних досліджень визначається трьома аспектами. Перший з них – економічний – має на меті зменшення матеріальних втрат. Другий аспект – підвищення надійності обладнання, яке в результаті корозії руйнується з катастрофічними наслідками. Третім аспектом є збереження металевого фонду. Адже світові ресурси металу обмежені.

Під корозією розуміють мимовільно виникаючі процеси руйнування металів і сплавів у результаті їхньої взаємодії з навколишнім середовищем. Під впливом корозійних процесів склад металів і сплавів змінюється, а самі вони, без належних заходів захисту, перетворюються в окисли або солі [1].

Підвищення економічної ефективності роботи суднового обладнання пов'язане із вдосконаленням методів та засобів його захисту від корозії. При ремонті гребних валів та гвинтів, баллерів та інших виробів суднового машинобудування методами зварювання та наплавлення, необхідно усунути концентрацію внутрішніх напружень у зварних з'єднаннях, котрі сприяють корозійно-кавітаційному зношенню [2, 3].

Оптимальне зменшення експлуатаційних, монтажних та внутрішніх напружень, отриманих при виготовленні дозволяє в 1,5–2 рази підвищити корозійну стійкість виробів та заощадити дефіцитні матеріали.

Ефективним технологічним рішенням для зменшення концентрації внутрішніх, поверхневих та монтажних напружень є магнітно-імпульсна обробка (ІМО) деталей суднових конструкцій та вузлів механізмів, котра успішно застосовується в машинобудуванні та дає позитивний результат .

ІМО зварних швів або наплавленого металу в 3–5 разів зменшує концентрацію внутрішніх та поверхневих напружень. При цьому механічні та експлуатаційні характеристики суднового обладнання підвищуються не менше ніж на 50%.

Найбільший ефект ІМО досягається при обробці зварних швів при температурі 280 – 600 °С, в зоні кристалізації виникають перетворення першого та другого роду, покращується мікроструктура сплаву та орієнтація блоків кристалів, що обумовлює різке (5–6 разів)

зменшення виникнення втомних мікротріщин при роботі деталей у високонапружених конструкціях. При нанесенні захисних покриттів із розплавлених металів, ІМО дозволяє майже у два рази зменшити надлишкову витрату матеріалу та у 1,7–2,2 рази підвищити адгезію метала покриття.

Дослідження корозійної стійкості різних матеріалів деталей судного обладнання показало, що зміна цього параметра легко контролюється шляхом вимірювання електрокінетичного потенціалу поверхні (рис. а) та різниці потенціалів ΔU (рис б) зразків деталей як без магнітно-імпульсної обробки, так і після неї.

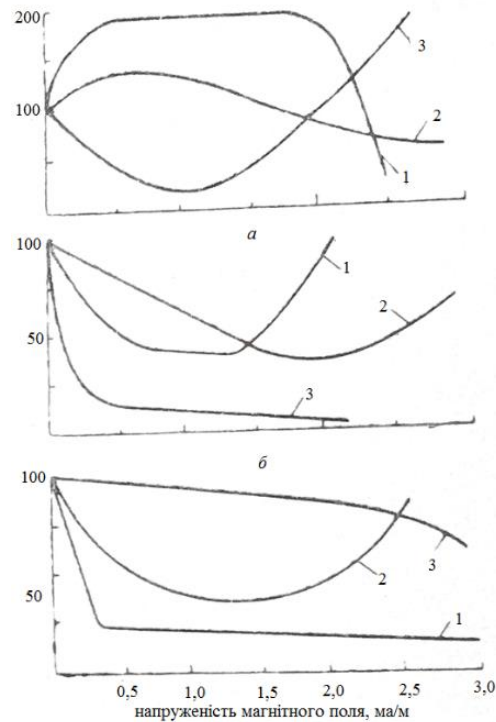


Рисунок. Вплив напруженості поля при ІМО зразків на електрокінетичний: а – потенціал; б – контактну різницю потенціалів; в – зношення.

Зниження зношення деталей: 1 – для сталі 40ХН; 2 – для швидкоріжучої сталі Р6М5; 3 – для латуні ЛЦ40МцЗЖ

Література:

1. Борисенко Ю. В. Матеріали сучасної техніки та захист від руйнування : навчальний посібник / Ю. В. Борисенко. – К. : КНУТД, 2016. – 111 с.
2. Уваров В.А. Повышение долговечности элементов судового комплекса "двигатель-винт" / Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидат техн. наук - Одесса: ОИИМФ, 1992. - С. 6, С. 9
3. Патент на винахід № 122503, Україна, МПК G01M 13/04 (2019.01); C21D 1/04 (2006.01). Стенд для випробування упорних підшипників / Уваров В.А., Маханько О.В., Андреев А.А., Авдюнін Р.Ю. – Заявл. 25.02.2018; Опубл. 25.11.2020. – Бюл. № 22.

PROTECTION OF SHIP EQUIPMENT FROM CORROSION

Avdiunin R., lecturer, Ship Power Plants and Equipment;

Rudenchuk Vladyslav; Poshyvai Maksym, 2217ст

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The paper considers the possibility of protecting ship equipment from corrosion due to magnetic pulse processing. Some experimental studies confirming the influence of IMO on the corrosion resistance of materials are presented.

Key words: IMO, corrosion, electrokinetic potential

УДК 621.4:620.9

ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ТАНКЕРА «FUJISAN MARU» ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ NO_x ТА CO₂

Дюков В.О.

студент групи 6211м

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

nedistie@gmail.com

*під керівництвом к-та техн. наук, доцента каф. ЕСЕУ та ТЕ Кузнецовой С.А.

Анотація. В роботі проведено огляд пропульсивної установки танкера «FUJISAN MARU». Запропоновані рекомендації щодо комплектації головного двигуна, вибору енергозберігаючих пристроїв гвинта та можливості відбору потужності на валогенератор.

Ключові слова: танкер, пропульсивна установка, головний двигун, енергозберігаючі пристрої гребного гвинта, валопровід, гребний гвинт.

FUJISAN MARU – танкер для перевезення сирової нафти. FUJISAN MARU побудоване на верфі Імарі для судновласника Iino Kaiun Kaisha у березні 2020 року. Fujisan Maru — це 4-е покоління Malaccamax, і один з найбільших суден, здатних пройти через Малаккську протоку. Його довжина становить трохи менше 339 м, що на 6 м більше, ніж у попереднього покоління Malaccamax, і на 24 м більше, ніж у першого. Судно має 15 вантажних танків, розташованих у п'яти комплектах, що складаються з лівого, правого та центрального танків, а також два відстійних танка. Таке розташування дозволяє одночасно перевозити три класи вантажів. Три вантажні насоси з паровими турбінами Shinko і два зачисних ежектора складають обладнання для обробки вантажів. Додаткова довжина дозволяє зробити судно більш ефективним завдяки децю збільшеній вантажопідйомності приблизно до 351500 м³[1]

Судно FUJISAN MARU обладнано головним двигуном MAN B&W 7G80ME-C9.5. Це двотактний дизельний двигун виробництва Mitsui, потужністю 24700 кВт при 72 об/хв., який може працювати на різних видах палива, таких як HFO (до RMG380), MDO (DMB), MGO (DMA, DMZ). При використанні цих видів палива виконуються вимоги за Tier II. Для забезпечення правим ІМО 2020 за викидами SO_x встановлено скруббер відкритого типу фірми Alfa Laval. Оскільки двигун має маркування G (green), двигун відповідає вимогам щодо викиду газів NO_x у навколишнє середовище, але за нормами 2011-2020 року. У 2021 року вступили нові більш жорсткі норми по викидам окислу азоту, що вимагають дотримання норм 2-3,4 гр/кВт тому усі сучасні двигуни розробляються за вимогами Tier III, тобто з вбудованими селективно-каталітичним фільтром [2]. Крім головного двигуна до складу енергетичної установки входять 3 дизель-генератора потужністю 1400 кВт при 900 об/хв з двигунами фірми Daihatsu diesel Mfg.Co., Ltd та допоміжний котел двох тисків Osaka boiler Mfg 80000 кг/год тиском 1,96МПа та 1,600 кг/год, 0,59МПа. Так як судно FUJISAN MARU побудовано після 2016-го року (2020) для відповідності екологічним та ефективним показникам застосовують показник EEDI [3]. Тобто в нас відносно нове судно, але введення у дію більш жорстких вимог NO_x, вимагає зменшенню використання пального для забезпечення вимог ІМО.

Для вирішення цієї проблеми, як один з можливих шляхів обрано підвищення ефективності пропульсивної установки завдяки використанню енергозберігаючих технологій на гребні гвинти та використання заощадженої енергії для отримання електричної енергії.

Метою роботи є оцінка ефективності застосування енергозберігаючих пристроїв на гребний гвинт фіксованого кроку та аналіз методів відбору потужності від головного двигуна на валогенератор. Об'єкт дослідження – процеси, що дозволяють підвищити ефективність гребного гвинта, а предмет – показник зниження витрати пального суднової енергетичної установки у цілому.

Для досягнення мети запропоновано альтернативні варіанти комплектації пропульсивної установки:

- залишити наявний ГД, але передбачити можливість зменшення його потужності на рух судна при використанні Energy Saving Devices (ESDs) та застосувати надлишки для отримання електричної енергії;
- залишити таку ж конфігурацію двигуна але більш нову версію 7G80ME-C10.5 чи 7G80ME-C10.6 з використанням HPSCR High-pressure SCR або LPSCR Low-pressure SCR для забезпечення вимог Tier III [4]. Збільшення питомої витрати пального завдяки використанню SCR (Selective Catalytic Reduction) також вимагають зменшення потужності ГД за рахунок підвищення ефективності роботи гвинта при підтримці незмінної специфікаційної швидкості;
- обрати іншу марку ГД з меншою потужністю при застосуванні Energy Saving Devices (ESDs).

Більш простий по реалізації є перший спосіб, другий чи третій рекомендуються для застосування при будівництві нових суден чи модернізації цього. Та у всіх їх використовуються ESDs, розглянемо пропозиції двох фірм.

Покращення ефективності до 8,7% можливе за допомогою комбінації енергозберігаючих пристроїв компанії Namura. Ці пристрої, покращують рухові характеристики судна за рахунок поліпшення обтікання потоком кормової кінцівки. Завдяки застосуванню комплексу, що включає ребра управління потоком Namura та кермо, що прикріплені до корми, разом з аеродинамічною вузькою надбудовою, кришкою гвинта, що зменшує завихрення потоку. Крім цього застосовують й покриттям з низьким рівнем тертя проти обростання корпусу та збільшення його опору.

Енергозберігаючі пристрої, розроблені компанією Nakashima Propeller Co., Ltd, враховують всю систему компонентів силової установки судна та є виробником гребного гвинта фіксованого кроку встановленого на цьому танкері. Запропоновано використання нового більш сучасного матеріалу для гвинта – вуглепластику, що має рід переваг ніж звичайний сплав нікель-алюміній-бронза. Він на 1/5 ваги звичайного гвинта, зменшується моменти інерцій на валу і його діаметр, допускається незначна деформація лопатей у потоці води, що при штормових умовах знижує перевантаження двигуна, а при збільшенні діаметру зменшує вібрацію та кавітацію. Загальний вид такого гвинта наведено на рис. 1а [5]



а



б

Рис. 1 Кормова частина танкера з використанням ГФК : а – гвинт CFRP; б – пристрою ECO-Cap

Як бачимо що той же матеріал застосовується для кришки гвинта, що належить до енергозберігаючого пристрою ECO-Cap [6]. Ця кришка спроектована для зменшення вихорів

у маточини гвинта що веде до втрат енергії. Це виникає завдяки тому, що розподіл тиску за звичайною кришкою призводить до збільшення опору через «негативний тиск», у той час як у випадку з кришкою ECO-Cap утворюється «позитивний тиск» створює рушійну силу, збільшуючи рушійну силу порівняно зі звичайною кришкою. Форму кришки з додатковими лопатками наведено на рис. 1.б. Форма розташування та кількість лопаток були отримані під час досліджень та перевірені під час експлуатації. Nakashima Propeller містить велику систему обчислювальної гідродинаміки (CFD). У модельних випробуваннях результати залежали від конструкції гвинта (кількості лопатей, кроку, діаметра бобишки), але досягався ККД близько 1-1,3% при використанні звичайних матеріалів гвинта, маточина та насадки, а при CFRP до 2,8% по економії пального.[6]

Подальше зниження витрати пального можливо за рахунок зменшення потужності, що використовується на рух до 8,7%, що може бути використано для отримання електричної енергії при використанні валогенератора та додатковому зменшенні витрати пального за рахунок різниці у питомій витраті ГД та двигуна ДГ, а це дозволить знизити викиди NO_x та CO₂.

Валогенератори знижують витрати на паливо, а також знижують витрати на технічне обслуговування та мастильні матеріали – для більшого прибутку та екологічних переваг. Системи валогенераторів із частотними перетворювачами подають у мережу трифазний струм постійної напруги та частоти при змінних оборотах головного двигуна. У всіх систем валогенератора є одна спільна характеристика: активна потужність, необхідна для мережі, виробляється головним двигуном. Однак валогенератор може бути розташований та приводиться в дію головним двигуном різних конфігураціях:

- валогенератор встановлений у валопроводі між головним тихохідним дизелем і гребним гвинтом. Ця конфігурація має великий повітряний зазор між статором і ротором і без додаткових підшипників виявилася дуже успішною як конфігурація, що найчастіше використовується. Він особливо простий та надійний і потребує мінімального обслуговування. На відміну від інших компонок, проблеми з крутильними вібраціями, пов'язані з конструкцією та роботою, у цій конфігурації не очікуються;
- валогенератор приводиться в дію через коробку відбору потужності від редуктора, розташованого між головним дизелем і гребним гвинтом;
- валогенератор приводиться в дію через тунельний редуктор, встановлений у валопроводі між головним тихохідним дизелем і гребним гвинтом.

Найбільш оптимальною для танкера FUJISAN MARU де використовується пряма передача потужності від двигуна на гвинт є встановлення валогенератора між двигуном та гвинтом в відбором потужності від валу. Валогенератор приводиться в дію через тунельний редуктор, встановлений у валопроводі між головним двигуном та гвинтом. Один з можливих варіантів компоновки наведено на рис 2. [7, 8]

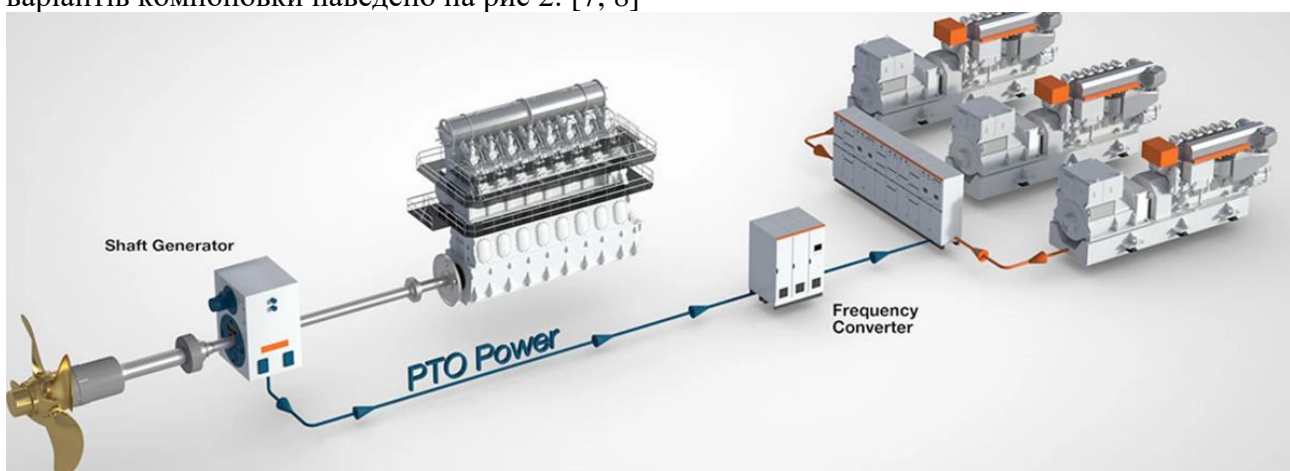


Рис 2. Схема передачі потужності в пропульсивному комплексі

Висновок. Для забезпечення норм ІМО запропоновано застосування гвинта фіксованого кроку з додатковою насадкою за технологією ECO-Cap з використанням CFRP матеріалу що дозволяє зменшити витрати пального до 2,8% палива ГД або заощадити потужність і застосувати її для отримання електричної енергії при застосуванні валогенератора, що може зменшити сумарну витрату пального на енергетичну установку. В магістерській роботі планується більш детально розглянути ці заходи при застосуванні саме для FUJISAN MARU.

Література:

1. FUJISAN MARU. Tanker. URL: <https://www.myshiptracking.com/ru/vessels/fujisan-marummsi-431660000-imo-9827360>
2. IMO Tier III – how IMO reduces environmental impact of ships URL: <https://www.emigreen.eu/imo-tier-iii/>
3. Procedure for calculation and verification of the Energy Efficiency Design Index (EEDI) URL: https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/activities/statutory/eedi/16_pr38rev4.pdf
4. Marine engine programme MAN Energy Solutions URL: https://www.man-es.com/docs/default-source/marine/marine-engine-programme-20205656db69fafa42b991f030191bb3bbb4.pdf?sfvrsn=9cac9964_100
5. Main propulsion systems CFRP Propeller URL: <https://www.nakashima.co.jp/eng/product/cfrp.html>
6. Energy Saving Device ECO-Cap URL: https://www.nakashima.co.jp/eng/product/eco_cap.html
7. Shaft generators for low speed main engines. MAN Energy Solutions. Future in the making URL: https://www.man-es.com/docs/default-source/marine/tools/5510-0003-03ppr.pdf?sfvrsn=b570e4e5_12
8. Wärtsilä Shaft Generators. Generating electricity at sea URL: <https://www.wartsila.com/marine/products/ship-electrification-solutions/shaft-generator>

IMPROVING THE PROPULSION INSTALLATION OF THE TANKER «FUJISAN MARU»

Vladyslav Dyukov

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Annotation. A review of the propulsion installation of the tanker FUJISAN MARU was carried out at work. Practical recommendations for the configuration of the main engine, the selection of energy-saving devices, the configuration of the location of the shaft couplings.

Key words: tanker, propulsion unit, propulsion qualities of the vessel, main engine, energy-saving devices, shafting, propeller.

УДК 621.438

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ ПАЛИВА В ДВИГУНАХ ІЗ ЗАПАЛЕННЯМ ВІД СТИСНЕННЯ

Митрофанов О. С., д-р техн. наук, доц.¹, Проскурін А. Ю., канд. техн. наук, доц.², Маляренко В. В., магістрант³, Кирток Б.В., магістрант⁴
(^{1,2,3,4} Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова
^{1,2,3,4} Україна, Миколаїв)

¹mitrofanov.al.ser@gmail.com, ²arkadii.proskurin@nuos.edu.ua

Анотація. Виконано аналіз можливості використання диметилового ефіру у якості палива для двигунів із запаленням від стиснення. Установлено позитивний вплив

диметилового ефіру на економічні та екологічні показники роботи двигуна. Визначено, що за умов досягнення однакової ефективної потужності двигуном питома ефективна витрата базового палива зменшується на 6,7 %.

Ключові слова: альтернативне паливо; транспортні енергетичні установки; диметиловий ефір; питома ефективна витрата палива; паливна апаратура.

Вступ

Стрімке зниження запасів і подорожчання видобувних енергетичних ресурсів стимулює розвиток та поширення використання альтернативних видів палив у двигунах внутрішнього згоряння (ДВЗ) різного призначення [1]. Застосування альтернативних видів палив позитивно сприяє не тільки зниженню залежності від традиційних видобувних палив, а й покращенню екологічних показників двигунів та знижує викиди парникових газів.

У залежності від фізико-хімічних властивостей альтернативного палива конструкція дизельного двигуна і його систем потребує внесення деяких змін. Також певних корекцій потребує організації робочого процесу. У якості альтернативного палива в енергетичних установках із ДВЗ можуть використовуватися наступні палива: спирти (етанол і метанол); синтетичний бензин й дизельне паливо; біодизель; синтез-газ; водень; диметиловий ефір (C_2H_6O); летючі органічні компоненти сирової нафти (містить метан, пропан, бутан, етан, пентан і деякі більш високі вуглеводні) та інші [2–5].

Мета роботи – аналіз впливу альтернативного палива на зміну економічних показників двигуна із запаленням від стиснення.

Об'єктом дослідження є економічні показники дизельного двигуна за умов застосування альтернативного палива.

Предмет дослідження – характеристики зміни економічних показників у процесі енергоперетворення за умов використання альтернативного палива.

Основна частина

Одним з найбільш перспективних видів альтернативного палива для транспортних енергетичних установок з дизельними двигунами може бути диметиловий ефір. Завдяки своїм фізико-хімічним властивостям, поданим у табл. 1, він може бути екологічно чистою альтернативою дизельному паливу нафтового походження, або використовуватися у якості добавки, частково заміщуючи дизельне паливо.

Навіть у разі використанні диметилового ефіру у якості добавки до дизельного палива спостерігається зниження кількості шкідливих викидів з відпрацьованими газами в навколишнє середовище. Зниження шкідливих викидів з відпрацьованими газами пов'язане з тим, що у хімічній формулі диметилового ефіру присутній атом кисню, що вивільняється і бере безпосередню участь у реакції додаткового окиснення дизельного палива.

Переведення двигунів із запаленням від стиснення на диметиловий ефір потребує внесення змін у паливну систему та налаштування її елементів відповідно до режиму роботи двигуна.

Існує декілька можливих варіантів модернізації паливної системи двигунів із запаленням від стиснення для застосування диметилового ефіру:

– використання паливної апаратури, яка дає змогу використовувати два види палива, причому дизельне паливо нафтового походження застосовується здебільшого для запуску дизеля;

– використання паливної апаратури, яка дає змогу працювати двигуну на суміші дизельного палива нафтового походження та диметилового ефіру в різних пропорціях у залежності від режиму навантаження;

– використання паливної апаратури, в якій диметиловий ефір використовується лише у якості запальної дози для займання основного газового (метану) палива (за принципом роботи газодизельного двигуна).

Таблиця 1. Порівняння базових фізико-хімічних властивостей диметилового ефіру та дизельного палива нафтового походження

Найменування параметра	Одиниці вимірювання	Значення	
		ДМЕ	ДТ
Хімічна формула палива	–	C_2H_6O	$C_nH_{1,8n}$
Склад палива:			
– вуглець С	%	52,2	87
– водень H_2		13,0	13
– кисень O_2		34,8	–
Молекулярна маса	кг/кмоль	46	239
Нижча теплотворна здатність	МДж/кг / МДж/м ³	28,8 / 18,2	42,5 / 35,7
Теоретична кількість повітря у стехіометричній суміші для згорання	кг/кг	9,13	14,2
Температура самозаймання	К	508	473...439
Швидкість розповсюдження полум'я у суміші з повітрям	м/с	0,49	–
Цетанове число	–	> 55	38...53
Межа займання суміші з повітрям (за об'ємом)	%	4,3...18,0	1,58...8,20

Так, у табл. 2 представлено порівняння результатів математичного моделювання робочого процесу дизельного двигуна 6ЧН 12,8/15,5 при роботі на газовому паливі. У першому випадку запалення відбувалося від запальної дози дизельного палива, у другому – від диметилового ефіру.

Таблиця 2. Порівняння основних параметрів двигуна 6ЧН 12,8/15,5 при використанні різних видів палива

Найменування параметра	Позначення та одиниці вимірювання	Значення	
		Газ + ДП	Газ + ДМЕ
Кількість циліндрів	i	6	6
Розміщення циліндрів	–	рядне	рядне
Діаметр циліндра	D , мм	128	128
Хід поршня	V , мм	155	155
Ступінь тиску	ε	16	16
Частота обертання колінчатого вала	n , об/хв	1900	1900
Ефективна потужність	N_e , кВт	230,9	230,6
Середній ефективний тиск	p_e , МПа	1,411	1,410
Питома ефективна витрата запального палива	g_e , кг/(кВт·год)	0,072	0,051
Питома ефективна витрата основного палива	g_e , кг/(кВт·год)	0,281	0,262

Виходячи з отриманих даних, наведених у табл. 2, за умови досягнення однакової ефективної потужності двигуном 6ЧН 12,8/15,5, питома ефективна витрата базового палива зменшується на 6,7 %.

Висновки

1. Виконано аналіз моторних властивостей та можливості використання диметилового ефіру у якості альтернативного палива для транспортних енергетичних установок з дизельними двигунами, а також виділено найбільш перспективні шляхи застосування диметилового ефіру в дизелях.

2. Установлено, що використання диметилового ефіру у якості запальної дози в двигуні із запаленням від стиснення 6ЧН 12,8/15,5, що працює на природному газі, дозволяє знизити питому ефективну витрату основного палива на 6,7 %.

Література

- [1] Кустовська, А. Д., Іванов, С. В., Бережний, Є. О. (2014). Альтернативні палива: Підручник. К.: НАУ, 624 с.
 [2] <https://www.man-es.com/marine/strategic-expertise/future-fuels>.
 [3] <https://www.thyssenkrupp-industrial-solutions.com/power-to-x/en/green-sng>.
 [4] High Pressure CNG & Hydrogen Storage Tanks. Available from: <https://www.braider.com/Case-Studies/High-Pressure-CNG--and--Hydrogen-Tanks.aspx>.
 [5] <https://cen.acs.org/business/petrochemicals/ammonia-fuel-future/99/i8>.

ANALYSIS OF THE ALTERNATIVE FUELS USE IN COMPRESSION IGNITION ENGINE

Mitrofanov O. S., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor¹, Proskurin A. Y., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor², Malyarenko V. V., Master's student³, Kyrtok B. V., Master's student⁴

(^{1,2,3,4} Admiral Makarov National University of Shipbuilding
^{1,2,3,4} Ukraine, Mykolaiv)

¹mitrofanov.al.ser@gmail.com, ²arkadii.proskurin@nuos.edu.ua

Abstract. *The possibility of using dimethyl ether as a fuel for compression-ignition engines has been analyzed. The positive effect of dimethyl ether on the economic and environmental performance of the engine is established. It is determined that, under the conditions of achieving the same effective power by the engine, the specific effective consumption of the base fuel is reduced by 6.7 %.*

Keywords: *alternative fuel; transport power plants; dimethyl ether; specific effective fuel consumption; fuel equipment.*

УДК 621.438

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДВИГУНА 1Ч 6,8/5,4 ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ТЕРМОХІМІЧНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛА ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ

Митрофанов О. С., д-р техн. наук, доц.¹, Проскурін А. Ю., канд. техн. наук, доц.²

(^{1,2}Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова

^{1,2} Україна, Миколаїв)

¹mitrofanov.al.ser@gmail.com, ²arkadii.proskurin@nuos.edu.ua

Анотація. *Представлено результати експериментальних досліджень енергетичної установки на базі поршневого 1-циліндрового 4-тактного двигуна 1Ч 6,8/5,4 з термохімічною утилізацією теплоти відпрацьованих газів. Наведено експериментальні індикаторні діаграми та залежності зміни ефективних показників, при роботі двигуна 1Ч 6,8/5,4 з добавками синтез-газу (2,0...3,3 %) за навантажувальною характеристикою.*

Ключові слова: утилізація тепла; альтернативне паливо; етанол; синтез-газ; відпрацьовані гази; питома ефективна витрата палива.

Вступ

У двигунах внутрішнього згоряння (ДВЗ) з примусовим запалюванням значна частина енергії (порівнянно з ефективною потужністю двигуна), що виділяється під час згоряння палива, витрачається на теплові втрати (у відпрацьовані гази, охолоджувальну рідину, масло тощо).

Утилізація теплових втрат ДВЗ дає змогу значно поліпшити ефективні та екологічні показники роботи двигуна й енергетичної установки загалом. Так, втрати тепла з охолоджувальною рідиною внаслідок низького температурного потенціалу здебільшого використовуються для підігріву або охолодження інших теплоносіїв. Теплова енергія відпрацьованих газів (ВГ) ДВЗ, особливо з примусовим запалюванням, має доволі високий потенціал (температура ВГ на виході з двигуна може знаходитися в діапазоні 400...600 °С), і тому може успішно використовуватися в різних схемах утилізації. Такі схеми утилізації тепла ВГ набули поширення для дизельних ДВЗ у судновій і стаціонарній енергетиці, де використовуються як для забезпечення теплом споживачів, так і для отримання додаткової роботи. Утилізація тепла ОГ двигунів із примусовим запалюванням менш поширена у зв'язку зі специфікою застосовуваних двигунів (переважно наземний транспорт), і тому становить значний інтерес.

Для двигунів із примусовим запалюванням одним із перспективних способів утилізації теплоти ВГ є термохімічна утилізація (ТХУ). Цей спосіб утилізації ґрунтується на використанні тепла ВГ для здійснення ендотермічної реакції хімічного перетворення вуглеводневого палива в синтез-газ (основними компонентами є CO і H₂). У результаті реакції конверсії вуглеводневого палива теплота згоряння синтез-газу збільшується на величину утилізованої енергії ВГ [1]. Отриманий синтез-газ може повністю замінювати базове паливо, або використовуватися як добавка до нього [2].

Для реалізації цього способу утилізації необхідне виконання певних умов: температура ВГ на вході в термохімічний реактор має перевищувати температуру реакції конверсії палива, теплова потужність ВГ має забезпечити отримання необхідної кількості синтез-газу для роботи ДВЗ [3, 4]. Ступінь ефективності утилізації теплоти ВГ зумовлений температурою процесу конверсії, теплотою хімічної реакції, властивістю вихідного палива, складом отриманого синтез-газу, тепловою потужністю ВГ ДВЗ тощо.

Метою роботи є дослідження параметрів роботи двигуна з іскровим запалюванням, а також особливостей процесу згоряння при використанні добавок синтез-газу до етанолу.

Об'єктом дослідження є ефективні показники роботи двигуна з іскровим запалюванням за умов використання ТХУ ВГ.

Предмет дослідження – характеристики зміни ефективних показників роботи двигуна у процесі енергоперетворення за умов використання ТХУ ВГ.

Основна частина

Для дослідження основних параметрів роботи двигуна під час використання ТХ тепла ВГ, а також визначення ефективності застосування цього способу утилізації в лабораторії перспективних енергетичних технологій Національного університету кораблебудування імені адм. було створено експериментальну установку на базі чотиритактного двигуна з примусовим запалюванням 1Ч 6,8/5,4 і термохімічним реактором утилізації теплоти ВГ. Схема експериментальної установки представлена на рис. 1.

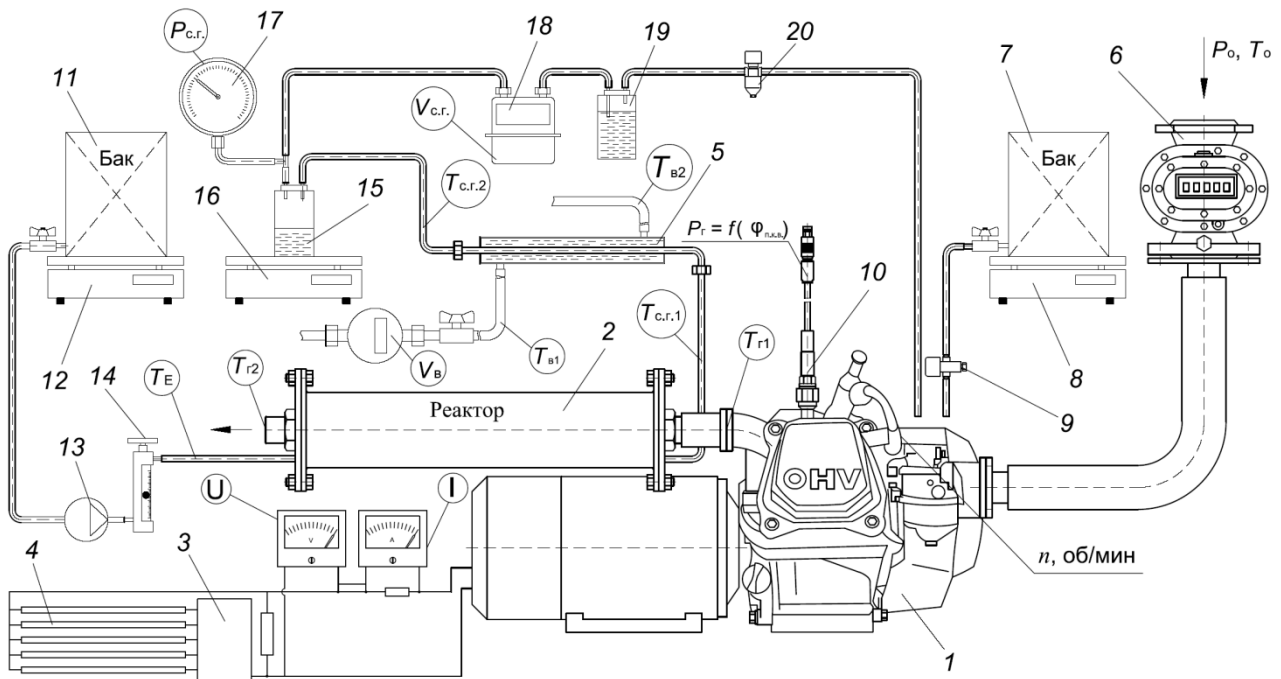


Рис. 1. Експериментальна установка на базі двигуна 1Ч 6,8/5,4:

1 – двигун з іскровим запалюванням 1Ч 6,8/5,4; 2 – термохімічний реактор; 3 – система управління навантаженням; 4 – блок ТЕНів; 5 – теплообмінник типу "труба в трубі"; 6 – газовий лічильник РГ-40; 7, 11 – бак з етанолом; 8, 12, 16 – ваги; 9 – електромагнітний клапан; 10 – датчик тиску; 13 – насос подачі етанолу в реактор; 14 – ротаметр; 15 – реторта збору конденсату; 17 – манометр; 18 – газовий лічильник; 19 – водяний затвор; 20 – електромагнітний газовий клапан із фільтром

Двигун 1Ч 6,8/5,4 може працювати як на чистому етанолі, так і на газоподібній суміші етанолу і синтез-газу, отриманому в результаті ТХУ тепла ВГ. Залежно від навантаження двигуна і кількості утилізованого тепла ВГ добавка синтез-газу до етанолу різна.

У термохімічному реакторі 2 (див. рис. 1) синтез-газ отримувався шляхом термохімічної парової конверсії етанолу. Склад синтез-газу визначено за допомогою хроматографа *NeoCHROM Class B*, який проходив попереднє тарування за допомогою зразкових сумішей. Основними компонентами синтез-газу є H_2 (43 %), CO (34 %) і CH_4 (23 %). Розрахункова питома теплота згоряння синтез-газу складала 28,79 МДж/кг, а густина – 0,63 кг/м³.

На рис. 2 представлено результати експериментальних досліджень основних параметрів роботи двигуна 1Ч 6,8/5,4 за навантажувальною характеристикою під час роботи на чистому етанолі та з добавкою синтез-газу 2,0...3,5 % за масою.

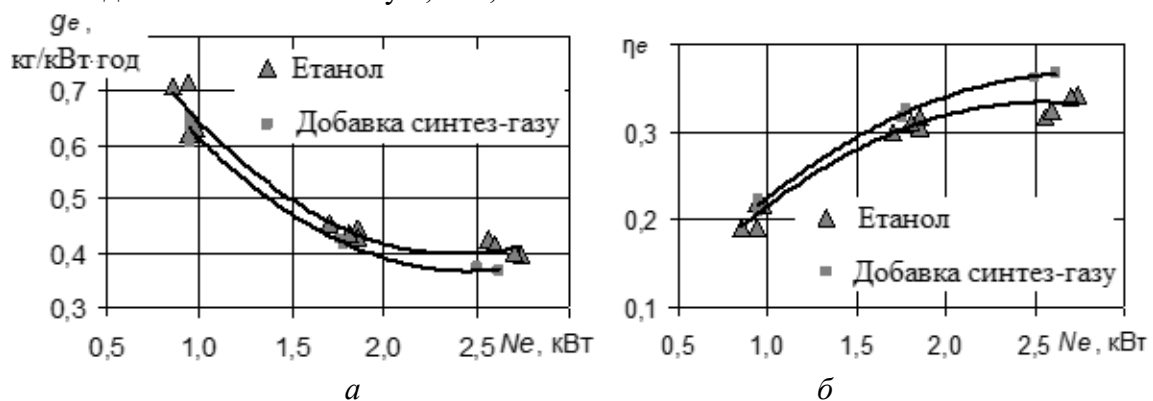


Рис. 2. Основні параметри двигуна під час роботи за навантажувальною характеристикою на чистому етанолі і з добавкою синтез-газу:

а – питома ефективна витрата палива; б – ефективний ККД

Залежно від добавки синтез-газу зниження питомої ефективної витрати палива становить 2,5...12,4 % (див. рис. 2, а) при цьому також спостерігається і зростання ефективного ККД циклу (див. рис. 2, б). Зниження ефективної витрати палива і збільшення ефективного ККД пов'язані насамперед зі збільшенням теплоти згоряння, а також поліпшенням якості згоряння.

На рис. 3 представлено низку індикаторних діаграм, знятих за різних добавок синтез-газу за масою до етанолу. При цьому коефіцієнт надлишку повітря становив $\alpha = 1,1$, а частота обертання колінчастого вала – 3000 хв^{-1} . У результаті проходження робочого циклу теплова енергія, що виділяється під час згоряння суміші синтез-газу та етанолу, перетворюється на корисну роботу, що розвивається газами в циліндрі двигуна. При цьому, значення корисної роботи циклу зі збільшенням добавки синтез-газу зростає, що досить чітко простежується з індикаторних діаграм. Аналіз індикаторних діаграм (рис. 3) також показав, що наявність синтез-газу в паливоповітряній суміші призводить до збільшення максимального тиску згоряння до 200 кПа і зміщення його в бік верхньої мертвої точки ВМТ до 7° п.к.в.

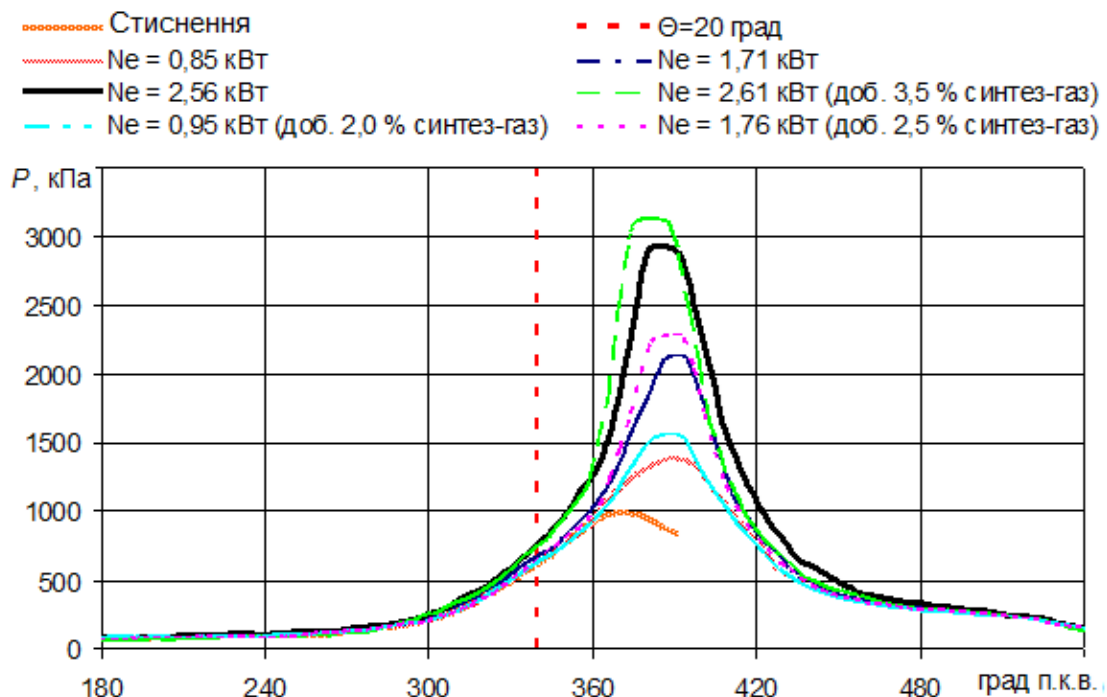


Рис. 3. Порівняння експериментальних індикаторних діаграм двигуна 1С 6,8/5,4 під час роботи на чистому етанолі та з добавками синтез-газу

Подальше збільшення добавки синтез-газу до етанолу (понад 3,5 %) без коригування коефіцієнта надлишку повітря і кута випередження запалювання може негативно позначитися на роботі двигуна. Жорстка робота двигуна, що супроводжується високими значеннями максимального тиску згоряння, неприпустима під час експлуатації ДВЗ, оскільки призводить до збільшення динамічного навантаження на деталі кривошипно-шатунного механізму, а також руйнування підшипників. Крім того, під час добавок синтез-газу позитивний вплив на робочий цикл має врахування ступеня стиснення, коефіцієнта наповнення циліндра, фаз газорозподілу, способу сумішоутворення.

Висновки

1. За умов використання добавок синтез-газу до етанолу (2,0...3,5 %) у двигуні спостерігалось стабільне бездетонаційне згоряння, з незначним збільшенням максимального тиску згоряння за потужності двигуна 2,6 кВт і частоти обертання колінчастого вала 3000 хв^{-1} .

2. При використанні добавок синтез-газу до етанолу в діапазоні 2,0...3,5 % за масою спостерігається збільшення всіх ефективних показників роботи двигуна. Так, наприклад, зниження питомої ефективної витрати палива становить 2,5...12,4 %.

3. За умов добавок синтез-газу до етанолу (2,0...3,5 %) тривалість згорання зменшується і збільшується максимальний тиск згорання на 6,5 %, при цьому максимум тиску згорання зміщується в бік ВМТ до 7° п.к.в. За значних добавок синтез-газу до етанолу (понад 3,5 %) зниження жорсткості роботи двигуна і забезпечення стабільного бездетонаційного згорання можна домогтися шляхом збільшення коефіцієнта надлишку повітря до 1,1...1,5, а також зменшення кута випередження запалювання.

4. Збільшення α (понад 1,0) за використання добавок синтез-газу призводить до деякого зниження температури ВГ, що, своєю чергою, також позитивно впливає на екологічні показники ДВЗ. Значення температури відпрацьованих газів при цьому перебувають у межах, здатних забезпечити проходження реакції конверсії вуглеводнів для отримання синтез-газу.

Література

[1] Тимошевский, Б. Г., Ткач М. Р., Проскурин, А. Ю. (2011). Эффективность термохимической конверсии углеводородных топлив, применяемых в ДВС. Вісник НУК. №3. С. 36-42.

[2] Носач, В. Г., Шрайбер А. А. (2009). Повышение эффективности использования природного газа в теплоэнергетике с помощью термохимической регенерации. Промышленная теплотехника. Т.31, №3. С. 42–50.

[3] Тимошевський, Б. Г., Ткач, М. Р., Митрофанов О. С., Познанський, А. С., Проскурін, А. Ю. (2011). Експериментальне дослідження параметрів поршневого ДВЗ із системою термохімічної конверсії біоетанолу. Двигатели внутреннего сгорания : Всеукраинский научно-технический журнал. № 2. С. 3–8.

[4] Тимошевський, Б. Г., Ткач, М. Р., Митрофанов О. С., Познанський, А. С., Проскурін, А. Ю. (2013). Характеристики экспериментальной системы конверсии биоэтанола ДВС 2Ч 7,2/6. Двигатели внутреннего сгорания : Всеукраинский научно-технический журнал. № 1. С. 28–32.

INCREASING THE EFFICIENCY OF A 1Ч 6.8/5.4 ENGINE BY USING THERMOCHEMICAL UTILIZATION OF EXHAUST GAS HEAT

Mitrofanov O. S., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor¹,
Proskurin A. Y., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor²

(^{1,2} Admiral Makarov National University of Shipbuilding

^{1,2} Ukraine, Mykolaiv)

¹mitrofanov.al.ser@gmail.com, ²arkadii.proskurin@nuos.edu.ua

Abstract. *The paper presents the results of experimental studies of a power plant based on a 1Ч 6.8/5.4 piston 1-cylinder 4-stroke engine with thermochemical utilization of exhaust gas heat. Experimental indicator diagrams and dependencies of changes in effective indicators are presented for the operation of the 1Ч 6.8/5.4 engine with synthesis gas additives (2.0...3.3 %) according to the load characteristic. **Keywords:** heat utilization; alternative fuel; ethanol; synthesis gas; exhaust gases; specific effective fuel consumption.*

УДК 62-723

**ОПТИМІЗАЦІЯ ВИТРАТИ ВИСОКОЛУЖНОГО ЦИЛІНДРОВОГО МАСЛА
СУДНОВОГО МАЛООБЕРТОВОГО ДВИГУНА****Погорлецький Д.С.***к.т.н. доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок**Херсонської державної морської академії**м. Херсон, Україна**dimon150582@gmail.com*

Анотація. Під час експлуатації суднових двигунів внутрішнього згоряння (СДВЗ) не рідко виникають різні дилеми, до однієї з яких відноситься використання високов'язких сортів палив з високим вмістом сірки. Застосування подібних сортів палива нині відбувається як у крейцкопфних, так і в тронкових двигунах [1-4]. Особлива увага приділяється питанням економії моторних масел у процесі їх застосування на судах, а також перспектив регенерації їх експлуатаційних властивостей. З цією метою дизелебудівними фірмами спільно з виробниками мастильних матеріалів розробляються та досліджуються режими змащування, які забезпечують мінімально можливу подачу масла до зон контакту, проектується спеціальні установки з відновлення експлуатаційних властивостей циліндрового масла.

Ключові слова: малообертотвий двигун, циліндрове масло, витрата масла, лужність масла.

Необхідність розробки нових сортів циліндрових масел, виникла ще на початку 60-х років, це було пов'язано з появою на судах малообертотвих двигунів (МОД), та переведенням їх паливної системи на економічно вигідніші палива підвищеної в'язкості. Відповіддю на зміну умов роботи масел, а також на необхідність надання їм відповідних властивостей, було створення рядом нафтових компаній спеціальних циліндрових масел до складу яких в обов'язковому порядку вводили з'єднання луку, вміст визначається в мг гідроксиду калію КОН на 1 грам масла, а величина може досягати 100 мг КОН/г. Високолужні циліндрові масла другого покоління (Mobilgard 570, Shell Alexia 50, Castrol S та інші) з рівнем лужних чисел 60...70 мг КОН/г успішно застосовувалися у форсованих суднових МОД на паливах в'язкістю 120...320 сСт та вмістом сірки до 3...4 %. Експлуатація суднових дизелів на подібних сортах палива і масла проводилася аж до початку нинішнього століття, але коли флот став поповнюватися суднами з довгоходовими моделями двотактних двигунів, і посилювалися вимоги до екологічних параметрів роботи суднової енергетичної установки (СЕУ). Збільшення максимальних тисків та температур у верхній частині циліндра призвело до збільшення вимог до масла, щодо запобігання утворенню відкладень та зносу [1-4]. У довгоходових МОД зі зменшення частоти обертання збільшено час перебування масляної плівки до її оновлення на поверхні втулки, в результаті чого масло повинно витримувати велике термічне навантаження. Однією з найважливіших завдань є забезпечення товщини та міцності мастильної плівки в умовах низьких швидкостей поршня, наприклад, при русі судна на економічних ходах [1-4]. Показниками кількості подачі циліндрового масла на циліндрові втулки є АСС фактор (adaptive cylinder oil control) та витрата масла FR (feed rate). Величина АСС фактора приймається за експериментальними даними, залежно від значень PQI (Particle Quantity Index) – кількості металевих частинок і BN в аналізах масла, взятих з підпоршневого простору. Для суднових МОД АСС=0,2...0,35. На сучасних судах, оснащених малообертотвими дизелями, встановлені системи автоматичного управління (наприклад система LUBECS), вони підтримують мінімальну витрату циліндрового масла на рівні 0,6 г/(кВт·год)) незалежно від режиму роботи дизеля [1-4].

Для перевірки технічного стану циліндрової групи двигуна MAN-B&W 5S70ME-C, аналізи масла були взяті з підпоршневого простору, під час проведення досліджень двигун

працював на одному сорті палива марки РМК 700. Змащування циліндрів двигуна забезпечувалося маслом Mobilgard570 з показниками: густина при 15 °С, кг/м³ – 820; температура спалаху, °С – 256; в'язкість, сСт, при 40 °С - 229; в'язкість, сСт, при 100 °С - 21; лужне число (total base number – TBN), мг КОН/г – 70. Потрібно було визначити оптимальну витрату циліндрового масла з одночасною діагностикою технічного стану ЦПГ двигуна, при постійному навантаженні на двигун, незмінній частоті обертання колінчастого валу та цикловою подачею палива. Основними параметрами, за якими здійснювалася діагностика стану циліндрових втулок, були вміст у відпрацьованому маслі металевих домішок (Fe), ванадію (V), нікелю (Ni), кремнію (Si), що визначаються мг/кг, а також величини BN і PQI. При цьому напрацювання як головного двигуна, так і циліндрових втулок складало 9610 і 10809 годин роботи. У результаті були отримані пропорційні судовим дослідженням значення, що підтвердилося коректність та адекватність запропонованої методики, а також правильність налаштування системи подачі циліндрового масла. За результатами при береговій лабораторії були також побудовані діаграми, що відображають значення основних характеристик відпрацьованого масла (рис. 1).

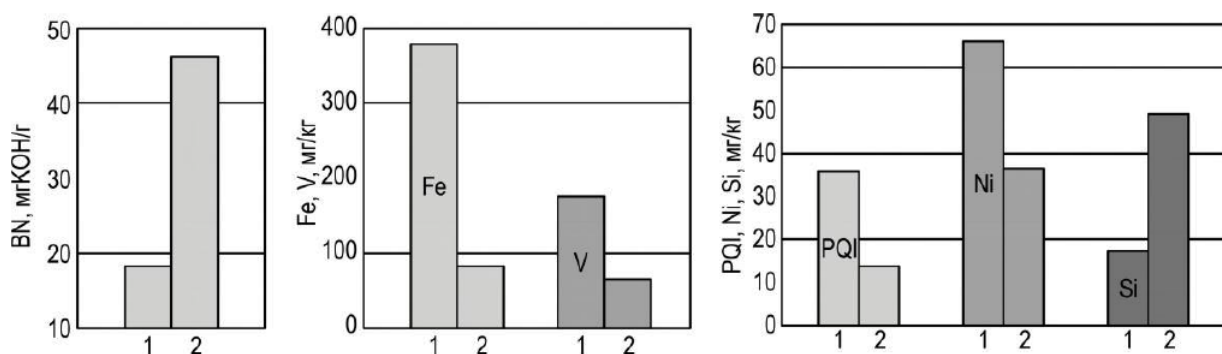


Рисунок 1 - Значення BN (base number), Fe (Iron), V (Vanadium), PQI (Particle Quantity Index), Ni (Nickel), Si (Silicon) у пробах масла, взятого з підпоршневого простору судового дизеля: 1 – після 9610 годин роботи; 2 – після 10809 годин роботи

Згідно результатів було визначено оптимальне значення АСС-фактора (з урахуванням вмісту сірки в паливі) та розраховано рекомендовану витрату масла FR. Було доведено, що оптимальна витрата циліндрового масла для двигуна, що використовує паливо з високим вмістом сірки, досягається знаходженням оптимальної величини АСС-фактора. Це значення визначається для кожного двигуна окремо та залежить від його технічного стану і особливостей системи циліндрового мащення. Значення АСС-фактора є постійним і витрата циліндрового масла Feed Rate при переході на різні сорти палива залежить тільки від вмісту сірки в ньому. Min Feed Rate – розрахункова мінімальна витрата масла на змащування циліндрів двигуна. Його значення обмежується мінімально допустимою витратою, встановленою фірмою-виробником.

Висновок. Отримані результати показали збільшення BN, зменшення PQI і Fe в аналізах підпоршневого масла, підтвердивши правильність регулювання подачі масла в судових умовах. Зміни у значеннях Ni, Si, V характеризують погіршення якості палива. Це дозволило безпечно експлуатувати ЦПГ двигуна при його роботі на паливі із вмістом сірки до 3 % та визначити оптимальну витрату циліндрового масла. Дані фактори забезпечили економічно ефективний режим роботи дизеля за мінімального корозійного зношування циліндрових втулок.

Література:

- Zablotsky Yu.V., Sagin S.V. Maintaining Boundary and Hydrodynamic Lubrication Modes in Operating High-pressure Fuel Injection Pumps of Marine Diesel Engines // Indian Journal of Science and Technology, Vol. 9(20), DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i20/94490, May 2016.

6. Sagin S.V., Semenov O.V. Motor Oil Viscosity Stratification in Friction Units of Marine Diesel Motors/ American Journal of Applied Sciences. – 2016. – Vol. 13. – № 2. – P. 200–208. DOI: 10.3844/ajassp.2016.200.208.
7. The MC Engines Service Experience / MAN B&W DIESEL A/S Copenhagen SV Reg. No.: 24231/ – 3rd edition. – November. 1998. – 13 p.
8. Богач В.М. Експлуатаційні показники ефективності лубрикаторних систем суднових дизелів / В.М. Багач, О.М. Шебанов, І.Д. Колієв, Ю.І. Журавльов // Суднові енергетичні установки: науч.- техн.сб.- 2007.- Вип. 19.- Одеса: ОНМА.

OPTIMIZATION OF THE CONSUMPTION OF HIGH-VISIBILITY CYLINDER OIL OF A MARINE LOW-SPEED ENGINE

Pohorletskyi Dmytro Serhiiovych.
Kherson State Maritime Academy

Abstract. Various dilemmas often arise during the operation of marine internal combustion engines (ICEs), one of which is the use of high-viscosity fuels with a high sulfur content. The use of similar types of fuel is currently used both in cross-head and truncated engines [1]. Special attention is paid to the issue of saving motor oils in the process of their use on ships, as well as the prospects of regeneration of their operational properties. For this purpose, diesel-engineering companies, together with manufacturers of lubricants, are developing and researching lubrication regimes that ensure the minimum possible supply of oil to the contact areas, designing special installations for restoring the operational properties of cylinder oil.

Key words: low-speed engine, cylinder oil, oil consumption, oil alkalinity.

УДК 621.125

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК ОХОЛОДЖЕННЯМ СТИСКАЄМОГО ПОВІТРЯ ЧЕРЕЗ ПОВЕРХНІ НАПРЯМНИХ ЛОПАТОК КОМПРЕСОРА

Бєков Б.А., аспірант НУК, Миколаїв, Україна,
bohdan.biekov53@gmail.com

Шевцов А.П., д.т.н., професор, професор ННЦМІ НУК, Миколаїв, Україна,
aootnet@ukr.net

Анотація. Обґрунтовано інтенсивний спосіб охолодження повітря в процесі його стиснення в компресорі. Охолодження складається з двох процесів теплообміну, поверхневого, під час якого від повітря відбирається теплота до зовнішньої поверхні проточної частини компресора, і зовнішнього, коли охоложене повітря через прикордонний шар охолоджує нагріте при стисненні повітря в об'ємі. Інтенсивність другого процесу забезпечує більш високу ефективність охолодження завдяки чому досягається більш висока ефективність газотурбінних установок.

Ключові слова: газотурбінна установка, ефективність, охолодження, повітря, компресор

Актуальність дослідження. Застосування проміжного охолодження між компресорами низького та високого тиску підвищує ефективний ККД газотурбінної установки до 0,4. Підвищення ефективного ККД газотурбінної установки під час реалізації ізотермічного стиску становить до 0,5. Це доводить запит практики на розробку методів охолодження повітря в процесі його стиснення. Спосіб такого охолодження складається з двох процесів теплообміну, поверхневого, під час якого від повітря відбирається теплота до зовнішньої поверхні проточної частини компресора, і зовнішнього, коли охоложене повітря через прикордонний шар охолоджує нагріте при стисненні повітря в об'ємі. Інтенсивність другого процесу забезпечує більш високу ефективність охолодження.

Спосіб пористого охолодження зараз широко застосовується в новій техніці. Одна з головних переваг цього способу полягає в тому що можна досягти ефективного відведення теплоти за малих градієнтів температури всередині тіла.

Проблемами інтенсифікації пористого охолодження в енергетичних установках займаються провідні інститути академії наук та університети в багатьох країнах.

На підставі сучасного стану інтенсифікації пористого охолодження в енергетичних установках його практичне здійснення пов'язане з необхідністю подолання значних труднощів як наукового, так і конструктивного та технологічного характерів. Тому відсутність результатів і рекомендацій про процеси тепломасопереносу при випарному охолодженні вологого повітря через поверхні напрямних лопаток при його стисканні стримують створення на їх основі газотурбінних установок з покращеними економічними, екологічними, ресурсними та масогабаритними показниками.

Таким чином, відсутність науково обґрунтованих результатів, які комплексно дозволяють підвищити технічну ефективність газотурбінних установок, стримують їх удосконалення та впровадження доводять актуальність теми дослідження.

Науково-прикладне завдання, яке вирішується при дослідженні. Визначення ефективності випарного охолодження на поверхнях напрямних лопаток при стисканні вологого повітря в умовах квазіізотермічного процесу.

Ціль дослідження. Підвищення ефективності газо- та газопаротурбінних установок за рахунок зниження витрат на роботу стиску в ступенях осьових компресорів.

Робочі наукові гіпотези при дослідженні. Реалізація комплексного випаровування крапель у прикордонному шарі біля пористої поверхні напрямних лопаток осьового компресора та на їх поверхнях забезпечує інтенсивне охолодження при стисканні вологого повітря.

Завдання наукового дослідження. Досягнення поставленої мети дослідження можливе в результаті вирішення наступних завдань:

1. Визначити резерви технічної ефективності суднових газотурбінних установок простого та складного циклів при реалізації комплексного випаровування крапель у прикордонному шарі біля пористої поверхні направляючих лопаток осьового компресора та на її поверхні.

2. Визначити раціональні умови інтенсифікації тепломасообміну під час виведення крапель рідини у прикордонний шар при пористому охолодженні лопаток компресора.

3. Обґрунтувати використання системи пористого охолодження напрямних лопаток осьового компресора для покращення економічних, екологічних, ресурсних та масогабаритних показників суднових газотурбінних установок.

4. Забезпечити вдосконалення суднових газотурбінних установок шляхом використання пористого охолодження в їх конструктивних вузлах та елементах.

Об'єкт дослідження – процеси тепло- і масопереносу при випаровуванні двофазного потоку в умовах квазіізотермічного стиску в елементи суднових енергетичних установок та його характеристики.

Предмет дослідження – закономірності та параметри процеси тепло- та масопереносу при випаровуванні двофазного потоку в умовах квазіізотермічного стиску та їх вплив на економічні, екологічні, ресурсні та масогабаритні показники суднових енергетичних установок.

Методи дослідження – математичне і фізичне моделювання процесів тепло- і масопереносу при випаровуванні двофазного потоку в умовах квазі-ізотермічного стиснення.

Обґрунтованість і достовірність нових наукових результатів та висновків зумовлюється використанням фундаментальних законів термодинаміки, гідрогазомеханіки та тепломасообміну у балансових рівняннях збереження енергії, кількості руху та маси. Достовірність результатів розрахунку забезпечується допустимою розбіжністю з

результатами фізичного моделювання, виконаного автором та експериментальними даними інших дослідників.

Наукова новизна результатів досліджень. обґрунтовуються наступними відмітними ознаками. Випаровування крапель у прикордонному шарі біля пористої поверхні лопаток є більш ефективним і простим у конструктивному відношенні, ніж розпилювання води за допомогою форсунок у ступенях компресора. Крім того, шар води на поверхнях лопаток захищає їх від ерозійного зношування.

Вода виводиться поверхню через пори матеріалу лопаток. У цьому випадку лопатка виконується порожнистою з пористими стінками. Вода, що подається всередину лопатки, проходить через пори стінки і на зовнішній поверхні лопатки утворює захисну плівку, що забезпечує ефективне випаровування і охолодження стислого повітря. Пористе охолодження передбачає використання пористих (проникаючих) матеріалів. Пористі матеріали містять пори, тобто пустотілі проміжки, що утворюють капілярні канали. Охолодження повітря досягається за допомогою прокачування рідини через капіляри пористих матеріалів за рахунок випаровування рідини на поверхні стінки.

Наукове значення результатів досліджень полягає у розробці та теоретичному обґрунтуванні способів раціональної організації підвищення ефективності газо- та газопаротурбінних установок за рахунок зниження витрат на роботу стиску в ступенях осьових компресорів.

Практичне значення результатів досліджень полягає у вдосконаленні газотурбінних установок транспортного і стаціонарного призначення при використанні способів випарного охолодження на поверхнях напрямних лопаток осьових компресорів при стисканні вологого повітря, алгоритму розрахунку ефективності випарного охолодження на поверхнях напрямних лопаток при стисненні, а також практичних рекомендацій щодо проектування лопаток з пористою поверхнею охолодження.

INCREASING THE EFFICIENCY OF GAS-TURBINE PLANTS BY COOLING COMPRESSED AIR THROUGH THE SURFACES OF COMPRESSOR GUIDE VANES

Biekov B.A., Shevtsov A.P.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. An intensive method of cooling air in the process of its compression in a compressor is substantiated. Cooling consists of two heat exchange processes, surface heat exchange, during which heat is extracted from the air to the outlet surface of the compressor flow part, and external, when cooled air cools the compressed air in the volume through the boundary layer. The intensity of the second process ensures higher cooling efficiency, which achieves higher efficiency of gas-turbine plants.

Key words: gas-turbine plant, efficiency, cooling, air, compressor.

УДК 697.9

**АНАЛІЗ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СУДНОВИХ
ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРІВ УТИЛІЗАЦІЄЮ ТЕПЛОТИ****Зубарев А.А.,***канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри кондиціонування та рефрижерації НУК,
м. Миколаїв, Україна*anatoly.zubarev@nuos.edu.ua**Минєєв А. А.,***аспірант НУК*a.mynieiev.wm@gmail.com

Анотація. Розглянуто методи використання вторинних енергоресурсів (ВЕР) як один із найбільш важливих і перспективних напрямків підвищення енергетичної ефективності роботи дизельгенераторів та забезпечення скорочення втрат первинного палива.

Ключові слова: вторинні енергоресурси, наддувочне повітря, тепловикористовуючі ежекторні холодильні машини, відхідні гази, системи охолодження.

Стан проблеми та мета дослідження:

Ефективність суднових дизелів, які застосовуються як двигуни для приводу суднових електрогенераторів, значною мірою залежить від температури повітря на вході надувних турбокомпресорів (ТК). Так, кожні 10 °С підвищення температури зовнішнього повітря $t_{\text{нв}}$ на вході ТК призводять до зменшення ККД ДВЗ приблизно на 0,5...0,7 % і, відповідно, до зростання питомої витрати палива g_e [1, 2]. При цьому потужність дизеля скорочується на 5...7 %. Штатні ж системи водяного охолодження надувного повітря, яке могло б нівелювати збільшення температури $t_{\text{нв}}$, не в змозі забезпечити необхідну глибину охолодження через підвищені температури заборотної води.

Не менш важливими є питання охолодження електрогенераторів (ЕГ), оскільки саме температура їх обмоток обмежує електричну потужність дизель-генераторів (ДГ). Отже проблема доведення параметрів повітря на вході ДГ, а також вентиляційного повітря ЕГ до необхідних значень, тобто кондиціонування повітря суднових ДГ стоїть дуже гостро.

Тепловий потенціал вторинних енергоресурсів (ВЕР) суднових дизелів, перш за все відхідних газів та стисненого повітря (надувного повітря ГД та ДГ) доволі високий: теплові втрати з відхідними газами становить 28...32 % при їх температурі 250...350 °С і більше, з охолоджуючою надувне повітря водою – 10...12 % при температурі повітря 150...250 °С. До того ж із підвищенням зовнішньої температури тепловий потенціал ВЕР зростає ще у більшій пропорції: приріст температури відхідних газів приблизно в 1,6 рази перевищує зростання зовнішньої температури повітря [1].

Використання цих вторинних енергоресурсів (ВЕР) є одним із найбільш перспективних напрямків підвищення ефективності суднових дизелів та забезпечує скороченням енергетичних втрат з відхідними газами, стисненим і вентиляційним повітрям, частка яких сягає половини витрат первинного палива, і є одним із найбільш перспективних напрямків підвищення ефективності СЕУ.

Отже доцільним було б утилізувати ВЕР в тепловикористовуючих холодильних машинах (ТХМ), а вироблений холод застосовувати для кондиціонування повітря ДГ та ЕГК (повітря на вході ГД і ДГ, вентиляційного повітря ЕГ). Варто підкреслити, що такі тепловикористовуючі установки кондиціонування (ТУК) могли б застосовуватись і для комфортного та технічного кондиціонування повітря в приміщеннях перебування екіпажу та знаходження вантажу, тобто замінити пароконпресорні кондиціонери з електроприводом, які дотепер встановлюються на судах.

Найдоцільнішим і ефективнішим засобом охолодження наддувочного повітря суднових електрогенераторів є застосування тепловикористовуючих ежекторних холодильних машин (ТЕХМ), відмінних високою надійністю в експлуатації і простотою конструкції, оскільки включення їх в існуючі контури водяного охолодження не викликає

істотних труднощів, а також дозволяє скоротити витрати на охолодження і підвищити паливну ефективність дизельгенераторів.

Тепловикористовуючі ежекторні холодильні машини найбільшою мірою відповідають подвійному призначенню наддувочного повітря, використовуючи його як джерела теплоти і як об'єкту охолодження. При цьому їх генератор пари НРТ високого тиску встановлюється на високотемпературній ділянці наддувочного повітряного тракту (після ТК перед водяним ОНП), а випарник НРТ низького тиску – після водяного ОНП для глибшого охолодження наддувочного повітря).

Про тепловий потенціал наддувочного повітря як джерела теплоти для ТЕХМ можна судити по його температурі t_n після ТК, що наведені на рис. 1.1 залежно від температури зовнішнього повітря $t_{окр}$ на вході ТК при різних ступенях підвищення тиску π_k в ТК.

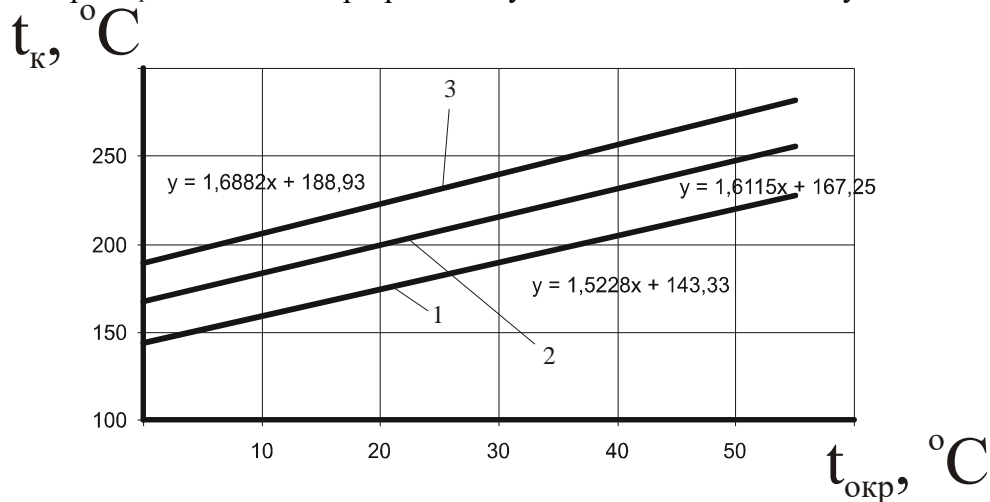


Рис. 1.1. Залежність температури наддувочного повітря t_n після ТК від температури зовнішнього повітря $t_{окр}$ на вході ТК при ступенях підвищення тиску в ТК π_k : 1 – верхній – $\pi_k = 4,0$; 2 – $\pi_k = 3,5$; 3 – $\pi_k = 3,0$

Застосування ТЕХМ, що використовує теплоту наддувочного повітря після ТК, для його охолодження після водяного ОНП забезпечує зниження температури наддувочного повітря на 15...30 °C (в порівнянні з тільки водяним охолодженням) і відповідно підвищення ККД на 1...2 %.

З метою забезпечення надійної і ефективної роботи електрогенераторів необхідно відводити теплоту, що виділяється в них, а її в свою чергу доцільно утилізувати в тепловикористовуючих холодильних машинах (ТХМ) для охолодження повітря, що подається на вентиляцію обмоток генераторів. Як робоче тіло в ТХМ використовуються низькокиплячі робочі тіла (НРТ) – хладони, що дозволяє утилізувати теплоту порівняно низького температурного рівня. Підведення теплоти до НРТ здійснюється в процесі їх фазового переходу.

Конструктивною простотою і надійністю в експлуатації відрізняються ТХМ струменевого – ежекторного типу, в яких ежектор виконує функцію компресора. Ежекторні холодильні машини можуть працювати не тільки на воді, але і на легкокиплячих речовинах. Застосування в ЕХМ низькокиплячих робочих тіл (НРТ) дозволяє утилізувати теплоту ВЕР низького температурного рівня. [1, 2]. Використовування таких ТХМ не приведе до помітного ускладнення системи охолодження електрогенераторів.

Застосування тепловикористовуючих холодильних машин (ТХМ), що працюють на низькокиплячих робочих тілах (НРТ), для охолодження повітря ДГ, з метою підвищення їх паливної економічності, забезпечить глибоку утилізацію низькопотенційних ВЕР і, нарешті, підвищення паливної економічності суднових ДГ. Значні резерви в цьому напрямі суднової енергетики пов'язані з охолодженням повітря ДГ в ТХМ на базі ежекторних холодильних машин (ЕХМ), що використовують ВЕР, які відрізняються конструктивною простотою і

надійністю в експлуатації. Включення таких ТЕХМ в дизельні установки не приведе до помітного ускладнення останніх. У ТЕХМ використовуються низькокиплячі робочі тіла (НРТ), що дозволяють утилізувати теплоту порівняно низького температурного рівня, що особливо важливе для режимів часткового навантаження ДВЗ.

Утилізація теплоти, що відводиться з продуктами згорання, охолоджуючою водою і від наддувочного повітря ДВЗ є перспективним напрямом підвищення ефективності суднових енергетичних установок, оскільки реалізація навіть половини теплового потенціалу джерел скидної теплоти, що розташовується, забезпечила б приріст потужності енергоустановок приблизно на 25 %.

Література

1. Радченко А.Н. Анализ эффективности теплоиспользующих хладоновых эжекторных систем охлаждения судовых электродвигателей // Вестник двигателестроения. – 2007. – № 3. – С. 135–139.
2. Радченко Н.И., Стахель А.А., Коновалов Д.В., Сирота А.А. Рациональные параметры теплоиспользующих холодильных машин, утилизирующих теплоту уходящих газов ДВС // Авиационно-космическая техника и технология. – 2007. – №8(44). – С. 121–126.
3. Радченко А.Н. Энергосберегающие системы охлаждения электрических машин // Техногенна безпека: Наукові праці МДГУ ім. П.Могили.– Миколаїв: МДГУ.– 2007. – Т. 73. – Вип. 60. – С. 106–108.
4. Радченко А.Н. Системы охлаждения судовых электрогенераторов с комплексным использованием вторичной теплоты // Авиационно-космическая техника и технология.– 2007. – №8(44). – С. 90–94.
5. Радченко Р.Н., Горин В.В. Влияние температуры конденсации НРТ на эффективность применения теплоиспользующих эжекторных установок кондиционирования воздуха в судовых ДВС // Авиационно-космическая техника и технология.– 2007. – №10(46). – С. 116–120.
6. Сирота А.А., Радченко Н.И., Коновалов Д.В. Основные направления тригенерационных технологий в судовой энергетике // Техногенна безпека: Наукові праці МДГУ ім. П.Могили.– Миколаїв: МДГУ.– 2007. – Т. 73. – Вип. 60. – С.100–105.

УДК 004.056

РИЗИК КІБЕРБЕЗПЕКИ НА МОРІ

Хоменко В.С., викладач кафедри суднового машинобудування та енергетики, khomenkovictoria93@gmail.com;

Руденчик В.А., група 2217ст, vlad.rudenchik03@gmail.com;

Пошивай М. І., група 2217ст, poshivay.maksim@gmail.com

Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету
кораблебудування імені адмірала Макарова

Анотація. У роботі розглянуто актуальні питання кібербезпеки на морському транспорті. Надані рекомендації по покращенню безпекової ситуації на морському транспорті.

Ключові слова: суднобудування, морський транспорт, кібербезпека, кіберзагрози, кібератаки

З роками кількість кібератак зростає, що призводить до значних фінансових втрат для підприємств, бізнес-процеси та дані яких потребують відновлення, а також до супутніх збитків, таких як репутація та довіра. Щодо цього морський сектор, який досі вважався безпечним через відсутність підключення до інтернету та ізольованого характеру суден у морі, демонструє багатократне зростання порушень кібербезпеки в операційних технологіях у міру того, як він вступає в цифрову епоху. Хоча у цій галузі проводяться деякі

дослідження, морська кібербезпека ще недостатньо вивчена [1,2]. За оцінками Лондонського Ллойда, збитки від кібератак у морській галузі оцінюються в \$200 млрд. За низького рівня страхування приблизно лише 10% збитків від кібератак буде покрито страховкою.

Загальне занепокоєння провідних морських держав ситуацією підтверджено низкою документів, таких як Резолюція комітету з морської безпеки MSC.428(98), що прийнята 16 червня 2017 р. і вимагає від держав-членів враховувати управління кіберризиками.

Сучасний глобальний морський сектор все більше залежить від цифровізації, операційної інтеграції та автоматизації. Провідні суднобудівні компанії та оператори прагнуть впроваджувати інтелектуальні інновації, використовуючи передові технології та системи, які виходять за рамки класичних підходів, для проектування судна з розширеними можливостями дистанційного керування, зв'язку та інтеграції. Автономні судна зазвичай містять набір датчиків (наприклад, радар, LiDAR, камери високої роздільної здатності, тепловізор, гідролокатор тощо) і багато систем, які тісно інтегровані між собою. Їхній рівень автоматизації може переходити від повністю керованих суден до частково керованих, дистанційно керованих, частково автономних і повністю автономних суден [1,2]. Запровадження інформаційно-комунікаційних технологій на морському транспорті, безсумнівно, супроводжується зростанням кіберризиків. Натомість це вимагає нового підходу до безпеки, який розглядає всі різноманітні системи на борту та на суші, а також їх взаємодію.

Широке використання автоматизації та ІТ-систем на сучасних судах надає хакерам і зловмисникам нові можливості для реалізації різних кібератак, які можуть призвести до катастрофічних інцидентів. Дослідники докладають великих зусиль для виявлення вразливостей у сучасній морській галузі, і на жаль за останні кілька років було зареєстровано багато успішних випадків кіберзлочинності. Відповідно до [2], основними загальними мотивами для цих атак є отримання дистанційного контролю над кораблями та суднами, викрадення важливої та конфіденційної інформації, яка може бути використана для здійснення подальших атак, або порушення роботи судна шляхом пошкодження важливих компонентів. Насправді більшість ІТ-систем на сучасних кораблях є незахищеними та вразливими до атак, оскільки вони вважаються менш критичними для безпеки та продуктивності.

Посилення автоматизації та штучного інтелекту, відкриває нові шляхи для кібератак на морську галузь, яка за останні роки зазнала серйозних інцидентів кібербезпеки. Технологія, необхідна для електронної «підробки» судна, досить розповсюджена в мережі інтернет. Інциденти спуфінгу вже були зареєстровані в Чорному морі, де кілька суден повідомили про аномалії свого GPS-положення [2]. У травні 2017 року спуфінгова атака призвела до зіткнення корабля ВМС США з південнокорейським рибальським човном. У лютому 2017 року судно місткістю 8250 двадцятифутових еквівалентів (TEU) було повністю зламане на шляху з Кіпру до Джібуті [2]. Приблизно на 10 годин зловмисник заволодів навігаційною системою судна, і капітан був безпорадний зробити що-небудь для відновлення контролю. Під час попередньої атаки з глушінням GPS Південна Корея повідомила, що понад 280 суден мали проблеми з навігаційною системою; сигнал GPS був заглушений хакерами, в результаті чого деякі сигнали GPS зникли, а інші отримували неправильні дані. Коли GPS не працює належним чином, існує дуже високий ризик катастрофи з жахливими наслідками для екіпажу, судна та навколишнього середовища.

Останніми роками морська галузь стала привабливою мішенню для атак програм-вимагачів через відчутну відсутність інвестицій у кібербезпеку та потенціал значних збоїв у роботі [3, 4].

Морська галузь стикається з проблемами кібербезпеки, відповідаючи профілю критичної інфраструктури, на яку націлені кіберзлочинці, а також із специфічними ризиками, які можна вважати унікальними для неї. Наприклад, успішна кібератака може зупинити рух судна, розкрити цінну інформацію, вивести з ладу автоматичну систему

ідентифікації судна. З повідомлень про кіберінциденти та їх наслідків ясно видно, що кожне судно, або навіть порт схильні до ризику кібератак, якщо ключові інформаційні системи не захищені належним чином. Тому системи ІТ та ОП на сучасних суднах мають бути підготовлені за підвищеними заходами безпеки через їхню велику вразливість до кіберзагроз. Наведені деякі можливі контрзаходи, які можуть нівелювати потенційні кібератаки та зробити судноплавну галузь складною мішенню (наприклад, запровадження нового стандарту безпеки, який скорочує кількість та масштаби кібератак).

Література:

1. Титов А. В. Перспективи технологічного розвитку і впровадження безпекапажних суден / А. В. Титов, Л. Баракат./ Морські інтелектуальні технології. 2018. № 1-3(41). С. 94–103.
2. Akpan, Frank, Gueltoum Bendiab, Stavros Shiaeles, Stavros Karamperidis, and Michalis Michaloliakos. 2022. "Cybersecurity Challenges in the Maritime Sector" Network 2, no. 1: 123-138. <https://doi.org/10.3390/network2010009>
3. Мельник О.М. Сучасна методика оцінки рівню безпеки судна та шляхи його підвищення / О.М. Мельник, Ю.В. Бичковський // Розвиток транспорту. – 2021. - № 2 (9) – С.37- 46. DOI:10.33082/td.2021.2-9.03.
4. Пядишев, В. Г. (2023). ПИТАННЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ: ЗАРУБІЖНИЙ ДОСВІД. Морська безпека, (1), 78-86. <https://doi.org/10.32782/msd/2023.1.10>

CYBER SECURITY RISK AT SEA

Khomenko V., lecturer, Ship Power Plants and Equipment;

Rudenchuk Vladyslav; Poshyvai Maksym, 2217ст

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. Current issues of cyber security in maritime transport are considered in the work. Recommendations for improving the security situation in maritime transport are provided.

Key words: shipbuilding, maritime transport, cyber security, cyber threats, cyber attacks

УДК 65.9

НОВІ АЛЬТЕРНАТИВНІ ВИДИ ПАЛИВА ДЛЯ СЕУ

Демченко О. С.

студент

Спеціальність: 271 Морський та внутрішній водний транспорт

Освітня програма: 271.02 Управління судновими технічними системами і комплексами

takov.conhtc@gmail.com

Науковий керівник – Кісетов Ю. В.,

канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова м. Миколаїв, Україна

kisetov499@ukr.net

Анотація. Розглянуто питання використання альтернативних видів палива для судноплавства в довгостроковій перспективі. Розглядаються: скраплений природний газ (СПГ); аміак; водень; зріджені вуглеводневі гази (ЗВГ); метанол; електрика.

Ключові слова: види палива; забруднення навколишнього середовища; скраплений природний газ (СПГ); аміак; водень; зріджені вуглеводневі гази (ЗВГ); метанол; електрика.

Екологічна ситуація в світі неухильно погіршується, і вона примушує по-новому оцінювати напрями і перспективи розвитку СЕУ, енергетичні схеми, що застосовуються в суднових установках, і режими їх експлуатації. Може змінитися відношення до використання високосірчастих важких сортів палива у судновій енергетиці у зв'язку з тим, що кількість оксидів сірки у відпрацьованих газах прямо пропорційна вмісту сірки у паливі. Слід очікувати, що вже у найближчі роки пріоритет здобудуть такі установки, у яких при великій енергетичній ефективності шкідливий вплив на довкілля буде мінімальним.

Морські перевезення знаходяться серед лідерів у світі із забруднення навколишнього середовища та шкідливих викидів. Морський транспорт викидає близько 940 млн. т вуглекислого газу (CO₂) на рік – близько 2,5% річного загальносвітового обсягу викидів парникових газів і, згідно з галузевими оцінками, до 2050 р. ці викиди зростуть на 50-250 відсотків, якщо не буде вжито заходів. Флот з нульовим рівнем викидів є комерційно життєздатним лише в тому випадку, якщо джерела енергії з нульовим рівнем викидів можуть конкурувати з традиційними видами палива. Необхідна нова політика, що регулює та стимулює судновласників, операторів та постачальників палива у напрямі, що стимулює інвестиції у нові види палива та технології для забезпечення флоту з нульовим рівнем викидів [1-4].

З метою обмеження викидів держави – члени Міжнародної морської організації (ІМО), спеціалізованої організації ООН, що відповідає за регулювання у судноплавній галузі, ухвалили початкову стратегію щодо скорочення викидів парникових газів (рис. 1) [5].

Основні етапи стратегії щодо скорочення викидів парникових газів				
2018	2020	2023	2030	2050
ІМО приймає початкову стратегію щодо скорочення викидів парникових газів	Мандат на паливе з низьким вмістом сірки	Крайній термін короткострокової декарбонізації	Середньостроковий термін декарбонізації	Термін довгострокового річного скорочення викидів парникових газів

Рис.1 .Основні етапи на шляху до морських перевезень з нульовим рівнем викидів

Використання палив зі знизеним вуглецевим слідом при його виробництві та використанні є ключовим напрямом для зниження викидів парникових газів при судноплавстві. Як альтернативне паливо для судноплавства в довгостроковій перспективі розглядаються: скраплений природний газ (СПГ); аміак; водень; зріджені вуглеводневі гази (ЗВГ); метанол; електрика.

Для проектів, що охоплюють виробництво палива, більшість зосереджена на зеленому водні (який виробляється з використанням відновлюваної енергії для розщеплення води на водень і кисень за допомогою електролізу). Проекти, які мають прямий зв'язок з воднем, склали більшість визначених проектів з виробництва палива. Характеристики альтернативних мазуту палив з низьким вмістом сірки (LSFO) впливають на конструкцію судна, зокрема – на розмір паливних цистерн, а отже, на обсяг вантажів, що перевозяться, і на вартість самого судна. Так, наприклад, через низьку об'ємну щільність енергії водню, щоб забезпечити паливом судно, паливні цистерни повинні бути в 2,5 рази більших паливних цистерн, ніж для заправки LSFO на одиницю енергії.

Для використання СПГ або ЗВГ цистерни повинні бути майже вдвічі більшими; аміак вимагає в 3,6 рази більший обсяг паливних цистерн, ніж LSFO, через його нижчу теплотворну здатність, тоді як для заправки зрідженим воднем потрібно обсяг паливних цистерн в 4,6 рази більший ніж для LSFO, оскільки його теплотворна здатність нижче LSFO більш, ніж у 10 разів. Ця особливість вимагає або технічних або операційних змін [2-4, 6,7].

При цьому переваги низьковуглецевого палива при їх використанні судами очевидні. Так, використання аміаку дозволять знизити викиди майже на 95% порівняно з LSFO (невеликий внесок у викиди CO₂ пов'язаний із системою упорскування олії), а водню – на

100%; серед вуглеводневих палив СПГ демонструє найкращі результати та дозволяє знизити емісію CO₂ на 75%. Якщо не вживаються дії щодо декарбонізації виробництва альтернативних LSFO палив, то СПГ є найбільш прийнятним паливом. Інші сірі палива значно перевищують викиди CO₂ як від СПГ, і від LSFO. При використанні блакитного палива, найкращою альтернативою з точки зору викидів CO₂ є блакитний водень, викиди від його використання майже в 3,8 рази нижчі, ніж при використанні LSFO. За ним слідує аміак, викиди від його використання нижче в 2 рази. Викиди від блакитного метанолу у 1,3 рази нижчі. У разі використання зеленого палива, LSFO програє всім альтернативам у вигляді аміаку, метанолу та водню.

Разом з тим, економіка значно обмежує розвиток альтернативних палив (рис.2). Так, за даними Det Norske Veritas (DNV), вартість СПГ знаходиться в діапазоні від 50 до 190 дол./МВт. Вартість сірого водню становитиме від 70 до 450 дол./МВт, зеленого (найдорожче паливо на даний момент) – від 120 до 600 дол./МВт., а вартість аміаку коливатиметься в діапазоні від 70 до 250 дол./МВт для сірого та від 150 до 380 дол./МВт – для зеленого. Для порівняння: вартість для нафто-заснованого палива ЗВГ та LSFO знаходиться в діапазоні від 30 до 100 дол./МВт. Вартість будівництва бункерувальної інфраструктури для мазуту також дешевша, ніж для більшості альтернативних палив.

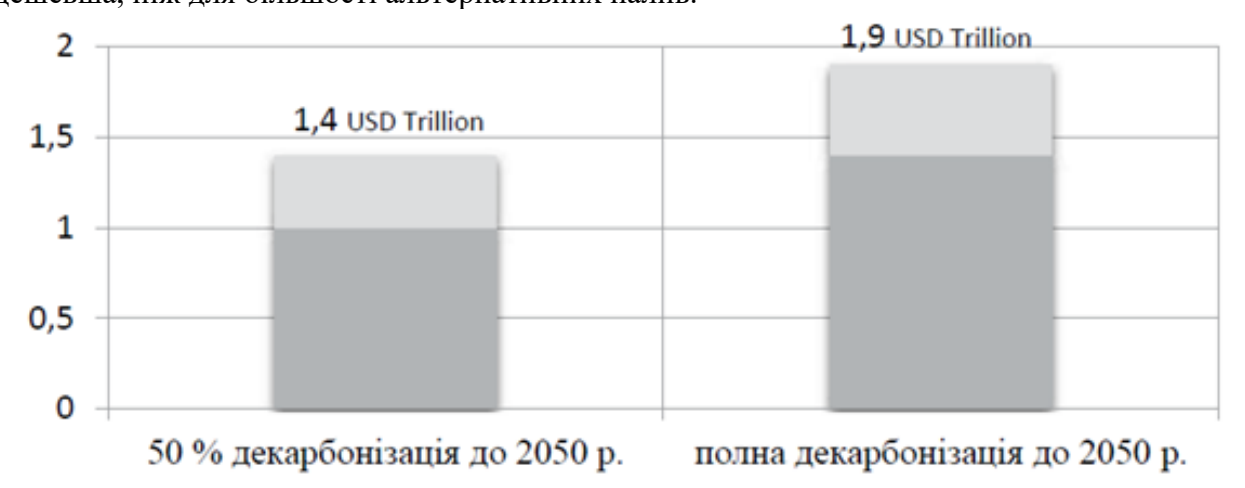


Рис. 2 Загальний обсяг інвестицій, необхідних для досягнення цілей декарбонізації ІМО до 2050 р.

При визначенні перспективних альтернативних палив для водного транспорту для умов України розглянуто і враховано наступні аспекти: рівень розвитку технології та її складність; сумісність з існуючими двигунами, паливною системою суден та інфраструктурою бункерування; наявність/доступність сировинної та ресурсної бази; об'ємний енерговміст, стандартизація, ціна, скорочення викидів парникових газів протягом життєвого циклу палива (енергоносія). За результатами порівняльного аналізу та оцінки, найбільш перспективними для водного транспорту України вбачаються наступні альтернативні палива: біометан, який може використовуватися у стисненому або скрапленому вигляді; біодизель (FAME) та гідроочищена рослинна олія (HVO); скраплений природний газ, а також застосування електричних силових установок з акумуляторними батареями. Розвиток кожного з цих напрямків потребує подальшого вивчення із проведенням науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт.

Морський транспорт стикається з посилення вимог декарбонізації і роботи на більш стійкій основі. У судноплаванні очікуються зміни паливного балансу, використання нових технологій та конструкцій суден, альтернативні види палива та нові методи роботи для скорочення викидів вуглецю та екологічного сліду.

Література:

1. Zero-emission operations in offshore construction market – [Electronic resource] – Access mode: <https://ulstein.com/news/2019/zero-emission-operations-in-offshore-construction-market>.

2. 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.
3. Кирилова О.В., Кирилова В.Ю. Декарбонізація морської галузі: глобальні ініціативи і локальні дії. Матеріали III Міжнародної науково-практичної морської конференції кафедри СЕУ і ТЕ Одеського національного морського університету MPP&O-2021. Квітень 2021. Одеса, Україна. с.522-524
4. Global Maritime Forum. Getting to Zero Coalition. URL: <https://www.globalmaritimeforum.org/getting-tozero-coalition> (дата звернення 18.07.22).
5. [Електронний ресурс] / Режим доступу до ресурсу: [https://engineering.livejournal.com/RESOLUTION_MEPSC.304\(72\)_adopted_on_13_April_2018_INITIAL_IMO_STRATEGY_ON_REDUCIONOF_GHG_EMISSIONS_FROM_SHIPS](https://engineering.livejournal.com/RESOLUTION_MEPSC.304(72)_adopted_on_13_April_2018_INITIAL_IMO_STRATEGY_ON_REDUCIONOF_GHG_EMISSIONS_FROM_SHIPS). – IMO. – London. – 2018. – 13 p.
6. Progress towards biofuels for marine shipping. Status and identification of barriers for utilization of advanced biofuels in the marine sector. IEA Bioenergy: Task 39, 2021. <https://bit.ly/3bKIoHx>
7. Martin Cames, Nora Wissner, Jürgen Sutter. Ammonia as a marine fuel. Risks and perspectives. Oko-Institut e.V., 2021. <https://en.nabu.de/imperia/md/content/nabude/verkehr/210622-nabu-study-ammonia-marine-fuel.7746.html>

NEW ALTERNATIVE TYPES OF FUEL FOR SEU

Demshenko O., student, Specialty: 271 Sea and inland water transport,
Educational program: 271.02 Management of ship technical systems and complexes
takov.conhtc@gmail.com

Kisietov J., Ph.D. technical of Sciences, associate professor of the department of operation of ship power plants and thermal power engineering
National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine
kisietov499@ukr.net

Abstract. The issue of using alternative types of fuel for shipping in the long term is considered. Considered: liquefied natural gas (LNG); ammonia; hydrogen; liquefied hydrocarbon gases (liquefied hydrocarbon gases); methanol; electricity.

Keywords: types of fuel; environmental pollution; liquefied natural gas (LNG); ammonia; hydrogen; liquefied hydrocarbon gases (liquefied hydrocarbon gases); methanol; electricity.

УДК 65.9

ПАЛИВОПІДГОТОВКА НА СУДНІ

Козлов А. Є.

студент

Спеціальність: 271 Морський та внутрішній водний транспорт

Освітня програма: 271.02 Управління судновими технічними системами і комплексами

Науковий керівник – **Кісєтов Ю. В.**,

канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова м. Миколаїв, Україна
kisietov499@ukr.net

Анотація. Нормативні документи ІМО, що регламентують як якість палива, так і експлуатаційні заходи на судні, висувають питання постійної підготовки суднових екіпажів стосовно особливостей устаткування і обладнання, задіяними в підготовці і обробці палива на судні і заходами у рамках їх регулярного технічного обслуговування. В доповіді

аналізується запобіжні заходи в інтересах забезпечення безпеки судна, екіпажу та вантажу, а також з міркувань зниження витрат і періодів виведення судна з експлуатації унаслідок несправності двигунів.

Ключові слова: нормативні документи ІМО, запобіжні заходи зберігання палива, якість підготовки і обробки палива.

Розглянемо деякі важливі моменти, пов'язані з обробкою палива на судні і важливістю підготовки членів екіпажу з метою зменшення проблем експлуатаційного характеру і ушкодження суднових двигунів. Міжнародна морська організація (ІМО), яка регулює і контролює дію світового судноплавства на навколишнє середовище, внесла поправки в Міжнародну конвенцію по запобіганню забруднення з суден (МАРПОЛ 73/78). З 1 січня 2015 року граничний вміст сірки в мазуті, який використовується суднами, працюючими в районах Балтійського і Північного морів, прибережних районах за межами США і Канади, в Карибському морі (район Пуерто-Ріко і Віргінських островів), не повинен перевищувати 0,10% по масі. А з 1 січня 2020 року почали діяти Правила ІМО по скороченню викидів оксидів сірки (SO_x) з суден. Для суднового палива зміст сірки не повинен перевищувати 0,5% по масі за межами позначених районів контролю викидів (ІМО Sulfur 2020) [1,2].

Тому дуже важливе значення набуває знання екіпажем властивостей і характеристик палива, що поставляється, і обмежень, які накладаються можливостями установок попередньої обробки палива в суднових умовах. Внаслідок змін в правилах і нормативних документів ІМО, що регламентують як якість палива, так і експлуатаційні заходи на судні, особлива увага має бути приділена членам екіпажу, які прибувають на судно вперше. Додаткові розширені відомості по практичних випадках і важливих розділах підготовки механіки можуть знайти в судновій технічній документації, контрольних чек-листах, керівництві і процедурах, пов'язаних з бункерними операціями [2].

Навіть при повній відповідності палива специфікації, проблеми з ним можуть виникнути на самій ранній стадії його зберігання на судні. Оподи і залишки палива, що скупчилися в танках зберігання, можуть забруднити найсвіжіше паливо, а змішування сортів палива, що розрізняються, може зумовити їх несумісність.[3].

Важливими запобіжними заходами в таких випадках є наступні:

1. Регулярно робити очищення і замивання танків зберігання, відстійних і витратних цистерн. В перших двох категоріях місткостей відбувається осідання твердих часток, які можуть зб'юватися під дією штормової погоди і потрапити в сепаратори, іноді їх концентрація здатна перевищити граничні значення, встановлені Міжнародним стандартом ISO 8217. Очищення і миття танків зберігання палива частенько виконується тільки в періоди планових заводських ремонтів, тому слід розглянути впровадження практики частішого їх очищення.

2. Регулярно осушувати відстійні/витратні цистерни для видалення з них води і шламу, бажано щодоби.

3. Здійснювати, по можливості, прийом бункера в порожні танки. Не упускати з уваги те, що змішування двох марок стабільного палива не гарантує утворення сумісної суміші, а після змішування можуть істотно зрости рівень змісту абразивних часток або утворення осаду.

4. Якщо змішування уникнути не вдається, необхідно провести аналіз палив на сумісність. Слід застосовувати швидкі, надійні і визнані способи тестування в таких же лабораторіях і, по можливості, утримуватися від застосування нового палива до отримання результатів експертизи.

5. В умовах дефіциту часу і наявності сумнівів відносно сумісності і вірогідного осідання суміші палив можна скористатися простими аналізами, які можуть бути виконані в суднових умовах (необхідні для їх проведення комплекти обов'язкові до наявності на борту). Слід утримуватися від використання змішаного палива при виконанні найважливіших

суднових операцій і при плаванні в умовах підвищеного трафіку, вузкостях, при штормовій погоді.

б. Також було б правильніше розглядати варіант отримання бункера відразу після прибуття в порт (якщо дозволяє обстановка, характер вантажу і осадка судна), а не перед відходом з порту.

Таким чином, можна залишити запас часу на проведення аналізів або експертизи палива до того, як судно покине порт, а в ідеальному варіанті - і отримати результати експертизи з лабораторії до відходу.

Висновок. В інтересах забезпечення безпеки судна, екіпажу та вантажу, а також з міркувань зниження витрат і періодів виведення судна з експлуатації унаслідок несправності двигуна, важливо, щоб судновласники і оператори зосередили свою увагу на якості підготовки і обробки палива в суднових умовах. Суднова машинна команда повинна проходити належне і регулярне навчання. Важливо, щоб вахтові механіки були в повному об'ємі ознайомлені з устаткуванням і обладнанням, задіяними в підготовці і обробці палива на судні і заходами у рамках регулярного технічного обслуговування. Навчання і обмін досвідом мають особливе значення для вироблення екіпажем навичок по виявленню причин виникнення проблем у зв'язку з паливом і внесенням виправлення в діючий порядок обробки і підготовки палива для зниження можливих втрат.

Література:

1. International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Sea farers as amended, including the 1995 and 2010 Manila Amendments. STCW Convention and STCW Code. 2011 edition. Language (s): ENG, FRE, SPA, RUS, CHI, ARA (IMO-IC938).

[Електронний ресурс]. — Режим доступу:

http://SEARCH.LIGAZAKON.UA/L_DOC2.NSF/LINK1/MU10242.html

2. Sulphur Cap 2020 [Електронний ресурс] / - Режим доступу до ресурсу:

<https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Sulphur-2020.aspx>.

3. Low-sulphur fuels explained [Електронний ресурс] / Режим доступу до ресурсу:

<http://www.gard.no/web/topics/environment>.

FUEL PREPARATION ON THE SHIP

Kozlov A., student, Specialty: 271 Sea and inland water transport,

Educational program: 271.02 Management of ship technical systems and complexes

Kisietov J., Ph.D. technical of Sciences, associate professor of the department of operation of ship power plants and thermal power engineering

National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine

kisietov499@ukr.net

Abstract. Normative documents of the IMO, which regulate both fuel quality and operational measures on ships, raise the issue of constant training of ship crews regarding the features of the equipment and equipment involved in the preparation and processing of fuel on ships and measures within the framework of their regular maintenance. The report analyzes precautionary measures in the interests of ensuring the safety of the ship, crew and cargo, as well as for reasons of reducing costs and periods of decommissioning of the ship due to engine failure.

Keywords: IMO regulatory documents, fuel storage precautions, quality of fuel preparation and processing.

УДК 65.9

ХІМІЧНА ОБРОБКА ПАЛИВА НА СУДНІ**Кубінський В.В.***студент**Спеціальність: 271 Морський та внутрішній водний транспорт**Освітня програма: 271.02 Управління судновими технічними системами і комплексами**Науковий керівник – Кісетов Ю. В.,**канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики**Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова м. Миколаїв, Україна**kisetov499@ukr.net*

Анотація. Серед методів підвищення ефективності паливопідготовки є його хімічна обробка - введення в паливо композицій присадок, що знижують випаровування і покращують низькотемпературні властивості палива, що інтенсифікують процес згоряння і знижують утворення при згорянні екологічно небезпечних речовин. В докладі аналізуються процеси додавання присадок для уникнення або зменшення інтенсивності корозії клапанів двигуна.

Ключові слова: підвищення ефективності паливопідготовки, хімічна обробка палива, підвищення ресурсу випускних клапанів.

Поряд із традиційною обробкою палива широко застосовують нові методи (найчастіше їх використовують спільно). Серед методів підвищення ефективності паливопідготовки [1,2] найбільш поширеними є наступні:

хімічна обробка - введення в паливо композицій присадок, що знижують випаровування і покращують низькотемпературні властивості палива, що інтенсифікують процес згоряння і знижують утворення при згорянні екологічно небезпечних речовин;

гідродинамічна обробка - вплив на паливо ультразвукових та кавітаційних сил; яке проводиться з метою руйнування знаходяться в ньому структурних систем, забезпечує його очищення тільки від твердої фази, не видаляючи при цьому горючу частину – смоли.

магнітна обробка - вплив на паливо змінного або постійного поля. з метою руйнування структурних систем або з метою орієнтації молекул палива або присадок в певному напрямку.

Також є додаткові методи, такі як :

- електричний розряд - для іонізації, як палива, так і повітряного заряду для інтенсифікації протікання процесів;

- радіоактивне випромінювання - стимулює перебіг ланцюгових розгалужених реакцій і зводиться в кінцевому підсумку до утворення вільних атомів і радикалів;

- хімічна обробка - у паливо вводять композиції присадок з різними функціями чи окремими функціями.

Присадки, що знижують схильність палива до осадоутворення, можливо вводити при бункеруванні або безпосередньо в танки запасу відразу ж після завершення процесу бункерування. Присадки, що захищають паливну апаратуру від корозії та утворення лакових плівок, а також присадки, що покращують згоряння та запобігають утворенню екологічно небезпечних речовин у процесі згоряння, слід вводити перед подачею палива до дизеля.

Процес корозії (окислення) полягає в наступному. З'єднання натрію і ванадію, що утворилися в ході реакції згоряння палива, а також сульфати Na_2SO_4 і піросульфати $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_7$ (температура плавлення останніх $400\text{ }^\circ\text{C}$) разом з продуктами згоряння рухаються до випускного клапана. Якщо температури тарілки клапана і сідла виявляються нижчими за температуру плавлення цих з'єднань, то вони минають клапан і йдуть з двигуна.

Якщо клапан і особливо його робоча фаска і сідло мають високу температуру (понад $520\text{ }^\circ\text{C}$), то з'єднання при зіткненні з ними плавляться і прилипають до них. Перебуваючи в

рідкому стані, вони вступають в реакцію з окисними плівками, що захищають клапан і його сідло, руйнуючи метал. Пухкі окисні структури, що утворюються на робочому полі клапана, бомбардуються частинками сажі і золи, що летять повз клапан в загальному потоці продукту згоряння з великою швидкістю. Їхні удари об клапан на додаток до корозії викликають ерозію. У результаті робочих фасок і сідлах клапана утворюються раковини, борозенки, якими прориваються гарячі продукти згоряння. Це у свою чергу призводить до зростання температури металу, активації корозійно-ерозійних процесів та місцевого вигорання металу.

Щоб уникнути корозії або принаймні зменшити її інтенсивність, необхідно шляхом інтенсивного охолодження знижувати температуру клапана та його сідла. Потрібно мати на увазі, що переохолодження клапанів (а це часто буває з його стрижнем при роботі на знижених навантаженнях) стрижень інтенсивно корозує під дією сірчаної кислоти, що конденсується на ньому. Конденсація кислоти відбувається, коли температура клапана виявляється нижчою за точку роси кислоти. Під впливом кислотної корозії на стрижні з'являються типові при цьому процесу виразки. Методом боротьби з корозією є також зменшення вмісту палива натрію, для чого при сепарації паливо слід промивати гарячою водою, що подається в струмінь палива перед сепаратором. Вода, змішуючись з паливом, розчиняє сполуки натрію і під час сепарації видаляється з нього.

Для підвищення ресурсу випускних клапанів використовують присадки до палив, до складу яких входить магній. До таких присадок відноситься присадка Ameroid Mark-IV [2], що перешкоджає утворенню на клапанах, головках поршнів і лопатках газових турбін відкладень натрійванадієвих сполук тим самим зменшує їх корозію і вигорання. Магній, що входить у присадку, при окисленні утворює окис магнію, температура плавлення якого становить 2800 °С. Продукти взаємодії MgO з п'ятиокисом ванадію мають нижчі температури плавлення, але вищі, ніж натрійванадієві сполуки. Це дозволяє більшій частині сполук ванадію в сухому вигляді залишати дизель разом із продуктами згоряння, а не прилипати до клапана та інших елементів, як це відбувається за нижчих температур плавлення.

Література:

1. Методі обробки топлива. [Електронний ресурс] /–Режим доступу до ресурсу: <https://engineering.livejournal.com/7486.html>.
2. [Електронний ресурс] /–Режим доступу до ресурсу: http://ni.biz.ua/3/3_20/3_202031_naznachenie-funktsii-i-harakteristiki-smazochnih-masel.html.

CHEMICAL TREATMENT OF FUEL ON SHIPS

Kubinsky V., student, Specialty: 271 Sea and inland water transport,

Educational program: 271.02 Management of ship technical systems and complexes

Kisietov J., Ph.D. technical of Sciences, associate professor of the department of operation of ship power plants and thermal power engineering

National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine

kisietov499@ukr.net

Abstract. Among the methods of increasing the efficiency of fuel preparation is its chemical treatment - the introduction of additive compositions into the fuel that reduce evaporation and improve the low-temperature properties of the fuel, that intensify the combustion process and reduce the formation of environmentally hazardous substances during combustion. The report analyzes the processes of adding additives to avoid or reduce the intensity of corrosion of engine valves.

Keywords: increasing the efficiency of fuel preparation, chemical treatment of fuel, increasing the resource of exhaust valves.

УДК 65.9

ГОМОГЕНІЗАЦІЯ В ПРОЦЕСІ ПАЛИВОПІДГОТОВКИ**Снісар О. О.***студент**Спеціальність: 271 Морський та внутрішній водний транспорт**Освітня програма: 271.02 Управління судновими технічними системами і комплексами**Науковий керівник – Кісетов Ю. В.,**канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики**Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова м. Миколаїв, Україна
kisetov499@ukr.net*

Анотація. Розглянуто недоліки традиційної технології попередньої обробки палива, проаналізовано характеристики процесу підвищення ефективності паливопідготовки за допомогою гомогенізації.

Ключові слова: обробка палива, підвищення ефективності паливопідготовки, гомогенізація.

Технологічні процеси обробки палив на судні складаються з трьох етапів: попередньої, основної та додаткової. Високов'язке паливо в танку запасу перед перекачуванням підігривають у танку системою підігріву. Основну обробку палива виконують із застосуванням його очищення від механічних домішок і води за допомогою гравітаційних сил (відстоювання у відстійних цистернах) і відцентрових сил (центрифугування в сепараторах).

Малов'язке паливо відстоюється у відстійних цистернах і потім надходить у сепаратор. Після очищення в сепараторі очищене паливо надходить у видаткову цистерну. Шлам і вода, що утворилися під час відстоювання, і відсепаровані механічні домішки та вода скидаються в грязьову цистерну, розташовану під плитами машинного відділення.

Недоліки традиційної попередньої обробки палива:

- утворення опадів у танках запасу, що вимагає їх періодичного очищення (з виведенням судна з експлуатації) за допомогою промивних хімічних препаратів і подальшої регенерації відходів;
- розігрів високов'язких палив вимагає тривалого часу та витрат теплової енергії;
- нерівномірний розподіл у паливному середовищі багатофункціональних присадок, які вводяться безпосередньо в танк.

Розглянемо характеристики процесу підвищення ефективності паливопідготовки за допомогою гомогенізації [1].

Гомогенізація високов'язких палив проводиться гомогенізаторами роторного, соплового і магнітно-соплового типів.

У роторному гомогенізаторі клиноподібні лопатки ротора обертаються між такими самими лопатками статора, унаслідок чого паливо, яке перебуває в гомогенізаторі, то стискають, то розріджують, а системи палив відбуваються під впливом кавітації, яка виникає в розширюваному соплі Лаваля під час витікання струменя.

Сопловий гомогенізатор із регульованим перерізом соплової порожнини дає змогу підтримувати необхідну ефективність обробки палива при коливаннях тиску в паливному трубопроводі. На відміну від роторного гомогенізатора, сопловий потребує підвищеного тиску в паливній системі (не нижче 1,8 МПа), оскільки кавітаційні процеси в розширювальному соплі Лаваля виникають за перепаду тисків на вході та виході близько 1,6 МПа.

Магнітно-соплові гомогенізатори є найефективнішими, забезпечуючи руйнування структурних (агрегативних) систем у паливі за меншого (ніж у разі використання соплових гомогенізаторів) тиску в паливному трубопроводі. Це досягається внаслідок впливу на кавітацію в сопловому апараті, а також критичних швидкостей витікання і сил змінного магнітного поля.

В докладі проведено аналіз можливих варіантів впровадження процесів гомогенізації в системах паливопідготовки.

Література:

1. [Електронний ресурс] / Режим доступу до ресурсу:
<https://engineering.livejournal.com/7746.html>

HOMOGENIZATION IN THE PROCESS OF FUEL PREPARATION

Snisar O., student, Specialty: 271 Sea and inland water transport,

Educational program: 271.02 Management of ship technical systems and complexes

Kisietov J., Ph.D. technical of Sciences, associate professor of the department of operation of ship power plants and thermal power engineering

National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine

kisietov499@ukr.net

Abstract. The shortcomings of the traditional fuel pretreatment technology are considered, the characteristics of the process of increasing the efficiency of fuel preparation with the help of homogenization are analyzed.

Keywords: fuel processing, increasing the efficiency of fuel preparation, homogenization.

Секція №2. УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ У ЕЛЕМЕНТАХ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

УДК 620.179.18

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ТА РОЗРАХУНКОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ КРУТИЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ТРАНСМІСІЇ ЛЕГКОЇ ГТУ

Ткач М. Р.¹, Золотой Ю.Г.², Фістік О.В.³, Костріков О.А.³

доктор технічних наук, професор, завідувач лабораторії², студент³
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
mykhaylo.tkach@nuos.edu.ua¹, gjldspekl@ukr.net², 202253@nuos.edu.ua³

Анотація. Методом спекл-інтерферометрії реального часу експериментально, аналітично та методом скінчених елементів визначено спектр частот та форм крутильних коливань моделі трансмісії легкого ГТД; доведено, що існують дві групи форм та частот коливань які відповідають припущенням твердого тіла та пружного тіла.

Ключові слова: трансмісія, ГТД, крутильні коливання, спекл-інтерферометрія, метод скінчених елементів

Крутильні коливання виникають внаслідок зміни крутного моменту у двигуна, гвинта і пружних властивостей елементів пропульсивного комплексу.

Відповідно до суднових енергетичних установок, класифікаційні товариства вимагають забезпечення міцності валу гребного в умовах багатоциклової втоми (*high cycle fatigue criterion*) [1]. Перевірка відповідності цьому критерію вимагає обов'язкового проведення розрахунку пропульсивного комплексу на крутильні коливання. Система забезпечення якості вимагає проведення таких розрахунків декількома методами, що вже використані практично [2]. Такі розрахунки мають бути проведені першому етапі проектування судна, тому що пізніше, можливості внесення виправлень до проекту вкрай обмежені.

Теоретичне дослідження вібраційних характеристик пропульсивного комплексу потребує його перетворення на ідеалізовану модель. Найчастіше для аналізу крутильних коливань використовується модель із зосередженими параметрами (*lumped model*). Така модель складається з пружних та інерційних елементів. Пружні елементи – вали розглядаються невагомими (*massless shafts*) і характеризуються лише податливістю при крученні (*the torsional stiffness of shafts*). Інерційні властивості елементів моделі – "дисків" представлені їх масовими моментами інерції відносно осі валу. При цьому, такі елементи вважають твердими, тобто такими, які не деформуються. Між тим, що, таке припущення припустимо до трансмісій легкого типу потребує додаткового дослідження.

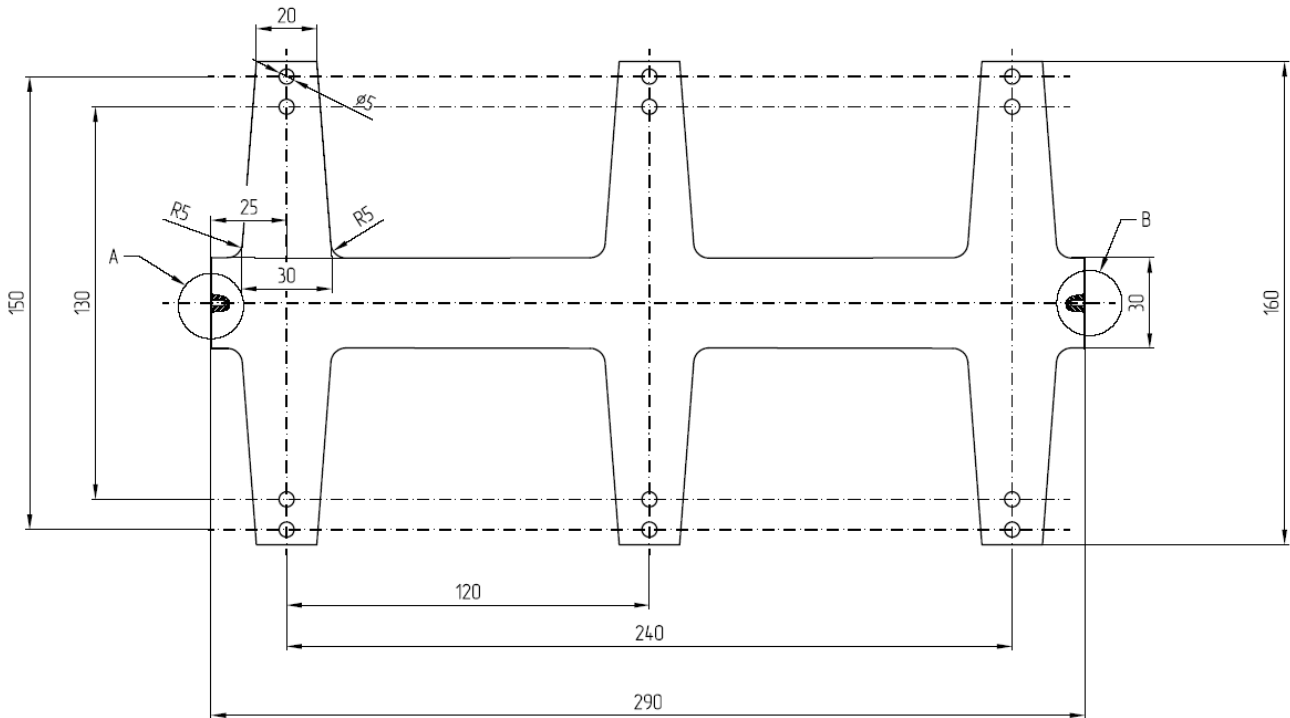


Рис. 1 Експериментальний зразок трансмісії

Дослідження параметрів крутильних коливань реалізовано на моделі, виконаній листового алюміній-магнієвого сплаву АМГ6 товщиною 5 мм (рис. 1.) . Розміри та форма зразка обумовлені можливостями експериментального стенду та особливостями методу спекл-інтерферометрії реального часу [3]. Отримані експериментально форми крутильних коливань моделі свідчать про наявність форм та відповідних частот (260 Гц – рис. 2а, та 442 Гц – рис. 2,б) при яких властивості інерційних елементів моделі припустимо вважати твердими. Також, виявлено форми крутильних коливань де таке припущення не виконується (2986 Гц – рис. 2в, та 3221 Гц – рис. 2,г).

Дослідження вібраційних характеристик моделі трансмісії методом скінчених елементів (МСЕ) виконано на твердотільній моделі в системі **SOLIDWORKS**. Механічні властивості матеріалу (модуль Юнга – 73,3 ГПа, коефіцієнт Пуассона – 0,33, щільність – 2650 кг/м³) визначено шляхом знаходження мінімального відхилення розрахункових та експериментальних значені

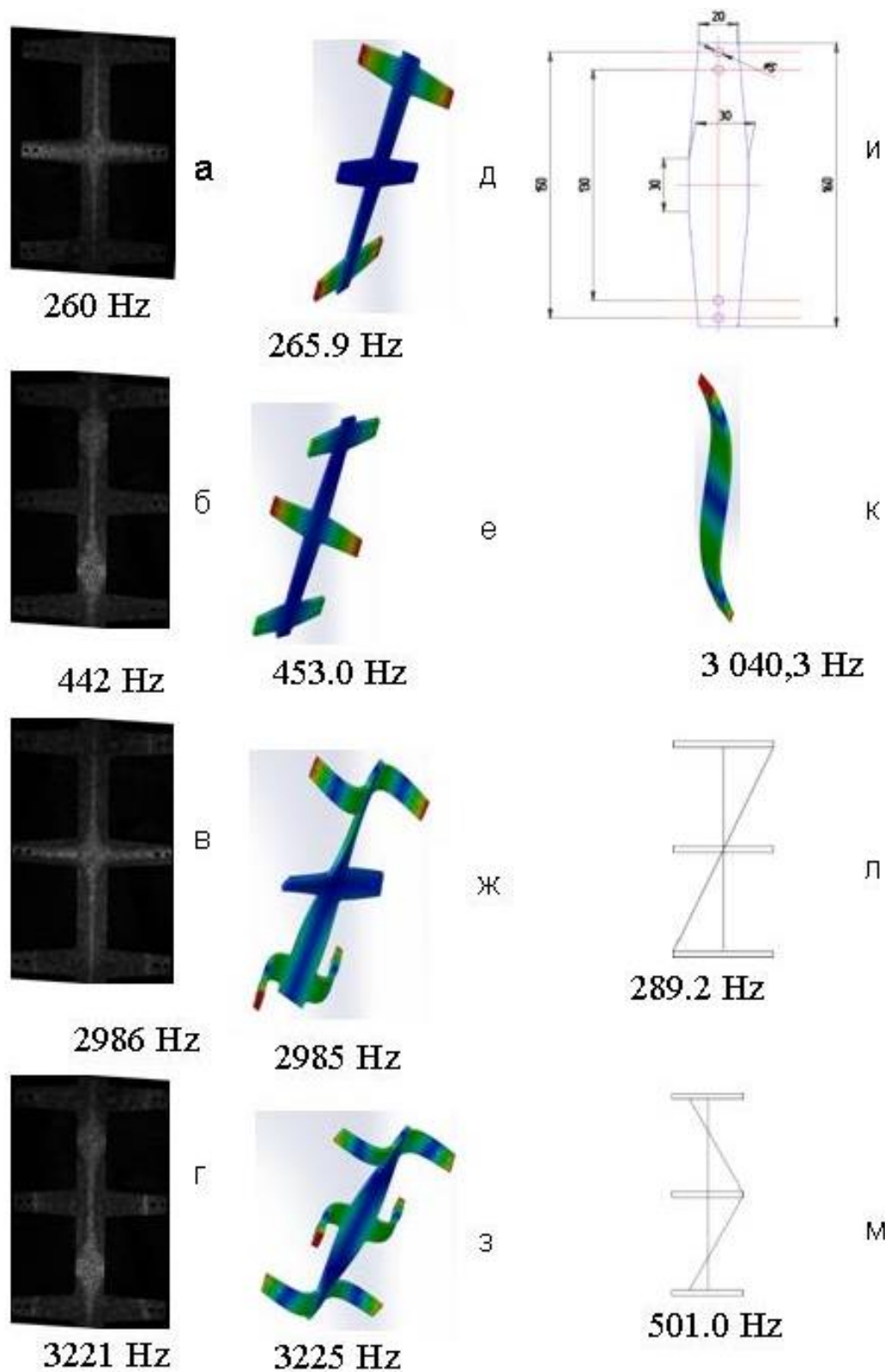


Рис. 2 Форми та частоти крутильних коливань визначені: а...г – експериментально; д...з – МСЕ; и, к – "диск" та його кососиметрична форма коливань; л, м – модель з зосередженими параметрами

власних згінних та крутильних частот окремо зробленого зразка розмірами у мм (290x50x5,0), виконаного з матеріалу моделі.

Порівняння результатів розрахункових (рис. 2д... рис. 2з) та експериментальних (рис. 2а... рис. 2г) досліджень моделі трансмісії свідчить, що різниця значень частот не перевищує двох відсотків.

Слід зазначити, що у моделі, що розглядається визначено дві крутильних форми коливань валу, пов'язані з деформацією "диску", з частоти яких наближено до кососиметричної (другої згінної) частоти вільного "диску" – 3040 Гц (рис. 2и та рис. 2к). Аналогічний ефект було спостережено також раніше [5].

Аналітичне рішення відповідно до моделі з зосередженими параметрами [4] виконано за наступними вихідними даними: крутильна жорсткість ділянки валу (довжина 90 мм) – 380,7 Н·м, момент інерції "диску" – $0,102 \cdot 10^{-3}$ кг·м². Частоти крутильних коливань згідно такої моделі склали щодо кососиметричної форми – 289,2 Гц та асиметричної – 501,0 Гц.

Література:

1. Unified Requirement (UR) M68 Dimensions of propulsion shafts and their permissible torsional vibration stresses, (Rev.2, Apr 2015), IACS International Association of Classification Societies, London, 2015.
2. IACS Quality System Certification Scheme (QSCS), Rev. 1, IACS International Association of Classification Societies, London, 2012.
3. Tkach, M. et al. (2021). Improving the Noise Immunity of the Measuring and Computing Coherent-Optical Vibrodiagnostic Complex. In: Nechyporuk, M., Pavlikov, V., Kritskiy, D. (eds) Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering - 2020. ICTM 2020. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 188. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66717-7_23.
4. Яблонский А.А., Норејко С.С., Курс теории колебаний. - М., Высшая школа, 1975-248 с.
5. Ткач М.Р., Поліщук В.А. Моделирование крутильных колебаний трансмісії з урахуванням податливості елементів, – Актуальні проблеми інженерної механіки та технології машинобудування: Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції, – Миколаїв: Ілліон, 2022. – с 94-99.

EXPERIMENTAL AND CALCULATION SIMULATION OF TORSIONAL VIBRATIONS OF THE TRANSMISSION A LIGHT GT

Mykhaylo Tkach, Yuri Zolotoy, Oleksandr Fistik, Oleksandr Kostrikov

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The spectrum of frequencies and forms of torsional vibrations of the transmission model of a light gas turbine engine was determined experimentally, analytically and by the method of finite elements using the method of real-time speckle interferometry; it is proved that there are two groups of forms and frequencies of oscillations that correspond to the assumptions of a rigid body and an elastic body.

Key words: transmission, GT, torsional vibrations, speckle interferometry, finite element method

УДК 62-242

**ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ РЕВЕРС-ІНЖЕНІРІНГУ
ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСНИХ ЧАСТОТ І ФОРМ КОЛИВАНЬ****Ткач М. Р.**

*доктор технічних наук, професор
завідувач кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна
mykhaylo.tkach@gmail.com*

Галинкін Ю. М.

*кандидат технічних наук,
викладач кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна
yurii.galynkin@nuos.edu.ua*

Монахов А. А.

*аспірант кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова,
monachow88@gmail.com*

Золотий Ю. Г.

*завідувач лабораторії кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова,
goldspekl@ukr.net*

Костріков О.А.

*Студент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова,
ZefirkaKakao@gmail.com*

Анотація. У роботі визначено форми власних коливань та відповідні їм частоти лопатки сучасного газотурбінного двигуна хордою 26 мм та висотою 38 мм. Розкрито особливості методу реверс-інжинірингу, наведена офсетна модель лопатки, вказано основні команди, використані при побудові твердотільної моделі у програмному комплексі Solidworks. Шляхом комп'ютерного моделювання встановлено ряд резонансних частот розробленої моделі та наведено деякі форми коливань. Встановлено, що метод реверс-інжинірингу доцільно використовувати при відсутності робочого креслення або при наявності відхилень форм конкретної деталі від форм робочого креслення.

Ключові слова: власні коливання, частоти коливань, лопатка, газотурбінний двигун, комп'ютерне моделювання.

Чисельне моделювання дозволяє узагальнити результати експериментальних досліджень, настроїти модель по отриманим експериментально формам, розширити досліджуваний діапазон зі значно зменшеними витратами часу та економією ресурсу лабораторного обладнання. Для його проведення використовується ліцензійний програмний комплекс Solidworks. Так Solidworks використовує чисельний метод аналізу технічних конструкцій – метод кінцевих елементів (МКЕ), суть якого полягає в розділенні віртуальної

твердотільної моделі на багато малих частин простих форм (їх називають елементами), що дозволяє ефективно замінити складне рішення кількома простими [1].

При цьому сама твердотільна модель може бути побудована за теоретичним кресленням, або використовуючи метод реверс-інженірингу. Суть другого методу полягає у скануванні виробленої деталі, збереженні взаємних положень кожної точки сканованих поверхонь деталі у цифровому форматі, побудові твердотільної моделі за розмірами отриманими скануванням об'єкту та визначенні частот і форм коливань отриманої твердотільної моделі. Недоліком зазначеного способу є необхідність наявності конкретного виробу, але, разом з тим, визначення параметрів конкретного виробу є основною метою роботи. Даний метод особливо актуальний у виробів з відносно великими похибками геометричних розмірів при виробництві, наприклад виробів, отриманих різними способами лиття. Також дуже актуальний для виробів зі складними геометричними поверхнями, такими як гребні гвинти, лопатки газотурбінних двигунів, обичайки зі складним поперечним профілем.

Команди, що використовуються при побудові твердотільної моделі визначаються формою досліджуваного об'єкта, проте досить часто використовуються команди з меню «Вставка»: «Розрізання», яка показує ряд ліній перетину сканованого об'єкта з площиною розрізання, та «Бобишка» - «По перетинам», яка дозволяє побудувати складну поверхню по ряду перерізів. Так, у якості прикладу, на рисунку 1 наведено побудову лопатки газотурбінного двигуна хордою 26 мм та висотою 38 мм.

Визначення власних частот коливання та форм коливання проведено у ліцензійній програмний комплекс Solidworks. Тип моделі: лінійний пружний ізотропний, механічні властивості матеріалу АС41А: межа міцності при розтягуванні 330 МПа, щільність 6700 кг/м³, модуль пружності: 85000 МПа, коефіцієнт Пуассона: 0,3, коефіцієнт теплового розширення: $0,274 \times 10^{-6}$ 1/К.

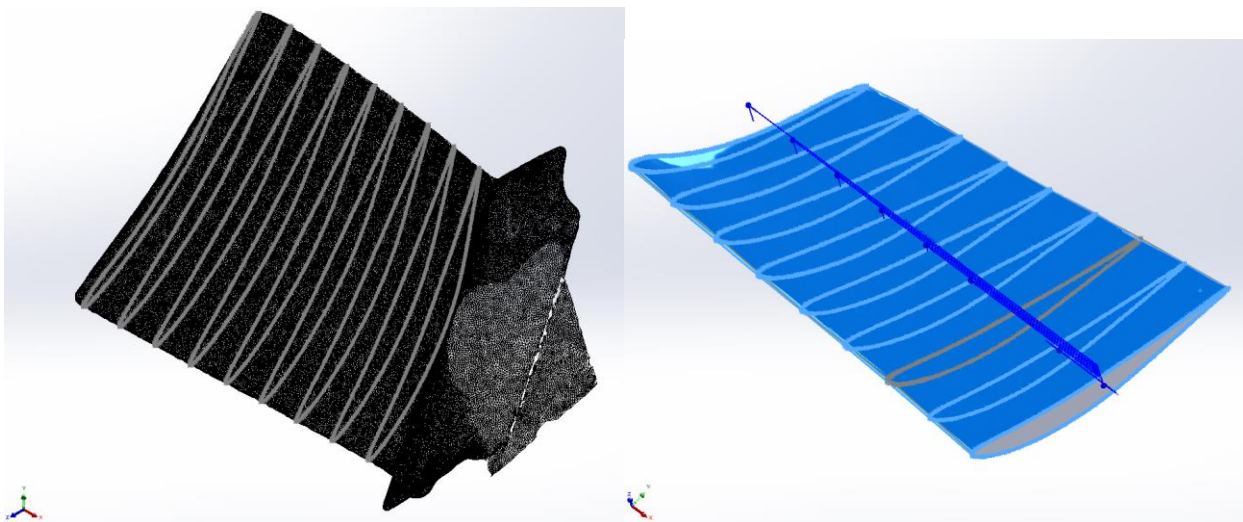


Рис. 1. Сканована форма та твердотільна модель лопатки ГТД:
а) 5854; б) 29050 Гц; в) 40168;

Інформація про сітку: тип сітки – сітка на твердому тілі, використовуване розбиття – сітка на основі змішаної кривизни, крапки Якобіана для сітки високої якості – 16 крапок, максимальний розмір елемента – 2,74525 мм, мінімальний розмір елемента 0,137262 мм, якість сітки – висока. Всього вузлів 29767, всього елементів 16262, максимальне співвідношення сторін 9,0333, процент елементів із співвідношенням сторін < 3 – 98 %, відсоток елементів із співвідношенням сторін > 10 – 0, відсоток викривлених елементів 0.

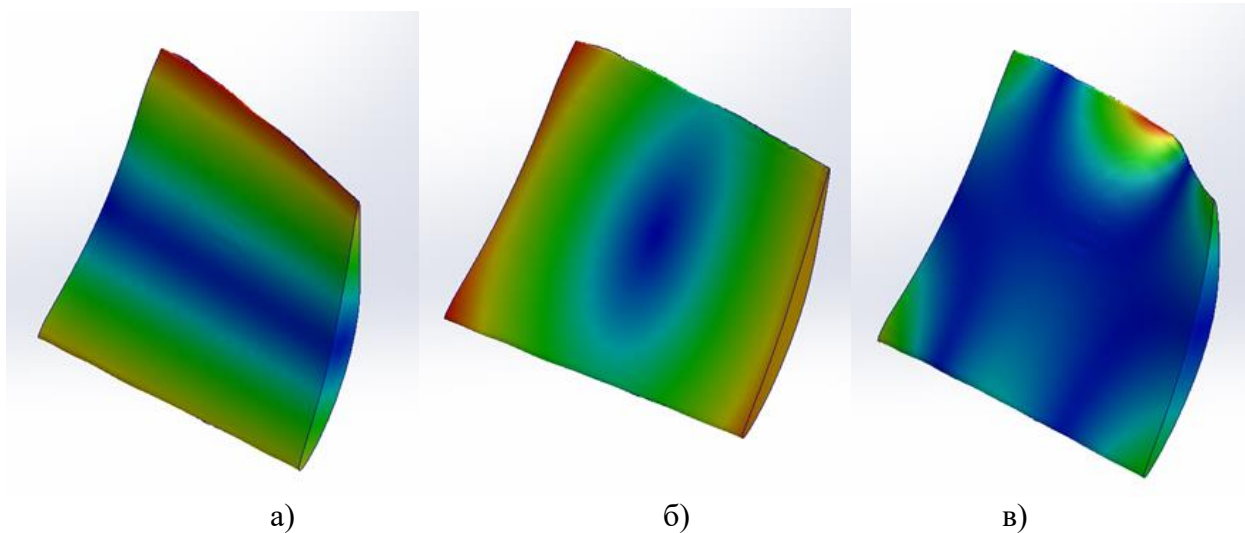


Рис. 2. Деякі форми коливань лопатки ГТД:
а) 254 Гц, б) 332 Гц, в) 11242 Гц

Резонансні коливання можуть призвести до появи тріщин, розвиток яких тягне за собою можливість поломки лопатки та виходу з ладу усього двигуна. Визначення форм і частот власних коливань дозволяє визначити резонансні режими роботи лопатки; визначити найбільш небезпечні місця щодо появи тріщин; при відпрацюванні усього двигуна вжити заходів для запобігання роботі на небезпечних резонансних режимах [2].

Метод реверс-інжинірингу доцільно використовувати при відсутності робочого креслення або при наявності відхилень форм конкретної деталі від форм робочого креслення. Цей метод дозволяє побудувати твердотільну модель з точністю, що відповідає точності сканування. Отримана модель використана для визначення власних частот та форм коливання у програмному комплексі Solidworks.

Література

[1] <https://www.solidworks.com>

[2] Tkach, M., Morhun, S., Zolotoy, Y., Zhuk, I. (2020), Modal analysis of the axial compressor blade: advanced time-dependent electronic interferometry and finite element method. Int. J. Turbo Jet-Eng. <https://doi.org/10.1515/tjj-2020-0014>

USING THE REVERSE ENGINEERING METHOD TO DETERMINE THE PROPER FREQUENCY AND FORMS OF OSCILLATIONS

Tkach Mykhailo, Yurii Halynkin, Andriy Monachov, Yuriy Zolotoy,

Abstract. The form of self-oscillations and the corresponding frequencies of the blade of a modern gas turbine engine with a chord of 26 mm and a height of 38 mm are determined in the paper. The peculiarities of the reverse-engineering method are revealed, the offset model of the blade is given, the main commands used in the construction of a solid-state model in the Solidworks software complex are indicated. By means of computer simulation, a number of resonance frequencies of the developed model were established and some forms of oscillations were given. It has been established that the reverse engineering method should be used in the absence of a working drawing or in the presence of deviations of the forms of a specific part from the forms of the working drawing.

УДК 621.1

ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ ЦИКЛ ПАРОТУРБІННОЇ УСТАНОВКИ З ІЗОХОРНИМ ПРОЦЕСОМ ПЕРЕГРІВУ ПАРИ**Лавренченко Г.К.**

доктор технічних наук,
професор, Президент асоціації технічно важливих газів «СІГМА»
ТОВ «Інститут низькотемпературних енерготехнологій»,
а/с 285, Одеса, Україна, 65023

Слинько О.Г.

кандидат технічних наук,
професор кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація»
Одеський національний морський університет,
вул. Мечникова, 34, Одеса, Україна, 65029

Бойчук А.С

кандидат технічних наук,
доцент кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація»
Одеський національний морський університет,
вул. Мечникова, 34, Одеса, Україна, 65029

Козловський С.В.

кандидат технічних наук,
доцент кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація»
Одеський національний морський університет,
вул. Мечникова, 34, Одеса, Україна, 65029

Галкін В.М.

кандидат технічних наук

Анотація.

Паротурбінні установки (ПТУ) залишаються основою енергетичного сектора для перетворення теплової енергії в електричну, тому будь-яке вдосконалення їх термодинамічного циклу – актуальне. Як відомо, більшість ПТУ працюють за термодинамічним циклом Ренкіна на перегрітій парі. Утворення і перегрів пари в цьому циклі здійснюється при постійному тиску. Відмінною особливістю ізобарного процесу в порівнянні з ізохорним є «передчасне» розширення пари під час її перегріву, для чого витрачається частина теплоти, що підводиться. Тому ізобарний процес підведення теплоти у порівнянні з ізохорним має подвійний недолік в плані перетворення теплоти в механічну енергію: її додаткове споживання і небажане розширення робочого тіла за межами пристрою для перетворення потенційної енергії в кінетичну. Тому у всіх теплоперетворювачах бажано замінити ізобарний процес підведення теплоти ізохорним. В даній роботі розглянуто приклад такої заміни у циклі паротурбінних установок, що працюють за циклом Ренкіна (основний цикл парової енергетики).

Ключові слова: ізобарний та ізохорний процеси підведення теплоти, паротурбінні установки.

На рис. 1а зображено разом термодинамічні цикли Ренкіна (з ізобарним процесом перегріву пари в паровому котлі) – 1-2-3-4-5-6-1, і модифікований цикл (з ізохорним процесом перегріву пари) – 1'-2'-3-4-5-6-1'. Порівнювані цикли побудовані при однакових температурах холодного і гарячого джерел теплоти і відрізняються лише процесами перегріву пари: 6-1 – ізобарний процес, а 6-1' – ізохорний [1].

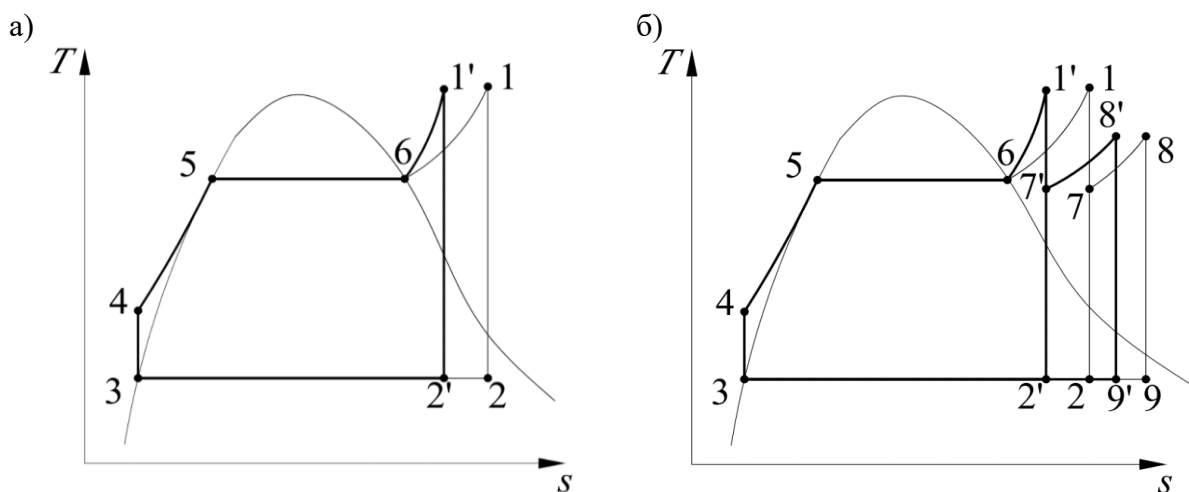


Рис. 1 – Термодинамічні цикли ПТУ Ренкіна з ізобарним (базовий) або ізохорним (модифікований) процесами перегріву пари: з одним котловим перегрівом (а); з додатковим проміжним перегрівом пари (б).

Порівняльні розрахунки виконані для вказаних термодинамічних циклів ПТУ з параметрами пари: тиск – 6,0 МПа, температура – 600 °С. Тиск наприкінці розширення пари в турбіні – 0,004 МПа. Термодинамічні властивості води та водяної пари в характерних точках розглядаємих циклів визначалися за допомогою програми REFPROP [2]. Використовуючи розраховані дані, були отримані та співставленні наступні характеристики енергетичної та економічної ефективності порівнюваних циклів: питома кількість теплоти, що підводиться в циклах q_1 ; питома кількість теплоти, що відводиться в навколишнє середовище q_2 ; питома робота, що отримується в циклах l ; термодинамічний ККД циклів η_t . Також розраховані питомі витрати пари d , теплоти Q_1 і палива b на 1 кВт·год та їх зміна при переході на модифікований цикл. Для зручності аналізу ці дані наведено в таблиці.

На ТЕЦ використовується декілька проміжних перегрівів пари. Тому актуально розглянути, як впливає проміжний ізохорний перегрів пари на ефективність такого термодинамічного циклу ПТУ. Для оцінки ефективності розглянутий термодинамічний цикл Ренкіна з одним проміжним додатковим перегрівом пари (рис. 1б), в якому співставленні цикл Ренкіна з ізобарним перегрівом пари (базовий) та з ізохорним (модифікований). Порівнювані цикли розглядаються при однакових температурах холодного і гарячого джерел теплоти і проміжних перегрівів пари, але відрізняються термодинамічними процесами перегріву пари: 6-1 і 7-8 є ізобарними процесами, а 6-1' і 7'-8' – ізохорними [3]. Термодинамічні властивості води та водяної пари в характерних точках порівнюваних циклів також визначалися за допомогою програми REFPROP [2].

Як видно з таблиці, для ПТУ з одним перегрівом пари (цикл Ренкіна) при переході від ізобарного процесу перегріву пари на ізохорний при зменшенні витрати палива на 10,1% питома робота збільшується на 3,9%, а термодинамічний ККД – на 11,2%. Для ПТУ з додатковим проміжним перегрівом пари також спостерігається збільшення питомої роботи (на 6,8%) і термодинамічного ККД циклу (на 18,8%) при зменшенні витрати палива (на 15,9%). Аналізуючи табличні дані можемо зробити також висновок, що проміжний додатковий перегрів пари більш суттєво впливає на ефективність ПТУ, тому можна чекати, що наступні перегріву пари ще більше підвищать їх ефективність, що дуже важливо для сучасних ТЕЦ, на яких використовується багато проміжних перегрівів пари. Також, використання ізохорного процесу перегріву пари дозволить зменшити вагу і габаритні розміри турбіни і конденсатора.

Таблиця 1

Порівняння основних характеристик ефективності ПТУ циклу Ренкіна з одним і двома перегрівами пари

No	Характеристики	Базовий цикл		Модифікований цикл	
		Цикл Ренкіна	з додатковим перегрівом пари	Цикл Ренкіна	з додатковим перегрівом пари
1	Питома теплота, що підводиться в циклі q_1 , кДж/кг	3531	4347	3298	4050
2	Питома теплота, що відводиться в циклі q_2 , кДж/кг	2038	2437	1932	2327
3	Питома робота, що отримується в циклі l , кДж/кг	1499	1917	1558	2121
4	Термодинамічний ККД циклу, η_t	0,4245	0,4408	0,4722	0,5238
5	Питома витрата пари на 1 кВт·год роботи, d , кг/(кВт·год)	2,402	1,8784	2,3110	1,6972
6	Питома витрата теплоти на 1 кВт·год роботи, Q_1 , кДж/(кВт·год)	8481	8167	7624	6873
7	Питома витрата палива на 1 кВт·год роботи, b , кг/(кВт·год)	0,2120	0,2042	0,1906	0,1718
8*	Відносна зміна питомої теплоти, що підводиться в циклі, δq_1 , %	–	–	-6,6	-6,8
9*	Відносна зміна питомої теплоти, що відводиться в циклі δq_2 , %	–	–	-5,2	-4,5
10*	Відносна зміна питомої роботи, що здійснюється в циклі, δl , %	–	–	3,9	6,8
11*	Відносна зміна термодинамічного ККД циклу, $\delta \eta_t$, %	–	–	11,2	18,8
12*	Відносна зміна питомої витрати пари на 1 кВт·год роботи, δd , %	–	–	-3,8	-9,6
13*	Відносна зміна питомої теплоти на 1 кВт·год роботи δQ_1 , %	–	–	-10,1	-15,8
14*	Відносна зміна питомої витрати палива на 1 кВт·год роботи, δb , %	–	–	-10,1	-15,9

відхилення обчислені відносно відповідної характеристики циклу Ренкіна (№ 8-14*): від'ємне значення відхилення означає, що характеристика зменшилась в модифікованому циклі, додатне – збільшилась.

Література

1. Лавренченко Г.К., Слинко О.Г., Козловський С.В., Бойчук А.С., Галкін В.М. (2022). Утилізаційна комбінована енергохолодильна установка з повним регенеративним теплообміном // Холодильна техніка та технологія. – 2022. – Т. 58. – № 1. – С. 50-61.
2. Lemmon, E.W, Huber, M.L, McLinden, M.O. (2007). NIST Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties. REFPROP, Version 8.0. Gaithersburg.
3. Бойчук А.С., Лавренченко Г.К., Слинко О.Г., Козловський С.В. (2021). Газопаротурбінна установка із загальним газопароутворюючим пристроєм і незалежними турбінами // Холодильна техніка та технологія. – 2021. – Т. 57. – № 4. – С. 254-263.

THERMODYNAMIC CYCLE OF A STEAM TURBINE PLANT WITH AN ISOCHORIC STEAM SUPERHEATING PROCESS

Lavrenchenko Georg

Doctor of technical science,
Professor, President of the Eastern European Association of Industrial Gas Production, «Institute of Low Temperature Energy Technologies»,
p/b 285, Odesa, 65023, Ukraine

Slynko Alexey

PhD in Technical Sciences,
Professor of the Department of Ship Power Plants and Technical Operation,
Odesa National Maritime University,
34, Mechnikova str., Odesa, 65029, Ukraine

Boychuk Artem

PhD in Technical Sciences,
Associate professor of the Department of Ship Power Plants and Technical Operation, Odesa National Maritime University,
34, Mechnikova str., Odesa, 65029, Ukraine

Kozlovskiy Serhii

PhD in Technical Sciences,
Associate professor of the Department of Ship Power Plants and Technical Operation, Odesa National Maritime University,
34, Mechnikova str., Odesa, 65029, Ukraine

Halkin Vitalii

PhD in Technical Sciences

Abstract. Steam turbine plants (STP) remain the basis of the energy sector for converting thermal energy into electricity, so any improvement of their thermodynamic cycle is relevant. It is known that most steam turbines operate according to the Rankine thermodynamic cycle on superheated steam. The formation and superheating of steam in this cycle is carried out at constant pressure. A key feature of the isobaric process compared to the isochoric process is the "premature" expansion of steam during its superheating, which consumes part of the heat supplied. Therefore, the isobaric process of heat supply has a double disadvantage in terms of converting heat into mechanical energy: its additional consumption and undesirable expansion of the working body outside the device to convert potential energy into kinetic energy. Therefore, in all heat converters, it is desirable to replace the isobaric heat input process with an isochoric one. This paper considers an example of such a replacement in the cycle of steam turbine plants operating according to the Rankine cycle (the main cycle of steam power).

Keywords: isobaric and isochoric heat input processes, steam turbine units.

УДК 629.4.048

ОСОБЛИВОСТІ ТРИГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ З АБСОРБЦІЙНО-АДСОРБЦІЙНОЮ ХОЛОДИЛЬНОЮ МАШИНОЮ

Остапенко О.В. к.т.н., доцент кафедри кондиціонування та рефрижерації;
Грич А.В. к.т.н., доцент кафедри кондиціонування та рефрижерації;
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв

Анотація

Виконано аналіз типової системи трансформації скидної теплоти газових двигунів в холод. Встановлено наявність значних втрат теплоти. Запропонована ступінчаста абсорбційно-адсорбційна система, застосування якої забезпечує скорочення втрат теплоти і приріст холодопродуктивності

Ключові слова: тригенерація, абсорбційна холодильна машина, адсорбційна холодильна машина, утилізація теплоти

Вступ

Газові двигуни, що працюють на природному газі і альтернативних газоподібних паливах (біогаз і т.п.), знаходять все більш широке застосування в установках автономного енергозабезпечення. Провідні двигунобудівні фірми випускають когенераційні модулі – зі штатними теплообмінниками для отримання гарячої води або водяної пари за рахунок використання теплоти випускних газів, надувного повітря або газоповітряної суміші (ГПС), що охолоджує сорочку двигуна води і мастила. Хоча когенераційні модулі легко інтегруються в системи тепло- і холодопостачання конкретних об'єктів, однак аналіз енергетичної ефективності таких тригенераційних систем показує наявність втрат теплоти і обумовлену ними недовиробіток холоду.

З умови підтримки теплового стану двигуна, що забезпечує його надійну експлуатацію, температура зворотного (охолодженого) теплоносія, який повертається в когенераційну систему ГД від АБХМ, обмежується її специфікаційним значенням $t_{зв} = 70$ °С. При його перевищенні надлишок теплоти скидається в атмосферу, а при меншій температурі зворотного теплоносія $t_{зв}$ до нього поміщується частина гарячого теплоносія, який виходить з когенераційного модуля і повертається в нього, минаючи АБХМ.

Результати дослідження

Рішення завдання підвищення ефективності трансформації теплоти ГД в холод розглядалося на прикладі тригенераційної установки автономного електро-, тепло- і холодозабезпечення заводу ТОВ "Сандора" - "Pepsico Ukraine" (м.Миколаїв, Україна). Проектування і монтаж установки виконані ПНВП "СИНАПС" "GE Energy" (м.Київ) та ТОВ "Хладотехника" (м.Миколаїв). Тригенераційної установка включає 2 когенераційних газових двигуна JMS 420 GS-N.LC GE Jenbacher (електрична потужність одного ГД 1400 кВт, тепла потужність 1500 кВт). Теплота, яка надходить від когенераційного модуля трансформується абсорбційною бромістолітєвою холодильною машиною (АБХМ) AR-D500L2 Century в холод, який витрачається на технологічні потреби і для роботи центральних кондиціонерів, що забезпечують охолодження повітря в машинному відділенні, з якого він надходить на всмоктування турбокомпресора ГД.

Відповідно до існуючої схеми при температурі зворотної (охолодженої) води на виході з АБХМ, наприклад $t_{зв} = 75...80$ °С, тобто вище її специфікаційного значення $t = 70$ °С на вході в теплообмінники ГД, що забезпечує оптимальний тепловий стан ГД, частина зворотної води охолоджується в охолоджувачі зворотного теплоносія (ОТН) з відведенням надлишкової теплоти в атмосферу градирнею 2. Повертати надлишкову теплоту в АБХМ

недоцільно через її знижений температурний потенціал, $t_{зв} = 75...80$ °С, в порівнянні з температурою гарячого теплоносія на вході АБХМ: $t_r = 90...95$ °С, оскільки зниження температури гарячого теплоносія на вході АБХМ викликаючи погіршення ефективності трансформації тепла в холод - зниження теплового коефіцієнта ζ .

Зниження температури теплоносія в АБХМ зазвичай становить не більше $\Delta t = 15$ °С, а реально навіть дещо менше, що не дозволяє охолоджувати теплоносій до температури на вході в ГД $t = 70$ °С, що забезпечує підтримку теплового стану ГД на необхідному рівні, і викликає необхідність скидати надлишкову теплоту в атмосферу градирнею 2 аварійного скидання. Через відповідних втрат теплоти теплові коефіцієнти системи утилізації теплоти ГД виявляються значно нижче теплових коефіцієнтів власне АБХМ, що зумовлює істотне зниження холодопродуктивності.

Для скорочення існуючих втрат тепла, можна встановити додатково адсорбційну холодильну машину (АДХМ) відразу після існуючої АБХМ. Робочий режим АДХМ такий, що вона здатна використовувати теплоносій невисокого потенціалу з температурою $70...80$ °С який в наслідки-віє охолоджується в ній до 10 °С. В запропонованій схемі тригенераційної установки в АДХМ використовується теплоносій після абсорбційної машини з температурою 75 °С, охолоджуючись в ній до 67 °С. Подаючи на АДХМ частину, а саме $68,9\%$ ($85,3\text{м}^3/\text{год}$) від повної ($123,8\text{м}^3/\text{год}$) витрати теплоносія, отримуємо 2 потоки зворотного теплоносія з температурами 75 °С після АБХМ і 67 °С після АДХМ. При змішуванні яких знову в один потік з температурою 70 °С. Вона відповідає специфікаційному значенню температури зворотного теплоносія, що подається на охолодження вузлів двигуна.

Висновки

За рахунок утилізації надлишкової теплоти, раніше скидається в атмосферу, можна збільшити холодопродуктивність тригенераційної установки на величину $400\text{-}450$ кВт, доводячи холодильну потужність установки майже до номінальної величини у 2000 кВт.

Також за рахунок використання ступеневої трансформації підвищується ефективність (тепловий коефіцієнт) системи утилізації з $\zeta = 0,5$, для базового варіанту, до $\zeta = 0,7$ для варіанту з ступеневою абсорбційно-адсорбційною холодильною машиною.

Література

1. Elsenbruch T. Jenbacher gas engines a variety of efficient applications / T. Elsenbruch.– București, October 28, 2010. – 73 p.
2. Adsorption Heat Pump - Building Equipments // Mitsubishi Plastics, Inc. – 4 p.
3. GTI Integrated Energy System for Buildings. Modular System Prototype/ G. Rouse, M. Czachorski, P. Bishop, J. Patel // GTI Project report 15357/65118: Gas Technology Institute (GTI). – January 2006. – 495 p.
4. Колективна монографія: "Інноваційні технології комбінованого виробництва енергії для переробних підприємств", розділ 14 " Трансформація теплоти когенераційних газопоршневих модулів установки автономного електро- тепло- та холодозабезпечення технологічного виробництва " / А.М Радченко, Р.М. Радченко, О.В. Остапенко/ ПОВНОЦІННЕ ХАРЧУВАННЯ: інноваційні аспекти технологій, енергоефективного виробництва, зберігання та маркетингу: колективна монографія / за ред. проф. В. В. Євлаш, проф. В. О. Потапова, проф. М.І. Радченко, проф. Н. Л. Савицької. – Х. : Світ книг, 2016. – 546 с.

Features of a three-generation plant with an absorption-adsorption refrigerator

Ostapenko Oleksii, Hrych Artem

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The analysis of a typical system of transformation of the waste heat of gas engines into cold was carried out. The presence of significant heat losses was established. The proposed stepped absorption-adsorption system, the use of which ensures a reduction in heat loss and an increase in cooling capacity

Key words: trigeneration, absorption refrigerating machine, adsorption refrigerating machine, heat utilization

УДК 629.4.048

СИСТЕМА КОНДИЦІОНУВАННЯ З АБСОРБЦІЙНО-ПАРОКОМПРЕСОРНОЮ ХОЛОДИЛЬНОЮ МАШИНОЮ ДЛЯ МАШИННОГО ВІДДІЛЕННЯ ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Грич А.В. к.т.н., доцент кафедри кондиціонування та рефрижерації;
Остапенко О.В. к.т.н., доцент кафедри кондиціонування та рефрижерації;
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв,

Анотація

Виконано аналіз ефективності кондиціонування припливного повітря машинного відділення газових двигунів автономної теплоелектростанції. Розглянуто систему двоступеневого кондиціонування повітря із застосуванням комбінованої каскадної абсорбційно-парокомпресорної холодильної машини і зональною повітроподачею. Запропоновано способи обробки припливного повітря машинного відділення, що забезпечують його глибоке охолодження.

Ключові слова: кондиціонування, автономна теплоелектростанція, машинне відділення, газовий двигун, повітроохолоджувач.

Вступ

Температура повітря в машинному відділенні (МО), звідки повітря надходить на всмоктування турбокомпресорів (ТК) газових двигунів (ГД) автономних електростанцій, зазвичай підтримується системою вентиляції або охолодженням припливного повітря в центральному кондиціонері з подачею в повітроохолоджувачі (ВО) холодної води з температурою 7 ... 10 ° С, що надходить від абсорбційної бромістолітєвої холодильної машини (АБХМ), що утилізує скидку теплоту ГД. В роботі запропонована система охолодження припливного повітря МО з подачею охолодженого повітря безпосередньо на вхід ГД окремим воздуховодом, яка дозволяє істотно скоротити витрату повітря і збільшити глибину його охолодження при зниженні витрат холоду.

Результати дослідження

Машинні відділення (МВ) автономних теплоелектростанцій на базі газових двигунів (ГД) відрізняються інтенсивними тепловиділеннями – від електрогенераторів, встановлених на ГД теплообмінників відведення теплоти на нагрів води, від корпусу самого двигуна, щитів управління і т.д., а також теплоприпливи в МВ ззовні, що призводить до підвищення температури повітря в МВ, звідки він надходить на вхід турбокомпресорів (ТК) наддуву ГД, і, як наслідок, до зниження паливної ефективності ГД. Тому припливне повітря МВ необхідно охолоджувати. У стандартних системах кондиціонування МВ установок

автономного енергопостачання тригенераційного типу передбачено охолодження всього припливного повітря в центральних кондиціонерах (ЦК) з холодопостачанням від абсорбційних холодильних машин, утилізують скидну теплоту ГД. Однак при підвищених температурах зовнішнього повітря стандартні системи охолодження в ЦК не в змозі забезпечити необхідну температуру повітря на вході ГД через значні теплопритоки і великих обсягів приточного повітря. Крім того, глибина охолодження припливного повітря обмежена температурою холодоносія (холодної води від АБХМ) $7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для більш глибокого охолодження припливного повітря розроблена двоступенева система охолодження припливного повітря з парокомпресорної холодильної машини (ПКХМ), що служить для холодопостачання технологічних виробництв. Використання ПКХМ для кондиціювання МО вельми обмежена, особливо при дефіциті холоду на технологічні потреби.

Використання ПКХМ як джерела холоду для другого ступеня охолоджувачів повітря на вході двигунів передбачає додаткові витрати електроенергії на привід компресора, що при наявності технологічних виробництв в якості пріоритетних споживачів холоду вкрай проблематично і вимагає раціонального його витрачання. Це завдання може бути вирішена шляхом збільшення холодопродуктивності ПКХМ з використанням для цього холоду, одержуваного трансформацією скидний теплоти в АБХМ.

З метою зведення до мінімуму споживання дефіцитного холоду від ПКХМ розроблена система двоступеневого охолодження повітря в повітроохолоджувачі (ПО) на вході ГД з холодопостачання другого ступеня ПО₂ від каскадної абсорбційно-парокомпресорній холодильної машини (КАПКХМ) [1, 2]. При цьому конденсатор ПКХМ охолоджується холодоносієм від АБХМ. Система дозволяє підвищити холодопродуктивність компресора і холодильний коефіцієнт ПКХМ (від $\varepsilon_k=3,1$ до $\varepsilon_k=7$ згідно характеристик компресора BITZER 4NES-12Y-40P на рис. 1) за рахунок зниження температури конденсації t_k від $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

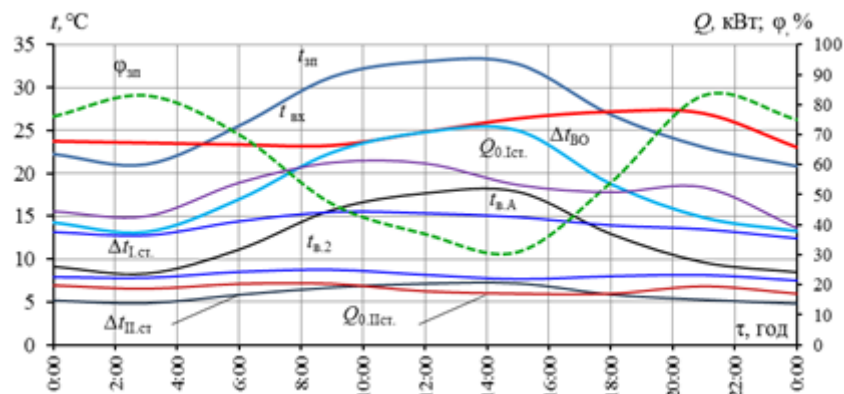


Рис. 1 Залежність холодильного коефіцієнта ε_k , споживаної електричної потужності N_k компресора BITZER 4NES-12Y-40P, холодопродуктивності ПКХМ Q_0 від температури конденсації t_k .

Таким чином можна скоротити витрати електроенергії на привід компресора ПКХМ на 40 ... 50%.

На рис. 2 представлені результати розрахунку характеристик системи двоступеневого охолодження припливного повітря на вході ГД в КАПКХМ. Як видно з графіків, зниження температури повітря становить $\Delta t_{ПО} = t_{зп} - t_{вт} = 14...26\text{ }^{\circ}\text{C}$, що значно більше, ніж в базовому варіанті $\Delta t_{ПО(60)} = t_{зп} - t_{ПО,2} = 5...13\text{ }^{\circ}\text{C}$. Звідси можна зробити висновок, що застосування зональної системи кондиціювання з двоступеневим охолодженням повітря на вході ГД дозволяє збільшити глибину охолодження $\Delta t_{ПО}$ в півтора рази в порівнянні з базовим варіантом системи кондиціювання.

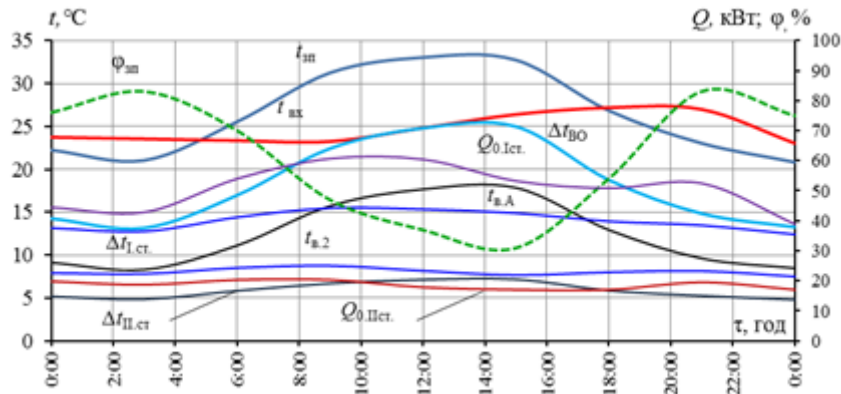


Рис. 2 Температури зовнішнього повітря $t_{зп}$, на вході ТК ГД $t_{вх}$ при заборі повітря із МВ, на виході з першого ступеня ПО₁ $t_{вт}$, зниження температури повітря в ПО₁ $\Delta t_{вт} = t_{зп} - t_{вт}$, на виході з другого ступеня ПО₂ $t_{нт}$, зниження температури повітря в ступені ПО₂ $\Delta t_{нт} = t_{вт} - t_{нт}$, повна глибина охолодження припливного повітря в двоступеневому ПО $\Delta t_{по} = t_{зп} - t_{нт}$ протягом доби при витраті повітря 35000 м³/год, холодопродуктивності першого ступеня ПО₁ $Q_{0.вт}$ і другого ступеня ПО₂ $Q_{0.нт}$

На рис.3 представлені поточні значення холодопродуктивності (теплого навантаження на ПО) і скорочення питомої витрати палива протягом доби.

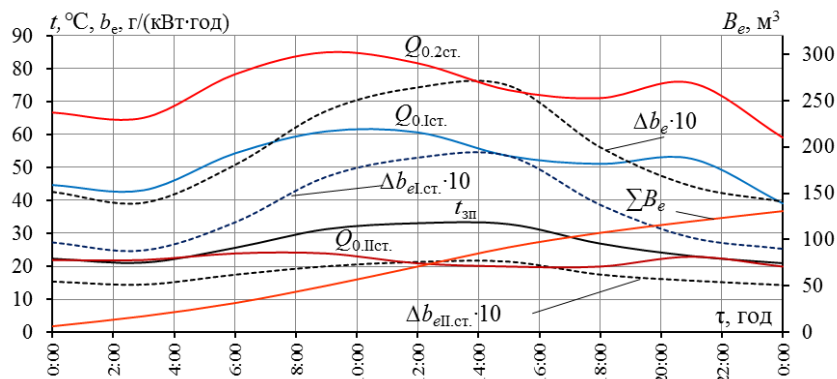


Рис. 3 Зміна холодопродуктивності першого ступеня ПО₁ $Q_{0.вт}$, другого ступеня ПО₂ $Q_{0.нт}$, сумарною холодопродуктивності ПО $Q_{0.по}$, повного теплового навантаження ПО $Q_{0.нт}$, Δb_e – скорочення питомої витрати палива, г / (кВт · год), $\Sigma \Delta B_e$ – добова економія природного газу, м³

Як видно, максимальне теплове навантаження складає близько 112 кВт, що на 68% менше, ніж в базовому варіанті ($Q_{0(60)} \approx 350$ кВт), а навантаження на ПО зменшилася на 76%, що має велике значення в умовах дефіциту холоду на технологічні потреби.

Висновки

Розроблено спосіб двоступеневого охолодження припливного повітря МВ ГД трансформацією скидний теплоти ГД в каскадній абсорбційно-парокомпресорній холодильній машині з холодопостачанням високотемпературного ступеня ПО_{вт} від АБХМ і низькотемпературного ступеня ПО_{нт} від КАПКХМ, який забезпечує скорочення витрат палива на 10 ... 15% за рахунок глибокого (до 7 ... 10 °С) охолодження повітря на вході ГД в порівнянні з його охолодженням в АБХМ до 15 °С

Література

1. Радченко А. М., Грич А. В. Охолодження приточного повітря машинного відділення газових двигунів тригенераційної установки [Текст] / А.М. Радченко, А.В. Грич // Холодильна техніка та технологія. - 2014. - № 6. - С. 20-25.
2. Радченко А. М., Грич А. В., Портной Б. С. Ступенчатое охлаждение приточного воздуха машинного отделения автономной электростанции [Текст] / А.М. Радченко, А.В. Грич, Б.С. Портной // Холодильна техніка та технологія. - 2016. - Т. 51, Вип. 1. - С. 71-7.
3. Радченко Р.Н., Грич А.В. Двухступенчатое охлаждение приточного воздуха газовых двигателей тригенерационной установки [Текст] / Р.Н. Радченко, А.В. Грич // Авиационно-космическая техника и технология. –2014. – № 6. – С. 103–107.
4. Ткаченко С.Й. Показники ефективності роботи енергетичних установок для сумісного виробництва теплової та електричної енергії/ Ткаченко С.Й., М.М.Чепурний, Н.В. Пішеніна. – Вінниця: Наукові праці ВНТУ. – 2010. – № 1.– С.54-57
5. Морозюк Л. И. Термодинамический анализ каскадных холодильных машин с R744в верхнем каскаде/ Л. И. Морозюк // Холодильна техніка та технологія. – 2016. – Т. 52, Вип. 1. – С. 12-17.

Air conditioning system with absorption-vapor compressor refrigerating machine for machinery of thermal power plant

Hrych Artem, Ostapenko Oleksii **Admiral Makarov National University of Shipbuilding**

Abstract. An analysis of the efficiency of the supply air conditioning of the engine room of the gas engines of the autonomous thermal power plant was performed. A two-stage air conditioning system using a combined cascade absorption-vapor compressor refrigerating machine and zonal wind supply is considered. Methods of processing the supply air of the engine room, which ensures its deep cooling, are proposed.

Keywords: air conditioning, autonomous thermal power plant, engine room, gas engine, air cooler.

УДК 669.017

ВДОСКОНАЛЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМ ЗУБОШЛІФВАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ НА БАЗІ ЗАСТОСУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ТЕРМОЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Ніколаєв О. Л.

кандидат технічних наук,

*доцент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

aleksnikolaiev@gmail.com

Поліщук В. А.

кандидат технічних наук,

*доцент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

vitpolishchuk@gmail.com

Голенко Л.В.

*магістрант кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

boblmen6@gmail.com

Іщенко Д.О.

магістрант кафедри інженерної механіки та технології машинобудування

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

Пінчук Т.М.

*магістрант кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
aleksnikolaiev@gmail.com*

Іванющенко М.С.

*магістрант кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
aleksnikolaiev@gmail.com*

Анотація. В роботі запропоновано для стабілізації витрат мастила в гідравлічній системі зубошліфувального верстата в інтервалі температур експлуатації використовувати дросель діафрагмового типу з термосиловим приводом на базі термочутливих елементів зі сплаву з ефектом пам'яті форми.

Ключові слова: зубошліфувальні верстати, система змащування, регулятори дросельної типу, термосилові приводи, термочутливі елементи, ефект пам'яті форми.

Якісне змащування вузлів та функціонування гідросистеми зубошліфувальних верстатів має велике значення для забезпечення технологічних режимів обробки та їх надійної роботи протягом усього експлуатаційного періоду.

Зміна температури мастила при нагріванні вузлів верстата в процесі обробки призводить до зміни в'язкості мастила і, як наслідок, до зміни витрати, а отже і нерівномірності швидкості подачі салазок, що істотно впливає на якість шліфування зубчастих коліс.

Існуючі регулятори тиску прямої дії дросельного типу не забезпечують технологічних режимів, для стабілізації яких необхідна тривала робота верстата на холостому ходу до встановленого температурного режиму [1].

Метою роботи є розробка конструкції і дослідження дроселя, що дозволяє адаптивно регулювати сталість витрат мастила, а отже і величину подачі верстата незалежно від температури.

Для вирішення зазначеної задачі пропонується використовувати дросель діафрагмового типу з термочутливим приводом у вигляді пружини вигину з матеріалу з ефектом пам'яті форми (ЕПФ).

В основу розрахунку та проектування дроселя покладено сталість витрати мастила незалежно від температури, яка забезпечується за рахунок автоматичної зміни діаметра дроселя за допомогою термосилового приводу на основі елемента з ЕПФ [2].

Необхідний діаметр дроселя для забезпечення сталості витрати визначається, виходячи з формули:

$$Q = \mu F v \sqrt{\xi},$$

де $\mu = 0,65$ – коефіцієнт витрати у робочому діапазоні зміни числа Рейнольдса практично постійний; $F = \pi d^2/4$ – площа прохідного перерізу дроселя; d – розрахунковий діаметр дроселя; v – швидкість протікання рідини через дросель; ξ – характеристика дроселя.

Характеристика дроселя ξ і швидкість рідини v визначаються експериментально, деформація-переміщення пружини з ЕПФ знаходиться за методикою [3, 4]. На підставі цих параметрів розраховується необхідний діаметр дроселя d .

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \mu \nu \sqrt{\xi}}}$$

Задаючись сталістю витрат мастила і підставляючи значення швидкості рідини через дросель, знаходимо необхідні значення діаметрів дроселя при різних температурах. Гідравлічні і розрахункові характеристики запропонованого дроселя для внутрішнього діаметра трубопроводу 14 мм і мастила марки МС20 наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Характеристики проектованого дроселя

Температура мастила T , °С	Характеристика дроселя $\sqrt{\xi}$	Швидкість протікання мастила через дросель ν , м/с	Деформація-переміщення пружини з ЕПФ δ , мм	Розрахунковий діаметр дроселя d , мм
20	1,539	1,675	1,95	14,0
25	1,427	1,950	2,57	13,5
30	1,337	2,217	3,3	13,1
35	1,264	2,480	3,99	12,7
40	1,2	2,754	4,65	12,4
45	1,167	2,911	5,3	12,2

Форма пазів для переміщення штифта пелюсток в рухомому кільці діафрагми визначається геометричним методом залежно від параметрів елементів діафрагмового дроселя, його необхідного діаметра і величини переміщення елемента з ЕПФ при певній температурі.

Висновок. Запропоновано конструкцію дроселя, що дозволяє адаптивно регулювати сталість витрат мастила, а відтак і величину подачі верстата незалежно від температури. Як показали дослідження, швидкість подачі верстата в інтервалі температур від 20°C до 45°C змінюється не більше ніж на 1,2%. Зміна витрат мастила в інтервалі температур 20...50°C не перевищує 1,8%, тоді як в досліджуваному верстаті вони могло досягати 24%. При цьому значно спрощується конструкція регулятора, підвищується термін служби і надійність його роботи, знижується трудомісткість його виготовлення і масогабаритні показники.

Література

1. Вдосконалення технології обробки на високоточних зубошліфувальних верстатах / Николаев О.Л., Поліщук В.А., Мамонов С.В., Купріянова І.О. / Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: XI міжнародна науково-технічна конференція. – Миколаїв: НУК, 2020. – С. 82–83.
2. Соловьев С.Н., Николаев А.Л., Полищук В.А. К расчету функциональных элементов регулятора температуры системы смазки ГТД // Авиационно-космическая техника и технология, 10/26, 2005. – С.183-187.
3. O. L. Nikolaiev, V.A. Polishchuk, T. P. Zadorozhna, Improving the Dynamics Models of Adaptively Controlled Elements and Drives Based on Functional Materials, Metallophysics and Advanced Technologies. 2020, vol. 42, No. 6, pp. 885–899 <https://doi.org/10.15407/mfint.42.06.0885/>
4. Полищук, В. А., Николаев, А. Л., Боду, С. Ж., Билошапка, В. С. (2018). Разработка элементной базы термосиловых приводов для технологического оборудования. *Shipbuilding*, №2(10), 262-269.

Nikolaev Olexander, Polishchuk Vitaliy, Holenko Leonid, Ichenko Dina, Pinchuk Tatiana, Ivanychenko Mihailo

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

The paper suggests using a diaphragm-type throttle with a thermo-force actuator based on thermo-sensitive elements made from shape memory alloy to stabilize the lubricant consumption in the hydraulic system of the tooth grinding machine in the operating temperature range.

Keywords: tooth grinding machines, lubrication system, throttle type regulators, thermal power drives, thermo-sensitive elements, shape memory effect.

УДК 621.181

СУДНОВІ ТЕПЛООБМІННІ АПАРАТИ ТИПУ «ГАЗ»-«РІДИНА» З КОНТРОЛЬОВАНИМ ВІДРИВОМ ПОТОКУ

Кузнецов В.В.

кандидат технічних наук,

*доцент кафедри Технічної теплофізики і суднових паровиробних установок Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна, valeriy.kuznetsov@nuos.edu.ua*

Кузнецова С.А.

кандидат технічних наук, доцент кафедри Експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики

*Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна, svitlana.kuznetsova@nuos.edu.ua*

Анотація. Теплообмінні апарати типу «газ» – «рідина» використовуються в суднових енергетичних установках в якості охолоджувачів надувного повітря дизельних двигунів та утилізаційних котлів. Інтенсифікація тепловіддачі в них є дієвим способом підвищення техніко-економічної ефективності суднових енергетичних установок в цілому. Обмежувальним фактором при цьому є зростання аеродинамічного опору поверхні. Для зниження опору і зростання ефективності тепловіддачі запропоновано використання контрольованого відриву потоку на теплообмінній поверхні утилізаційного котла. Отримано, що завдяки використанню запропонованого рішення зростання ефективності утилізаційного котла складає до 14,6%, що в свою чергу призведе до зростання коефіцієнта корисної дії всієї установки до 2% абс.

Ключові слова: суднова енергетична установка, теплообмінний апарат, опір, тепловіддача, ефективність, інтенсифікація

Утилізація теплоти робочого тіла теплових двигунів суднових енергетичних установок є дієвим способом підвищення їх економічної ефективності. Значний потенціал для цього мають теплота надувного повітря та відпрацьованих газів дизельних двигунів.

Утилізується така теплота в теплообмінних апаратах типу «газ»-«рідина» - охолоджувачах надувного повітря (ОНП) та утилізаційних котлах (УК). Підвищення ефективності малообертових та середньообертових дизельних двигунів призвело до підвищення температури надувного повітря та зниження температури відпрацьованих газів [1]. Обмеженість розмірів машинних відділень суден викликає необхідність пошуку способів зниження розмірів вказаних теплообмінних апаратів при утилізації теплоти зі значним тепловим потенціалом. Одним з таких способів є інтенсифікація процесів тепловіддачі.

Аналіз конструкцій теплопередавальних поверхонь ОНП та УК показав, що здебільшого використовуються трубчасті поверхні з використанням труб круглого перерізу. Інтенсифікація процесів тепловіддачі на таких поверхнях здійснюється шляхом застосування оребрення, що має свої обмеження, оскільки може перевищити допустиму втрату тиску у системі відповідно підведення повітря та газівипуску.

Частково цю проблему можна вирішити шляхом використання концепції «погано» та «добре» обтічних тіл [2, 3]. Оскільки основний опір при обтіканні складає опір форми [4],

для формування теплопередавальних поверхонь можна використовувати тіла зі зниженою цією складовою опору – краплеподібні, плоскоовальні, еліптичні.

Основною причиною виникнення опору є відрив потоку у кормовій частині поверхні. Таким чином, подальше вдосконалення зазначених поверхонь можливе шляхом використання механізму «контрольованого відриву потоку», тобто створення умов для зміщення точки відриву потоку у кормову зону [5].

Крім того, згідно показника аналогії Рейнольдса FAR [6], зниження аеродинамічного опору поверхні призведе до підвищення ефективності тепловіддачі, що обумовлює актуальність досліджень, що проводяться.

Метою роботи є оцінка ефективності використання механізму контрольованого відриву потоку для зниження аеродинамічного опору еліптичних поверхонь та підвищення ефективності використання теплоти в утилізаційному котлі.

Об'єктом дослідження є процеси руху теплоносіїв при зовнішньому обтіканні теплопередавальної поверхні, а предметом – показники цих процесів.

Математична модель представлена як система балансових рівнянь збереження кількості руху, енергії і маси. Для її замикання використана RSM – модель турбулентності. Верифікація і валідація моделі детально представлена у [7].

Елемент теплообмінної поверхні еліптичного перерізу зі співвідношенням осей $a/b=2,5$ з трикутною виїмкою для придушення відриву потоку представлений на рис.1а, а результати розрахунку ефективності суднового утилізаційного котла в залежності від фактора аналогії Рейнольдса – на рис. 1б. Розрахунки проведені для параметрів двигуна $MAN\ B\&W\ 12S90ME-C9.2$ номінальною потужністю 69720 кВт [1] за умов сталості габаритних показників котла. Передбачалось, що живильна вода котла спочатку підігрівалась у першій секції охолоджувача надувного повітря головного двигуна, після чого поступала безпосередньо у котел. Використовується котел двох тисків, який виробляє слабоперегріту пару для утилізаційного турбогенератора.

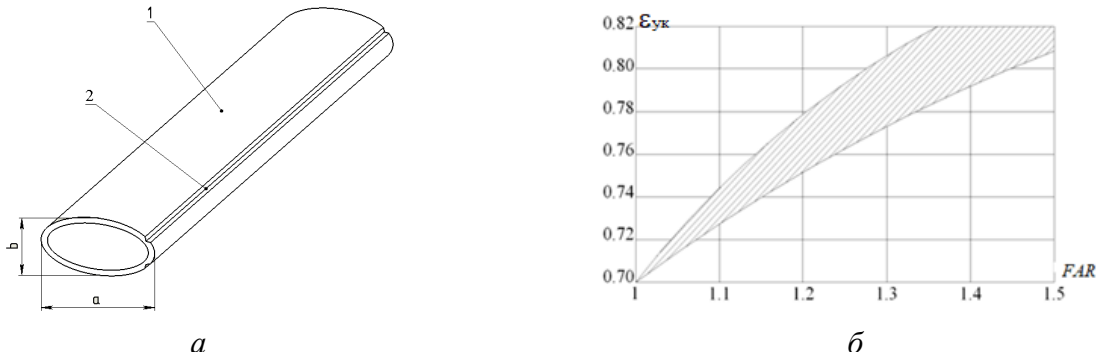


Рисунок 1 – а) загальний вигляд теплообмінної поверхні: 1 – еліптична основа, 2 – трикутна виїмка; б) ефективність суднового утилізаційного котла в залежності від фактора аналогії Рейнольдса

Аналіз отриманих результатів показує, що завдяки використанню механізму контрольованого відриву потоку мається можливість підвищення коефіцієнта використання теплоти в утилізаційному котлі $\epsilon_{ук}$ до 14,6%. Це в свою чергу дасть змогу підвищити ККД всієї енергетичної установки до 2% абс. завдяки збільшенню паропродуктивності котла і відповідному підвищенню потужності утилізаційного турбогенератора.

Література

1. *Marine engine programme. MAN Energy Solutions 2015-2020* [Електронний ресурс] / Режим доступу <https://www.man-es.com/marine/products/planning-tools-and-downloads/marine-engine-programme> (дата звернення: 01.10.2023).
2. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя [Текст] / Г. Шлихтинг – М.: Наука 1974. 712 с.

3. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа [Текст] / Л.Г. Лойцянский – Изд. 5-е, перераб., Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», М., 1978, 736 с.
4. Справочник по теории корабля: В трех томах. Том 1. Гидромеханика. Сопротивление движению судов. Судовые движители/ Под ред. Я.И.Войткунского. – Л.:Судостроение, 1985. 768 с.
5. Халатов, А.А. Теплообмен и гидродинамика в полях массовых сил: Обзор работ, выполненных в ИТТФ НАН Украины Часть 2. Поверхностно-вихревые системы (углубления) [Текст] / А.А. Халатов – Пром. Теплотехника. 2012. Т.34. №1. С. 21–33.
6. Халатов, А.А. Обобщение опытных данных по фактору аналогии Рейнольдса для интенсификаторов теплообмена различных типов [Текст] / А.А. Халатов, А.В. Окишев, В.Н. Онищенко – Пром. Теплотехника. 2010. Т.32. №5. С. 5–13.
7. Кузнецов В.В. Ефективність судових енергетичних установок з теплообмінними апаратами з трубних пучків з лунковими системами [Текст] / В.В. Кузнецов, А.П.Шевцов // Авіаційно-Космічна Техніка і Технологія. 2023, № 4 спецвипуск 2 (190). С.19 -27

MARINE HEAT EXCHANGERS OF THE "GAS" - "LIQUID" TYPE WITH CONTROLLED FLOW SEPARATION

Kuznetsov V.V., Kuznetsova S.A.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. "Gas-liquid" heat exchangers are used in marine power plants as charge air cooler of the diesel engines and waste heat recovery boilers. Heat transfer intensification in these apparatus is an effective way to increase the technical and economic efficiency of marine power plants as a whole. The limiting factor in this case is the increase in aerodynamic resistance of the surface. To reduce the resistance and increase the efficiency of heat transfer, it is proposed to use a controlled separation of the flow on the heat exchange surface of the waste heat recovery boiler. It is obtained that due to the use of the proposed solution, the increase in the efficiency of the waste heat recovery boiler is up to 14.6%, which in turn will lead to an increase in the efficiency of the entire plant up to 2% abs.

Key words: marine power plant, heat exchanger, resistance, heat transfer, effectiveness, intensification

УДК 621.438

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАЗМОВОГО СТАБІЛІЗАТОРУ ПОЛУМ'Я ДЛЯ КАМЕРИ ЗГОРЯННЯ ГТД

Козловський А. В.

кандидат технічних наук, доцент кафедри турбін

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,

м. Миколаїв, Україна, artem.kozlovskiy@nuos.edu.ua

Анотація. В роботі наведено результати експериментальних досліджень енергетичних характеристик плазмових стабілізаторів полум'я в низькоемісійній камері згоряння ГТД, що працює на газоподібному паливі. Дослідження генератора низькотемпературної плазми та аналіз отриманих даних, дозволили визначити діапазон стійкої роботи джерела живлення плазмового генератора, призначеного для стабілізації пульсаційних процесів в камерах згоряння ГТД.

Ключові слова: газотурбінний двигун, низькоемісійна камера згоряння, пульсаційне горіння, плазмовий стабілізатор.

В даний час існує значний досвід експлуатації енергетичних установок суден та кораблів, оснащених газотурбінними двигунами. При конструюванні та доведенні найбільш

теплонапруженого вузла ГТД - камери згоряння, слід приділяти увагу проблемі нестійкого (пульсаційного) горіння [1-3]. Пульсаційне горіння неприпустимо, оскільки воно супроводжується різким збільшенням шуму, зривами полум'я, руйнуванням камери, поломкою елементів конструкції камери, а також окремих вузлів та агрегатів ГТУ.

Одним з перспективних методів управління нестійким режимом горіння паливо-повітряних сумішей у камері згоряння ГТД є застосування плазмових струменів, які подаються у камері згоряння у протифазі до коливань тиску паливо-повітряної суміші. Використання плазмотрона як стабілізатора пульсаційних процесів у камері згоряння ГТД дозволить розширити діапазон стійкої роботи камери.

Основне завдання досліджень полягало у визначенні залежності пробивної напруги електричної дуги від робочого тиску в каналі плазмового генератора, оптимізації розмірів зазорів між катодом та анодом плазмотрону. В результаті експериментальних досліджень отримані осцилограми напруги на дузі в момент включення джерела живлення, під час стійкої роботи плазмового генератора та при виключенні джерела живлення для різних рівнів споживаних потужностей.

Напруга пробою електродугового проміжку при роботі плазмового генератора в атмосферних умовах перевищує 5 кВ. Робоча напруга на дузі при стійкій роботі плазмотрона в інтервалі споживаної потужності 226-282 Вт склало 1,51-1,02 кВ.

У процесі експериментальних досліджень проведені ресурсні випробування плазмового генератора, що дозволили встановити значне збільшення тривалості роботи електродів (понад 3000 годин).

Висновки:

1. Проведено експериментальні дослідження енергетичних характеристик джерела живлення та генератора низькотемпературної плазми, призначеного для стабілізації полум'я в низькоемісійній камері згоряння ГТД, що працює на газоподібному паливі.

2. Експериментальні дослідження довели ефективність плазмохімічних стабілізаторів з низьким енергоспоживанням при високих тисках робочого тіла (до 3,0 МПа), характерних для номінальних режимів роботи газотурбінних двигунів, а також високий ресурс електродів (понад 3000 годин).

Література:

11. Сербін, С.І. Підвищення стійкості низькоемісійної камери згоряння газотурбінного двигуна / С.І. Сербін, А.В. Козловський // Збірник наукових праць НУК імені адмірала Макарова. – Миколаїв, 2021. – №4 (487). – С. 7–13.

12. Serbin, S., Kozlovskyi, A., & Burunsuz, K. (2021). Influence of plasma-chemical products on process stability in a low-emission gas turbine combustion chamber. *International Journal of Turbo & Jet-Engines*, pp. 000010151520200046. <https://doi.org/10.1515/tjj-2020-0046>

13. Serbin, S. I., Kozlovskyi, A. V., & Burunsuz, K. S. (2016). Investigations of nonstationary processes in low emissive gas turbine combustor with plasma assistance. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 44(12), 2960-2964.

УДК 621.438

ВЕРИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ НЕСТАЦІОНАРНИХ ХІМІЧНОРЕАГУЮЧИХ ПОТОКІВ В НИЗЬКОЕМІСІЙНИХ КАМЕРАХ ЗГОРЯННЯ ГТД

Козловський А. В.

*кандидат технічних наук, доцент кафедри турбін
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна, artem.kozlovskiy@nuos.edu.ua*

Анотація. В роботі наведено результати моделювання пульсаційних процесів у низькоемісійній камері згоряння ГТД. Проведено аналіз нестационарних процесів у малоемісійній камері згоряння ГТД за допомогою сучасних інструментів обчислювальної гідродинаміки. Співставленні результати математичного моделювання робочих процесів з експериментальними даними пульсаційного стану камери згоряння.

Ключові слова: газотурбінний двигун, низькоемісійна камера згоряння, пульсаційне горіння, математичне моделювання.

Одним з ключових завдань при проектуванні низькоемісійної камери згоряння ГТД є забезпечення стійкості процесу горіння. Використання числового експерименту для прогнозування нестійких режимів горіння газоподібного палива дозволяє значно скоротити витрати на етапі проектування камери згоряння ГТД [1-3].

На основі LES-моделі турбулентності розроблена математична модель нестационарних хімічно реагуючих потоків в низькоемісійних камерах згоряння ГТД, яка дозволяє коректно прогнозувати аеродинамічні й хімічні особливості паливоспалюючих пристроїв з урахуванням плазмохімічного впливу на процеси сумішоутворення й кінетики [2-3].

Верифікація запропонованої математичної моделі проведена на базі експериментальних даних, отриманих при дослідженні пульсаційного стану камери згоряння ГТД потужністю 25 МВт із різними конструктивними схемами форсунок, наданих ДП НВКГ “Зоря”-”Машпроект”.

За даними експериментальних досліджень рівні динамічного тиску в КЗ на номінальному режимі роботи ГТД із використанням форсунки з 10 отворами діаметром 1,85 мм не перевищують 5,4 кПа, із використанням форсунки з 5 отворами діаметром 2,6 мм не перевищують 4 кПа, а при постановці форсунки з 18 отворами діаметром 1,5 мм і одним отвором діаметром 1 мм максимальні рівні динамічного тиску в камері згоряння досягали значення 13 кПа.

На рис. 1 представлено порівняння експериментальних і розрахункових значень пульсацій тиску в камері згоряння із різним конструктивним виконанням форсунок. Різниця експериментальних і розрахункових значень при використанні форсунки з 10 отворами склала 3,7 %, з 5 отворами – 10%, з 19 отворами – 11,5 %.

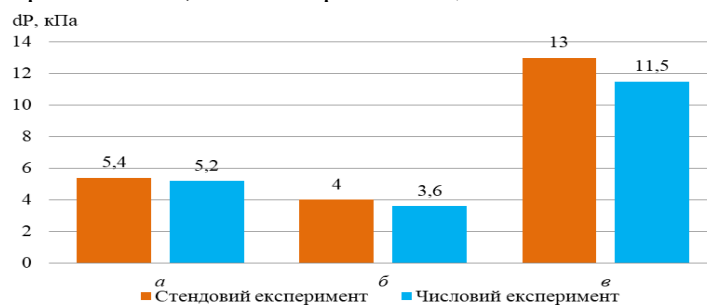


Рис. 1. Порівняння експериментальних і розрахункових значень пульсацій тиску в камері згоряння із різним конструктивним виконанням форсунок:

а – форсунка з 10 отворами; б – форсунка з 5 отворами; в – форсунка з 19 отворами

Отримані результати свідчать про задовільну кореляцію експериментальних і теоретичних даних і можливість використання розробленої математичної моделі нестационарних процесів для вдосконалення геометричних і режимних параметрів низькоемісійних камер згоряння ГТД, що використовують стабілізатори різних типів. Застосування подібних математичних моделей доцільно як при створенні нових зразків низькоемісійних камер згоряння, що працюють на збіднених паливо-повітряних сумішах, так і при модернізації існуючих камер з метою розробки конструктивних заходів, спрямованих на зменшення ймовірності виникнення режимів пульсаційного горіння. Проведені розрахункові й експериментальні дослідження показують, що конструктивний варіант паливної форсунки камери згоряння, що має 5 отворів діаметром 2,6 мм, забезпечує рівні динамічного тиску в КЗ, що не перевищують 4 кПа, і може бути рекомендований для подальшої дослідної й промислової експлуатації в складі ГТД.

Висновки:

1. Розроблена математична модель нестационарних хімічно реагуючих потоків в низькоемісійних камерах згоряння ГТД, яка дозволяє коректно прогнозувати основні характеристики паливоспалюючих пристроїв з урахуванням плазмохімічного впливу на процеси сумішоутворення та кінетики. Порівняння експериментальних і розрахункових даних за максимальною амплітудою статичного тиску в камері, свідчить про їх задовільне узгодження.

2. Проведені розрахункові й експериментальні дослідження показали, що конструктивна схема паливної форсунки, яка має 5 симетрично розташованих отворів діаметром 2,6 мм, забезпечує рівні динамічного тиску в камері згоряння, що не перевищують 4 кПа, і може бути рекомендована для подальшої дослідної й промислової експлуатації у складі ГТД.

Література:

14. Сербін, С.І. Підвищення стійкості низькоемісійної камери згоряння газотурбінного двигуна / С.І. Сербін, А.В. Козловський // Збірник наукових праць НУК імені адмірала Макарова. – Миколаїв, 2021. – №4 (487). – С. 7–13.

15. Serbin, S., Kozlovskiy, A., & Burunsuz, K. (2021). Influence of plasma-chemical products on process stability in a low-emission gas turbine combustion chamber. *International Journal of Turbo & Jet-Engines*, pp. 000010151520200046. <https://doi.org/10.1515/tjj-2020-0046>

16. Serbin, S. I., Kozlovskiy, A. V., & Burunsuz, K. S. (2016). Investigations of nonstationary processes in low emissive gas turbine combustor with plasma assistance. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 44(12), 2960-2964.

УДК 621.51: 628.84

ЕНЕРГОЗБЕРЕГАЮЧІ ТЕПЛОБМІННІ АПАРАТИ СУДНОВИХ СИСТЕМ МІКРОКЛІМАТУ І РЕФРИЖЕРАЦІЇ

Литош О.В.

канд. техн. наук, доцент

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова,

Миколаїв, Україна

olena.lytosh@nuos.edu.ua

Анотація. Необхідною умовою підвищення конкурентоспроможності та задоволення вимог світового ринку судів є раціональне витрачання судном паливно-енергетичних ресурсів і насамперед пов'язаних із споживанням холоду. Метою досліджень є оцінка ефективності застосування в судових системах мікроклімату та рефрижерації трубно-пластинчастих теплообмінних апаратів зі збільшеним кроком ребер. В результаті досліджень встановлено,

що застосування теплообмінних апаратів, що мають уніфіковану трубно-пластинчасту поверхню з кроком ребер 4...6 мм, дозволяє скоротити споживання палива судновими системами мікроклімату та рефрижерації приблизно на 12 %.

Ключові слова: енергозбереження, суднові системи мікроклімату та рефрижерації, трубно-пластинчасті теплообмінні апарати, крок ребер.

Необхідною умовою підвищення конкурентоспроможності та задоволення вимог світового ринку суден є раціональне витрачання на судні паливно-енергетичних ресурсів, насамперед пов'язаних зі споживанням холоду. Про наявність у цьому напрямі значних резервів свідчать результати виконаного автором аналізу статей витрачання палива на судні, які свідчать про те, що частка витрат палива на виробництво електроенергії, споживаної системами мікроклімату та рефрижерації (СМР), для пасажирських суден і суден рибпромислового флоту порівнянн з його витратами на забезпечення ходу судна та складає 20...30 % витрати палива на судні загалом [1].

Підвищені перепади температур у теплообмінних апаратах (ТОА) СМР–повітроохолоджувачах (ПО) і конденсаторах із повітряним охолодженням (ПК) – свідчать про значні резерви скорочення споживаної СМР потужності за рахунок зменшення термічних і аеродинамічних опорів ТОА.

Для ТОА систем кондиціювання повітря (СКП) застосовують трубно-пластинчасті поверхні з кроком ребер $S_p = 2,2$ і $2,8$ мм, чому відповідають коефіцієнти ребер β' близько 13 [2]. Однак поверхню з таким кроком ребер не можна використовувати для ПО систем рефрижерації (СР) через висадку на пластинчастих ребрах і трубках інею та неприпустиме зростання аеродинамічного опору ПО. Щоб уникнути цього, у СР застосовують поверхні зі збільшеним кроком ребер $S_p = 4...6$ мм [3].

Подібна картина спостерігається і для ПК, що розміщуються на палубі суден. Сіль, що міститься у вологому морському повітрі, осідає в міжреберних каналах і трубках ПК і зменшує прохідний переріз із наслідками, що впливають звідси.

Метою досліджень є оцінка ефективності застосування в суднових СМР трубно-пластинчастих ТОА зі збільшеним кроком ребер $S_p = 4...6$ мм (порівняно з кроком $S_p = 2,2$ мм).

У результаті виконаних авторами експериментальних досліджень [3] теплообміну в суднових ТОА з різним кроком ребер S_p (коефіцієнтом ребер β') отримано дані щодо теплової ефективності ТОА, з яких випливає, що зі зменшенням β' від 11,74 до 5,41 (відповідно крок S_p збільшується від 2,2 до 5,3 мм) за швидкості набігаючого потоку повітря 2 м/с коефіцієнт тепловіддачі α_n від повітря до зовнішньої поверхні ТОА зростає приблизно на 40 %, а теплове навантаження зменшується приблизно на 25 %. Незважаючи на те, що збільшення кроку ребер з 2,2 до 4...6 мм призводить до зменшення майже в 2 рази повної зовнішньої поверхні ТОА за тих самих його розмірів, завдяки зростанню α_n в 1,4 рази з'являється можливість скоротити на 30...40 % енергетичні втрати в суднових СМР через зовнішню незворотність у холодильному циклі. Наведемо обґрунтування скорочення цих втрат.

Теплове навантаження Q_0 на ТОА визначається площею теплопередаючої поверхні F_n та інтенсивністю теплообміну, яку характеризує коефіцієнт теплопередачі k

$$k = Q_0 / (F_n \cdot \theta) \quad (1)$$

Тут θ – середня логарифмічна різниця температур між повітрям і холодоагентом. Зазвичай для ТОА суднових СМР θ знаходиться в межах: для ПО – 8...10 °С, для ПК – 10...13 °С [2, 4].

Збільшення коефіцієнта тепловіддачі від повітря до зовнішньої поверхні ТОА на 30...40 % дає змогу на стільки ж збільшити коефіцієнт теплопередачі k [2]. Як випливає з виразу (1), за незмінних Q_0 і F_n на 30...40 % зменшиться θ . Для спрощення розрахунків приймаємо $\theta = 10$ °С, а його зменшення – 30 %. За незмінних температур повітря на вході $t_{в1}$ і

виході $t_{в2}$, з ТОА і його витрати $G_{в}$ це призводить, як показують розрахунки, до підвищення температури кипіння t_0 і зниження температури конденсації t_k приблизно на 3 °С. З [4] відомо, що підвищення t_0 на 1 °С (за незмінних $t_{в1}$, $t_{в2}$, $G_{в}$) призводить до збільшення електричного холодильного коефіцієнта ϵ_e на 3 %, а зниження t_k на 1 °С – до збільшення ϵ_e на 1 %. Отже, при підвищенні t_0 і зниженні t_k на 3 °С, ϵ_e зросте приблизно на 12 %. За незмінного Q_0 приблизно на ту саму величину (12 %) зменшиться споживана компресорами потужність, а отже, на 12 % знизиться споживання палива, пов'язане з виробництвом холоду.

Застосування ТОА, що мають уніфіковану трубно-пластинчасту поверхню з кроком ребер 4..6 мм, дає змогу скоротити споживання палива судновими СМР приблизно на 12 % порівняно з такою самою поверхню, але такою, що має крок ребер 2,2 мм.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Радченко Н.И., Лытош Е.В., Дорош В.С. (2007) Направления сокращения потребления топлива судовыми системами рефрижерации. Зб. наук. праць. Миколаїв: – НУК, С. 97 – 101.
- [2] Захаров Ю.В. (1994). *Судовые установки кондиционирования воздуха и холодильные машины*. С. – Петербург: Судостроение.
- [3] Радченко Н.И., Лытош Е.В., Дорош В.С. (2007) Экспериментальные исследования эффективности трубчато-пластинчатых поверхностей воздухоохладителей судовых систем рефрижерации. Зб. наук. праць. Миколаїв: – НУК, С. 124 – 131.

[4] **Якобсон В.Б. (Ред.). (1977). *Малые холодильные машины*. М: Пищевая промышленность.**

Energy-saving heat exchangers for shipboard microclimate and refrigeration systems

Olena V. Lytosh

Ph. D., associate professor

Admiral Makarov National University of Shipbuilding,

Mykolaiv, Ukraine

Abstract. A necessary condition for increasing competitiveness and meeting the requirements of the world ship market is rational consumption of fuel and energy resources by the ship, first of all those related to cold consumption. The purpose of research esisanestimation of efficiency of application in shipboard microclimate and refrigeration systems of tube-and-plate heat exchangers with the increased rib pitch. As a result of the research, it was found that, the use of heat exchangers having a unified tube-and-plate surface with a fin spacing of 4..6 mm allows reducing fuel consumption by shipboard microclimate and refrigeration systems by about 12 %.

Keywords: energy saving, shipboard microclimate and refrigeration systems, tube-and-plate heat exchangers, rib pitch.

УДК 621.51: 628.84

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРИ ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМАХ (ПУСКЕ, ЗУПИНЦІ) СУДНОВИХ ГЕРМЕТИЧНИХ КОМПРЕСОРНИХ АГРЕГАТІВ**Литош О.В.**

канд. техн. наук, доцент

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова,

Миколаїв, Україна

olena.lytosh@nuos.edu.ua

Анотація. Проведено спеціальні дослідження, які дозволяють визначити параметри та дослідити процеси, що відбуваються під час перехідних режимів (пуск, зупинка) герметичних компресорних агрегатів (ГКА), що працюють на холодоагенті. Були випробувані судові ГКА. Проведені досліди дозволили визначити параметри та пояснити фізичну сутність процесів, що відбуваються при перехідних режимах (пуску, зупинці) ГКА, та обґрунтовано вибрати початкові умови для їх розрахунку.

Ключові слова: герметичний компресорний агрегат (ГКА), перехідні режими ГКА, циліндр, поршень, дослід.

Пуск герметичного компресорного агрегату (ГКА) є невід'ємною частиною циклічної роботи холодильної машини судового автономного кондиціонера і багато в чому залежить від параметрів, що передують пуску, тобто параметрів, які ГКА мав після зупинки. У роботі [1] дослідним шляхом встановлено, що такими параметрами є тиск газу в циліндрі і положення поршня перед пуском. Однак ці дослідні проводилися на повітрі, що не дає змоги зробити правильні висновки.

Метою цієї роботи є визначення параметрів і дослідження процесів, що відбуваються під час перехідних режимів (пуску, зупинки) ГКА, які працюють на холодоагенті.

Нами випробувано судові ГКА: одноциліндровий ФГП-2,2 (діаметр циліндра $D_{ц} = 42$ мм, хід поршня $S = 26$ мм, холодопродуктивність $Q_0 = 2,56$ кВт, електродвигун – трифазний асинхронний із частотою обертання $n = 25$ с⁻¹ за частоти струму 50 Гц) і двоциліндровий (з V-подібним розташуванням циліндрів) КФГВ-14 ($D_{ц} = 42$ мм, $S = 26$ мм, $Q_0 = 16,3$ кВт, електродвигун – трифазний асинхронний, $n = 66,7$ с⁻¹ за частоти струму 400 Гц). Умови їхнього пуску важчі, ніж у ГКА з великим числом і з іншим розташуванням циліндрів.

ГКА випробовували на калориметричному стенді з осцилографуванням процесів, що відбуваються під час зупинки і пуску. Зупинки проводили за температур кипіння t_0 близько 5 °С і конденсації близько 55 °С, тобто на режимі, який передував пуску ГКА за $t_0 = 10$ °С і $t_{к} = 50$ °С.

З осцилограми зупинки ФГП-2,2 випливало, що після припинення подачі електроживлення вал встигав зробити за інерцією один оберт, а газ у циліндрі стискався до тиску конденсації. На другому оберті вала поршень, не дійшовши до ВМТ, різко гальмувався і силами тиску газу відкидався назад, вал набував протилежного обертання, поршень знову гальмувався, знову відкидався назад і т. д. до повної зупинки в районі НМТ. При цьому тиск газу в циліндрі ставав приблизно рівним тиску на всмоктувальній стороні. Час повної зупинки, який визначали за осцилограмами з моменту припинення подачі електроживлення до припинення відміток кута повороту вала, тривав близько 0,45 с.

Після припинення подачі електроживлення вал КХГВ-14 за інерцією здійснював близько чотирнадцяти обертів, щоразу стискаючи газ у циліндрах до тиску конденсації, потім різко гальмувався і відразу ж зупинявся. Тиск у циліндрах також різко падав і

приблизно вирівнювався з тиском на всмоктувальній стороні. Зупинка компресора тривала близько 0,55 с.

Для визначення впливу положення поршня в момент пуску на його тривалість було проведено пуски ФГП-2,2 за зниженої (0,85 номінальної) напруги мережі та положень поршня, що відповідають кутам $0,135$ і 225° (початок відліку від ВМТ) з осцилографуванням процесів. Діаметральний зазор 2Δ між поршнем і циліндром був один і той самий.

З осцилограм випливало, що найменший час пуску (0,11 с) відповідав положенню поршня за кута повороту вала $\varphi = 0^\circ$, а найбільший (0,25 с) – $\varphi = 225^\circ$.

Подібне явище можна пояснити таким чином.

У перших двох випадках (за $\varphi = 0^\circ$ і $\varphi = 135^\circ$) перший період пуску відбувається без навантаження, і до початку стиснення інерційні маси встигають розігнатися до величини, достатньої для подолання піку навантаження. ГКА розганяється приблизно за півтора оберти і час пуску мало відрізняється (0,11 і 0,16 с).

У третьому випадку ($\varphi = 225^\circ$) момент обертання, що розвивається електродвигуном, витрачається на розгін інерційних мас і на подолання навантаження, оскільки йде процес стиснення. При досягненні в циліндрі тиску конденсації ГКА гальмується і після того, як газ із циліндра перейде через зазор 2Δ на бік всмоктування, ГКА знову розганяється і досягає ВМТ. Рухаючись до НМТ без навантаження, ГКА набуває швидкості, достатньої для подолання піку навантаження і розганяється за два оберти, а час пуску значно більший, ніж у перших двох випадках (0,25 с).

Досліди з визначення найімовірнішого положення поршня після 100 зупинок ГКА під навантаженням, тобто перед наступним пуском, дали змогу встановити таке.

Найімовірніше положення поршня після зупинки під навантаженням одноциліндрового ФГП-2,2 лежить у діапазоні $180\dots 225^\circ$, де протидіючий момент практично дорівнює нулю. Через оглядове вікно в кожусі було видно, як вал ГКА під навантаженням гальмувався за частки секунди, а потім силами тиску газу, що діють на поршень, переміщався у зворотному напрямку і після коливань вал (поршень) зупинявся в районі НМТ.

Виявити найімовірніше положення поршнів після зупинки двоциліндрового КФГВ-14 виявилось важче. Випробування показали, що після вимкнення електроживлення вал за інерцією встигав зробити ще близько чотирнадцяти обертів, а потім різко зупинявся практично в будь-якому положенні. Однак багаторазове повторення дослідів дало змогу встановити діапазон кутів $100\dots 130^\circ$, в якому ГКА зупиняється частіше. Для подальшого пуску це найважча умова, оскільки електродвигуну необхідно розвивати момент, достатній і для розгону інерційних мас, і для подолання опору послідовно двох циліндрів.

Проведені досліді дали змогу визначити параметри і пояснити фізичну сутність процесів, що відбуваються під час перехідних режимів (пуску, зупинки) ГКА, і обґрунтовано вибрати початкові умови для їхнього розрахунку.

ЛІТЕРАТУРА

[1] Редкозуб Б.Д., Дорош В.С. (1971). Исследование пускового режима герметичного поршневого компрессора. Холодильная техника, (3), 24 – 27.

Determination of parameters at transient modes (start-up, shutdown) of marine hermetic compressor units

Olena V. Lytosh

Ph. D., associate professor

Admiral Makarov National University of Shipbuilding,

Mykolaiv, Ukraine

Abstract. Special studies have been carried out, which allow to determine the parameters and investigate the processes occurring during transient modes (start-up, stop) of hermetic compressor units (HCU) operating on refrigerant. Shipboard HCU were tested. The conducted experiments

allowed us to determine the parameters, explain the physical essence of the processes occurring in the transient modes (start, stop) of the HCU, and reasonably select the initial conditions for calculation.

Keywords: hermetic compressor unit (HCU), transition operation of HCU, cylinder, piston, experiment.

УДК: 621.43

**ПОКРАЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ
ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ТАНКЕРА КЕРУВАННЯМ
РЕЖИМАМИ РОБОТИ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ**

Калініченко І.В., к.т.н., доцент б.в.з; **Юрковський Ю.В.** магістр
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
Херсонський навчально-науковий інститут НУК, м. Херсон
ivan.kalinichenko@nuos.edu.ua

***Анотація.** В роботі показано, що необхідний рівень тиску і необхідні характеристики впорскування палива з форсункою з вбудованим паливним акумулятором тиску можуть бути забезпечені сучасними системами з електронним керуванням типу Common Rail. Впровадження даної системи є одним із способів поліпшення паливної економічності і підвищення екологічної безпеки суднових дизельних установок.*

***Ключові слова:** форсунка з вбудованим паливним акумулятором тиску; впорскування палива; Common Rail.*

Актуальність теми.

Процес подачі палива поряд з газорозподілом найбільшою мірою визначає ефективність роботи дизельного двигуна, фіксуючи характер протікання тепловиділення в циліндрі двигуна і тим самим ефективність його роботи. Можливості управління цими процесами розширюються завдяки інтеграції інтелектуальних мікропроцесорних систем управління та акумуляторних систем подачі палива Common Rail (CR) двигунів, які використовуються на суднах у якості головних ДВЗ. Специфічні умови експлуатації суднових дизелів вступають в корінне протиріччя з концепцією загального акумулятора тиску - паливною рампою, що набула широкого поширення в конструкції системи малорозмірних двигунів, що працюють на легкому дизельному паливі. Так, різні види палива, які повинен використовувати двигун, визначають широкий температурний діапазон по паливу: +25...+150 °С. Це, в свою чергу, викликає істотну відмінність в лінійному тепловому розширенні загальної рампи, створюючи високі термічні напруги в конструкції, які підсумовуються з механічними напруженнями від тиску палива, здатні перевищити межу міцності матеріалу. Одночасно довга рампа конструктивно потребує з'єднаннях з кожним циліндром. У цьому випадку неминуче виникнення і розподіл по корпусу додаткових концентраторів напружень, істотно знижують надійність вузла і системи в цілому. Виходячи з цього розробники MAN Diesel & Turbo впроваджують концепцію сегментації, розділяючи акумулятор на кілька блоків відповідного обсягу і застосовують, по крайній мірі, два насоси високого тиску для шестициліндрового двигуна [1].

Мета роботи – є підвищення екологічних показників та паливної ефективності дизель-генератора шляхом контролю параметрів роботи голки паливної форсунки з вбудованим паливним акумулятором тиску.

Основна частина. При створенні системи CR для суднових середньо- і малооборотних дизелів з циліндричної потужністю до 300 кВт при 720 ... 1200 хв⁻¹ і цикловою подачею понад 4 г/цикл зверталася увага на флуктуації тиску палива в рампі, які чинять негативний вплив на параметри впорскування [2]. При цьому істотне збільшення

обсягу акумулятора для згладжування пульсацій тиску тягне за собою адекватне зростання навантажень на стінки акумулятора, що провокують його руйнування. Цей факт вимагав для великорозмірних стаціонарних і судових ДВЗ переглянути концепцію системи і ввести в конструкцію додаткові індивідуальні акумулятори для кожної форсунки (групи форсунок).

Поряд з тиском упорскування, яке впливає на витрати палива і викиди, важливим є закон упорскування. Закон уприскування визначає, коли і скільки палива впорскується в циліндр. Для того щоб зменшити викиди і витрата палива на даному етапі еволюції системи упорскування для двигунів, пропонується ділити послідовність упорскування палива на три окремі фази (рис. 1). Основна фаза уприскування палива визначає потужність двигуна. Попередня фаза уприскування ініціює раннє згоряння, щоб забезпечити контрольоване горіння палива в основній фазі уприскування.

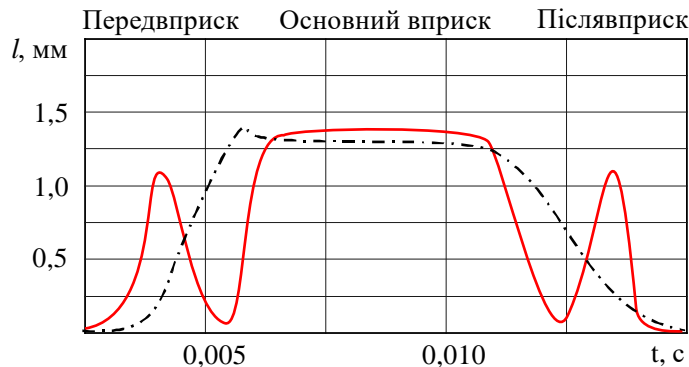


Рисунок 1. Витрати палива при роботі форсунки з вбудованим паливним акумулятором тиску, l - підняття голки форсунки, мм; _____ з системою CR; - - - газорозподільчим валом

Це зменшує викиди оксидів азоту, так як більш плавне протікання процесу тепловиділення, що відбувається в цьому випадку, запобігає досягнення високих температур в циклі дизельного двигуна. Фаза послевприска, наступна безпосередньо після основної фази вприскування палива, знижує викиди твердих частинок за рахунок більш повного перемішування палива та повітря під час пізньої фази згоряння (фази догорання).

Залежність роботи форсунки з вбудованим паливним акумулятором тиску з системою CR на екологічні показники дизель-генератора "MAN" 5L28/32H представлені на рис. 2, з якого видно, що при використанні контрольованого тиску впорскування палива (суцільна лінія) та форсунки з вбудованим паливним акумулятором тиску вдається забезпечити подачу палива з максимальним тиском. Це дозволяє зменшити утворення токсичних речовин у відхідних газах ДВЗ на 7...16 % при завантаженні дизель-генератора на 50...75 %.

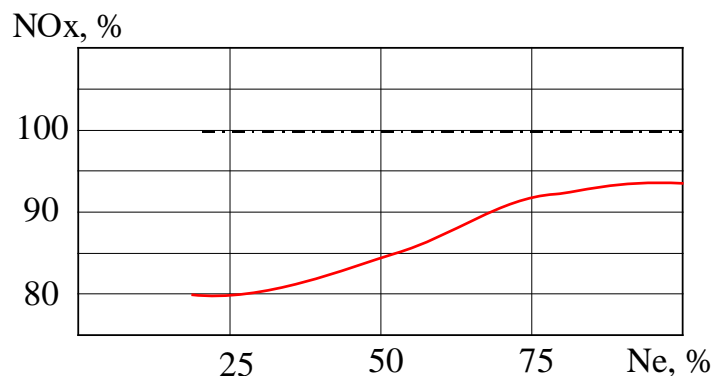


Рисунок 2. Зміни утворення токсичних речовин у відхідних газах ДГ фірми "MAN" 5L28/32 H при використанні форсунки з акумулятором тиску

Підвищення тиску подачі палива здатне збільшити дисперсність розпилювання палива, кут розкриття паливного факела і, в результаті, дозволяє більш повно використовувати свіжий заряд циліндра в процесі згоряння. Ці явища сприяють скороченню емісії незгорілих вуглеводнів, сажі та оксидів азоту з відпрацьованими газами сучасних дизельних двигунів.

На рис. 3 представлені результати впливу роботи системи CR з форсункою із вбудованим паливним акумулятором тиску на паливну ефективність дизель-генератора "MAN" 5L28/32H.

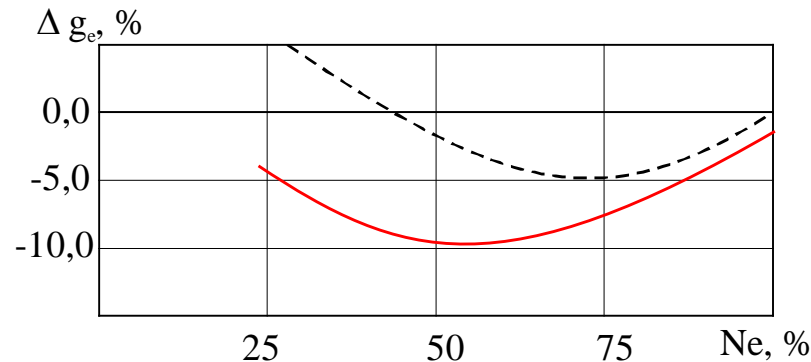


Рисунок 3. Вплив витрати палива дизель-генератора фірми "MAN" марки 5L28/32H при використанні форсунки з акумулятором тиску

З рис. 3 видно, що при регулюванні відкриття голки паливної форсунки з вбудованим паливним акумулятором тиску на завантаженні дизель-генератора 5L28/32H фірми "MAN" з системою CR в діапазоні 50...75 % призводить до зменшення витрати палива на 4...9 %.

Висновки.

При використанні контрольованого тиску впорскування палива та форсунки з вбудованим паливним акумулятором тиску вдається забезпечити подачу палива з максимальним тиском, що дозволяє зменшити утворення токсичних речовин NOx у відхідних газах ДВЗ на 7...16 %, і збільшити паливну ефективність на 4...9 % при завантаженні дизель-генератора на 50...75 %.

Використана література

1. Konovalov, D., Kobalava, H., Radchenko, M., Gorbov, V., Kalinichenko, I. Development of the Gas-Dynamic Cooling System for Gas Turbine Over-Expansion Circuit. In: Ivanov, V., Pavlenko, I., Liaposhchenko, O., Machado, J., Edl, M. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing V. DSMIE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering, pp 249–258. Springer, Cham (2022). https://doi.org/10.1007/978-3-031-06044-1_24.

2. *Common Rail Design & Field Experience* (2022). MAN Diesel & Turbo, 21.

IMPROVEMENT OF THE PERFORMANCE INDICATORS OF THE TANKER POWER PLANT BY CONTROLLING THE OPERATION MODES OF THE FUEL EQUIPMENT

Kalinichenko I., Yurkovskiy Y.

Annotation. It has been shown that the required pressure level and the required fuel injection characteristics with an injector with built-in fuel pressure accumulator can be provided with modern electronic control systems such as Common Rail. Implementation of this system is one of the ways to improve fuel efficiency and increase the environmental safety of ship diesel plants.

Keywords: nozzle fuel pressure accumulator; fuel injection; Common rail

UDC 539.3

GAS TURBINE ENGINE ROTORS STRESS-STRAIN STATE DETERMINATION
UNDER THE VIBRATION LOAD**Serhii Morhun**

PhD (Tech),

Associate Professor, Department of Engineering mechanics and technology of machinebuilding,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Mykolaiv, Ukraine

serhii.morhun@nuos.edu.ua**Mykola Semenov**Lecturer, Department of Operation of Ship Power Plants and Thermal Power Engineering, Admiral
Makarov National University of Shipbuilding

Mykolaiv, Ukraine

mykola.semenov@nuos.edu.ua**Ruslan Honcharuk, Evgen Lutsenko, Andrii Ogorodnik**Students, Department of Engineering mechanics and technology of machinebuilding, Admiral
Makarov National University of Shipbuilding

Mykolaiv, Ukraine

Abstract. *The method of the highly loaded gas turbine non-cooled impeller with damping links vibration research is described. Using the finite element method, a refined mathematical model was developed for the impeller's section, consisting of a disk sector and a bandaged blade. The developed mathematical model takes into consideration the structural heterogeneity of the blade itself and the disk. The results of the impeller vibration stress-strain state, caused by the influence of non-stationary gas flow determination, can be used for the rotor stress-strain state calculation.*

Key words: *gas turbine rotor, impeller, forced vibration, stress-strain state, non-stationary gas flow, vibration load.*

The development of a set of measures for the gas turbines reliability increase is not feasible without a detailed study of vibration processes occurring in such critical details as impellers, influenced by non-stationary gas-dynamic forces of high temperature. However, as follows from the above analysis of recent research on this topic, some important aspects remain insufficiently illuminated, therefore, it is necessary to develop a refined mathematical model of the impeller forced vibration. It is also necessary to take into consideration the significant constructional heterogeneity of the impellers cooled blades. Therefore, the aim of this work is to develop a refined mathematical model of the marine gas turbine cooled impeller with damping links, based on the usage of finite elements method. Full description of the finite elements that are suitable for the impeller correct modeling is given in the works [1 – 8]

The task of the gas turbine impeller forced vibration amplitudes and frequencies determining is given. It is also assumed that the considered system of solid bodies (impeller) has the properties of cyclic symmetry. So it can be interpreted as a set of h subsystems (sections) with the same geometric, inertial and stiffness properties [7]

The finite element model of an impeller blade was built on the basis of superparametric curvilinear finite elements. Each of them consisted of 20 nodes with 5 degrees of freedom in every node. The damper links, connecting the blades in a unity were modeled using a rod finite element. The disk model included 230 first-order hexagonal finite elements with 1254 degrees of freedom totally [9].

In order to study the practical suitability of the developed mathematical model, calculations of the second stage gas turbine impeller forced vibration amplitudes and frequencies are calculated. As it is well-known, for the marine gas turbine engines there are two main constructional types of

the impellers: an impeller with a disk having a central shaft hole and with a solid disk. The heterogeneity of the gas flow, which is the main source of the impeller forced vibration, was set by the deviation of the nozzle vanes installation angle from its nominal value. Also the unevenness of the twist angle along the blades height was taken into consideration. In addition, damping was taken into account at the points of contact between the blades, the blades and the disk and the blades and damper links.

References.

1. *Samaras C.* Emissions and lifetime estimation modeling of industrial gas turbines. / C. Samaras // M. Sc. Progress Review, Cranfield University, UK, 2009. P. 30–35.
2. *Krishnakanth P. V.* Structural and Thermal Analysis of Gas Turbine Blade by using FEM / P. V. Krishnakanth, G. Narasa Raju et. al. // International Journal of Scientific Research Engineering and Technology. 2013 Vol. 2, Issue 2. P. 060–065.
3. *Mrinaline M.* Steady state structural analysis of single crystal turbine blade / M. Mrinaline // International Journal of Engineering Research and Technology. 2016. Vol. V5, Issue 10. P. 382–384. doi: 10.17577/ijertv5is100314
4. *Rzadkowski R.* Unsteady forces acting on the rotor blades in the turbine stage in 3D viscous flow in nominal and off-design regimes / R. Rzadkowski, V. Gnesin, L. Kolodyazhnaya // Journal of Vibration Engineering, and Technologies. 2014. Vol. 2, Issue 2. P. 89–95.
5. *Postnov V.V.* Theoretical and experimental stress-strain analysis of machining gas turbine engine parts made of the high energy structural efficiency alloy / V. V. Postnov, S. V. Starovoitov, S. Yu. Fomin, R. R. Basharov // Journal of Engineering Science and Technology Review. 2014. Vol. 7, Issue 5. P. 47–50.
6. *Sosunov V.A.* The theory, calculation and design of the aircraft engines / V. A. Sosunov, V. M. Chepkin // Moscow: Mosk.energ. in-t., 2003. 677 p.
7. *Pyhalov A.A.* Static and dynamic analysis of the turbine rotors assemblies / A. A. Pyhalov, A. E. Milov // Irkutsk: Izd-vo Irkut. tekhn. un-ta, 2007. 194 p.
8. *Morgun S.* The blades constructions finite elements models development / S. Morgun // Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: New Solutions in Modern Technologies. 2016. Issue 42 (1214). P. 86–91. doi: 10.20998/2413-4295.2016.42.14
9. *Morhun S.* The influence of the blade feather constructional inhomogeneity on the turbine cooling blades stress-strain state // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Series: Applied Mechanics. 2018. Issue 2/7 (92). P. 11-17. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.125937.

UDC 539.3

GAS TURBINE ENGINE ROTORS FATIGUE STRENGTH PARAMETERS DETERMINATION

Natalia Smetankina

Dr. Sc., Professor, Department of Vibration and Thermostability Studies, Anatolii Pidhornyi
Institute of Mechanical Engineering Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2/4
Dmytra Pozharskogo Street, Kharkiv, Ukraine

n.smetankina@ukr.net

Serhii Morhun

PhD (Tech),

Associate Professor, Department of Engineering mechanics and technology of machinebuilding,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Mykolaiv, Ukraine

serhii.morhun@nuos.edu.ua

Abstract. *The method of the highly loaded gas turbine rotor fatigue strength is described. Using the finite element method, a refined mathematical model was developed for the impeller's section, consisting of a disk sector and a bandaged blade. The developed mathematical model takes into consideration the influence of the non-stationary gas flow, high temperature and the rotor rotation and vibration load. The results of the rotor fatigue strength calculation can be used for the rotor life cycle estimation.*

Key words: *gas turbine rotor, impeller, fatigue strength, vibration load, .*

In practice, many machine parts and structures used in various fields and, in particular, turbomachinery perfectly perform their functions in the initial period of operation, but then they are often destroyed for fatigue reasons due to the actions of repeated variables thermomechanical stresses. However, the assessment and calculation of the strength of these parts presents many difficulties, especially for turbine rotors with blades of complex geometric forms, due to their operation under special under the influence of non-stationary thermomechanical loads [1]. Therefore, it is necessary to investigate the problem of thermomechanical fatigue, in order to find new approaches to assessing the resource and strength of parts in accordance with modern engineering requirements. Thus the work aim is to solve the problem of turbine rotors endurance and identify patterns of vibration load and high temperature influence on their dynamic characteristics. For the problem solution the following issues were considered: - development of mathematical models for analyzing dynamics and fatigue strength of turbine rotors, taking into account the influence of high temperature. In these mathematical models of the influence of temperature on the turbine blades the change in the physical properties of the material is taken into account (modulus elasticity, coefficient of thermal expansion of the material, etc.) [2 – 5].

Using the results of previous researches where the influence of non-stationary gas flow, thermal load and rotation on the turbine rotor have been investigated we obtained the results of turbine rotor fatigue strength investigation. The usage of FEM analysis allows to increase the efficiency and reliability of design of turbomachinery elements and provide the necessary accuracy of fatigue strength calculations under various hypotheses of fatigue damage accumulation, such as the Sørensen-Kozlov, Haibach, Corten-Dolan.

References.

10. *Samaras C.* Emissions and lifetime estimation modeling of industrial gas turbines. / C. Samaras // M. Sc. Progress Review, Cranfield University, UK, 2009. P. 30–35.
11. *Raymond B.* Calculating and Displaying Fatigue Results / B. Raymond. - Product Manager New Technologies ANSYS: Development Engineer, 2006. — 42 p.
12. *Repetskiy O. V.* Numerical analysis of mechatronic system fatigue life by simulation of temperature stress / O. V. Repetskiy, Bui Manh Cuong // Proc. of the IFToMM 1. International symposium on robotics and mechatronics. — Hanoi.-2009.-P. 34-42.
13. *Vorob'ev Yu. S.* Problems of numerical analysis, of a set of blades of rotor machines / Yu. S. Vorob'ev // Proc. Inter. Conf. Dynamics of Rotor Systems Kamenets - Podolskiy. - 1996. - P. 89-91.
14. *Sosunov V.A.* The theory, calculation and design of the aircraft engines / V. A. Sosunov, V. M. Chepkin // Moscow: Mosk.energ. in-t., 2003. 677 p.

УДК 620.178.5

ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СУДОВИХ МАШИН І МЕХАНІЗМІВ

Свиридов В.І.

кандидат технічних наук,

доцент кафедри суднового машинобудування та енергетики

Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування

імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

viacheslav.svyrydov@nuos.edu.ua

Анотація. Проводиться аналіз різних моделей вібрацій, діагностичних параметрів та діагностичних ознак дефектів, на прикладі суднового електричного устаткування, і в результаті пропонується адитивно-мультиплікативна модель вібрацій.

Ключові слова Вібродіагностика, діагностичні ознаки, діагностичні параметри, вібраційні показники, тангенційні та радіальні вібрації.

Загальна постановка проблеми та її зв'язок із науково-технічними завданнями. Технічне діагностування, будучи одним із найважливіших напрямів у підвищенні ефективності та якості експлуатації судових машин та механізмів, збільшує міжремонтне напрацювання, своєчасно запобігає відмовим і відповідно скорочує витрати праці та засобів на їх технічне обслуговування та ремонт.

Актуальною науковою проблемою залишається підвищення ефективності вібраційної діагностики, заснованої на вимірі та аналізі параметрів сигналу вібрації, розробка нових методів та засобів оцінки технічного стану судових технічних засобів [1].

Огляд публікацій та аналіз невирішених проблем. Вібродіагностика є одним із найефективніших методів функціональної технічної діагностики судових машин та механізмів. Проте аналіз наукових праць з діагностування показує, що до цього часу єдиної методології у питанні вибору діагностичної моделі немає.

Мета досліджень. Визначити узагальнену модель вібрацій з метою оцінки технічного стану судових машин і механізмів (всіх типів).

Результати досліджень. Проведений авторами фізико-технічний аналіз судових машин та механізмів показує, що їх вібрації визначаються безліччю коливальних сил різного характеру, різної фізичної природи, а також джерелами від працюючих машин і механізмів. Вібраційні дослідження різних судових машин та механізмів показують, що для ефективного діагностування того чи іншого вузла об'єкта діагностування доцільно використовувати різні моделі сигналу вібрації. Залежно від виду дефекту ЕМ або відхилень параметрів якості електроенергії від номінальних значень діагностичними ознаками можуть бути:

- збільшення рівнів певних гармонійних складових корпусу ЕМ, виміряних у радіальному L_R та (або) тангенціальному напрямках L_T ;
- поява нових гармонійних складових вібрації;
- виникнення амплітудної (АМ) або кутової (КМ) модуляції гармонійних складових вібрації певною частотою;
- збільшення рівнів складових на частотах у кепстрі сигналу вібрації.

1. Діагностичною ознакою появи обривів і коротких замикань (КЗ) в обмотках статора асинхронних електродвигунів (АД) і синхронних машин (СМ) є збільшення рівнів тангенціальної вібрації L_T на частоті $2f_{пс}$, де $f_{пс}$ - частота напруги живлення (мережі живлення).

Діагностичним параметром для оцінки глибини дефекту є різниця рівнів ΔL вібрації, виміряних у тангенціальному $L_{ТН}$ та радіальному $L_{РН}$ напрямках на частоті $2f_{пс}$ під навантаженням: $|L_{ТН}(2f_{пс}) - L_{РН}(2f_{пс})| = \Delta L_{н1}$, дБ

Слід зазначити, що з визначенні порогових значень діагностичних параметрів кожної конкретної ЕМ визначають початковий поріг $\Delta L_{н1}$, характеризує її справне функціонування.

Тоді граничний поріг, що характеризує появу розвиненого дефекту та його граничну допустиму величину, як показує досвід експлуатації, дорівнює $\Delta L_{н1} + 6\text{дБ}$.

2. Діагностичною ознакою появи обривів та КЗ в обмотках якоря або дефектів пластин колектора машин постійного струму (МПС) є збільшення L_T на щіткових частотах: $F_{щ} = kN F_{ВР}$, де N число щіткових пальців; $k = 1, 2, 3, \dots$ кратність гармоніки. Діагностичним параметром для оцінки глибини дефекту є:

$$|L_{ТН}(F_{щ}) - L_{RH}(F_{щ})| = \Delta L_{н2}, \text{ дБ} \quad (1)$$

3. Діагностичною ознакою появи обривів та КЗ в обмотках ротора АД є виникнення гармонійних складових радіальної вібрації на частотах пропорційних $F_{ВР}$ частотою $2F_s$; де $F_{ВР} = n/60$ – частота обертання ротора, Гц; n - швидкість обертання ротора, хв^{-1} ; $F_s = S F_{ПС}$ – частота ковзання, Гц; S - ковзання ротора АД, яке вимірюється слі за спектром вібрації:

$$S = (F_{ПС} - P F_{ВР}) / F_{ПС}, \text{ Гц, де } P - \text{кількість пар полюсів АД.}$$

Діагностичним параметром для оцінки глибини дефекту є відношення β/S , де β - індекс модуляції, визначається $\Delta L = |L_{RH}(F_{ВР}) - L_{RH}(F_{ВР} \pm 2F_s)|$ або за формулою:

$$\beta = (0,5 \times 10^{\Delta L/20})^{-1} \quad (2)$$

Для більшості справних АД відношення складає $\beta/S < 0,4$

4. Діагностичною ознакою появи обривів та КЗ в обмотках збудження багатополюсних СМ є виникнення АМ гармонійних складових радіальної вібрації на частотах kF_3 частотою $F_{ВР}$. Діагностичним параметром для оцінки глибини дефекту є глибина модуляції, яка визначається за формулою:

$$m = (0,5 \times 10^{\Delta L/20})^{-1} \times 100\%, \quad (3)$$

де $\Delta L = |L_{RH}(kF_3) - L_{RH}(kF_3 \pm F_{ВР})|$ - різниця рівнів вібрації, виміряних у радіальному напрямку на частотах kF_3 і $kF_3 \pm F_{ВР}$ під навантаженням.

5. Діагностичною ознакою порушення нормальних умов комутації в МПС є збільшення A_R або A_T на частотах F_3 , F_K та $N F_K$, де $F_K = k Z_K F_{ВР}$ – частота вібрації колектора, де Z_K – число колекторних пластин; N – число щіткових пальців; $k = 1, 2, \dots$ – номер гармоніки.

6. Діагностичною ознакою появи механічних дефектів ротора (дисбалансу ротора) ЕМ та насадженого на її вал вентилятора є збільшення $L_R(F_{ВР})$.

8. Діагностичною ознакою зношування радіального зазору в підшипнику кочення ЕМ є збільшення $L_{ТН}(F_C)$ або $L_{RH}(F_C)$. Діагностичним параметром оцінки глибини дефекту є рівень вібрації $L_{ТН}(F_C)$ чи $L_{RH}(F_C)$.

9. Діагностичною ознакою появи пульсацій напруги в мережі постійного струму є виникнення складових тангенціальної вібрації на частотах пульсацій $F_{П}$. Діагностичним параметром для оцінки глибини дефекту є: $|L_{ТН}(F_{П}) - L_{RH}(F_{П})| \leq \Delta L_{н6} + 6 \text{ дБ}$

10. Діагностичною ознакою появи низькочастотної модуляції напруги живлення є виникнення складових тангенційної вібрації на частотах модуляції F_M . Діагностичним параметром для оцінки глибини дефекту є: $|L_{ТН}(F_M) - L_{RH}(F_M)| \leq \Delta L_{н7} + 6\text{дБ}$. Відзначаємо, що при визначенні порогових значень діагностичних параметрів для кожної конкретної ЕМ визначають початковий поріг $\Delta L_{Н1}$, який характеризує її справне функціонування, тоді граничний поріг, що характеризує появу розвиненого дефекту та його граничну допустиму величину, як показує досвід експлуатації, дорівнює $\Delta L_{н7} + 6 \text{ дБ}$. Тоді, як видно з наведених вище дефектів ЕМ та їх діагностичних ознак і параметрів, узагальненою моделлю реальних вібрацій є адитивно-мультиплікативна модель.

Висновки:

1. Для ефективної оцінки технічного стану судового устаткування доцільно використовувати комплексну діагностичну модель, в основі якої лежать комбіновані методи вібродіагностики (адитивно-мультиплікативну модель вібрацій) та параметри функціонування (додаткові діагностичні параметри).

2. Перспективним подальшим напрямом досліджень є використання якості діагностичного параметра різниці рівнів ΔL , що дозволить не тільки спростити процес діагностування, а й створити спеціалізовані діагностичні прилади.

Література

- [1]. Справочник под редакцией В. В. Клюева «Неразрушающий контроль и диагностика»; 3-е изд. -М.: «Машиностроение». 2005г. - с. 600-612;
- [2]. Інформаційне забезпечення моніторингу об'єктів теплоенергетики: Монографія. В.П. Бабак та ін., за ред. В.П. Бабака. К., Ін-т техн. теплофізики НАН України, 2015, 512 с.
- [3]. Красильников А.И. Модели шумовых сигналов в системах диагностики теплоэнергетического оборудования. К., Ин-т технической теплофизики НАН Украины, 2014, 118с.
- [4]. Яворський І.М. Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань. Львів, ФМІ НАНУ, 2013, 804 с.

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF JUDICIAL MACHINES AND MECHANISMS

Svyrydov Viacheslav

candidate of technical sciences,

Associate Professor of the Department of Ship Mechanical Engineering and Power Engineering, Kherson Educational and scientific institute of National Shipbuilding University named after Admiral Makarov Mykolaiv, Ukraine

Abstract. An analysis of various vibration models, diagnostic parameters and diagnostic signs of defects is carried out, using the example of ship electrical equipment, and as a result, an additive-multiplicative vibration model is proposed.

Keywords. Vibration diagnostics, diagnostic signs, diagnostic parameters, vibration indicators, tangential and radial vibrations.

УДК 620.178.5

ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

Надольский В.В. магістр НУК

м.Миколаїв, Україна

Анотація. Застосування термічною та хіміко-термічною обробкою сплавів та металів для їх підвищення стійкості при застосуванні агресивних середовищ. Це дозволить при збереженні міцності конструкцій застосовувати більш дешеві при забезпеченні міцності, довговічності механізмів під час їх експлуатації на судні.

Ключові слова: хіміко-термічна обробка, дифузія, азотування, азотований шар

Створення надійних в експлуатації машин потребує застосування високоміцних матеріалів та удосконалення методів їх обробки. До таких методів належать термічна та хіміко-термічна обробки. Їх удосконалення дозволить підвищити міцність і довговічність машин, змінити багато коштовні метали на більш прості і дешеві.

Термічною та хіміко-термічною обробкою досягається поверхневе зміцнення металів і сплавів, підвищення стійкості металів і сплавів, проти дії агресивних середовищ в різних температурних умовах.

ХТО сталі заснована на дифузії в кристалічну решітку заліза атомів різних хімічних елементів при нагріванні сталевих виробів в середовищах багатих цими елементами. До найбільш розповсюджених видів ХТО відносяться цементація, азотування та ціанування.

У виконаній роботі ретельно розглянут процес азотування (сутність, режими, методи захисту не азотуваних поверхонь, дефекти при азотуванні).

Наприклад, суттєвий вплив на азотування виявляє температура процесу. З підвищенням температури швидкість дифузії різко збільшується.

Це дає можливість одержувати в один і той самий час більш глибокі азотувані шари. Однак, збільшення швидкості дифузії при підвищенні температури супроводжується зниженням поверхневої твердості, внаслідок зниження дисперсності нітридів. На рис.1 показано вплив температури та тривалості процесу на твердість і глибину азотуваного шару для різноманітних сталей.

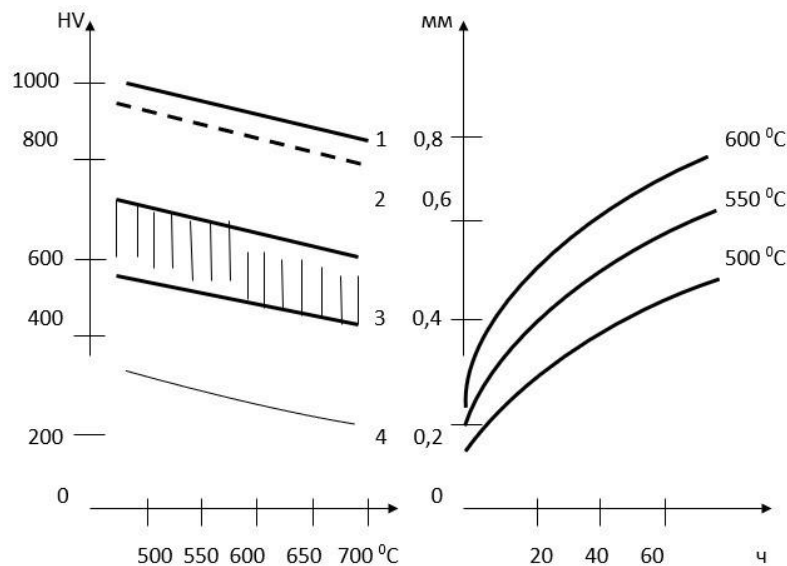


Рис.1. Вплив температури і тривалості процесу на твердість та глибину азотуваного шару: 1 – сталь 38ХМЮА; 2 – сталь 38ХВФЮА; 3 – сталь 40Х, 18Х2Н4ВА; 4 – сталь 30, 40, 45.

При зниженні температури азотування виділяються високодисперсні нітриди. З підвищенням температури коагуляція цих нітридів протікає дуже повільно. Тому доцільно вести процес з початку при зниженій температурі для отримання високої твердості шару, а потім продовжити процес при більш високій температурі для збільшення глибини азотуваного шару. При такому ступінчастому азотуванні тривалість процесу може бути скорочена в 2-2,5 рази.

УДК 620.178.5

СУЧАСНА ТЕРМООБРОБКА АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

Клочков О.О., магістр НУК
м.Миколаїв, Україна

Анотація: Застосування імпульсна лазерна обробка, як одного з можливих способів обробки ливарних алюмінієвих сплавів для надання їм необхідних якостей при застосуванні в судновій енергетиці. Дослідження режимів оплавлення поверхні та термозміцнення, тобто предоплавлення поверхонь для збільшення їх працездатності.

Ключові слова: ливарні алюмінієві сплави, термічна обробка, працездатність, імпульсна лазерна обробка

У сучасному машинобудуванні широко застосовують ливарні алюмінієві сплави (ЛАС) для отримання деталей складної конфігурації та с підвищеним коефіцієнтом використання матеріалу.

В залежності від хімічного складу ЛАС поділяються на п'ять груп, а за призначенням конструкційні ЛАС поділяють умовно на сплави з високою герметичністю, жароміцні сплави та корозійностійкі сплави. Всі вони в своєму складі мають в основі алюміній та різноманітні

легуючі добавки. Від цих добавок залежать їх фізико-хімічні, технологічні властивості, експлуатаційне призначення і та інше.

З метою покращення експлуатаційних вимог ЛАС піддають термічній обробки. Встановлено вісім видів термічної обробки (Т1...Т8).

У зв'язку з цим особливе значення мають дослідження локальних видів дій на поверхню готових виробів (електронно-промінева, лазерна обробка) з метою підвищення їх експлуатаційних характеристик. Одним з видів такого зміцнення є імпульсна лазерна обробка (ІЛО), котра в залежності від вимогаємих властивостей може використовуватись як в режимі оплавлення поверхні (з модифікацією поверхневих шарів або без), так і в режимі термозміцнення (предоплавлення) поверхні. Другий режим призводить до більш високих значень мікротвердості і, як слідство, підвищенню працездатності зміцненої поверхні.

УДК 620.178.5

СУЧАСНІ МЕТОДИ ЗМІЦНЕННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Калачова О.В., магістр НУК

м.Миколаїв, Україна

Анотація: Дослідженн магнітно-імпульсної обробки зубів коліс та шестерень механічних передач для їх зміцнення. Цей спосіб дозволяє досягти збільшення тепло-та електропровідності матеріалу, зменшити збиткову енергію матеріалу, що пов'язано з концентрацією внутрішніх та поверхневих напруг та додатково покращити полярну орієнтацію електронів атомів, що поліпшує і механічні властивості матеріалу.

Ключові слова: зубчасті елементи коліс, магнітно-імпульсна обробка, довговічність, намагнічування

В сьогоденні важконавантажених зубчастих передачах елементи зубів коліс та шестерень під час експлуатації знаходяться у важких умовах роботи. Тому постійно розробляють та впроваджують методи їх зміцнення з метою підвищення працездатності всієї передачі. Серед сучасних методів заслуговує увагу магнітно-імпульсна обробка (МІО) зубів. МІО дозволяє збільшити тепло-та електропровідність матеріалу, в той же час, зменшити збиткову енергію матеріалу, що пов'язано з концентрацією внутрішніх та поверхневих напруг. Крім того, імпульсне магнітне поле покращує полярну орієнтацію електронів атомів, внаслідок чого поліпшуються механічні властивості матеріалу.

Порівняльні випробування працездатності необроблених та магнітно-зміцнених колісних пар (колесо-шестерня) із сталі 40Х, 30ХН3А (діаметром 300,450,600 мм, з зовнішнім зчепленням) показали, що за рахунок повторного намагнічування стійкість пари до втомленого викришування підвищилась в 1,4 ... 2 рази, абразивне зношення знизилось в 1,4...1,6 рази, а довговічність зросла в 1,3...1,8 рази.

Відносна стійкість магнітно-зміцнених сталевих циліндричних пар головного приводу вантажопідійомних машин наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Відносна стійкість магнітно-зміцнених сталевих циліндричних пар головного приводу вантажопідійомних машин в залежності від діаметрів колеса та шестерні

Діаметр, мм		Відносна стійкість, %	
колеса	шестерні	колеса	шестерні*
125	60	140	120/135
250	60	154	130/142
00	100	130	130/147
1000	200	160	130/150
1500	250	150	140/156

250	100	125	125/140
500	20	130	130/145
500	500	130	125/120
500	250	150	130/150
1000	400	145	150/160
2000	500	150	160/176

* в чисельнику - стійкість шестерні з конструкційної сталі, в знаменнику - з легованої.

Тобто на прикладі шестерні, при обранні основним показником стійкість, використання легованої сталі є більш доречною.

УДК 614.84

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ІНЕРТНИХ ГАЗІВ НА НАФТОВИВІЗНИХ ТАНКЕРАХ

Зубарев А.А.,

*канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри кондиціонування та рефрижерації НУК,
м. Миколаїв, Україна*

anatoly.zubarev@nuos.edu.ua

Серьогін С. М.

аспірант НУК м. Миколаїв, Україна

s.seriogin@gmail.com

Анотація. Розглянуто основні проблеми безпеки транспортування нафти та завдання щодо підвищення ефективності систем інертних газів на нафтовивізних танкерах. Обґрунтовано використання сучасних технологій, оптимізацію процесів та навчання персоналу для суттєвого поліпшення роботи систем інертних газів.

Ключові слова: система інертних газів, тиск, кисень, мембранна фільтрація.

Вступ. Нафтовивізні танкери відіграють важливу роль у світовому транспорту сировини. Проте перевезення нафти може бути небезпечним через можливість вибухів та пожеж, викликаних взаємодією горючих парів нафти та повітря. Для зменшення цієї небезпеки на танкерах використовують системи інертних газів. Ці системи дозволяють підтримувати в середині танкерів безпечний атмосферний тиск, заповнюючи їх інертними газами, такими як азот або інертні газові суміші. Ефективність таких систем критично важлива для забезпечення безпеки та зниження ризиків під час транспортування нафти.

Система повинна забезпечувати:

1. інертизацію порожніх вантажних баків шляхом зниження вмісту кисню в атмосфері кожного бака до рівня, при якому не може підтримуватися горіння;
2. підтримування в будь-якій частині кожного вантажного бака атмосфери з вмістом кисню не більше 8 відсотків за об'ємом та надлишкового тиску в ньому протягом усього часу перебування судна в порту та в морі, окрім випадків, коли необхідно провести дегазацію такого бака;
3. виключення необхідності подачі повітря в бак під час звичайних операцій, окрім випадків, коли потрібно провести дегазацію такого бака;
4. продувку порожніх вантажних баків для видалення вуглеводневих газів, щоб у процесі подальшої дегазації всередині бака ніколи не створювалася запальна атмосфера.

Мета роботи полягає в підвищенні ефективності систем інертних газів на нафтовивізних танкерах з метою забезпечення безпеки транспортування нафти.

Проблеми існуючих систем інертних газів. Існуючі системи інертних газів на нафтовивізних танкерах мають свої недоліки. Однією з основних проблем є неефективне

використання інертних газів, що може призвести до необхідності їх частого поповнення. Це не лише збільшує витрати на паливо, але також може створити ризик зменшення безпеки у випадку нестачі інертних газів. Крім того, існуючі системи можуть бути складними у керуванні і вимагати постійного технічного обслуговування.

Шляхи підвищення ефективності систем інертних газів.

Для підвищення ефективності систем інертних газів на нафтовивізних танкерах можна розглянути наступні заходи:

1. Оптимізація використання інертних газів: Сучасні технології та системи автоматизації можуть допомогти оптимізувати використання інертних газів. Системи управління можуть бути налаштовані для точного та ефективного підтримання необхідного тиску всередині танкера, що дозволить зменшити витрати інертних газів.
2. Використання більш ефективних систем генерації інертних газів: Розробка та впровадження більш ефективних систем генерації інертних газів, таких як системи мембранної фільтрації, можуть покращити продуктивність та зменшити споживання енергії.
3. Навчання та підготовка персоналу: Ефективність систем інертних газів також залежить від кваліфікації та знань персоналу. Навчання та підготовка екіпажу щодо правильного керування системами інертних газів та моніторингу їхнього стану мають вирішальне значення.
4. Регулярне обслуговування та технічне обслуговування: Регулярне технічне обслуговування та перевірка систем інертних газів допоможуть запобігти відмовам та забезпечити надійну роботу системи.
5. Використання сучасних матеріалів і технологій: Застосування сучасних матеріалів і технологій при будівництві та обладнанні танкерів може зменшити ризик витоків і підвищити надійність системи інертних газів.

Висновок: Сучасні технології, оптимізація процесів та навчання персоналу можуть суттєво покращити роботу цих систем. Це, в свою чергу, допоможе зменшити ризики вибухів та пожеж, пов'язаних з транспортуванням нафти, і покращити загальну безпеку морського транспортування нафти.

Література

- [1]. Конвенция СОЛАС-74. Основные положения и комментарии (Практическое пособие); Автор Топалов В. П., Торский В.Г.; Издательство Астропринт; Место издат. Одесса; ISBN 966-549-803-7; Год 2002
- [2]. Fire prevention of China online. Studies on the characteristics and measures of the fires in the cargo oil tank [EB/OL]. [2015-02-04]. https://www.researchgate.net/publication/293195088_The_Feasibility_Study_of_Extinguishing_Oil_Tank_Fire_by_Using_Compressed_Air_Foam_System

Секція №3. ЕНЕРГООЩАДНІ ТА ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В СУДНОВІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ

УДК 621.669:502

ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ АЗОТУВАННЯ, ПЕРЕВАГИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Боду С.Ж.

Старший викладач кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

svetlana.baudoux@gmail.com

Поліщук М.Я.

Викладач кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

maia.polishchuk@nuos.edu.ua

Анотація. Розглянуто переваги та недоліки нових методів азотування порівняно з традиційними методами. Встановлено, що нові методи мають нижчу енергоємність та час обробки, але вищу вартість, оскільки потребують спеціального обладнання та високої кваліфікації виконавців. Вони мають потенціал для підвищення енергоефективності та екологічності процесів обробки металів, однак їх застосування може бути обмежене економічними факторами.

Ключові слова: азотування, енергоємність, інноваційні методи, екологія.

Азотування як метод підвищення зносостійкості та корозійної стійкості тривалий час залишається невід'ємною частиною суднобудівної промисловості.

Однак традиційні процеси азотування часто характеризуються високим енергоспоживанням, що впливає на економічні витрати виробництва.

Наприклад, аналіз балансу споживання ресурсів ведучого підприємства галузі – ДП НВКГ "Зоря"- "Машпроект" свідчив, що на операції, пов'язані з хіміко-термічною обробкою (термообробка, вироблення газів, робота вентиляційних установок, нанесення гальванічних покриттів, водопостачання, транспортування і т. ін.) витрачалося близько 25 % електроенергії і 15 % теплоенергії підприємства [1].

Загалом за приблизними оцінками на хіміко-термічну обробку в 2022 році було витрачено близько 100 ТВт·г енергії, що становить близько 0,05% загального світового споживання електроенергії або 1 % світового споживання енергії у промисловості. Розбивка споживання енергії на хіміко-термічну обробку за методами: азотування – 70%, цементація – 20%, ціанування – 10%, хромування – 1% [2].

Багато з цих методів можуть негативно впливати на навколишнє середовище, у тому числі за рахунок викидів небезпечних хімічних речовин.

З урахуванням зростаючої глобальної проблеми зміни клімату й екологічної відповідальності, суднобудівна індустрія стоїть перед викликом розробки більш економічних та екологічно безпечних методів азотування. Ці нові методи повинні не тільки забезпечувати належну якість продукції, а й знижувати споживання енергії та негативний вплив на довкілля.

В останні роки ведеться активна робота з розробки безпечних методів азотування, які не потребують використання токсичних речовин та не є енергоємними [3].

В таблиці 1 показані основні характеристики альтернативних та традиційних методів азотування.

Таблиця 1.

Основні показники методів азотування

Метод азотування	Тривалість процесу, год.	T процесу, °C	Товщина шару, мм	Твердість поверхні, HBW	Серед. енергоєм., кВт·г/м ²
Лазерне	1–10	500–600	0,2–0,5	1000–2000	10–15
Іонне	1–5	500–600	0,2–0,5	1000–2000	15–20
Магнітно-імпульсне	0,5–1	500–600	0,2–0,5	1000–2000	20–25
Індукційне	2–5	500–600	0,2–0,5	1000–2000	25–30
Хімічне	2–10	450–550	0,2–0,5	800–1500	30–35
В атмосфері з активним газом	1–10	450–550	0,2–0,5	1000–2000	15–25
Плазмове	1–5	500–600	0,2–0,5	1000–2000	10–15
Пульсуюче	0,5–1	500–600	0,2–0,5	1000–2000	5–10
Під тиском	1–5	500–600	0,2–0,5	1000–2000	10–15
Обробка азотуючими пастами	1–24	450–550	0,2–0,5	800–1500	5–10
Традиційне	10–20	500–600	0,2–0,5	800–1500	20–30

Нові методи мають великий потенціал для заміни традиційних методів азотування, що дозволить знизити вплив азотування на навколишнє середовище та зробити цей процес безпечнішим.

На рис. 1 приведені дані щодо енерговитрати процесів з урахуванням тривалості кожного, а також середня вартість обробки [4].

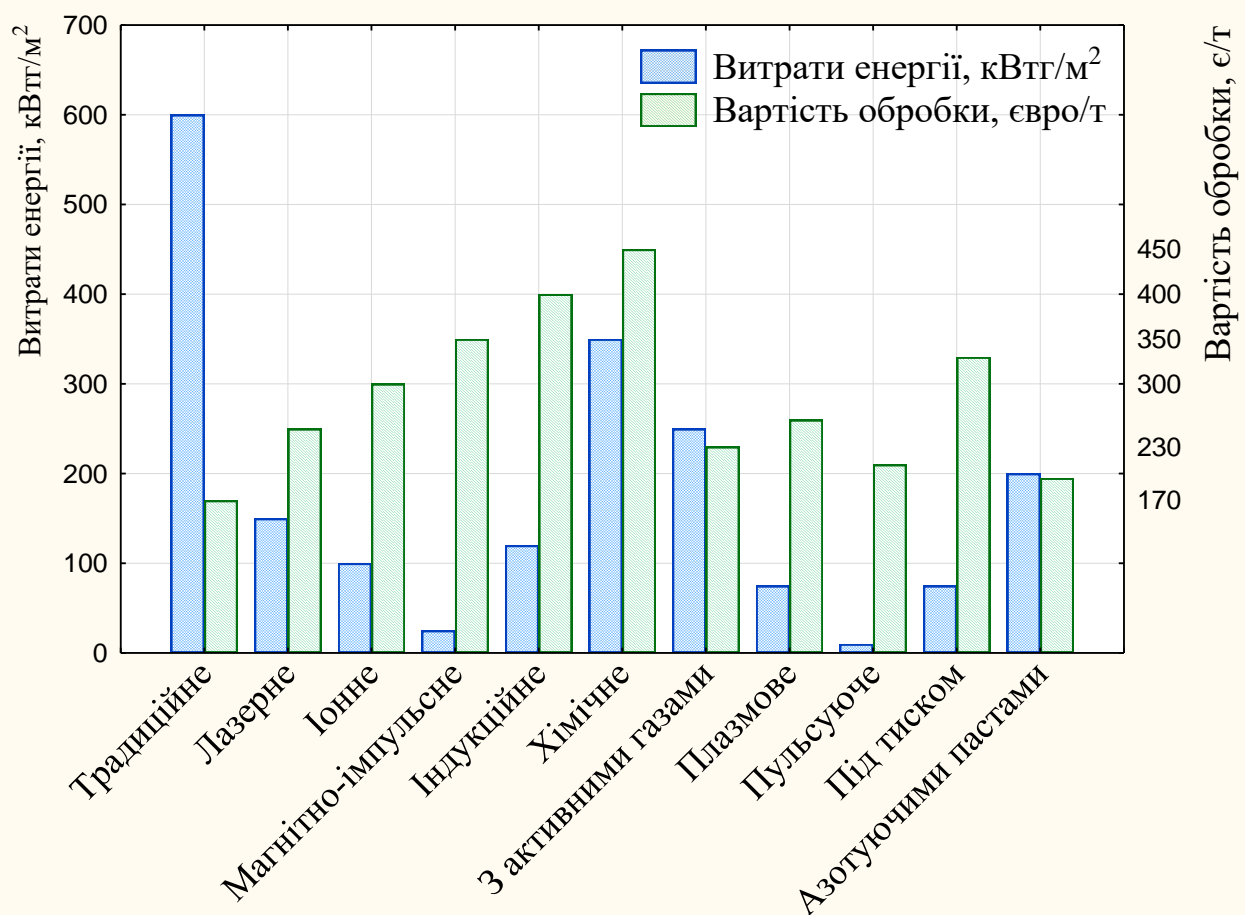


Рис. 1. Порівняльна характеристика енерговитратності та вартості різних видів азотування

Результати порівняння свідчать, що нові методи азотування мають великий потенціал і перспективи для підвищення енергоефективності і екологічної безпеки процесів обробки металів. Однак їх застосування поки що може бути обмежене через економічні фактори, оскільки вони потребують обладнання високої вартості та висококваліфікованого персоналу.

Література:

1. Судовое и энергетическое газотурбостроение. Научно-технический сборник. 2 тома – Николаев: НПКГ «Зоря»-«Машпроект», НО ИАУ, 2004. – Т. 2. – 480 с.
2. Kim S.-H., Kim Y.-M., Park J.-H., & Lim J.-S. Energy consumption of thermochemical treatments: a review // *Metals*. 2022. Vol. 12. No. 1. P. 1-17. DOI: [10.3390/met12010017](https://doi.org/10.3390/met12010017).
3. Соловйов С.М., Боду С.Ж., & Трофимова О.В. Порівняльний аналіз техніко-економічних і екологічних показників хіміко-термічної обробки // Наукові праці: Науково-методичний журнал. Т. 61. Вип. 48. Техногенна безпека. Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. П.Могили, 2007. – С. 74-78. <https://lib.chmnu.edu.ua/pdf/naukpraci/technogen/2007/61-48-12.pdf>.
4. Limperis, I., Psomopoulos, C.S., Ioannidis, G.Ch., Kaminaris, S.D., Chroni, C., & Lazaridi, K. (2016). Energy consumption of thermochemical treatments: a review. *Journal of Thermal Processing and Heat Treatment*, 31(4), 455-471. DOI: [10.1007/s11666-016-0284-7](https://doi.org/10.1007/s11666-016-0284-7).

UDC 621.669:502

INNOVATIVE NITRIDING METHODS: ADVANTAGES AND PROSPECTS

Bodu S.

Senior lecturer at the Department of engineering mechanics and machinebuilding technology
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolayiv, Ukraine
svetlana.baudoux@gmail.com

Polishchuk M.

Lecturer at the Department of engineering mechanics and machinebuilding technology
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolayiv, Ukraine
maia.polishchuk@nuos.edu.ua

Abstract. Advantages and disadvantages of new nitriding methods compared to traditional methods are considered. It is established that the new methods have lower energy consumption and processing time, but higher cost, as they require special equipment and high qualification of performers. New methods of nitriding have the potential to increase the energy efficiency and environmental friendliness of metal processing processes, but their application may be limited by economic factors.

Key words: nitriding, energy intensity, innovative methods, ecology.

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
nnyu5te@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].

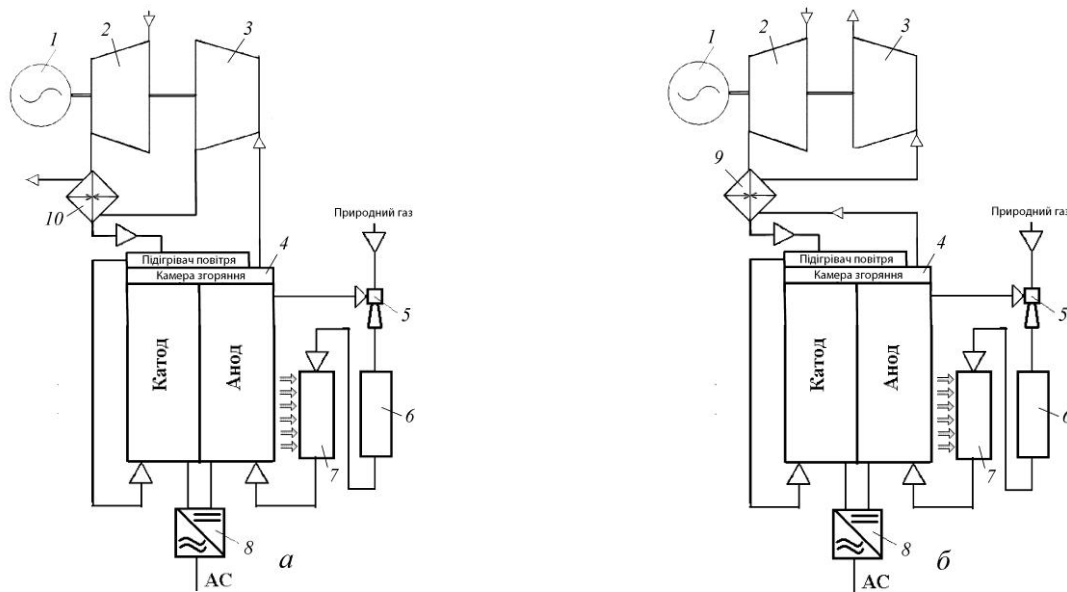


Рис. 1. Теплові схеми енергетичної установки типу SOFC-GT:

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 проектуема 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.

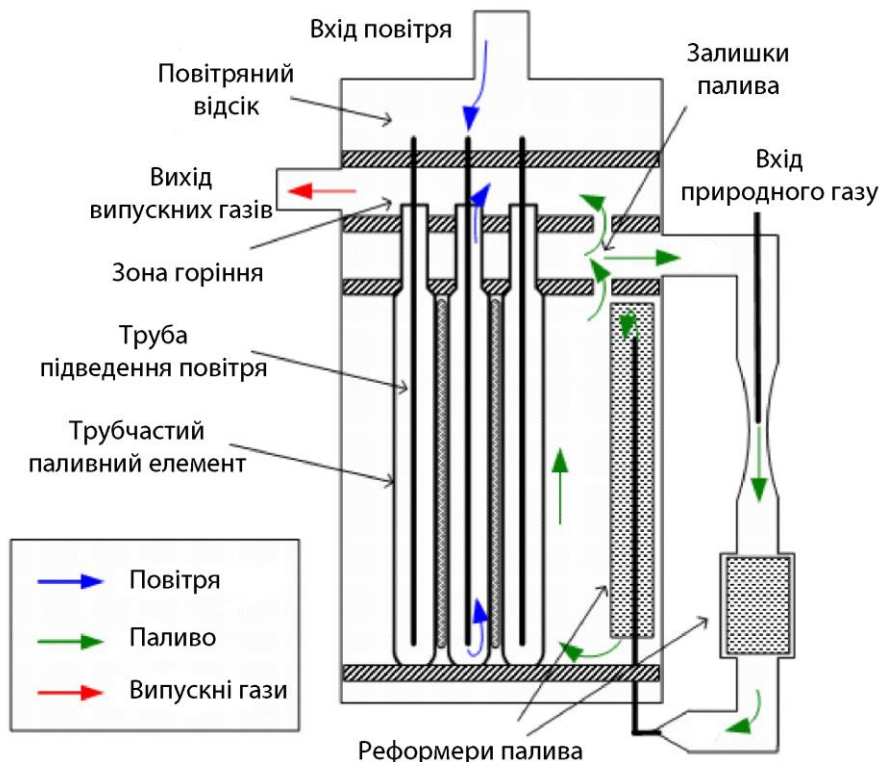


Рис. 2. Стек паливних елементів компанії Siemens–Westinghouse

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. John Wiley & 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.nfrcr.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 КОМПРЕСОРИ 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

nniu5te@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.

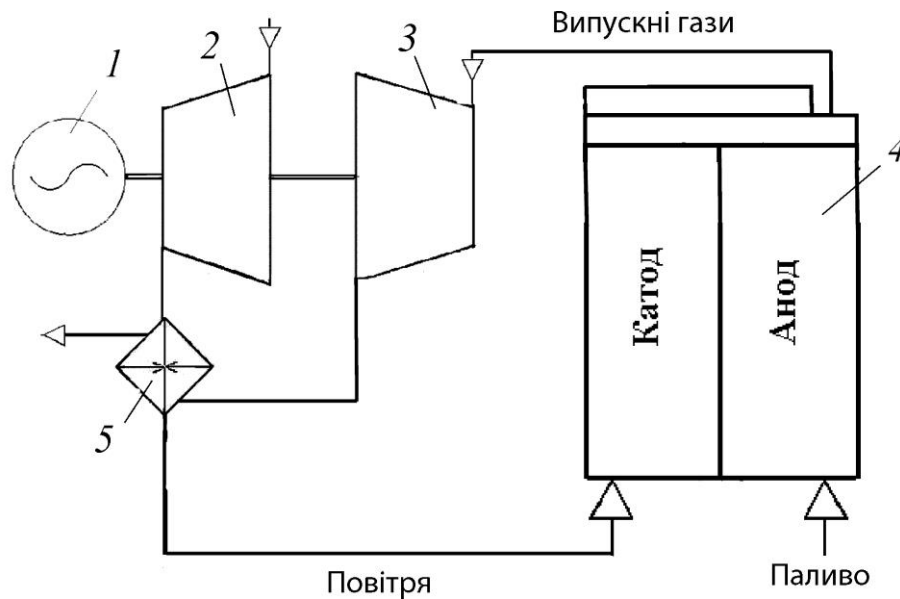


Рис. 1. Схема енергетичної установки типу SOFC-GT:

1 – електрогенератор; 2 – компресор; 3 – турбіна; 4 – стек твердооксидних паливних елементів; 5 – регенератор

У ролі початкових параметрів для розрахунку обирались параметри, які були отримані компанією Siemens–Westinghouse при проведенні експериментальних досліджень зразка стеку твердооксидних паливних елементів (табл. 1) [2; 3; 4]. Ці параметри (крім тиску повітря) в процесі дослідження підтримувались незмінними.

Виходячи із заданої електричної потужності 2000 кВт, вважаємо, що досліджуєма енергетична установка SOFC-GT складається із 10 стеку твердооксидних паливних елементів, аналогічних стеку компанії Siemens-Westinghouse, та спільного для них газотурбінного агрегату.

Таблиця 1. Параметри стеку паливних елементів Siemens-Westinghouse

Параметр	Значення
Електрична потужність стеку, кВт	161,5
ККД стеку, %	46,27
Напруга однієї комірки стеку, В	0,610
Сила струму однієї комірки стеку, А	267
Тиск повітря на вході у стек, МПа	0,291
Температура повітря на вході у стек, К	773
Витрата повітря на вході у стек, кг/с	0,495
Витрата палива (природний газ) на вході у стек, кг/с	0,007
Температура газів на виході зі стеку, К	1053

Зміна ефективності перетворення хімічної енергії палива в електричну в паливних елементах оцінювалась за допомогою графіка на рис. 2. На цьому рисунку наведені результати експериментальних досліджень твердооксидних паливних елементів типу AES, які компанія Siemens-Westinghouse розробила спільно з Ontario Hydro Technologies і які вона використовує в своїх енергетичних установках [2].

Результати параметричного аналізу ефективності та потужності стеку для різних значень тиску повітря на вході в паливні елементи зведені до табл. 2.

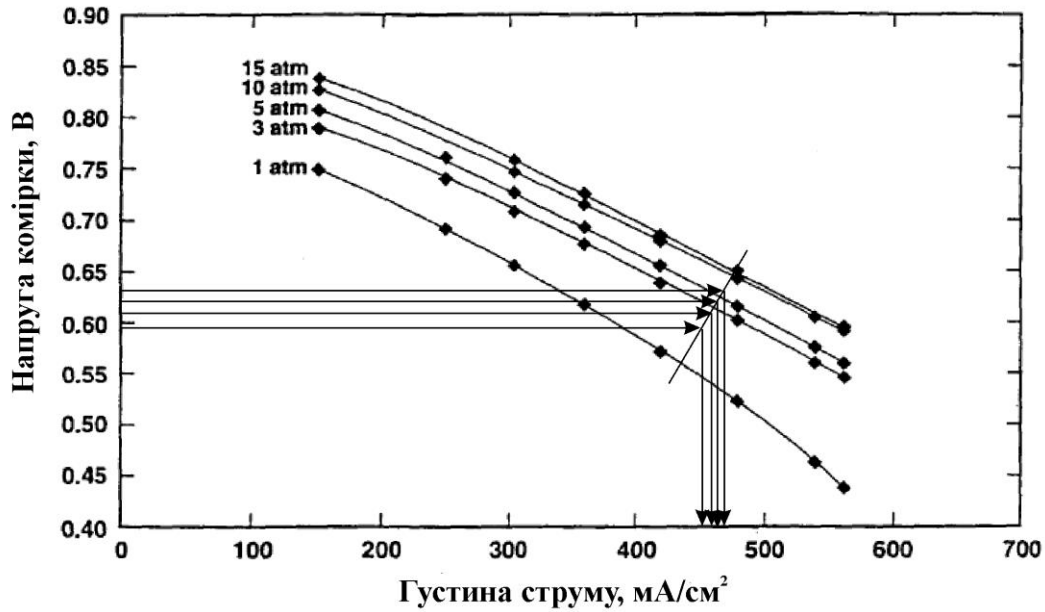


Рис. 2. Вплив тиску на продуктивність трубчастого паливного елемента типу AES

Таблиця 2. Потужність та ефективність стека паливних елементів

Параметр	Тиск повітря на вході в стек, МПа				
	0,2	0,291	0,3	0,4	0,5
Напруга комірки U , В	0,590	0,610	0,611	0,620	0,628
Густина струму I , mA/cm ²	448	460	461	463	466
Електрична потужність одного стека $N_{ст}$, кВт	152,1	161,5	162,1	165,2	168,4
Ефективність стека $\eta_{ест}$	0,4359	0,4627	0,4645	0,4734	0,4826

Основні результати розрахунку параметрів енергетичної установки при різних значеннях тиску повітря перед стеком наведені на рис. 3 та 4.



Рис. 3. Залежність ефективності установки SOFC-GT від тиску повітря на вході в стек

Результати розрахунків свідчать про те, що:

1) Збільшення тиску повітря перед стеком паливних елементів від 0,2 до 0,5 МПа веде до зростання ефективності воднево-кисневої електрохімічної реакції (від 43,6 до 48,3 %) й до пропорційного збільшення електричної потужності, генерованої стеком (від 152 до 168 кВт).

2) Залежність потужності газотурбінного агрегату від підвищення тиску повітря у компресорі має оптимум, що є взагалі характерним для газотурбінних установок. Максимальна потужність (460 кВт) досягається при тиску за компресором 0,315 МПа.

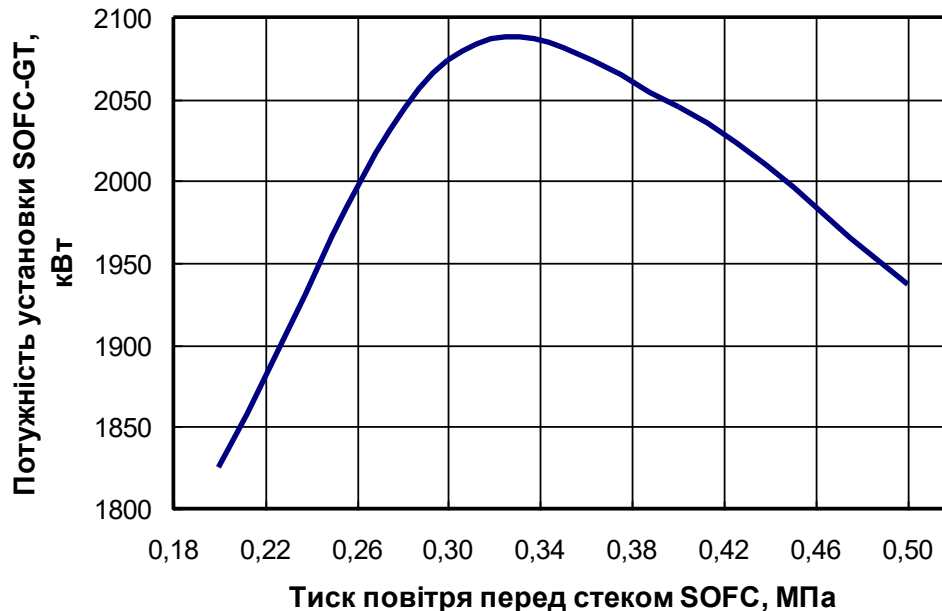


Рис. 4. Залежність потужності установки SOFC-GT від тиску повітря на вході в стек

3) Вплив параметрів газотурбінної частини обумовив наявність оптимуму й для залежності ККД та потужності всієї енергетичної установки SOFC-GT від підвищення тиску повітря у компресорі. Максимальний ККД (59,9%) та максимальна потужність (2090 кВт) досягається при тиску за компресором 0,325 МПа.

ЛІТЕРАТУРА

[1] Романовський Г. Ф., Ващиленко М. В., Сербін С. І. Теоретичні основи проектування суднових газотурбінних агрегатів: навч. посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2003. 304 с.

[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] 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.

[4] National Fuel Cell Research Center. Hybrid Fuel Cell / Gas Turbine Systems. (2015) URL: http://www.nfrcr.uci.edu/PDF_Research_Summaries/HYBRIDfuelCELL_GASTurbineSystems-AnalysesHybridFuelCellGasTurbineSystems.pdf.

Study of the influence of pressure increase in the compressor on the efficiency of the SOFC-GT power plant

Washchilenko N., Patlaichuk O.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine

Abstract. A study of the influence of pressure increase in the compressor on the efficiency of a combined power plant based on solid oxide fuel cells combined with a gas turbine unit was carried out. The parameters that achieve the maximum efficiency and power of such plant are determined..

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

УДК 621.431.3

**EFFICIENCY OF LOW-GRADE HEAT RECOVERY
OF MARINE ICE WITH METAL-HYDRIDE TECHNOLOGY**

Borys Tymoshevskyy¹, Dr.E.Sc, prof., Mykhaylo Tkach² Dr.E.Sc, prof.,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine
¹borys.tymoshevski@nuos.edu.ua ²mykhaylo.tkach@gmail.com

Abstract - the modern Internal Combustion Engines are high efficiency enough, but a huge amount of the low-grade heat energy ejected into the environment. Conventional recovery equipment is not efficient because potential of this heat is too low. It's proposing the advanced metal-hydride installation for efficient recovery low-grade heat recovery. A special metal-hydride alloy is used as low-grade heat recovery. The main features and technical indexes were obtained.

Keywords – internal combustion engine; low-grade heat; metal-hydride alloy; installation of continuous operation; heat recovery efficiency.

Low speed and long stroke internal combustion engines are widely extended to the merchant fleet, stationary power and other application. Its efficiency is up to 51%, the best specific fuel consumption amount is 0,160 g/(kWh) and power range is 40,000...100,000 kW. But the heat losses are up to 50% of the fuel burning amount, despite the high engine's efficiency. This heat loses eject into environment with cooling water, lubrication oil, charge air and exhaust gases [1, 2]. Unfortunately, these losses can't be recovery by conventional equipment, and new advanced ways must be fined for this problem solving. One of these ways may be usage the metal-hydride heat technology.

The main principle of metal-hydride heat recovery facilities operation based on unique reversible properties of these materials to absorb low pressure hydrogen at low temperatures and desorb his hydrogen at high pressure when low-grade heat is supplied [3, 4].

It allows to convert low-grade heat energy into high-grade hydrogen energy which can be used for power production.

Hydrogen absorption by these materials is accompanied with the release of the adsorption heat. Hydrogen desorption require heat input and pressure of hydrogen output depends on heat temperature. The adsorption/desorption heat amount is in the range of 8...15 MJ/kgH₂ for various hydride-forming materials [5]. Thermal effect of the hydrogen absorption/desorption process is uses in heat pumps, chillers, compressors, hydrogen. [6,7,8,9]. Unfortunately, these equipment have discreet operation principal at present.

The principal disadvantages of discreet operation facilities are the following: huge heat losses in heat and mass exchangers, absorbers and desorbers, as the consequences of unstable pressures, temperatures and hydrogen flow transfer, huge masses and dimensions of the devices [10].

The principal disadvantages of discreet operation facilities are the following: huge heat losses in heat and mass exchangers, absorbers and desorbers, as the consequences of unstable pressures, temperatures and hydrogen flow transfer, huge masses and dimensions of the devices [10].

Metal-hydride continuous operation equipment for low-grade heat recovery are free of these disadvantages and include the following units: absorber-desorber hydrogen circulation loop with hydrogen compressing up to high pressures, expansion engine for mechanical or electricity energy production, input system of low-grade heat from exhaust gas, waste heat removal from the cycle and auxiliary equipment and systems, as well.

The rational range of desorption temperature is obtained. It lies in the range of 360...480 K for real additional recovery facility power of 3.0...3.2 MW for ICE MAN B&W 9G80ME-C9.2-GI-

ТII. Decreasing of the specific fuel consumption due to metal-hydride low-grade heat recovery may be reached up to 5%.

The metal-hydride technology implementation is the perspective way for increasing marine power plant efficiency, especially when they are equipped with low-speed engines which have low exhausted gas temperatures.

The low-grade heat recovery from ICE MAN B&W 9G80ME-C9.2-GI-TII equipped with the continuous operation metal-hydride facility allows reaching following: increasing total installation power up to 45.3...45.5 kW and total decreasing power plant's specific fuel consumption up to 7.5...11.7 g/kWh.

REFERENCES

1. MAN Diesel & Turbo. Evaluable from: <http://apps.mandieselturbo.com/ceas/client/erd.aspx>
2. Wärtsilä. Evaluable from: <http://www.wartsila.com/en/marine-solutions/products/>
3. Mitsubishi heavy industries marine machinery & engine co. LTD. Evaluable from: <http://www.mhi-mme.com/products/engine>
4. Sandrock, G., "Development of Low Cost Nickel-Rare Earth Hydrides for Hydrogen Storage, 2-nd World Hydrogen Energy Conf., Zurich, Switzerland, 1999, pp. 1625-1656.
5. Daren, P. Broom, Hydrogen Storage Materials, Springer-Verlag London Limited, 2011.
6. Popeneciu, G., Coldea, I., Lupu, D., Misan, I., Ardelean, O., "Metal hydrides reactors with improved dynamic characteristics for a fast cycling hydrogen compressor, Journal of Physics: Conference Series 182, 2009.
7. Willers, E., Groll, M., Evaluation of metal hydride machines for heat pumping and cooling applications. Int J Refrig 2019; 22:47–58.
8. Klein H.-P., Groll M., "Development of a two-stage metal hydride system as topping cycle in cascading sorption systems for cold generation, " Applied Thermal Engineering 22, pp. 631-639, 2002.
9. Murthy, S "Metal hydride based cooling systems with hydrogen as working fluid, "1st European Conference on Polygeneration", Tarragona, Spain, p.p. 199-215, 2007.
10. Tkach M.R., Tymoshevskyy B.G., Docenko S.M., Galinkin J.N. "Utilization of low potential heat the low speed ICE from hydride technology". The aerospace technique and technology, 2013 8(105) pp 61-66.

УДК 629.5

НОВІ (РИНКОВІ) ПІДХОДИ ІМО ДО ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ТА ВУГЛЕЦЕЄМНОСТІ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Ратушняк І.О.

кандидат технічних наук,

доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв,
Україна

Ратушняк Л.П.

викладач кафедри менеджменту Національного університету кораблебудування імені
адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

igor.ratushnyak@nuos.edu.ua

Бойченко І.В.

магістр групи 6214м

кафедра експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

ivan.boychenko.87@gmail.com

Abstract. The primary means through which the International Maritime Organization (IMO) exerts influence on shipping companies in the operation of vessels to reduce emissions have technical, socio-economic, and financial dimensions. Market-driven approaches are considered as tools to mitigate the anthropogenic impact on the climate system; however, none of the proposals ensures a sufficient level of emission reduction and cannot guarantee the absence or an acceptable level of negative socio-economic consequences for flag states.

Keywords: market-driven approaches, decarbonization, emissions.

Запобігання змін клімату позиціонується як одне з найважливіших завдань сучасності через небезпечний антропогенний вплив на кліматичну систему. Міжнародне судноплавство перевозить 90% обсягу вантажів світової торгівлі, проте не підпадає під дію Конвенції ООН про зміни клімату (UNFCCC). Загальна кількість палива, яку використовує морський транспорт – 221 млн. т, що призводить до викидів 0,9 Гт CO₂ (тільки 2–3% загальних викидів) (рис. 1).

Способи скорочення антропогенних викидів включають широкий спектр заходів технічного, соціально-економічного та фінансового характеру. Звертаємо увагу, що міжнародне судноплавство не встановлює конкретні вимоги до країн-прапору щодо зменшення викидів, самостійно не веде наукових досліджень з декарбонізації, розробки «зеленого» палива, не виробляє його, не створює берегову інфраструктуру для цього.

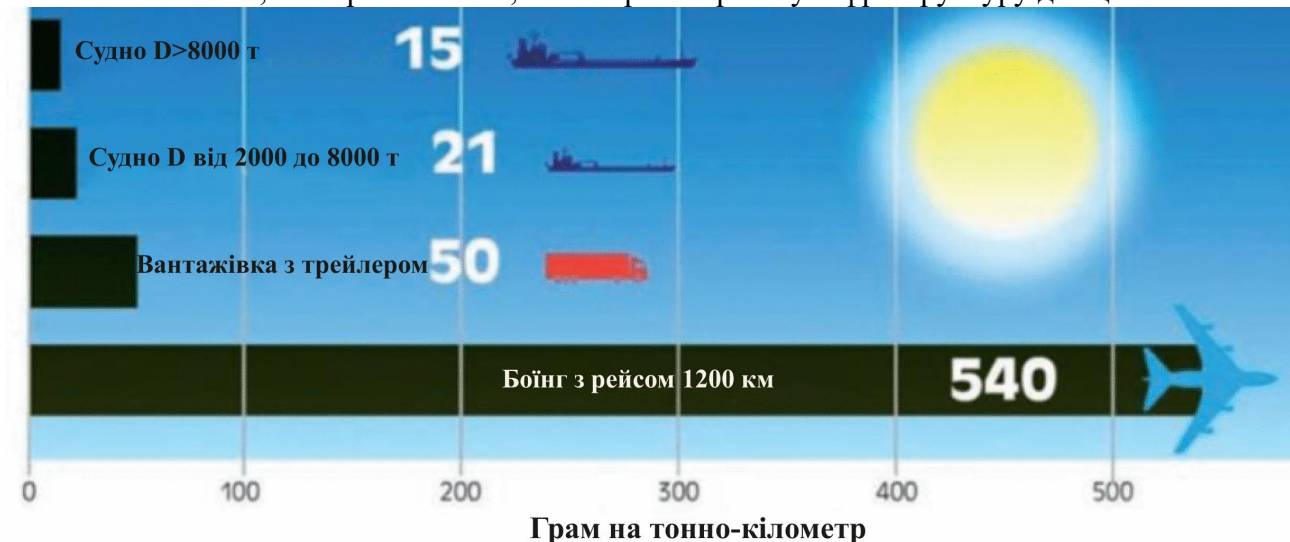


Рис. 1 Викиди CO₂ різними видами транспорту

Ринкові підходи, як правило, являють собою прямий фінансовий збір (вуглецевий збір/податок) або систему, яка передбачає встановлення гранично допустимих значень викидів з можливістю купівлі відсутніх дозволів (квот) на викиди або продажу надлишкових (система торгівлі викидами). Жодний із таких підходів не торкався міжнародного судноплавства. Ринкові підходи розглядаються як інструмент, що дозволяє усунути різницю у вартості традиційних та альтернативних видів палива, підвищити доступність останніх за допомогою інвестицій у виробництво та створення бункерувальної інфраструктури.

Першим таким підходом має стати Система торгівлі викидами ЄС, застосування якої до морських суден, що здійснюють міжнародні рейси, передбачається з 2024 року.

Комітет із захисту морського середовища (КЗМС) з грудня 2003 року розглядав пропозиції щодо запровадження ринкових механізмів, проте жодна з поданих пропозицій, по суті, не відповідає критеріям, не забезпечує належного рівня скорочення викидів і не може гарантувати відсутність чи прийнятний рівень негативних наслідків соціально-економічного характеру для держав-прапору. У травні 2013 року було ухвалено рішення призупинити обговорення ринкових заходів, бо більшість держав-прапору розглядали ринкові механізми як реальну загрозу. Країни вважали, що ще не вичерпані всі технічні можливості скорочення викидів парникових газів з суден [1–2].

На даний момент розглядаються вісім ринкових підходів (пропозицій) [3].

1. Глобальний паливний стандарт (держави-члени ЄС та Єврокомісія) – встановлення максимально допустимого значення вмісту CO₂ на одиницю енергії при використанні палива; санкції/штрафи за перевищення; фінансування програм навчання; винагорода судам з метою скоротити різницю між нафтовим та альтернативними паливами.

2. Вуглецевий збір за викиди парникових газів (Соломонові та Маршаллові о-ви) – фіксоване значення за 1 т спожитого палива; збір 40–300 \$ за 1 т викидів CO₂; фінансування проектів з реагування на зміни клімату та альтернативних палив; допомога країнам, що розвиваються.

3. Вуглецевий збір та кліматичний фонд ІМО (Міжнародні асоціації судновласників) – фіксоване значення за 1 т спожитого палива; збір 40–300 \$ за 1 т викидів CO₂; фінансування проектів з реагування на зміни клімату.

4. Система торгівлі викидами та встановлення максимальних меж викидів (Норвегія) – встановлення граничної межі викидів для галузі; торгівля дозволами на викиди; фінансування проектів щодо альтернативних палив; допомога країнам, що розвиваються.

5. Міжнародний фонд/орган з морських розробок (група країн та міжнародні асоціації судновласників) – фіксоване значення за 1 т спожитого палива; створення фонду із розрахунку сукупних викидів спожитого палива; фінансування проектів щодо альтернативних палив.

6. Міжнародний фонд зі сталого фінансування та винагород (Аргентина, Бразилія, Китай, ПАР, ОАЕ) – визначення показника та рейтингу експлуатаційної вуглецеємності судна; відсоток від поточної вартості палива (для розрахунків, до 25%); створення фонду із розрахунку викидів понад встановлені межі для судна; фінансування проектів щодо альтернативних палив; допомога країнам, що розвиваються; винагорода судам з метою стимулювання експлуатаційної вуглецеємності.

7. Міжнародний фонд зі сталого фінансування та винагород (пропозиція №6, доопрацьована Міжнародною палатою судноплавства) – фіксоване значення за 1 т спожитого палива; створення фонду із розрахунку сукупних викидів спожитого палива; фінансування проектів щодо альтернативних палив; допомога країнам, що розвиваються; винагорода судам з метою скоротити різницю між нафтовим та альтернативними паливами.

8. Схема заохочення суден із нульовими викидами (Японія) – відсоток від поточної вартості палива (для розрахунків, до 25%); збір 40–300 \$ за 1 т викидів CO₂; допомога країнам, що розвиваються; винагорода судам з метою вирівняти вартість нафтового та альтернативних палив.

Такі ринкові підходи – додатковий податок екстериторіального характеру, який будуть сплачувати кінцеві споживачі судноплавних послуг. Ці кошти підуть з економіки безповоротно і дадуть конкурентні переваги великим західним і азіатським перевізникам, підприємствам паливного і науково-технічного секторів. Витрати на наукові розробки у сфері альтернативного палива та суднових технологій теж неоднозначно оцінюються (прозорість прийняття рішень при розподілі коштів, гарантії захисту прав інтелектуальної власності, рівний доступ до результатів розробок).

Ринкові заходи мають мати мінімально допустимий вплив на економіку судноплавства та соціально-економічну ситуацію в державах, інакше виконуватися не будуть.

Література

1. Bureau Veritas M&O – Summary Report. MARINE ENVIRONMENT PROTECTION COMMITTEE. MEPC 80 – JULY 2023. marine-offshore.bureauveritas.com. – 17 pp.

2. IMO MEPC 80: SHIPPING TO REACH NETZERO GHG EMISSIONS BY 2050. TECHNICAL REGULATORY NEWS No. 17/2023 – STATUTORY. www.dnv.com/maritime. – 4 pp.

3. 2023 IMO STRATEGY ON REDUCTION OF GHG EMISSIONS FROM SHIPS. MEPC 80/WP.12. – I:\MEPC\80\WP\MEPC 80-WP.12.docx. – 19 pp.

The International Maritime Organization's (IMO) new market-driven approaches to reducing greenhouse gas emissions and carbon intensity of maritime transport

Ratushniak I.O.

Candidate of technical sciences, Associate Professor, Department of Operation of Ship Power Plants and Heat Power Engineering, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Ratushniak L.P.

Senior Lecturer, Department of Management, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The primary means through which the International Maritime Organization (IMO) exerts influence on shipping companies in the operation of vessels to reduce emissions have technical, socio-economic, and financial dimensions. Market-driven approaches are considered as tools to mitigate the anthropogenic impact on the climate system; however, none of the proposals ensures a sufficient level of emission reduction and cannot guarantee the absence or an acceptable level of negative socio-economic consequences for flag states.

Keywords: market-driven approaches, decarbonization, emissions.

УДК 629.5

ПЕРЕГЛЯД ПОЧАТКОВОЇ СТРАТЕГІЇ ІМО ЩОДО СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ІЗ СУДЕН У 2023 РОЦІ

Ратушняк І.О.

кандидат технічних наук,

доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв,
Україна

Ратушняк Л.П.

викладач кафедри менеджменту Національного університету кораблебудування імені
адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

igor.ratushnyak@nuos.edu.ua

Abstract. The 2023 review of the IMO Strategy did not establish a complete cessation of greenhouse gas emissions in shipping by 2050. The revised 2023 Strategy addresses several critical issues, such as fuel standards for ships and the mechanism for pricing emissions. The implementation of new IMO requirements has been postponed, and the timelines for emission limits have been revised. Discussions have been initiated on the carbon levy rates and expanded coverage in terms of vessel types and capacities.

Keywords: IMO Strategy, greenhouse gases, carbon intensity.

Міжнародна морська організація – основний орган, у межах якого держави домовляються про зниження викидів парникових газів у судноплавстві. У якості інструментів ІМО застосовує:

1. Критерії енергоефективності: коефіцієнт проектної енергоефективності судна (для нових суден) – EEDI; конструктивний коефіцієнт енергоефективності (для існуючих суден) – EEXI;

2. Індекс вуглецевої інтенсивності/ємності – СІІ;

3. Цільові показники (рівні) скорочення викидів парникових газів.

Ці заходи зменшили викиди з суден на 45–50 млн. т, потім заплановано зменшення на 180–240 млн. т. щорічно до 2030 р. (за базовий рівень взято 2008 рік).

Початкова стратегія ІМО щодо скорочення викидів парникових газів із суден була прийнята у 2018 році (рис. 1), цілі Стратегії дуже амбіційні, проте технічні рішення цих цілей практично вичерпані. Основним і найбільш дієвим способом декарбонізації морської галузі (держави, які активно просувають кліматичну повістку) вважається перехід на низько- та безвуглецеві види палива.

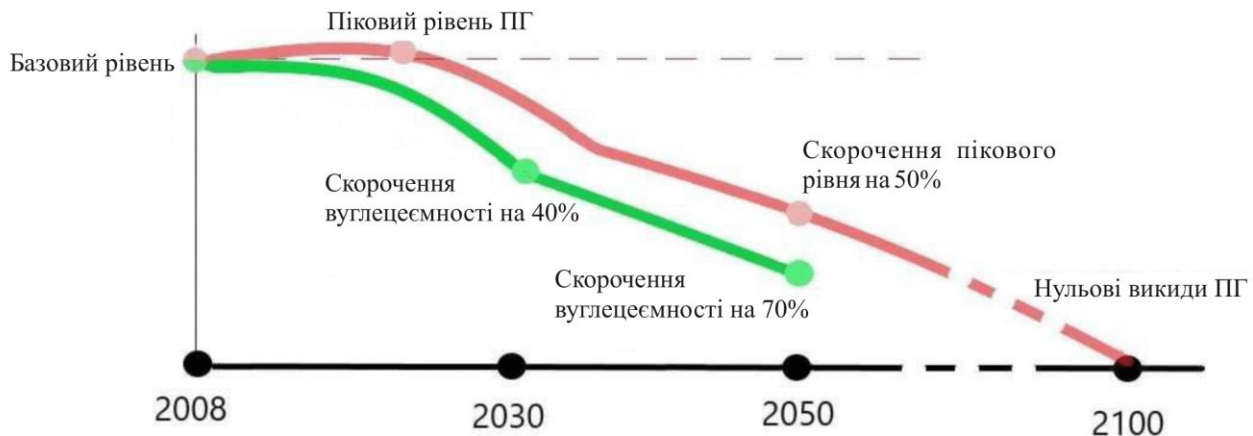


Рис. 1 Масштаби Початкової Стратегії ІМО

80-та сесія КЗМС ухвалила нову Стратегію 2023 року скорочення викидів парникових газів із суден, яка замінює Початкову стратегію ІМО 2018 року. Основні цілі:

- зниження вуглецевої ємності судна за рахунок подальшого підвищення енергоефективності (EEDI) нових суден (без змін);
- до 2030 р. скоротити викиди CO₂ в середньому не менше ніж на 40% (без змін);
- впровадження технологій, джерел палива та/або енергії з нульовим або майже нульовим викидом парникових газів (до 2030 р. вони повинні складати не менше 5% (бажано 10%) енергії, що використовується міжнародним судноплавством);
- пікові викиди парникових газів необхідно знижувати якнайшвидше і намагатися досягти нульових чистих викидів парникових газів приблизно до 2050 року.

Додані нові «орієнтовні цілі»:

- скоротити сумарні річні викиди ПГ від судноплавства не менше ніж на 20% (бажано 30%) до 2030 р.;
- скоротити загальні річні викиди ПГ від судноплавства щонайменше на 70% (бажано 80%) до 2040 р.

Стратегія ІМО також розглядає наступні можливі середньострокові цілі:

- стандарт на суднове паливо, який повинен враховувати підхід «від свердловини до викидів»;
- механізм ціноутворення викидів ПГ.

Робота буде проведена під час ISWG-GHG16 та сесій КЗМС ІМО для досягнення консенсусу у 2025 році для набрання чинності у 2027 році.

Поки не вирішено низку важливих питань:

1. Перелік парникових газів, на які будуть поширюватися середньострокові заходи (пріоритет віддавався CO₂, але можливе поетапне поширення вимог на викиди інших газів, насамперед метану);

2. Сфера поширення вимог (типи суден, їх дедвейт, характер експлуатації);

3. Граничні значення вмісту парникових газів у паливі (при введенні стандарту);

4. Облік викидів парникових газів протягом всього життєвого циклу суднового палива;

5. Механізм формування тарифів за викиди парникових газів;

6. Напрями витрачання отриманих коштів;

7. Визначення відповідального за оплату вуглецевого збору;
8. Механізм управління коштами та контроль за їх розподілом;
9. Терміни та порядок застосування вуглецевого збору (між 2026 та 2030 рр.);
10. Вуглецева компенсація (механізм купівлі вуглецевих одиниць або так званих «зелених сертифікатів»);
11. Узгодження нових та існуючих вимог МАРПОЛ;
12. Вдосконалення системи збору даних ІМО.

Перегляд Стратегії ІМО у 2023 році не закріпив найбільш амбітного масштабу завдань, що передбачав повне припинення викидів парникових газів у судноплаванні до 2050 року. Також відкладається більш раннє набуття чинності нових вимог і стислі терміни підвищення граничних значень, збільшення розмірів вуглецевого збору, більше охоплення суден з точки зору типу і місткості.

Можна миттєво заборонити використовувати на морських суднах вуглеводневе паливо, тим самим вирішити проблему викидів парникових газів, проте колапс світової економіки через припинення морської торгівлі змусить надовго забути проблеми клімату.

Судноплавання, на відміну від інших секторів світової економіки, в силу свого міжнародного характеру та наявності великої кількості інструментів, що регулюють його діяльність, є досить легкою метою для реалізації кліматичних амбіцій, незважаючи на те, що воно відповідальне лише за 3% сукупних антропогенних викидів парникових газів. Судноплавання розглядається як донор для реалізації програм з реагування на зміни клімату, у тому числі й тих, що не мають безпосереднього відношення до судноплавання.

Література

1. 2023 IMO STRATEGY ON REDUCTION OF GHG EMISSIONS FROM SHIPS. MEPC 80/WP.12. – I:\MEPC\80\WP\MEPC 80-WP.12.docx. – 19 pp.

2. Bureau Veritas M&O – Summary Report. MARINE ENVIRONMENT PROTECTION COMMITTEE. MEPC 80 – JULY 2023. marine-offshore.bureauveritas.com. – 17 pp.

3. IMO MEPC 80: SHIPPING TO REACH NETZERO GHG EMISSIONS BY 2050. TECHNICAL REGULATORY NEWS No. 17/2023 – STATUTORY. www.dnv.com/maritime. – 4 pp.

Review of the IMO's initial Strategy to reduce greenhouse gas emissions from ships in 2023

Ratushniak I.O.

Candidate of technical sciences, Associate Professor, Department of Operation of Ship Power Plants and Heat Power Engineering, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Ratushniak L.P.

Senior Lecturer, Department of Management, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The 2023 review of the IMO Strategy did not establish a complete cessation of greenhouse gas emissions in shipping by 2050. The revised 2023 Strategy addresses several critical issues, such as fuel standards for ships and the mechanism for pricing emissions. The implementation of new IMO requirements has been postponed, and the timelines for emission limits have been revised. Discussions have been initiated on the carbon levy rates and expanded coverage in terms of vessel types and capacities.

Keywords: IMO Strategy, greenhouse gases, carbon intensity.

УДК 629.4.048

**АВТОНОМНА ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ З ІНТЕГРОВАНОЮ
ЕЖЕКТОРНО-АБСОРБЦІЙНОЮ ХОЛОДИЛЬНОЮ МАШИНОЮ**

Остапенко О.В. к.т.н., доцент кафедри кондиціонування та рефрижерації;
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв

Анотація

Виконано аналіз типової системи трансформації скидної теплоти газових двигунів в холод. Встановлено наявність значних втрат теплоти. Запропонована ступінчаста абсорбційно-ежекторна система, застосування якої забезпечує скорочення втрат теплоти і приріст холодопродуктивності понад 15%.

Ключові слова: тригенерація, абсорбційна холодильна машина, адсорбційна холодильна машина, утилізація теплоти

Вступ

У руслі загальносвітової тенденції децентралізації енергопостачання все більший попит отримують установки автономного електро-, тепло- та холодопостачання, в яких скидна теплота привідних двигунів електрогенераторів трансформується в холод тепловикористовуючими холодильними машинами, а холод використовується на технологічні потреби і кондиціонування повітря різних об'єктів. Особливо перспективним є застосування для приводу електрогенераторів газопоршневих двигунів, що випускаються в когенераційному виконанні - зі штатними теплообмінниками, в яких скидна теплота відводиться на нагрів води (теплоносія), теплота якого в свою чергу трансформується в холод абсорбційною бромистолітєвою холодильною машиною.

Відповідно до існуючої схеми роботи при температурі теплоносія, на виході з когенераційного модуля, що дорівнює 90°C, зниження температури теплоносія в АБХМ зазвичай становить не 15 °С, а реально навіть дещо менше, що не дозволяє охолоджувати теплоносії до температури на вході в ГД $t = 70$ °С, яка б забезпечувала підтримку теплового стану ГД на необхідному рівні, і викликає необхідність скидати надлишкову теплоту в атмосферу градирнею аварійного скидання. Через відповідні втрати теплоти теплові коефіцієнти системи утилізації теплоти ГД виявляються значно нижче теплових коефіцієнтів власне АБХМ, що зумовлює істотне зниження холодопродуктивності.

Результати дослідження

Рішення завдання підвищення ефективності трансформації теплоти газового двигуна в холод розглядалося на прикладі установки автономного електро-, тепло- і холодозабезпечення заводу ТОВ "Сандора" - "Pepsico Ukraine" (м.Миколаїв, Україна). Установка включає два когенераційних газових двигуна JMS 420 GS-N.LC GE Jenbacher (електрична потужність одного ГД 1400 кВт, тепла потужність 1500 кВт), в якому теплота випускних газів, надувої газоповітряної суміші, що охолоджує сорочку двигуна води і мастила використовується для нагріву води. Теплота гарячої води трансформується абсорбційною бромистолітєвою холодильною машиною AR-D500L2 Century в холод (холодильна потужність 2000 кВт), який витрачається на технологічні потреби і для роботи центральних кондиціонерів, що забезпечують охолодження повітря в машинному відділенні (рис.1).

З метою виключення зазначених втрат тепла, було запропоновано використовувати в системі утилізації додаткову тепловикористовуючу ежекторну холодильну машину. Ежекторні ХМ відрізняються простотою конструкції, але їх ефективність роботи дуже сильно залежить від температури теплоносія на вході. Незначне падіння температури теплоносія призводить до значного падіння теплового коефіцієнта ЕХМ, в порівнянні з

АБХМ. Тому ежекторний ступень запропоновано використовувати перед АБХМ щоб спрацювати в генераторі ЕХМ високопотенційне тепло теплоносія.

Згідно запропонованої схеми (рис.1) тепло теплоносія з температурою 90°C використовується в випарній частині генератора ЕХМ. Потім зі зниженою до 85°C температурою теплоносій подається в АБХМ в результаті чого на виході з АБХМ отримують теплоносій з температурою $\approx 72^{\circ}\text{C}$. Для дотримання умови підтримки температури зворотного теплоносія на вході в газопоршневу двигун не вище 70°C , решта надлишкового тепла теплоносія відводиться в економайзерною частиною генератора ЕХМ для проміжного нагріву рідини перед випарною частиною генератора.

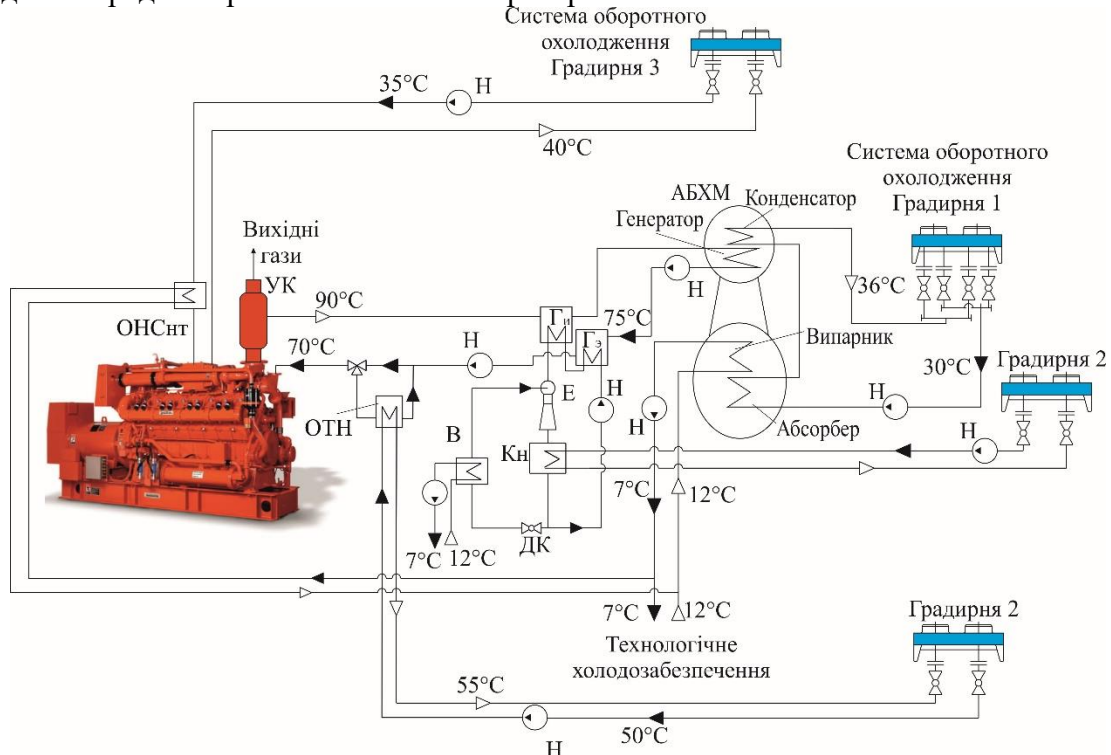


Рис. 1 Схема запропонованої ступеневої системи трансформації скидного тепла ГПД в холод в ЕХМ і АБХМ: УК – утилізаційний котел; Гг, Ге – генераторна і економайзерная секції ЕХМ; ДК – дросельний клапан; Кн – конденсатор; В – випарник; Е – ежектор; градирня 2 – аварійного скидання тепла; ОТН – охолоджувач теплоносія; ОНСнт – охолоджувач надувної суміші; Н насос.

Для запропонованої схеми були розраховані загальна холодопродуктивність, а також її складових - холодопродуктивності ЕХМ і АБХМ. При цьому було встановлено що, через використання частини теплоти теплоносія в генераторній секції ЕХМ перед АБХМ, і як результат зниження його температури, спостерігається зниження кількості теплоти використаного в АБХМ запропонованої схеми і трансформованого в холод. Але за рахунок додаткового холоду, одержуваного в ЕХМ, загальна холодопродуктивність трохи зростає.

Для запропонованої схеми системи трансформації скидного тепла ГД в холод були проведені розрахунки приросту холодопродуктивності при різних теплових коефіцієнтах ЕХМ. Було встановлено що використання ЕХМ в запропонованій схемі системи трансформації скидного тепла ГД в холод доцільно при її тепловому коефіцієнті 0,15 і вище. Так як при тепловому коефіцієнті ЕХМ 0,14 не буде приросту холодопродуктивності в порівнянні з базовою схемою системи

Висновки

Шляхом трансформації надлишкової теплоти, зазвичай скидається в атмосферу, в холод в ЕХМ можна збільшити холодопродуктивність установки автономного електро-, тепло- та холодопостачання, при можливості експлуатації ЕХМ з підвищеним тепловим

коефіцієнтом. При цьому при значенні теплового коефіцієнта ЕХМ $\zeta = 0,4$ можна досягти 18% приросту холодопродуктивності системи в порівнянні з базовим її значенням.

Література

1) Economic utilization of Biomass and Municipal Waste for power generation. Some energy lasts for generations. – GE Jenbacher Company Overview. – June 13, 2007. – 39 p.

2) Elsenbruch T. Jenbacher gas engines a variety of efficient applications / T. Elsenbruch [статья]. – București, October 28, 2010. – 73 p.

3) GTI Integrated Energy System for Buildings. Modular System Prototype/ G. Rouse, M. Czachorski, P. Bishop, J. Patel // GTI Project report 15357/65118: Gas Technology Institute (GTI). – January 2006. – 495 p.

4) Радченко А. Н., Зубарев А. А., Остапенко А. В., Грич А. В. Повышение эффективности утилизации теплоты газового двигателя ступенчатой трансформацией [Текст] / А. Н. Радченко, А. А. Зубарев, А. В. Остапенко, А. В. Грич // Авиационно-космическая техника и технология. – 2018. – № 6 (150). – 113 с. С. 39–43.

5) Колективна монографія: "Інноваційні технології комбінованого виробництва енергії для переробних підприємств", розділ 14 "Трансформація теплоти когенераційних газопоршневих модулів установки автономного електро- тепло- та холодозабезпечення технологічного виробництва" / А.М Радченко, Р.М. Радченко, О.В. Остапенко/ ПОВНОЦІННЕ ХАРЧУВАННЯ: інноваційні аспекти технологій, енергоефективного виробництва, зберігання та маркетингу: колективна монографія / за ред. проф. В. В. Євлаш, проф. В. О. Потапова, проф. М.І. Радченко, проф. Н. Л. Савицької. – Х. : Світ книг, 2016. – 546 с.

Autonomous thermal power plant with integrated ejector-absorption refrigerator

Ostapenko Oleksii

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The analysis of a typical system of transformation of the waste heat of gas engines into cold was carried out. The presence of significant heat losses was established. A step-by-step absorption-ejector system is proposed, the use of which ensures a reduction in heat loss and an increase in cooling capacity of more than 15%.

Key words: trigeneration, absorption refrigerating machine, adsorption refrigerating machine, heat utilization

УДК 621.433:621.436.068

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СПАЛЮВАННЯ ВОДОПАЛИВНИХ ЕМУЛЬСІЙ В ДВЗ

Колбасенко О.В.

аспірант Ph-D Національного технічного університету "ХПІ",
м.Харьків, Україна, rekamore45@gmail.com

Димо Б.В.

кандидат технічних наук, професор, зав. каф. Технічної
теплофізики та суднових паровиробних установок Національного
університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна, dymobv@gmail.com

Анастасенко С.М.

кандидат технічних наук, доцент каф. Теплоенергетики та технологій
машинобудування ПННІ Національного університету
кораблебудування імені адмірала Макарова, м.Миколаїв, Україна ondi2008@ukr.net

Стельмах О.І.

магістрант Національного
університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна, mogamija@gmail.com

Анотація. Проаналізовано фізично-хімічну природу підвищення ефективності спалювання палива в ДВЗ при використанні водопаливних емульсій (ВПЕ). Встановлено, що перехід на ВПЕ поліпшує всі основні показники сумішоутворення, але на думку авторів найбільш позитивну роль мають мікрОВИбухи, а також місцеве збільшення значення коефіцієнту надлишку повітря. Наявність ВПЕ призводить до якісних та кількісних змін процесу, зокрема окисленню іонів водню у активованій кавітацією воді. Досліджено, що застосування ВПЕ ініціює інтенсифікацію до 8 % при спалюванні у ДВЗ також за рахунок додаткового збільшення внутрішньої енергії робочого тіла.

Ключові слова: водопаливна емульсія (ВПЕ), двигун внутрішнього згорання (ДВЗ), кавітаційна підготовка ВПЕ, інтенсифікація, холодна плазма

Еколого-економічна ефективність спалювання водопаливних емульсій (ВПЕ) в ДВЗ представлена в багатьох публікаціях. Аналізуючи літературні дані, можна зробити висновок про те, що поліпшення якості робочого процесу дизеля при спалюванні ВПЕ має складну фізико-хімічну природу, зокрема процес об'ємного сумішоутворення. Істотним недоліком струминного сумішоутворення в дизелях є перезбагачення паливом центральної частини паливно-повітряного факела. В багатьох точках цього об'єму струменя коефіцієнт надлишку повітря менше 0,1. Саме тут при високих температурах, що мають місце в циліндрі дизеля, створюються сприятливі умови для термічного розкладання палива, що супроводжується інтенсивним виділенням вільного вуглецю (сажі). Сажа реагує з киснем недостатньо активно, тому процес згорання затягується, і характеристика тепловиділення виявляється неоптимальною.

Перехід на ВПЕ поліпшує всі основні показники сумішоутворення. Однак найбільшу позитивну роль у робочому процесі дизеля, на думку авторів [1], грають мікрОВИбухи й збільшення місцевих значень коефіцієнта надлишку повітря. МікрОВИбухи розбивають асфальтосмолисті залишки краплі й зменшують тим самим розміри часток коксу, що утворюються, що сприяє їх більш швидкому згорянню при контакті з окислювачем, а також прискорюється процес газифікації. Велика роль мікрОВИбухів і в ліквідації крапель великих розмірів. Збільшення локальних коефіцієнтів надлишку повітря веде до підвищення швидкості згорання й скороченню сажоутворення.

Було досліджено процеси та представлені результати, що характеризують хімічну активацію горіння палива молекулами води. Для визначення ступеня участі кисню води в процесах окислювання вуглеводнів, що відбуваються в камері згорання високообертового дизеля, дослідження було проведене на двигуні 1ЧН18/20. В якості палива використовувалася 40%-а ВПЕ. Для готування проби застосовувалася дистильована вода, що була збагачена ізотопом кисню ^{18}O . Для оцінки ефективності участі води в хімічних реакціях окислювання вуглеводнів був проведений маспектрометричний аналіз монооксиду і діоксиду вуглецю за спеціальною методикою оцінки вмісту ізотопу O^{18} . Результати проведеного аналізу за допомогою стандартних методів, застосовуваних у маспектрометрії показали, що частка кисню з води ВПЕ, що брала участь в окислюванні вуглеводнів палива, становить 60 %. Участь присадки води в процесі згорання палива у ДВЗ уперше показав академік Е.А.Чудаков. Для цього важкоокисневу воду H_2O^{18} вводили разом з робочою сумішшю в циліндр двигуна. Аналіз випускних газів показав, що 45...60 % загальної кількості введеного ізотопу O^{18} перебувало в сполуці з вуглецем. *Але при цьому*

не вказані умови підготовки і якісні показники ВПЕ перед спалюванням, які мають важливе значення.

При жорсткій кавітаційній циркуляційній підготовці ВПЕ (індекс кавітації близько 1, або кавітаційне число $\leq 0,2$) у пухирцях води й у самій воді при зхлопуванні пухирців повітря накопичується певна кількість іонів H^+ , OH^- (до $0,3$ ммоль/дм³), H_2O_2 (до $0,05$ ммоль/дм³), O_3 (до $0,0001$ ммоль/дм³) внаслідок розриву водневих зв'язків, деструкції каркаса води, які відбуваються під впливом ударів електронів у парогазовій суміші кавітаційних пухирців у воді відповідно до теорії Маргуліса при тисках в 100 МПа і температурах до $10000^\circ C$. Отже, ще до процесу дроблення потоку ВПЕ на краплі камері згоряння в них уже є достатня кількість іонів для запалення, до яких потім додаються такі ж іони й продукти термічного розкладання вуглеводнів мазуту. Тому самозапалювання ВПЕ настає легше й раніше в порівнянні з режимом горіння безводного мазуту. Причому, через первинне нагромадження H^+ , OH^- , H_2O_2 при горінні атомарного водню з рекомбінацією відбувається виділення теплоти цієї реакції на рівні $216000...335000$ кДж/кг (холодна плазма), тоді як при горінні молекулярного водню виділяється 120000 кДж/кг. Тому в експлуатації спостерігаються у факелі палаючої ВПЕ білі спалахи, характерні для горіння водню, що можливо тільки при спалахах низькотемпературної плазми внаслідок мікробухів крапель ВПЕ. При вмісті води у ВПЕ до $20...25\%$ спостерігається економія чистого нафтопродукту у ВПЕ до $20...25\%$ у котлах і до 8% у ДВЗ при відповідному росту витрати самої ВПЕ.

Після мікробуху краплі ВПЕ в ударній хвилі за фронтом газ сильно іонізований і тому іонна і електронна температури не збігаються. У стрибку ущільнення нагріваються тільки важкі частки, але не електрони, а обмін енергії між іонами й електронами відбувається повільно внаслідок великого розходження їхніх мас. Релаксація пов'язана з вирівнюванням температур. Крім того, при поширенні ударної хвилі в плазмі істотну роль грає електронна теплопровідність, що набагато більше іонної й завдяки якій електрони прогріваються перед стрибком ущільнення.

Таким чином, при спалюванні ВПЕ має місце одночасний вплив на процеси горіння електрохімічних реакцій і ударних хвиль, що створюють відповідне акустичне поле не тільки в камері згоряння, а і в конвективному газоході.

У зоні максимуму температур реакцій більшості сучасних камер згоряння компоненти паливіав завжди перебувають у частково збудженому стані. Але подальше збільшення частки збуджених часток приводить до значної зміни характеру протікань більшості реакцій. По даним [1] електричний розряд, як у силу високої ефективної температури (до 12000 К), так і через високу енергію вільних електронів, значно сильніше сприяє збудженню радикалів і молекул. У зоні основного розряду превалюють реакції безпосередньої іонізації часток електронним ударом у силу дуже великої енергії вільних електронів. Такі ж процеси повинні відбуватися і при мікробухах крапель кавітаційних ВПЕ.

В [2] розглянуто вплив ступені початкової іонізації плазмового включення і представлені залежності приросту мольних часток відповідних речовин від ступеня іонізації включення, початкового діаметра включення і початкової температури середовища. Зріст початкового ступеня іонізації у всіх випадках передбачувано приводить до загального збільшення концентрацій активних часток (як і швидкостей їхнього виробництва - розпаду). Це важливо з погляду врахування впливу режиму попередньої підготовки ВПЕ перед спалюванням і визначення ступеня початкової іонізації ВПЕ.

Для інертного повітряного середовища пікові миттєві концентрації атомарного кисню монотонно зростають у міру збільшення початкової температури, у той час як при горінні метану монотонний ріст спостерігається тільки при мінімальній іонізації включення ($\lambda_0 = 0,05$). При більш високих ступенях іонізації спостерігається мінімум концентрацій атомарного O при ефективній середній температурі середовища в діапазоні від 1800 до 2000 К.

Мінімум пікових мольних часток спостерігається для гідроксильних радикалів, концентрації яких незначно зростають при температурі полум'яної зони від 1200 до 1400 К (відповідає початковим ділянкам запалення і зони змішання) з наступним монотонним зниженням при 1800 - 2000 К, після чого спостерігається стрибкоподібне зростання генерації ОН, явно взаємозалежне з дисоціацією молекул води, що швидко утворюються у високотемпературній зоні, а також з інтенсифікацією ударних розщеплень вуглеводневих залишків збудженими частками плазмового включення, що необхідно врахувати при розгляді впливу мікробухів при спалюванні ВПЕ. У ході досліджень [2] також був установлений нелінійний взаємозв'язок між початковим діаметром включення й виходом активних речовин. Як при збільшенні, так і при зменшенні початкового діаметра плазмової зони в діапазоні від 1 до 6 мм спостерігається розщеплення впливу початкової іонізації на виробництво гідроксилів і атомарного кисню. Очевидно, характер розсіювання збуджених часток (як дифузійно-конвективного, так і перезарядного механізму) і швидкість зниження середнього ступеня збудження пов'язаний із площею поверхні початкової зони й концентрацією характерних реагентів в основному потоці.

Проведені експериментальні дослідження показують, що при спалюванні в топці котла і в камері згоряння (КЗ) експериментальної установки ХННІ НУК при забезпеченні постійної температури газів на виході із топки (КЗ) економія чистого палива досягає 25% при спалюванні ВПЕ з водомісткістю 25%. Згідно аналізу даних [3] при спалюванні ВПЕ (названого екологічно чистим паливом (ПЕД), що випускається Кременчужським нафтопереробним заводом), з тією ж водомісткістю 25% у високооберткових ДВЗ економія чистого палива склала ~ 8% при забезпеченні постійного значення потужності.

Проведене зіставлення відносних значень витрат ВПЕ до витрат чистого палива при однакових значеннях водомісткості у межах від 5 до 30% в котлі і КЗ, і ВОД показали, що вони мають практично однакові значення. З нашої точки зору це пояснюється тим, що в ДВЗ тільки частка підведеної теплоти витрачається на виконання роботи. Так, згідно першого закону термодинаміки (аналітичне вираження $dq = du + dl$), яке можна представити у вигляді $du/dq + dl/dq = 1$, можливо визначити ту частку від усієї теплоти dq , що підводиться до газу і перетворюється в роботу: $dl/dq = 1 - du/dq$. Так як для ідеального газу в процесі $p = \text{const}$, значення $du = c_v dt$ і $dq = c_p dt$, то $dl/dq = 1 - c_v dt / c_p dt$, то приймаючи $k = 1,4$, одержуємо $dl/dq = 1 - 1/1,4 = 0,285$. Отже, в ізобарному процесі тільки 28,5% теплоти, що підводиться до газу, перетворюється в роботу. Вся інша теплота, тобто 71,5%, витрачається на збільшення внутрішньої енергії.

Аналіз літературних даних і одержані результати досліджень дозволяють зробити висновок, що процеси згоряння палива в дизелі при використанні висококонцентрованих емульсій у значній мірі визначаються законами хімічної кінетики взаємодії вуглеводнів і їхніх радикалів з молекулами й продуктами дисоціації води. Ці висновки дозволяють вважати, що ВПЕ є не просто продуктами фізичного змішання вуглеводневого палива з хімічно інертною рідиною, а зовсім особливим видом палива, що і якісно, і кількісно змінює процеси, що характеризують горіння палива в камері згоряння дизеля, бо вказаний рівень економії палива може бути досягнутий за рахунок окислення іонів і молекул водню, що містяться у активованій при жорсткій кавітації води ВПЕ.

Література

1. Долматов Д.А., Кукурудза А.В., Хадживанд М. Химическая кинетика реакций возбужденных частиц при слабой ионизации среды // *Авіаційно-космічна техніка та технології* – 2012. - №8 (95).
2. Долматов Д.А. Генерация гидроксидов и атомарного кислорода вблизи малых плазменных включений // *Авіаційно-космічна техніка та технології* – 2013. - №8 (105).
3. Парсаданов, И.В. Применение водотопливной эмульсии в автотракторном дизеле. Энергетические и экономические показатели. (Часть 2) / И.В. Парсаданов, А.А. Теплицкий,

И.Н. Карягин, В.В. Солодовников, С.А. Кравченко // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков, 2011. – №2.

INCREASING THE EFFICIENCY OF COMBUSTION OF WATER-FUEL EMULSIONS IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Kolbasenko O.V., Dymo B.V., Anastasenko S.M., Stelmah O.I.

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The physico-chemical nature of increasing fuel combustion efficiency when using water-fuel emulsions (WFE) in internal combustion engines is analyzed. It was established that the transition to WFE improves all the main indicators of mixture formation, but according to the authors, the most positive role is played by micro-explosions, as well as a local increase in the value of the coefficient of excess air. The presence of WFE leads to qualitative and quantitative changes in the process, in particular, the oxidation of hydrogen ions in cavitation-activated water. It has been investigated that the use of WFE initiates intensification during combustion in the internal combustion engine up to 8 % as well due to an additional increase in the internal energy of the working body.

Key words: water-fuel emulsion (WFE), internal combustion engine, cavitation preparation of WFE, intensification, cold plasma

УДК 629.4.048

OPPORTUNITY ANALYSIS TO IMPROVING THE EFFICIENCY OF HVAC SYSTEM OF THE INTEGRATED POWER PLANT.

Artem Hrych Ph.D Admiral Makarov National University of Shipbuilding Mykolayiv, Ukraine

Abstract

Efficiency monitoring of gas engines has shown that the conventional method of cooling all the outside air entering the engine room cannot be effective because the air temperature at the turbocharger (TC) inlet rises due to heat input from the ambient in the engine room. Therefore, a two-stage cooling system for gas engine inlet air and an advanced recirculating air cooling system using an absorption lithium bromide cooler and a refrigerant ejector cooler when the outside air temperature rises is proposed. In this system, the chilled water from the absorption lithium bromide chiller is used as cooling water for the first high temperature stage of the engine inlet air cooler, while the boiling refrigerant from the ejector cooler is used as cooling water for the second low temperature stage.

Keywords: gas engine, integrated energy system, fuel consumption, air cooling, chiller

Introduction

Most of the known concepts for increasing the efficiency of trigeneration plants are limited to the use of cold heat in the outer cycle of the engine (for external consumers) and therefore cannot realize additional storage by utilizing the heat released from the engine in the operating cycle. If the concept of in-cycle trigeneration is realized, the application area of trigeneration plants will expand as they can be used without sufficient heat or cooling demand.

A conventional method of chilling all the ambient air, coming into the engine room, from where it is sucked by engine turbocharger (TC), is non-effective because of heat influx from surroundings to the air stream sucked, that results in increased air temperature at the inlet of turbocharger and enlarged cooling capacity required for chilling all the ambient air coming into the engine room. The problem of engine cyclic air cooling arises especially actually for increasing ambient air temperature above 25...30 °C.

To solve this problem, a new method of two-stage gas engine intake air cooling using a lithium bromide absorption cooler and an ejector cooler was proposed to stabilize the intake air temperature even when the outside air temperature rises. In this method, cold water from the absorption lithium bromide refrigerator is used as cooling water for a first hot stage of the engine intake air cooler and boiling refrigerant from the ejector cooler is used as cooling water for a second cold stage.

Results

The efficiency of cooling air at the inlet of gas engine was investigated for IES of combined energy supply at the factory "Sandora"–"PepsiCo Ukraine" (Nikolaev, Ukraine). The integrated energy system is equipped with 2 cogeneration Jenbacher gas engines JMS 420 GS-N.LC (rated electric power $P_{eISO} = 1400$ kW, heat power $Q_h = 1500$ kW) and absorption lithium-bromide chiller.

The heat taken away from exhaust gas by waste heat recovery boiler (economizer), from charged gas-air mixture in a high-temperature stage of an intercooler (ICHT), from engine jacket and lubricant oil cooling water in corresponding coolant radiators, is used by absorption chiller for producing a chilled water with temperature of around 11...12°C. Chilled water is used for technological process cooling and by central conditioners for cooling engine room intake air, from where cooled air is sucked by engine turbochargers.

Because of heat influx from the engine room the temperature of engine intake air t_{in} is higher than its value at the outlet of central air conditioner (CAC) t_{AC2} (Fig. 1).

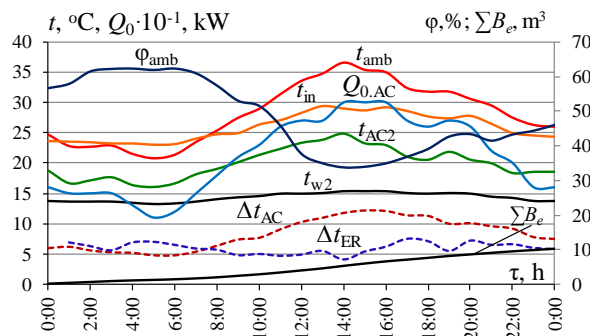


Fig. 1. Daily variation of temperature t_{amb} and relative humidity φ_{amb} of ambient air, temperature of air at the inlet of gas engine turbocharger t_{in} , air at the outlet of central air conditioner CAC t_{AC2} , cooling water at the outlet of air cooler of CAC t_{w2} , air temperature drop in the air cooler of CAC $\Delta t_{AC} = t_{amb} - t_{AC2}$, air temperature increase in the engine room $\Delta t_{ER} = t_{in} - t_{AC2}$, cooling capacity of air conditioner $Q_{0,AC}$ with air flow $G_a = 60000$ m³/h, $\Sigma \Delta B_e$ – full daily savings of natural gas due to cooling of air of ER, m³.

Current values of air temperature at the exit from the high-temperature stage ACHT t_{HT2} and low-temperature stage ACLT t_{LT2} of two-stage air cooler, reduction of air temperature in the high-temperature stage ACHT Δt_{HT} and low-temperature stage ACLT Δt_{LT} and full temperature reduction in the air cooler $\Delta t_{AC} = t_{amb} - t_{LT2}$, heat load on the high-temperature stage ACHT $Q_{0,HT}$ and low-temperature stage ACLT $Q_{0,LT}$ and full heat load on the whole air cooler $Q_{0,AC}$, corresponding current reduction of specific fuel consumption due to cooling engine cyclic air in the high-temperature $\Delta b_{e,HT}$ and low-temperature $\Delta b_{e,LT}$ stages and in the whole air cooler Δb_e and the total daily reduction of fuel consumption ΣB_e are presented in Fig. 2 and 3.

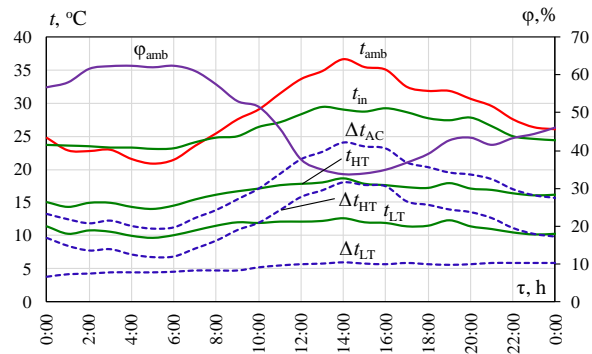


Fig. 2. Current values of temperature t_{amb} and relative humidity φ_{amb} of ambient air, temperature of air at the inlet of gas engine turbocharger t_{in} in basic version with central conditioner (Fig.2), air temperature at the exit from the high-temperature stage AC_{HT} t_{HT} and low-temperature stage AC_{LT} t_{LT} of air cooler, reduction of air temperature in the high-temperature stage AC_{HT} Δt_{HT} and low-temperature stage AC_{LT} Δt_{LT} of air cooler and full temperature reduction in the air cooler $\Delta t_{AC} = t_{amb} - t_{LT}$ with air flow $G_a = 6000 \text{ m}^3/\text{h}$

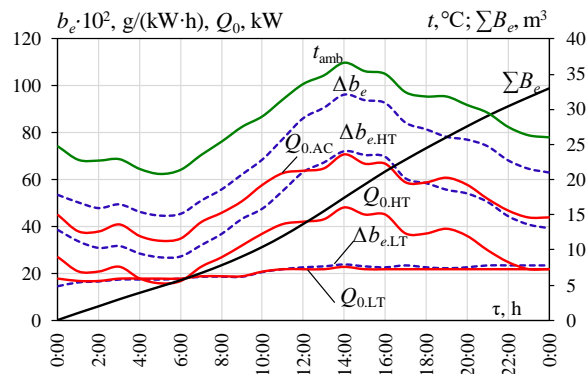


Fig. 3. Current values of ambient temperature t_{amb} , heat load on the high-temperature stage $Q_{0,HT}$ and low-temperature stage $Q_{0,LT}$ and full heat load on the air cooler $Q_{0,AC}$, current reduction of specific fuel consumption due to cooling air in the high-temperature $\Delta b_{e,HT}$ and low-temperature $\Delta b_{e,LT}$ stages and in the whole air cooler Δb_e and the total daily reduction of fuel consumption ΣB_e : air flow $G_a = 6000 \text{ m}^3/\text{h}$

A proposed two-stage cooling system of gas engine inlet air by chilled water from the absorption lithium-bromide chiller (ACh) in the first high-temperature stage AC_{HT} of engine inlet air cooler (AC) and boiling refrigerant of ejector chiller (ECh) in the second low-temperature stage AC_{LT} can provide decreasing engine inlet air temperature by about 20...25 °C compared with a typical scheme of gas engine inlet air system with cooling the engine room intake air in the central conditioner by chilled water from the ACh and sucking the chilled air by the engine turbocharger from engine room, that results in reduction of engine specific fuel consumption by about $\Delta b_e = (1...2) \text{ g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$, i.e. about 2...3 % decrease in specific fuel consumption at increased ambient air temperatures $t_{amb} = 30...35 \text{ }^\circ\text{C}$.

Conclusions

A new method of gas engine inlet air two-stage cooling to stabilize its inlet temperature at increased ambient air temperatures with absorption lithium-bromide chiller and refrigerant ejector chiller was proposed. With this chilled water from absorption lithium-bromide chiller is used as a coolant in the first high-temperature stage of engine inlet air cooler and boiling refrigerant of ejector chiller in the second low-temperature stage. An advanced gas engine inlet air cooling system with two-stage absorption-ejector chiller conversing waste heat of gas engine was proposed.

References

1. Radchenko A., Radchenko M., Konovalov A., Zubarev A. Increasing electrical power output and fuel efficiency of gas engines in integrated energy system by absorption chiller scavenge air cooling on the base of monitoring data treatment. E3S Web of Conferences (HTRSE–2018), 70, 2018, 6 p.
2. Radchenko N.: A concept of the design and operation of heat exchangers with change of phase. Archives of Thermodynamics: Polish Academy of Sciences, 25 (4), 2004, pp. 3–19.
3. Radchenko R., Radchenko A., Serbin S., Kantor S., Portnoi B. Gas turbine unite inlet air cooling by using an excessive refrigeration capacity of absorption-ejector chiller in booster air cooler. E3S Web of Conferences (HTRSE–2018), 70, 2018, 6 p.
4. I, Sugiarta N, Ge Y-T, Marriott D.: Application of tri-generation systems to the food retail industry. Energy Convers Manage, 48, 2007, pp. 2988–2995.
5. Trushliakov E., Radchenko M., Radchenko A., Kantor S., Zongming Y.: Statistical approach to improve the efficiency of air conditioning system performance in changeable climatic conditions. The 5th "International Conference on Systems and Informatics: ICSAI 2018", Jiangsu, Nanjing, China, 2018, pp.1303–1307.

УДК 629.4.048

ЕФЕКТИВНІСТЬ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ З СТУПЕНЕВИМ ОХОЛОДЖЕННЯМ ПОВІТРЯ ДЛЯ АВТОНОМНОЇ ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ПІДПРИЄМСТВА

Грич А.В. к.т.н., доцент кафедри кондиціювання та рефрижерації;

Остапенко О.В. к.т.н., доцент кафедри кондиціювання та рефрижерації;
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Анотація

Виконано аналіз ефективності охолодження припливного повітря машинного відділення газових двигунів автономної теплоелектростанції. Розглянуто систему двоступеневого охолодження повітря з використанням абсорбційної холодильної машини і зональною повітроподачею. Запропоновано способи обробки їх припливного повітря машинного відділення, що забезпечують його глибоке охолодження

Ключові слова: кондиціювання, автономна теплоелектростанція, машинне відділення, газовий двигун, повітроохолоджувач.

Вступ

В результаті аналізу існуючих систем кондиціювання машинних відділень (МВ) установок автономного енергозабезпечення на базі газових двигунів (ГД) виявлено резерви підвищення їх ефективності, розроблені раціональні схемно-конструктивні рішення по вдосконаленню енерговитратних традиційних систем охолодження припливного повітря МВ в центральному кондиціонері. Згідно із запропонованим принципом локального повітропостачання глибоке охолодження доцільне тільки для циклового повітря на вході ГД, а до інших джерел тепловиділень в МВ (електрогенератор, головки циліндрів двигуна і т.д.) можна подавати або вентиляційне повітря, або припливне повітря, охолоджуване в кондиціонері, в який подають холодну воду від АБХМ.

Результати дослідження

Для скорочення витрат холоду на кондиціювання циклового повітря ГД і підвищення ефективності його охолодження була розроблена схема системи двоступеневого кондиціювання повітря на вході в ГД. Особливістю такої системи є те, що повітря на вході в

двигун охолоджується в двоступеневому повітроохолоджувачі (ПО). Повітроохолоджувач складається з високотемпературного ступеня ПО_{ВТ}, (Рис 1.) в який подається холодоносієм – вода з температурою 7 °С від абсорбційної бромистолітєвої холодильної машини (АБХМ), і низькотемпературного ступеня ПО_{НТ}, з температурою холодоносія-води 4 °С, охолоджуваної в парокompресорній холодильній машині (ПКХМ). При цьому зовнішнє повітря подають вентилятором спочатку в високотемпературний ступінь ПО_{ВТ}, де його температура знижується на величину $\Delta t_{\text{ПО.ВТ}} = 12 \dots 19 \text{ }^\circ\text{C}$, а потім в низькотемпературний ступінь ПО_{НТ}, де воно охолоджується на величину $\Delta t_{\text{ПО.НТ}} = 5 \dots 7 \text{ }^\circ\text{C}$, і через вологовідділювач подається на вхід в ГД з температурою 8 ... 10 °С.

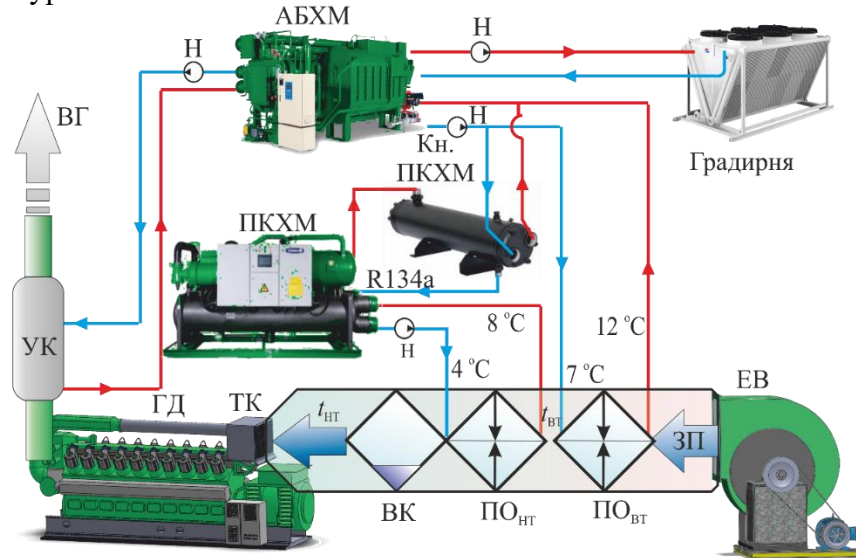


Рис. 1 Схема системи кондиціонування повітря з двоступеневим повітроохолодженням та прямою подачею охолодженого повітря на вхід в ТК ГД. Де: ГД – газований двигун; АБХМ – абсорбційна бром-літєва холодильна машина; ПКХМ – парокompресорна холодильна машина; Кн. ПКХМ – конденсатр ПКХМ; ПО_{ВТ} – повітроохолоджувач високотемпературного ступеня; ПО_{НТ} – повітроохолоджувач низькотемпературного ступеня; ЕВ – електровентилятор; ВК – відділювач конденсату; ТК – турбокомпресор; УК – утилізаційний котел; ЗП – зовнішнє повітря; ВГ – відхідні газы;

На рис. 2 наведені поточні значення зниження температури припливного повітря $\Delta t_{\text{в}}$ в ПО, вологовмісту повітря на вході ПО $d_{\text{нв}}$, після високотемпературного ступеня ПО_{ВТ} $d_{\text{в1}}$ і низькотемпературного ступеня ПО_{НТ} $d_{\text{в2}}$, питома теплове навантаження високотемпературного ступеня ПО_{ВТ} q_{01} , низькотемпературного ступеня ПО_{НТ} q_{02} і всього ПО q_0 , зменшення питомої витрати палива за рахунок охолодження повітря на вході Δb_e і сумарне $\Sigma \Delta b_e$ з урахуванням витрат потужності, відповідно і палива, на подолання аеродинамічного опору ПО, а також Δb_{et} і сумарне $\Sigma \Delta b_{et}$ без урахування аеродинамічного опору ПО протягом доби 20.07.2009 р

Система зонального кондиціонування з двоступеневим охолодженням дозволяє ізолювати циклове повітря двигуна від повітря машинного відділення, що в свою чергу забезпечує збільшення глибини охолодження повітря і скорочення витрат холоду на кондиціонування припливного повітря за рахунок значного скорочення його витрати (від 60000 м³/год до 7500 м³/год).

З рис. 2 видно, що глибина охолодження припливного повітря становить $\Delta t_{\text{в}} = 8 \dots 24 \text{ }^\circ\text{C}$. Це свідчить про більш високу ефективність охолодження припливного повітря в порівнянні з базовим варіантом і стандартними системами кондиціонування повітря МВ.

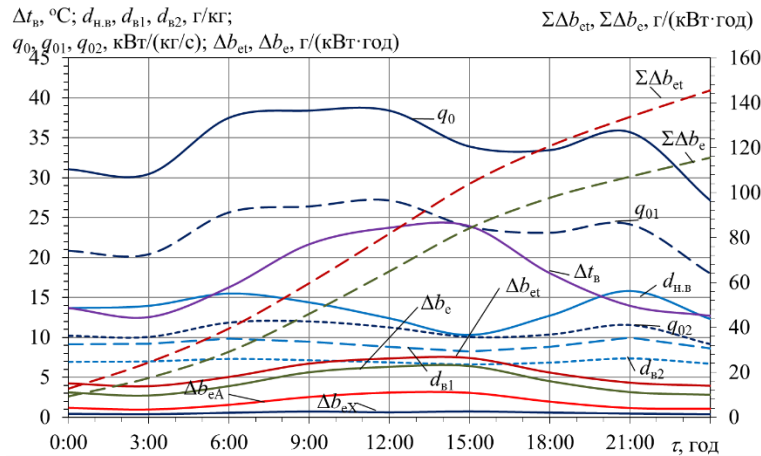


Рис. 2 Поточні значення зменшення температури зовнішнього повітря $\Delta t_{\text{в}}$ в ПО, вологовмісту повітря на вході ПО $d_{\text{н.в.}}$, вологовмісту після високотемпературного ступеня ПОВТ $d_{\text{в1}}$ і низькотемпературного ступеня ПОНТ $d_{\text{в2}}$; питомого теплового навантаження високотемпературного ступеня ПОВТ q_{01} , низькотемпературного ступеня ПОНТ q_{02} і всього ПО q_0 ; поточне зменшення питомої витрати палива за рахунок охолодження повітря на вході $\Delta b_{\text{е}}$ і сумарне $\Sigma \Delta b_{\text{е}}$ з урахуванням аеродинамічного опору ПО, а також $\Delta b_{\text{ет}}$ і сумарне $\Sigma \Delta b_{\text{ет}}$ без урахування аеродинамічного опору ПО протягом доби 20.07.2009 р

Слід зазначити, що зональна система кондиціонування дозволяє також в разі необхідності використовувати в якості циклового повітря ГД зовнішнє неохоложене повітря, яке подається ізольованим каналам на вхід ГД. Пряма подача зовнішнього повітря допустима, коли його температура $10 \dots 18^\circ \text{C}$ та у разі дефіциту холоду, через його витрати на технологічні потреби. При цьому передбачене часткове або повне байпасування повітроохолоджувачів. Байпасування дозволяє скоротити аеродинамічний опір на величину $\Delta P = 280 \dots 490 \text{ Па}$, зменшуючи тим самим споживання електроенергії вентилятором на $20 \dots 25 \%$.

Висновки

Проаналізовано ефективність глибокого охолодження припливного повітря МВ автономної теплоелектростанції. Показано, що двоступенева охолодження припливного повітря холодною водою спочатку від АБХМ, а потім від ПКХМ з температурою відповідно 7 і 4°C забезпечує в $1,4 \dots 1,5$ рази більше зниження температури повітря в порівнянні з традиційним охолодженням водою від АБХМ.

Література

1. Трушляков, Є. І. Підвищення ефективності систем кондиціонування повітря шляхом роз-поділу теплового навантаження за ступеневим принципом [Текст] / Є. І. Трушляков, М. І. Рад-ченко, А. М. Радченко, С. Г. Фордуй, С. А. Кантор, В. С. Ткаченко, Б. С. Портной // Авиационнокосмическая техника и технология. – 2019. – № 8 (160). – С. 49–
2. Радченко А.М., Грич, А.В., Портной Б.С. Ступенчатое охлаждение приточного воздуха машинного отделения автономной электростанции //Холодильна техніка та технологія, Одеса, ОНАХТ. - 2016. - Т. 51, Вип. 1. - С. 71-7.
3. Радченко А.М., Грич А.В. Охлаждения приточного воздуха машинного відділення газо-вих двигунів тригенераційної установки//Холодильна техніка та технологія. Одеса, ОНАХТ,- 2014. - № 6. - С. 20-25.
4. Радченко Р.М., Грич А.В. Двухступенчатое охлаждение приточного воздуха газовых двига-телей тригнерационной установки//Авиационнокосмическая техника и техно-логия, Харків, –2014. – № 6. – С. 103–107
5. Радченко М.І., Бохдаль Л., Грич А.В., Єсин І.П. Повышение эффективности системы обратного охлаждения газопоршневого двигателя //Авиационно-космическая техника и технология, Харків, ХАІ – 2015. – № 4 (121). – 113 с. С. 103–107.

Efficiency of air conditioning with gradual air cooling for an autonomous thermal electrical plant of the enterprise

Hrych Artem, Ostapenko Oleksii

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The analysis of the cooling efficiency of the supply air of the machine room of the gas engines of the autonomous thermal power plant was performed. A two-stage air cooling system using an absorption refrigerating machine and zonal air supply is considered. Methods of processing the supply air of the engine room, which ensure its deep cooling, are proposed

Key words: air conditioning, autonomous thermal power plant, machine room, gas engine, air cooler.

UDK 621.181.27

ENHANCING THE FUEL EFFICIENCY OF COGENERATION PLANTS BY FUEL OIL AFTERBURNING IN EXHAUST GAS BEFORE BOILERS

Victoria Kornienko, PhD

Admiral Makarov National University of Shipbuilding kornienkovika1987@gmail.com

Abstract. The application of efficient environmentally friendly exhaust gas boilers with low-temperature condensing surfaces can be considered a new and prosperous trend in diesel engine exhaust gas heat utilization through the afterburning of fuel oil and in cogeneration power plants as a whole.

Keywords: water-fuel emulsion, low-temperature corrosion, condensing heat exchange surface.

The use of combined cycle technology contributes to increasing the thermal efficiency of cogeneration power plants (CPP) and district heating systems. The construction of decentralized CPPs with a low electrical capacity in new microdistricts of cities becomes relevant. Their construction near consumers will significantly reduce the lengths of heating networks and heat losses. Various application of cogeneration plants is associated with increased steam or hot water needs, which requires a higher efficiency of combined heat and power generation compared to their distributed production. The aim of this research is to evaluate the possibilities of using water-fuel emulsion (WFE) in diesel engine and afterburning fuel oil in the exhaust gas at the inlet of the exhaust gas boiler (EGB) to increase the electric and (or) thermal power of the CPP [1].

Calculation studies and comparisons of the effectiveness of different heat recovery circuits (HRC) were performed for the CPP using a Wärtsilä corp. 16V32DE with a nominal power of 9280 kW, a specific fuel consumption of 0.195 g/(kW·h), and an exhaust gas temperature of 350 °C. In the considered versions of the CPP, two-pressure EGBs with multiple forced circulation are used during fuel oil combustion and hot water supply system (HWSS), are used during WFE combustion. Calculations of the thermal diagrams of the specified HRCs [2] show that, due to the possibility of reducing the value of ϑ_{in} from 160 °C to 90 °C during WFE combustion with a water content of 30%, the thermal capacity of the EGB increases by 40%. When fuel oil is afterburning at the inlet of the EGB, each value of β_a corresponds to the value of the initial pressure of the superheated steam, which increases with the increase of β_a . Currently, low-power steam turbines are produced for the limit parameters of superheated steam of about 9 MPa, 550 °C [3]. Such parameters can be estimated as marginal for turbines of a similar class. The limitation of the further increase in the efficiency of the EGB occurs when the minimum permissible value of ϑ_{out} is reached at the corresponding value of Δt at the last surface of the EGB, which is taken to be equal to 20 °C, provided that corrosion of the condensing heat exchange surface (HES) of the EGB is prevented when liquid gas turbine fuel combustion at $S^f = 0.5\% - 120$ °C [3], when fuel oil combustion with a sulfur content of ~2% – 150–160 °C, and when WFE combustion based on fuel oil – 90–100 °C, due to a significant reduction of low temperature corrosion (LTC) due to passivation of the metal of condensing HESs.

The use of the HRC of CPPs with two-pressure EGBs in the steam part of the CPP allows the increase of its efficiency both by reducing the heat to the minimum permissible level when installing a low-pressure evaporative surface and by increasing the parameters of the steam in the high-pressure heat recovery circuit (HPHRC). In a two-pressure EGB (Figure 1), the maximum number can be seven HESs. In this case, individual drums and feed pumps of HPHRC and low-pressure heat recovery circuit (LPHRC) are required. In two-pressure EGBs, due to the generation of steam in the LPHRC, the temperature ϑ_{out} decreases to the minimum allowable calculated level of 153 °C during fuel oil combustion. At the same time, an increase in the steam pressure of the boiler p_1 does not lead to an increase in ϑ_{out} and, as a result, to a decrease in the efficiency of the EGB. Therefore, for two-pressure recovery turbo generators (RTG) and CPPs based on diesel engine, increasing the initial steam parameters of the HPHRC under other constant conditions clearly leads to an increase in economy due to an increase in the efficiency of the steam turbine cycle and of the steam turbine power.

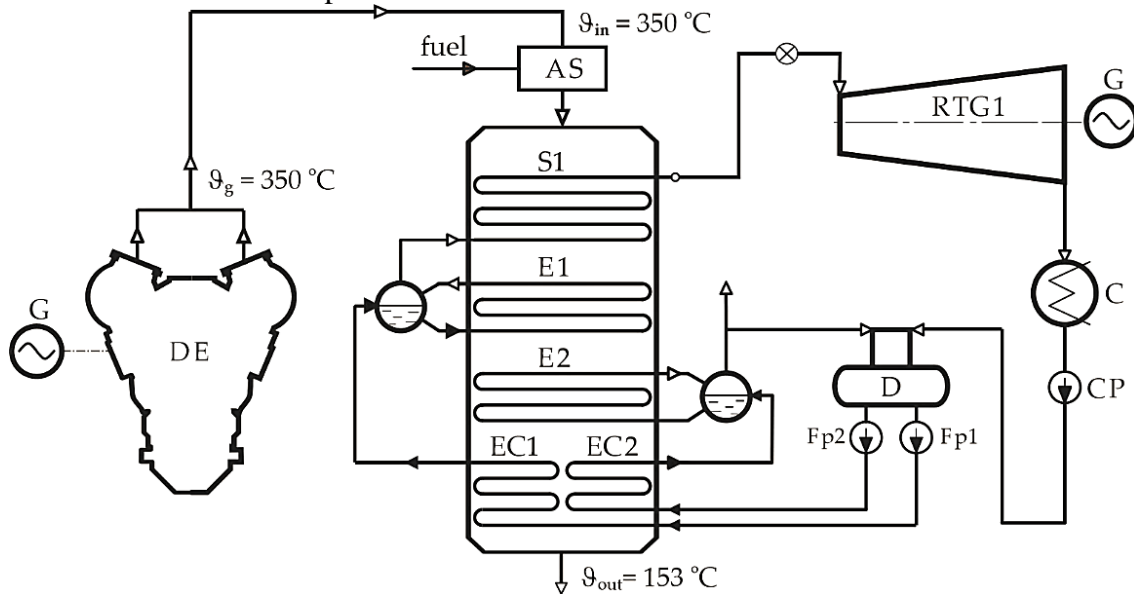


Figure 1. Thermal scheme of the HRC of the CPP with a two-pressure EGB, operating on fuel oil: DE – diesel engine; AS – afterburning system; S1 – superheater; E1, E2 – evaporator high- and low-pressure; EC1, EC2 – economizer high- and low-pressure; RTG1 – recovery turbogenerator; G – generator; C – condenser; CP – condensing pump; Fp1, Fp2 – feed pump high and low pressure

The amount of low-pressure steam and the share of power generation by this flow are lower than in the HPHRC. The parameters of the HPHRC are decisive in the design of the SPP. The parameters of the LPHRC are usually chosen in such a way that, when mixing in the steam turbine of both steam flows, their temperatures and enthalpies are close, and when mixing the steam of the LPHRC, there is no influence on the parameters of the main flow. During sulfuric fuel oil combustion, it is necessary to maintain $t_w = 130$ °C; the minimum value of p_2 is 300 kPa, which corresponds to $t_{s2} = 133$ °C (minimum value of t_w under the condition of preventing LTC).

During WFE combustion, it becomes possible to reduce the temperature of exhaust gases ϑ_{out} to 90 °C, which allows installing a third evaporative surface and (or) a section of hot water supply (Figure 2).

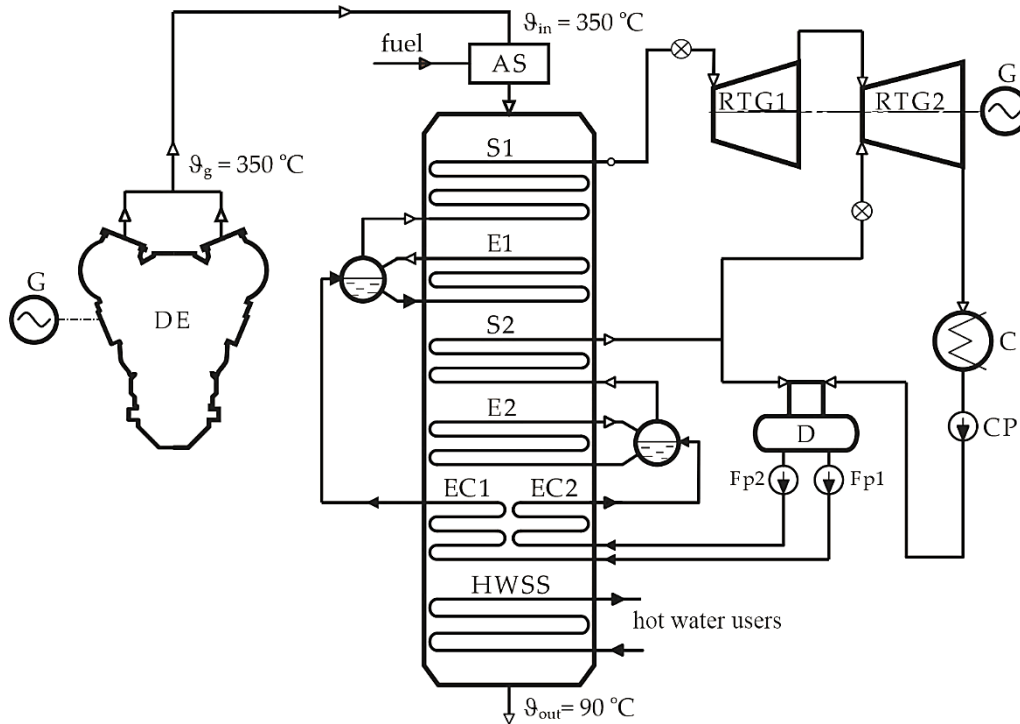
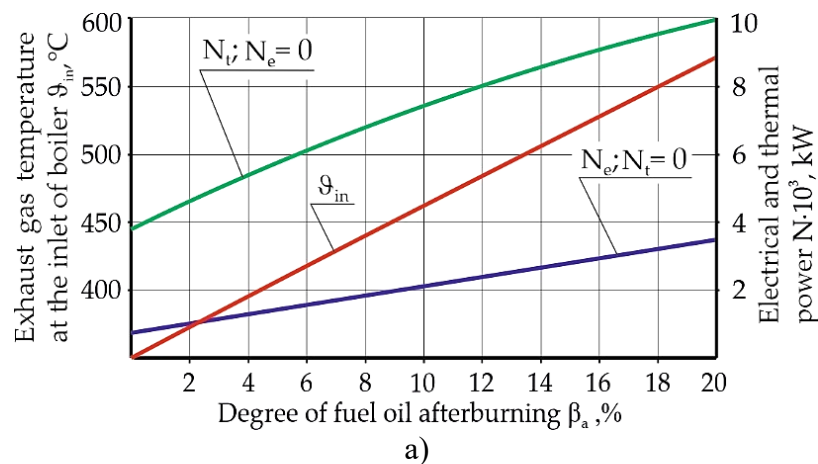


Figure 2. Thermal scheme of the HRC of the CPP operating on WFE: S1, S2 – superheater; E1, E2 – evaporator high and low pressure; EC1, EC2 – economizer high and low pressure; RTG1, RTG2 – recovery turbo generator high and low pressure; HWSS – hot water supply system

For increasing the thermal capacity of the EGB while maintaining a constant value of p_1 and p_2 with an increase in β_a , there is an increase in ϑ_{in} at the inlet of the EGB, which leads to an increase in N_e or N_t (Figure 3a). At the same time, the steam productivity of the HPHRC is constantly increasing, and the LPHRC remains almost constant. The total value of steam productivity ensures the increasing of N_e and N_t (Figure 3b). Since, in the two-pressure EGB scheme, the temperature of the exhaust gases outlet of the EGB is at the minimum level, it is possible to increase the efficiency of the EGB with an increase in β_a . There is a reserve for increasing the parameters and efficiency of the steam turbine part due to the increase in the operation of the heat drop in the turbine, as well as lowering the share of steam generated by the LPHRC with a relatively low potential. For two-pressure EGBs, the gas temperature at the inlet of the LPHRC is preserved with an increase in β_a at $p_1 = \text{const}$, which ensures a constant value of D_1 (Figure 3b).



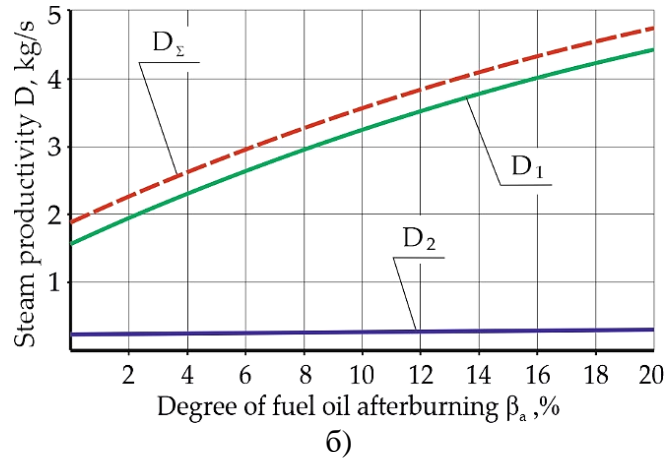


Figure 3. The influence of the degree of fuel oil afterburning in the exhaust gas at the inlet of the EGB on: (a) the temperature of the gases at the outlet of the heat exchanger N_t and N_e ; (b) steam consumption D_1 , D_2 and total steam productivity D_Σ

An increase in β_a provides an increase in the values of η_a and η_{CPP} at each optimal value of pressure p_1 . When reaching the maximum possible value in terms of the economy of the first stages of RTG and its strength, a fracture occurs when the accepted limit pressure is reached, after which $\eta_{CPP} = \text{const}$ and the afterburning efficiency η_a decreases (Figure 4). The EGB efficiency is continuously increasing.

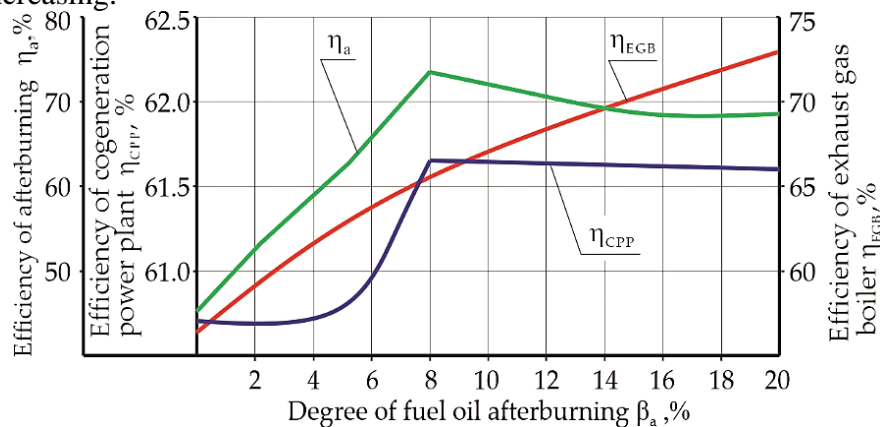


Figure 4. CPP efficiency indicators

The dependence of the flow rate of high- and low-pressure steam (Figure 5a) has fractures at the point of reaching the limit parameters (9 MPa, 545 °C). With a further increase in β_a , the decrease in D_2 continues (Figure 5b). After a certain critical β_a , the EGB scheme with only one circuit is more acceptable.

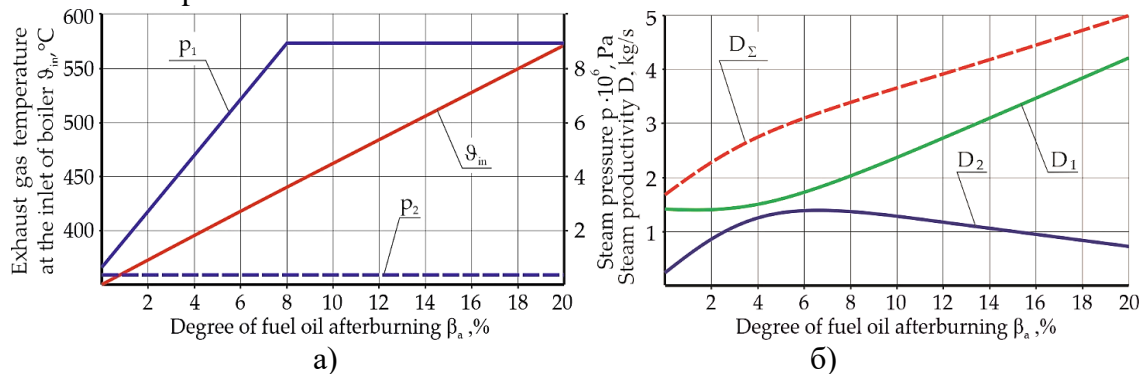


Figure 5. Parameters of the two-pressure EGB scheme with an increase of degree of fuel oil afterburning: (a) gas temperature and values of pressures p_1 and p_2 ; (b) steam productivity generated by the HPHRC D_1 and LPHRC D_2 and the total steam productivity D_Σ

An increase in the degree of fuel oil afterburning β_a primarily causes the rise in gas temperature at the inlet of the EGB. There is an increase in the steam consumption of the HPHRC and an increase in the initial parameters of the RTG cycle (t_{s1} and p_1). This makes it possible to increase the electric power N_e of the CPP at the expense of the RTG power of two pressures, or the thermal power N_t , if the maximum amount of saturated steam is produced in the EGB (Figure 6a). In addition, this causes a faster rate of increase in the efficiency of the RTG (Figure 6b).

The expediency of the afterburning of fuel oil in the exhaust gases in the DE for the CPP should be determined in combination with detailed optimization calculations of the parameters of the selected CPP circuit pair. The use of fuel oil afterburning makes it possible to increase the efficiency and power of the CPP, taking into account the significant decrease in the exhaust gas temperature in the outlet of the EGB during WFE combustion, which under certain conditions can cause some increase in the efficiency of the CPP as a whole.

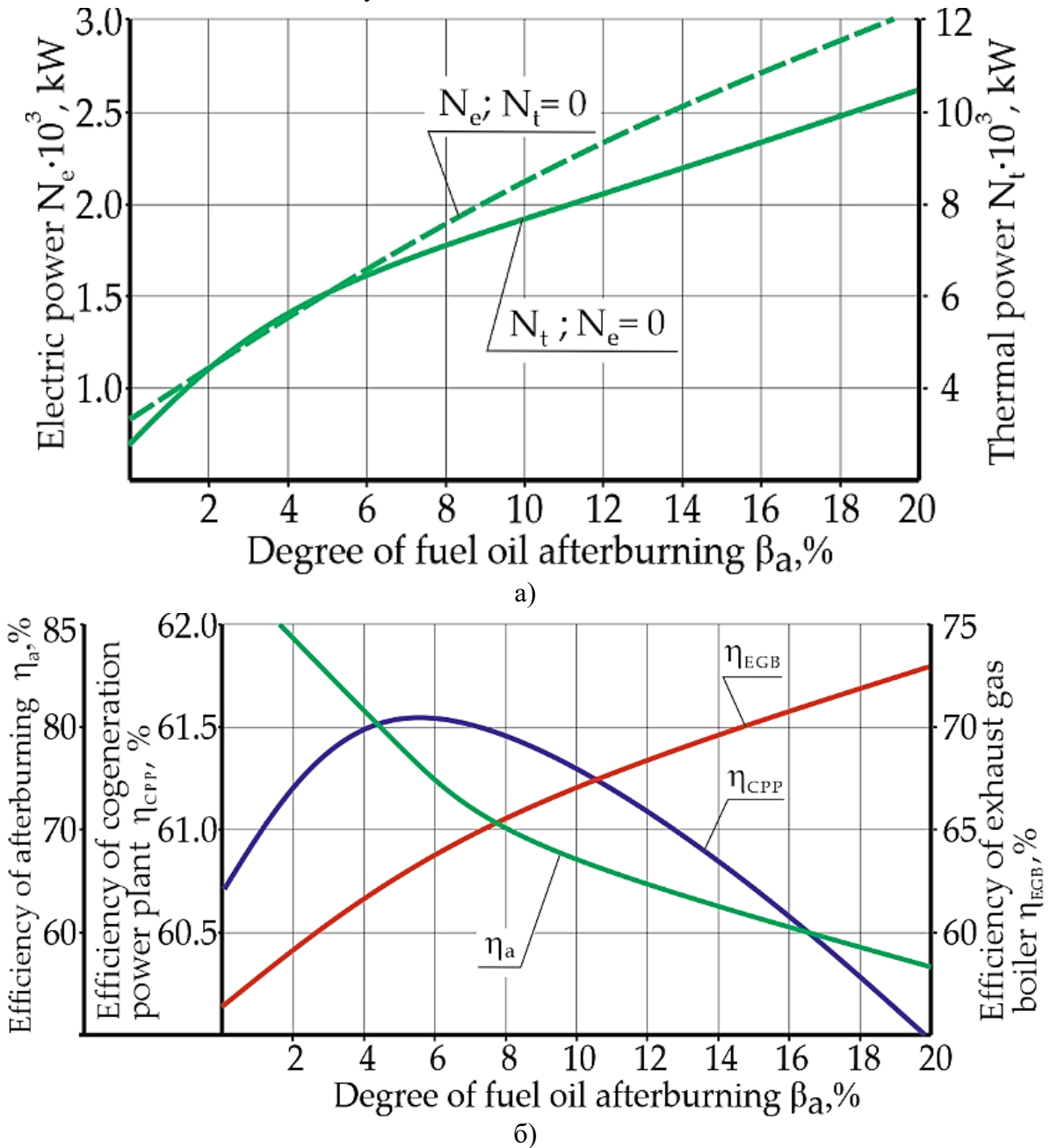


Figure 6. The influence of the degree of fuel oil afterburning on: (a) electrical and thermal power of the CPP; (b) efficiency of the CPP

Conclusion. In order to increase the steam capacity of CPPs, the afterburning of fuel oil in the exhaust gas at the inlet of the boiler was carried out. This enabled an increase in the efficiency of the EGB, not only due to increasing the temperature of the gases at the inlet of the boiler, but also by reducing the temperature of the gases leaving the boilers, id est. reducing heat waste. The calculation results proved the advantages of the application of exhaust gas boilers with low-temperature condensing HESs in CPPs with diesel engines working on different types of fuel. The use of WFEs and afterburning fuel oil provides an increase in the efficiency and power of the CPPs based on diesel engines of up to 5% due to the decreased exhaust gas temperature at the outlet of the EGB from 150 °C to 90 °C and waste heat, accordingly.

REFERENCES

- [1] Markowski, M.; Urbaniec, K.; Suchecki, W.; Storzcyk, S. Improved energy recovery from the condensed steam as part of HEN retrofit. *Energy* 2023, 270, 126727.
- [2] Goryachkin, A.V. Improving the efficiency of marine boilers when burning water-fuel emulsions. Ph.D. Thesis, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine, 2007; 245p.
- [3] Dolinsky, A.A.; Klimenko, V.N.; Sabashuk, P.P. Conditions for the effective use of additional fuel combustion in CCGT. *Ecotechnologies Resour. Sav.* 2003, 2, 8–13.

UDK 621.181.27

PROTECTION OF CONDENSING HEAT EXCHANGE SURFACES OF BOILERS FROM SULFURIC ACID CORROSION

Victoria Kornienko, PhD

Admiral Makarov National University of Shipbuilding kornienkovika1987@gmail.com

Abstract. The method of metal protection of boiler condensing heat exchange surfaces can be successfully used in stationery and ship boilers, which burn fuel oils containing sulfur. The proposed method includes the operation of coating with a protective film against sulfur corrosion of the boiler heat exchange surface at a wall temperature below the dew point temperature of H₂SO₄ vapor. A passive layer of iron oxides is used a protective film.

Keywords: water-fuel emulsion, low-temperature corrosion, condensing heat exchange surface.

The exhaust gas temperature largely determines the economic performance of auxiliary and exhaust gas boilers (EGB) [1]. Its value is determined not only by the course of heat exchange processes in the elements of boilers, the requirements for their weight and size indicators, which is important for ship boilers, but also by the intensity of thermochemical processes, which take place in the exhaust gas flow and on the heat exchange surfaces (HES) [2] with a temperature below the dew point temperature (DPT) of H₂SO₄ vapor. The minimum value of HES temperature t_s determines the minimum exhaust gas temperature and, consequently, the economic indicators of their work. It is more difficult to reduce of exhaust gas temperature, since its value (about 160 °C) is determined by the rate of low-temperature corrosion (LTC) [3], which sharply increases at $t_s = 130$ °C and reaches the level of the "corrosion peak" ($K = 1.2$ mm/year) at $t_s = 110$ °C, reduces the work reliability of HES. Therefore, any measures to reduce the level of the "corrosion peak" to an acceptable level (about 0.2 mm/year) will provide reliable work of condensing HES, increase the boiler efficiency and fuel saving. It is currently impossible to assess the influence of numerous factors on LTC intensity analytically. It is necessary to carry out experimental research of corrosion processes which take place on condensing HES of boilers at t_s in the range of 60–150 °C and thermochemical processes which take place in exhaust gas flow before of these surfaces.

Studies of LTC intensity were carried out when fuel oils and WFE with a water content of 10, 15, 20, 30 % were burnt. The research was carried out at a special experimental setup [4], where it

is possible to ensure the stability of all parameters.

The dependences of the exhaust gas composition before the condensing HES, the corrosion rate and the processes confirming the creation of the passivity of the metal surface were obtained. An analysis of exhaust gas composition showed (Fig. 1) when the water content of emulsion W^r is increased, the $\text{NO}_2:\text{NO}$ ratio approaches to equimolar mixture.

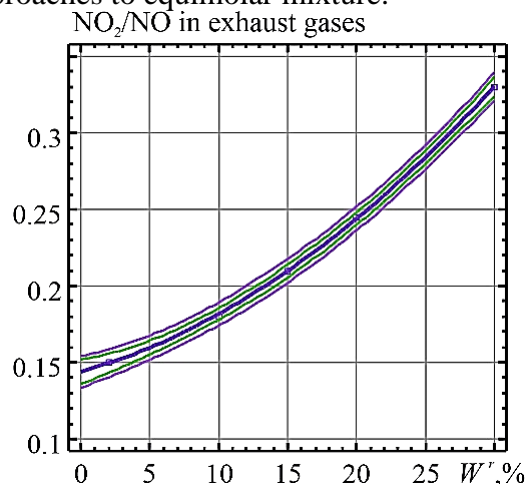


Fig. 1. Dependence of nitrogen oxides $\text{NO}_2:\text{NO}$ ratio in exhaust gases before HES on water content W^r in emulsion

The polynomial equation of nitrogen oxides $\text{NO}_2:\text{NO}$ ratio in exhaust gases before condensing HES on water content W^r in emulsion was determined ($R^2 = 0.9998$):

$$\text{NO}_2/\text{NO} = 0.1438 + 0.0026 W^r + 0.00012 (W^r)^2 \quad (1)$$

Fig. 1 shows the calculated values for NO_2/NO with prediction (violet line) and confidence intervals (green line).

In order to confirm the passivation of metal on boiler condensing surfaces, the dependence of content of absorbed NO_x (as calculated on HNO_3) in acid condensation on condensing HES from the metal surface temperature t_s was obtained (Fig. 2).

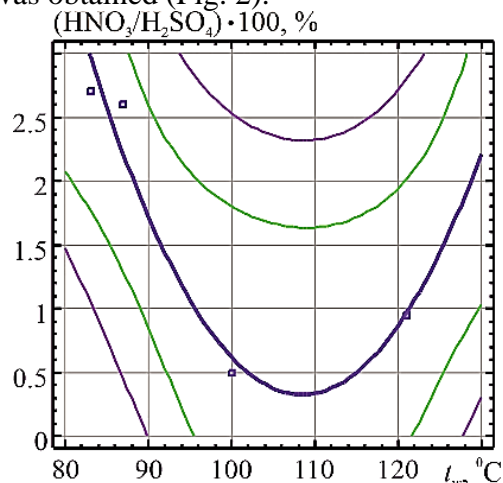


Fig. 2. Dependences of content of absorbed NO_x in sulfuric acid condensate on HES temperature t_s

The polynomial equation of absorbed nitrogen oxides content in sulfuric acid condensate $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$ on HES temperature t_s (Fig. 2), was obtained ($R^2 = 0.9474$):

$$\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4 = 48.4257 - 0,8868 t_s + 0,0041 (t_s)^2 \quad (2)$$

The level of content of NO_x in condensate on condensing HES corresponds to sulfuric acid production with a nitrose mechanism. In technological scheme this production, in order to reduce the corrosion of sulfuric acid coolers, the phenomenon of passivation of carbon steel metal surface is provided at the expense of absorbed nitrogen oxides. In the course of research, the dependences

of corrosion rate (Fig. 3a) and the Fe^{3+} content (Fig. 3b) from temperature of metal HES t_s are obtained.

The polynomial equation of corrosion rate K on HES temperature t_s (Fig. 3a), was determined ($R^2 = 0.9568$):

$$K = -2866.51 + 143.504 t_s - 2.8298 (t_s)^2 + 2.75 \cdot 10^{-2} (t_s)^3 - 1.3141 \cdot 10^{-4} (t_s)^4 + 2.476 \cdot 10^{-7} (t_s)^5 \quad (3)$$

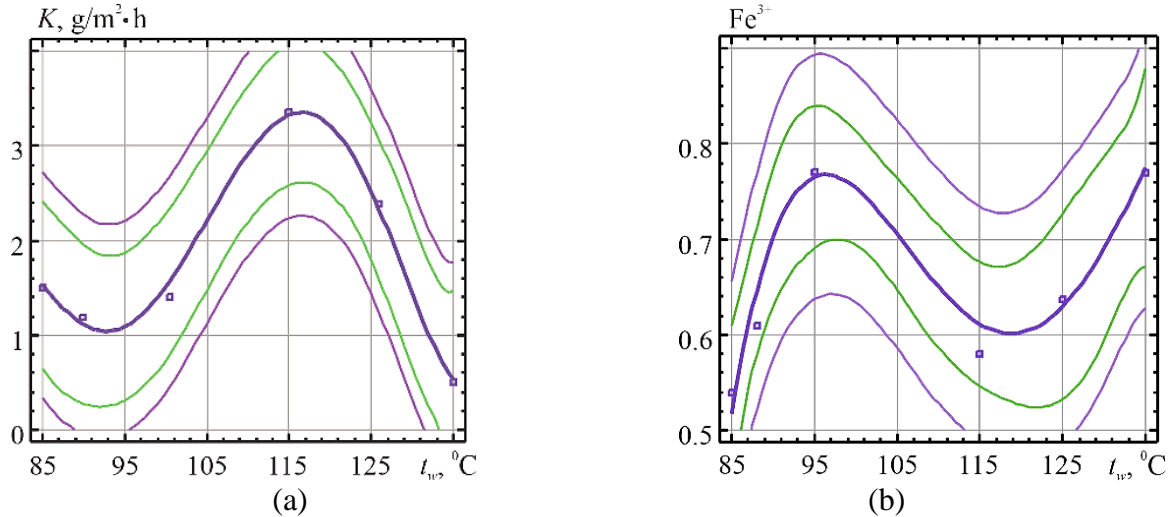


Fig. 3. Dependences of corrosion rate K (a) and Fe^{3+} content in sulfuric acid condensate (b) on HES temperature t_s .

The polynomial equation of Fe^{3+} content in sulfuric acid condensate on HES temperature t_s (Fig. 3b), was selected ($R^2 = 0.9113$):

$$\text{Fe}^{3+} = -106.059 + 3.6901 t_s - 4.7121 \cdot 10^{-2} (t_s)^2 + 2.6336 \cdot 10^{-4} (t_s)^3 - 5.4346 \cdot 10^{-7} (t_s)^4 \quad (4)$$

These equations are obtained for the following characteristics of nitrogen oxides $\text{NO}_2:\text{NO}$ ratio, corrosion rate K and Fe^{3+} content: $t_s = 85\text{--}135\text{ }^\circ\text{C}$ and $W^r = 10\%$. Fig. 2, 3 a,b shows the calculated values with prediction (violet line) and confidence intervals (green line).

There is a minimum amount of Fe^{3+} at $t_s = 110\text{ }^\circ\text{C}$ ("peak" of LTC) and at $t_s = 60\text{ }^\circ\text{C}$ (second maximum). On contrary, the maximum values of Fe^{3+} content are found at $t_s = 80\text{ }^\circ\text{C}$ and $130\text{ }^\circ\text{C}$, where there is a minimum corrosion rate. This is a sign of growth of passivation phenomenon of metal surface. The obtained correlation of Fe^{3+} content in sulfuric acid condensate on condensing HES on W^r in emulsion also confirms the significant increase of metal passivation (Fig. 4a). Comparing the dependences of Fe^{3+} amount (Fig. 4a) and corrosion rate (Fig. 4b) from W^r in emulsion at metal surface temperatures 110, 115, 120 $^\circ\text{C}$ is confirmed the indicated position.

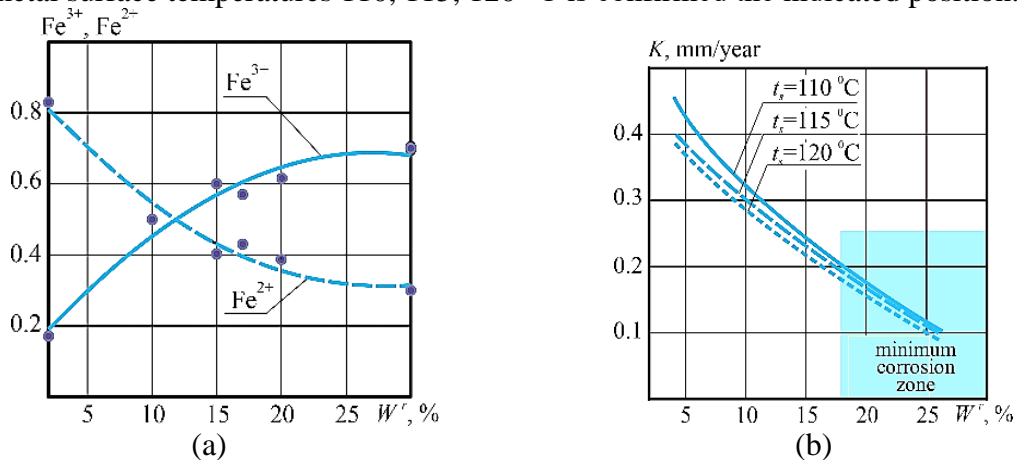


Fig. 4. Dependences of Fe^{3+} , Fe^{2+} content in sulfuric acid condensate (a) and corrosion rate K (b) on water content W^r in emulsion.

The comparison of the dependence of corrosion rate on the water content W^r in WFE (Fig. 4b) and the dependence of Fe^{3+} content in the corrosion products on W^r (Fig. 4a) indicates that with increasing of water content in the emulsion W^r the corrosion rate decreases and reaches a minimum value at $W^r = 30\%$. The content of Fe^{3+} , which is a sign of passivation of metal surface, increases accordingly and reaches a maximum value at the same value $W^r = 30\%$. This means that the most passive state of the metal surface is achieved (Fe^{3+} – maximum, Fe^{2+} – minimum) when $W^r = 30\%$.

An integrated indicator of a sharp decrease of LTC intensity due to surface passivation is indirect measurements and obtained dependences of LTC on wall temperature (Fig. 5). The research results (Fig. 5) show when WFE is burnt with excess air factor $\alpha = 1.45$ the LTC intensity is at the level of 0.25 mm/year in the range of wall temperatures 70–130 °C in the absence of "corrosion peak".

Therefore, the main factor contributing to a significant reduction of LTC when WFE is burnt with a water content of WFE more than 20 % (and especially at 30 % water) is occurrence of metal passivation.

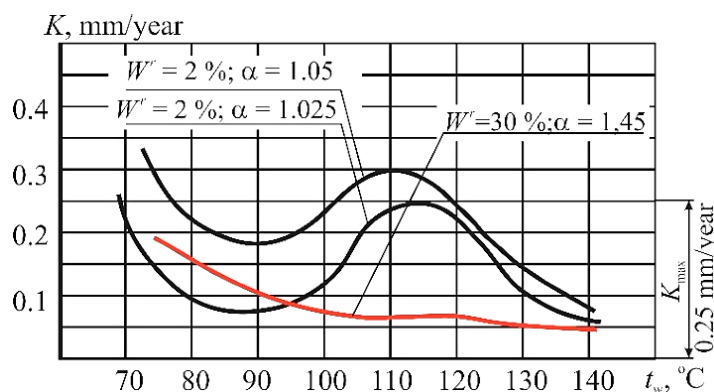


Fig. 5. Dependences of corrosion rate K on wall temperature.

The minimum values of corrosion rate at a level of 0.25 mm/year is provided at the wall temperature up to 70 °C. Comparison of the results in Fig. 5 with data [4] at $\alpha = 1-1.05$ and water content of WFE W^r , showed a reduction in the corrosion intensity with a decrease in α and increase of W^r and coincidence with curves with an accuracy of 10 %.

Conclusions. This method of protection of metal from LTC provides resistance to thermal and dynamic deformations on the metal surface due to a very thin passive film with a thickness of about 50 Å. This film has a reliable connection with the metal at the crystal structure and eliminates direct metal contact with an aggressive environment.

Improving the boiler efficiency in the protection of metal of condensing HES in this direction is achieved by increasing the stability and operation duration of the metal due to the constant automatic (natural) creation of a passive layer due to the occurrence of physicochemical processes in contact with the exhaust gas flow at metal surface temperatures below DPT of H_2SO_4 vapor (130 °C) and to 70 °C.

The wall temperature range of condensing HES safe operation is determined, that reveals the opportunities for deep utilization. It makes possible to reduce the temperature of the exhaust gases to 80 °C, and thus significantly increase the efficiency of boilers.

REFERENCES

- [4] Konur, O.; Saatcioglu, O.Y.; Korkmaz, S.A.; Erdogan, A.; Colpan, C.O. Heat exchanger network design of an organic Rankine cycle integrated waste heat recovery system of a marine vessel using pinch point analysis. *International Journal of Energy Research* 2020, 44(15), 12312–12328.
- [5] Wang, Z.; Feng, Z.; Zhang, L.; Lu, M.-X. Current application and development trend in electrochemical measurement methods for the corrosion study of stainless steels. *Gongcheng Kexue Xuebao/Chinese Journal of Engineering* 2020, 42(5), 549–556.
- [6] Kornienko, V.; Radchenko, R.; Bohdal, Ł.; Kukielka, L.; Legutko, S. Investigation of

condensing heating surfaces with reduced corrosion of boilers with water-fuel emulsion combustion. In: Nechyporuk, M. et al. (eds) Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering. Lecture Notes in Networks and Systems. Springer, Cham, 2021, vol. 188, pp. 300–309.

[7] Kornienko, V.; Radchenko, M.; Radchenko, R.; Konovalov, D.; Andreev, A.; Pyrysunko, M. Improving the efficiency of heat recovery circuits of cogeneration plants with combustion of water-fuel emulsions. Thermal Science 2021б 25(1 Part B), 791–800.

УДК 621.6

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ КОНТРОЛЮ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУДЕН, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ В УМОВАХ ПОРТУ

Чередніченко О.К.

Доктор технічних наук

Професор кафедри Експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики

Національний Університет Кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна

oleksandr.cherednichenko@nuos.edu.ua

Басов О.Ю.

Аспірант

Національний Університет Кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна

olegbasov39@gmail.com

Коробейнікова Н.В.

Асистент кафедри Експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики

Національний Університет Кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна

natalya.korobeinikova@nuos.edu.ua

Гомон С.В.

Студент

Національний Університет Кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна

Сургаєв А.В.

Студент

Національний Університет Кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна

Анотація. Проаналізовані існуючі стратегії підвищення ефективності експлуатації суден та зменшення впливу морського транспорту на здоров'я людей та навколишнє середовище. Виявлена потреба створення інструментів контролю енергоефективності (технологічних, експлуатаційних та ринкових) у випадках знаходження судна в порту або на території порту.

Ключові слова: енергоефективність, експлуатація суден, засоби контролю

Складові енергоефективності системи морського транспорту повинні виходити за межі суден та поширюватися на берегові організації, включаючи порти, які повинні надавати ефективні послуги, а також на інші ланки логістичного ланцюга (тобто підрозділи обробки вантажів, служби управління рухом суден та протоколами маршрутизації, комерційні відділи фрахтування суден та інші). Це передбачає розробку засобів щодо контролю енергоефективності морського транспорту (ЕСЕЕМ – Emission Control and Energy Efficiency Measures) [1].

У рамках цього імперативу визначені дві цілі, а саме:

- оптимізація операційної діяльності;
- створення новітніх технологій та покращення властивостей існуючих об'єктів.

Щоб підтримати ці цілі та вирішити пов'язані з ними проблеми, відносно ланки судно-порт, необхідно розглянути стратегії та заходи, які можна застосувати для підвищення ефективності експлуатації суден та зменшення впливу морського транспорту на здоров'я людей та навколишнє середовище.

Можливо викреслити три основні завдання [2] :

1. Визначення існуючих та ефективних заходів та інструментів контролю (технологічних, експлуатаційних та ринкових) для зменшення викидів від ланки судно-порт, а також оцінка потенціалу зменшення викидів та фінансових витрат на організацію цього процесу;

2. Визначення перешкод (технологічних, експлуатаційних та комерційних) для вжиття заходів щодо зменшення викидів, коли судна знаходяться в порту та надання рекомендації щодо усунення цих перешкод;

3. Визначення та оцінка можливих інноваційних заходів та інструментів контролю, включаючи схеми стимулювання та інші практики, які можна було б надалі розвивати для скорочення викидів та оптимізації експлуатаційної ефективності суден у порту.

До останнього пункту відноситься огляд широкого спектру технічних рішень (наприклад, берегове електропостачання) або експлуатаційних заходів (наприклад, зниження швидкості) або рішень, які пов'язані із енергоносіями (наприклад, використання в якості палива дистилатів з низьким вмістом сірки або скрапленого природного газу (LNG)) [3].

Існуючі ЕСЕЕМ в основному поділяються на три категорії: засоби контролю енергоефективності обладнання, засоби контролю ефективності використання енергоносіїв та засоби контролю енергоефективності при експлуатації [2].

До категорії контролю енергоефективності обладнання відноситься засоби, які пов'язані з оцінкою конструктивних, технологічних та інших інженерних рішень щодо судового енергетичного обладнання на борту судна, в першу чергу головних (силових) двигунів, допоміжних двигунів та теплоенергетичного обладнання (з врахуванням технологій обробки відпрацьованих газів).

До засобів контролю ефективності використання енергоносіїв відносяться ЕСЕЕМ, які пов'язані з джерелами енергії, які використовуються на судні, незалежно від того, чи є вони судовими або є наземними. Ці заходи можуть включати рішення, які пов'язані з використанням традиційних та альтернативних палив та альтернативними джерелами живлення.

Засоби контролю енергоефективності при експлуатації відноситься до оперативних заходів, які в першу чергу впливають і зосереджені на питаннях експлуатації судна, терміналу або порту, з метою зменшення абсолютних викидів з суден у районі порту. Це може бути підвищення ефективності вантажних операцій на борту судна, на терміналі або в порту та інше. Оперативні заходи можуть включати питання експлуатаційної ефективності судна, експлуатаційну ефективність порту/терміналу, питання викидів летких органічних сполук при вантажних операціях на танкерах та інше [4].

Досвід є важливою рушійною силою для подальшого розвитку та регулювання питань енергоефективності морського транспорту на різних рівнях [5]. Знижені портові збори та інші добровільні стимули для суден у таких районах, як Гонконг і Каліфорнія, є прикладами того, як добровільні заходи можуть заохочувати раннє прийняття заходів щодо скорочення викидів перед прийняттям обов'язкових правил. Вони створюють досвід як для промисловості, так і для уряду, що покращує ефективність майбутніх нормативних актів для всіх зацікавлених сторін.

Загалом порти по всьому світу впроваджують близько десяти різних схем стимулювання для покращення якості повітря. Екологічний індекс суден (ESI)⁵ є найширше впровадженим (на початок 2023 року він включав понад 6600 суден і 60 портів). Однак у порівнянні із загальною кількістю вантажних суден (близько 119000⁶ од.), які діють у всьому світі, частка суден, які приєднуються до таких добровільних схем, оцінюється приблизно в 5,5 %. Як наслідок, ефективність добровільних схем обмежена на світовому рівні.

Щоб підвищити ефективність своїх інструментів боротьби за підвищення енергоефективності порти могли б співпрацювати з іншими регіональними зацікавленими сторонами, узгоджуючи з ними регіональні вимоги до суден та об'єктів морської інфраструктури.

Окремого дослідження потребує розгляд ЕСЕЕМ для суден, які працюють в умовах порту [1]. Це вимагає розмежування певної території поблизу берега, яку можна визначити як «територію порту». Проблема полягає в розробці універсального визначення, яке можна застосувати до всіх портів і приватних терміналів, куди заходять судна. Оскільки в усьому світі існує величезна кількість різноманітних географічних планів і особливостей портів, неможливо використовувати географічне розмежування чи адміністративні кордони для визначення портових районів світу. Цю проблему ускладнює те, що судно може почати готуватися до свого прибуття в порт задовго до перетину офіційного адміністративного кордону, що створює потребу визначити район порту таким чином, щоб він виходив далеко за межі причалів.

Висновки

Існуючі стратегії та заходи підвищення ефективності експлуатації суден та зменшення викидів потребують створення окремих інструментів контролю (технологічних, експлуатаційних та ринкових) за викидами для випадків, коли судна знаходяться в порту або на території порту. Це дозволяє розробити можливі інноваційні заходи та інструменти контролю, які можна було б надалі розвивати для скорочення викидів та оптимізації експлуатаційної ефективності суден у порту.

Література

1 Study of Emission Control and Energy Efficiency Measures for Ships in the Port Area; International Maritime Organization (IMO) London, UK, February 2015; B. Anderson, E. den Boer, S. Ng, L. Dunlap, G. Hon, D. Nelissen, A. Agrawal, J. Faber, J. Ray

2 M5 Ship-Port Interface for Energy Efficiency . International Maritime Organisation, London, January 2016

3 Olaf Merk “Shipping Emissions in Ports”, Discussion Paper No. 2014-20, International Transport Forum, December 2014.

4 MEPC 68/INF.16, “Study of emission control and energy efficiency measures for ships in the port area”, MEPC 68/INF.16, 4 March 2015, report prepared by Starcrest Consulting Group, LLC CE Delft and Civic Exchange.

5 Energy efficiency in ship operations - Exploring voyage decisions and decision-makers. Poulsen R.T., Viktorelius M., Varvne H., Rasmussen H.B., von Knorring H. (2022) Transportation Research Part D: Transport and Environment, 102 , art. no. 103120

ANALYSIS OF THE PROBLEMS OF CONTROLLING THE ENERGY EFFICIENCY OF SHIPS OPERATING IN PORT CONDITIONS

Cherednichenko O.K.

d.t.s., prof. of the Department of Ship Power Plants Operation and Heat Power Engineering
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaiv, Ukraine

Basov O.Y.

Graduate student of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaiv, Ukraine

⁵ <https://www.environmentalshipindex.org/public/ports>

⁶ <https://www.ener8.com/merchant-fleet-infographic-2023/>

Korobyeynikova N.V.

Assistant of the Department of Ship Power Plants Operation and Heat Power Engineering
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaiv, Ukraine

Gomon S.V.

Student of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaiv, Ukraine

Surgaev A.V.

Student of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaiv, Ukraine

Abstract. The article analyzes the existing strategies for improving the efficiency of ship operation and reducing the impact of maritime transport on human health and the environment. The need to create energy efficiency control tools (technological, operational and market) in cases of a ship's presence in the port or on the territory of the port is revealed.

Keywords: energy efficiency, vessel operation, controls

УДК 621.43.068

**ВПЛИВ ДОБАВОК УЛЬТРАДИСПЕРСНИХ ПОРОШКІВ М'ЯКИХ МЕТАЛІВ
У МОТОРНЕ МАСЛО ДИЗЕЛІВ НА ЇХ ЕФЕКТИВНІСТЬ**

Прудніков І.А.

аспірант, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м.

Миколаїв, Україна

ihorprudnikov@gmail.com

Андрєєв А.А.

кандидат технічних наук, професор НУК,

завідувач кафедри суднового машинобудування та енергетики Херсонського навчально-наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала

Макарова, м. Миколаїв, Україна

andrii.andreiev@nuos.edu.ua

Анотація. Добавка ультрадисперсних порошків м'яких металів у моторне масло дизеля забезпечує каталітичну дію на процес згоряння в ньому палива. Це забезпечує зниження питомої витрати палива та кількості продуктів неповного згоряння палива і оксидів азоту (NO_x).

Застосування ультрадисперсних порошків м'яких металів як добавки до моторного масла приводить до зменшення сили тертя в процесі напрацювання і тривалості останнього, що робить доцільним застосування таких добавок при обкатці дизелів.

Ключові слова: судновий дизель, моторне масло, ультрадисперсний порошок, м'які метали і сплави.

Одним із шляхів підвищення паливної ефективності та зниження утворення токсичних речовин в дизелі є забезпечення каталітичної дії на процес згоряння в ньому палива. Це дозволяє підвищити повноту згоряння, скоротити фазу підготовки палива до згоряння і фазу дифузійного згоряння, знизити максимальну температуру згоряння, що в сукупності забезпечує підвищення паливної економічності та зменшує утворення продуктів неповного згоряння палива і оксидів азоту (NO_x) [1]. Дана технологія вже реалізовувалася шляхом покриття поверхні камери згоряння (КЗ) шаром каталізатора. При підвищенні температури в циліндрі, на поверхні КЗ поршня відбувається виокремлення з шару каталітичного покриття активних частинок, які додатково впливають на руйнування довгих складних вуглеводних ланцюгів, розширюють діапазон займання і забезпечують вигорання паливо-повітряної суміші в зонах із високим і низьким значенням коефіцієнту надлишку повітря, стимулюють перетворення токсичних речовин у нешкідливі, зокрема, на такті розширення [1]. Зі зростанням швидкості хімічних реакцій відбувається інтенсифікація процесу окиснення паливо-повітряної суміші, скорочення фази дифузійного горіння, що

створює умови для отримання необхідної ефективної роботи за більш короткий проміжок часу [2, 3].

Матеріали для нанесення каталітичних покриттів можуть бути на основі благородних металів, в основному Pt та Pd (проте внаслідок високої вартості їх використання в даній сфері є недоцільним) та на основі оксидів перехідних металів (Mn, Co, Fe, Cu тощо).

Проблемою даного способу є його складність (необхідність одночасного врахування особливостей матеріалу основи, матеріалів для каталітичних покриттів та методів нанесення покриття), значні витрати на спеціальне обладнання для нанесення покриття та електроенергії для його роботи.

Альтернативою йому можна розглядати технологію додавання ультрадисперсних порошків (УДП) м'яких металів (як правило, Cu і бронзи) у моторне масло дизелів [4]. Їх застосування в технічних системах викликано прагненням отримати ефект беззношенного тертя у парах тертя «сталь-сталь», «сталь-чавун» та ін. Додавки УДП м'яких металів у масло знижують величину сили тертя в процесі напрацювання і тривалість останнього (що є дуже доцільним при обкатуванні дизелів). Плівка м'якого металу, що утворилася на поверхні, знижує фактичний тиск у зоні контакту і, як наслідок, деформаційну складову тертя, при цьому створюються умови для існування полімолекулярного граничного шару, що, своєю чергою, знижує й адгезійну складову. Позитивний ефект від застосування добавок УДП м'яких металів тим більше, чим більша в'язкість масла. Зокрема, присутність УДП м'яких металів у моторному маслі позитивно вплине на зносостійкість поршневих кілець і циліндрів дизеля.

У той же час, можна обґрунтовано висунути гіпотезу, що, потрапляючи в КЗ дизеля з моторним маслом, частинки Cu чи бронзи можуть також надавати і каталітичну дію. Відомо, що мідь є каталізатором горіння, знижує енергію активації реакції окиснення, що відбуваються в камері згоряння ДВЗ, тим самим збільшує повноту згоряння палива.

Наслідком зниження енергії активації є можливість проведення процесу окислення палива, забезпечення повноти його згоряння при більш низьких температурах, а отже зменшення утворення шкідливих речовин у відхідних газах дизеля. Зниження питомої витрати палива і зниження температури в КЗ має привести до зменшення максимального тиску в ній і, отже, до зниження жорсткості роботи двигуна.

Висновки. Додаток УДП м'яких металів у моторне масло дизеля забезпечує каталітичну дію на процес згоряння в ньому палива. Це підвищує повноту згоряння, скорочує фазу підготовки палива до згоряння і фазу дифузійного згоряння, знижує максимальну температуру згоряння, що в сукупності забезпечує зниження питомої витрати палива та кількості продуктів неповного згоряння палива і оксидів азоту (NOx).

Застосування УДП м'яких металів як добавки до моторного масла приводить до зменшення сили тертя в процесі напрацювання і тривалості останнього, що робить доцільним застосування таких добавок при обкатці дизелів.

Позитивний ефект від застосування добавок УДП м'яких металів тим більше, чим більше в'язкість масла.

Література:

1. Парсаданов, І.В. Фактори та методи підвищення ефективності каталітичного впливу на згоряння в дизелі / І.В. Парсаданов, В.О. Хижняк, А.С. Горохівський, А.К. Артеменко // Вісник НТУ «ХПІ». – 2017. – № 5 (1227). – С. 64-67.

2. Парсаданов, І.В. Підвищення екологічності дизелів шляхом внутрішньоциліндрової нейтралізації токсичних речовин відпрацьованих газів / І.В. Парсаданов, М.Д. Сахненко, В.О. Хижняк, Г.В. Каракуркчі // Двигатели внутреннего сгорания. – 2016. – № 2. – С. 63-67.

3. Парсаданов, І.В. Дослідження дизеля з каталітичним покриттям поверхні камери згоряння / І.В. Парсаданов, М.Д. Сахненко, М.В. Ведь, І.М. Карягін, В.О. Хижняк, Д.С. Андросчук // Двигатели внутреннего сгорания. – 2015. – № 2. – С. 69-72.

4. Прудніков, І.А. Підвищення паливної ефективності суднових дизелів шляхом добавок ультрадисперсних порошків м'яких металів у моторне масло / І.А. Прудніков, А.А. Андрєєв // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці : XIV Міжнародна науково-технічна конференція : матеріали. – Миколаїв : НУК, 2023. – С. 184-187.

INFLUENCE OF ADDITIVES OF ULTRA-DISPERSE POWDER OF SOFT METALS IN DIESEL ENGINE OIL ON THEIR EFFICIENCY

Prudnikov Ihor, Andreiev Andreii

National University of Shipbuilding

Abstract. The addition of ultrafine soft metal powders to diesel engine oil provides a catalytic effect on the fuel combustion process. This provides a reduction in specific fuel consumption and the amount of products of incomplete combustion of fuel and nitrogen oxides (NOx).

The use of ultradispersed powders of soft metals as an additive to engine oil leads to a decrease in the friction force during the run-in process and the duration of the latter, which makes it reasonable to use such additives when running in diesel engines.

Keywords: marine diesel, motor oil, ultrafine powder, soft metals and alloys.

УДК 665.753

ДОЦІЛЬНІСТЬ ОБРОБКИ ПАЛИВА СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ МАГНІТО-ГІДРОДИНАМІЧНИМИ АКТИВАТОРАМИ

Гурин К.Ю.

аспірант Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,

м. Миколаїв, Україна

khurynpro@gmail.com,

Андрєєв А.А.

кандидат технічних наук, професор НУК,

завідувач кафедри суднового машинобудування та енергетики Херсонського навчально-

наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала

Макарова, м. Миколаїв, Україна

andrii.andreiev@nuos.edu.ua

Анотація. Доцільним напрямом експлуатаційної підготовки високов'язких палив для суднових дизелів є приготування водопаливних емульсій. Було запропоновано комбіновану магнітну та кавітаційну обробку високов'язких палив у системі паливоподачі суднових дизелів, що є ефективним способом підвищення експлуатаційної ефективності паливної апаратури.

Ключові слова: судновий дизель, водопаливна емульсія, магнітна обробка палива, кавітаційна обробка палива, магніто-гідродинамічний активатор

У високов'язких мазутах, що є основним видом палива для двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) морських транспортних суден, практично завжди міститься вода у вигляді окремих місцевих скупчень. Аналізи якості мазуту, що зберігається в суднових танках запасу, показують, що вміст води в мазуті може досягати 10–15 %. Із таким вмістом води мазут підлягає спеціальній обробці, що дозволяє покращити його якісні характеристики та у подальшому застосувати як паливо для ДВЗ. Доцільним напрямом такої обробки є приготування водопаливних емульсій (ВПЕ). При згорянні ВПЕ в суднових дизелях отримують суттєві економічний та екологічний ефекти: підвищення ККД на 3–5 % та зниження емісії забруднюючих речовин (NOx, CO, сажі, бензапірену та інших канцерогенних поліциклічних ароматичних вуглеводнів) в атмосферу [1, 2].

До найбільш простих і ефективних способів приготування ВПЕ слід віднести кавітаційну обробку палива. Під час неї відбуваються глибокі структурні зміни у

молекулярному складі вуглеводнів, підвищення ступеня дисперсності асфальтенів, карбенів, карбоїдів до розмірного ряду частинок 2...3 мкм. Довгі молекулярні ланцюги перетворюються на легкі вуглеводневі радикали газових, дистильатних паливних фракцій. Кавітаційна дія на мазут дозволяє знизити в'язкість на 20–30 %, збільшити температуру спалаху на 5–10 %. Після кавітаційної обробки в мазуті утворюється до 35 % дизельного палива (температура відгону 250...290 °С).

У промисловості для кавітаційного впливу на рідину використовуються гідродинамічні, електродинамічні, п'єзоелектричні, магнітострикційні та механічні кавітаційні генератори. Поєднання кавітаційних генераторів різного типу може посилити ефект кавітації. Сприятливим є генерування кавітаційних коливань з різними частотами, що відрізняються один від одного на порядок і вище. Це пов'язано з тим, що для збудження зародка кавітації певного радіуса необхідно генерувати коливання певної частоти. Чим менші розміри зародків кавітації, тим вище має бути частота і тим більше має бути акустичний тиск, що викликає кавітацію. Якщо кавітаційні генератори працюють на різних частотах, і проходження рідини через них здійснюється послідовно, то рідина повинна спочатку проходити через генератор з більшою частотою, а потім через генератор з меншою частотою. У генераторі з високою частотою збуджуються зародки кавітації найменшого розміру, що швидко збільшуються. Ці кавітаційні бульбашки є зародками кавітації в генераторі з низькою частотою і збільшуються в розмірі ще більше, що приводить до збільшення імпульсів кавітаційного тиску.

Було запропоновано комбіновану магнітну та кавітаційну обробку високов'язких палив у системі паливоподачі суднових дизелів [3], що є ефективним способом підвищення експлуатаційної ефективності паливної апаратури, яка може забезпечити:

- зменшення в'язкості та густини палива, що знижує величину сил тертя у прецизійних парах паливної апаратури, сприяє зниженню їх перегріву та заклинювання, утворенню нагару на поверхнях елементів розпилювачів форсунок;

- зниження температури спалаху, що значно покращує здатність палив до самозаймання, що визначає подальший процес згоряння та рівень теплових та механічних напружень у деталях циліндро-поршневої групи (ЦПГ);

- зменшення розмірів твердих домішок у паливі, що знижує ймовірність утворення задирок на поверхнях прецизійних пар, корозії деталей паливної апаратури, ЦПГ та газопускної системи, збільшуючи їхній ресурс;

- гомогенізацію обводнених палив до зменшення розмірів частинок водної фази до 1–5 мкм, що дає можливість їх застосування без негативного впливу водної складової на прецизійні пари паливної апаратури, не викликаючи порушень у роботі.

Література:

1. Kornienko, V. Reducing the Harmful Emissions While Water-Fuel Emulsions Combustion / V. Kornienko, R. Radchenko, S. Forduy, A. Andreev, V. Khaldobin // Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering - 2021. ICTM 2021. Lecture Notes in Networks and Systems : Nechyporuk M., Pavlikov V., Kritskiy D. (eds). – vol. 367. – Springer, Cham, 2022. – Pp. 497-508.

https://doi.org/10.1007/978-3-030-94259-5_42

2. Горячкин, В.Ю. Снижение эмиссии токсичных веществ при сжигании водотопливных эмульсий в ДВС / Горячкин В.Ю., Андреев А.А., Иутинский В.О., Корниенко В.С. // Проблемы экологии та енергозбереження в суднобудуванні: Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК, 2011. – С.174-178.

3. Гурин, К.Ю. Підвищення ефективності суднових дизелів шляхом обробки палива магніто-гідродинамічними активаторами / К.Ю. Гурин, А.А. Андреев // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці : XIV Міжнародна науково-технічна конференція : матеріали. – Миколаїв : НУК, 2023. – С. 169-172.

FEASIBILITY OF PROCESSING MARINE DIESEL FUEL WITH MAGNETO-HYDRODYNAMIC ACTIVATORS

Guryn Kostyantyn, Andreiev Andreii

National University of Shipbuilding

Abstract. Preparation of water-fuel emulsions is an appropriate direction for operational preparation of high-viscosity fuels for marine diesel engines. A combined magnetic and cavitation treatment of highly viscous fuels in the fuel supply system of marine diesel engines was proposed, which is an effective way to increase the operational efficiency of fuel equipment.

Keywords: marine diesel, water-fuel emulsion, magnetic fuel treatment, cavitation fuel treatment, magneto-hydrodynamic activator

УДК 621.436; 621.57

ВИКОРИСТАННЯ НАДЛИШКОВОЇ ЕНЕРГІЇ ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ ДВЗ

Андрєєв А.А.

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри теплотехніки Херсонського навчально-наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

artem.andreev@nuos.edu.ua

Андрєєва Н.Б.

кандидат педагогічних наук, доцент,

завідувач доцент кафедри теплотехніки Херсонського навчально-наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Україна

nataliia.andrieieva@nuos.edu.ua

Виконано порівняння потужності газової турбіни, що утилізує енергію продуктів згоряння ДВЗ, та потужності, що споживається наддувним компресором. Проаналізовано ефективність використання надлишкової теплової енергії продуктів згоряння для охолодження наддувного повітря. Запропоновано схемні рішення ежекторних тепловикористовуючих систем охолодження наддувного повітря ДВЗ.

Ключові слова: двигун внутрішнього згоряння, продукти згоряння, утилізація, наддувне повітря, тепловикористовуюча система охолодження.

Удосконалення систем турбонаддуву є одним із основних напрямків у дизелебудуванні. Застосування сучасних, з високим ККД ($\eta_{\text{TK}} = 0,70 \dots 0,75$), турбокомпресорів (ТК) сприяє утворенню надлишку енергії продуктів згоряння понад необхідну для приводу наддувних компресорів. Зазвичай надмірна енергія продуктів згоряння використовується у додатковій газовій турбіні, що встановлюється на байпасній лінії основної турбіни наддувного ТК. Через високу вартість застосування таких турбокомпаундних систем (ТКС) економічно виправдане для великих ДВЗ потужністю 20...60 МВт і вище. У цьому випадку термін їх окупності становить 5...10 років. До того ж ефективність ТКС, як і самих ДВЗ, суттєво знижується з підвищенням температури зовнішнього повітря на вході ТК $t_{\text{зп}}$ та забортної води $t_{\text{зв}}$ системи охолодження наддувного повітря. Тому доцільною є утилізація надлишкової теплової енергії продуктів згоряння в тепловикористовуючих установках охолодження наддувного повітря (ТУОНП), що забезпечують поліпшення показників ДВЗ при високих $t_{\text{зп}}$ і $t_{\text{зв}}$.

Видається доцільним використання надлишку теплової енергії газів у ТУОНП, і зокрема, ежекторного типу як конструктивно найбільш простий. Для цього необхідно

частину газів направити повз турбіну ТК на ТУОНП. Кількість газу, що байпасується, пропорційно надлишку потужності турбіни над потужністю компресора. Воно залежить від температури наддувного повітря на нагнітанні компресора, яка, у свою чергу, від температури навколишнього повітря $t_{зп}$, і може становити 20...30 %. Як робоча речовина ежекторної ТУОНП застосовують низькокиплячі робочі тіла (НРТ).

Схема системи охолодження наддувного повітря ДВЗ на базі ежекторної ТУОНП, що утилізує теплоту надлишкової кількості газів, представлена на рис. 1. При цьому у випарній, високотемпературній секції генератора парів НРТ високого тиску використовується теплота газів байпасної лінії з температурою 350...400 °С і витратою 20...30 % від загальної кількості газів після циліндрів двигуна. Нагрівання рідкого НРТ, що надходить з конденсатора в генератор, від температури конденсації t_k до температури кипіння t_r при високому тиску відбувається в низькотемпературній економайзерній секції генератора за рахунок теплоти, що відводиться від газів після утилізаційного котла (УК) з температурою близько 180 °С.

Темлоперепад, що спрацьовується у випарній секції генератора, невеликий, оскільки обмежений різницею температур газів на вході та виході з неї (вході до УК) $t_{r1} - t_{r2} = 350 - 250 = 100$ °С, до того ж віднесеної до дуже малої витрати газів через байпас (близько 20 % загальної витрати).

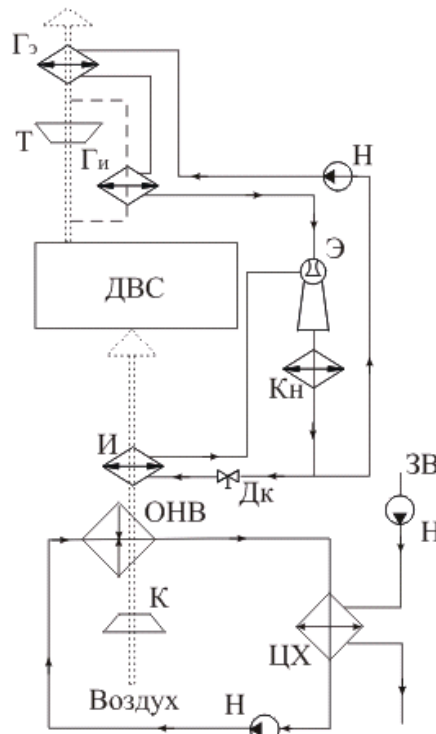


Рисунок 1. Схема системи охолодження наддувного повітря ДВЗ з урахуванням ежекторної ТУОНП: Т – турбіна ТК; К – наддувний компресор; УК – утилізаційний котел; ОНВ – охолоджувач наддувного повітря водяний; ЦХ – центральний холодильник; ЗВ – забортна вода;

ТУОНП: Ге та Гі – економайзерна та випарна секції генератора; Е – ежектор; Кн – конденсатор; Н – насос; ДК – дросельний клапан; И – випарник-повітроохолоджувач

Подальше збільшення ефективності утилізації надлишкової теплоти газів можливе при використанні в ТУОНП всього теплового потенціалу газів після турбіни ТК. Схема такої ТУОНП з економайзерною секцією генератора, встановленої на газах після утилізаційної газової турбіни ТК, і випарною секцією – на байпасній лінії газів, представлена на рис. 2.

Для оцінки ефективності такого варіанта утилізації можна використати результати проведених розрахунків, але з урахуванням збільшення теплового потенціалу на величину, яка раніше використовувалася у пароводяному УК, тобто еквівалентну різниці температур на вході та виході з УК, $t_{r1} - t_{r2} = 250 - 180 = 70 \text{ }^\circ\text{C}$, віднесеної до 80 витрати газів (при 20 % байпасі). Результати розрахунків за тепловими балансами, складеними відповідно до температур і витрат відхідних газів через секції генератора ТУОНП, показують, що кількість теплоти, що зазвичай утилізується в УК, дорівнює надмірній теплоті газів, що використовуються в ТУОНП з випарною секцією генератора на байпасній лінії та економайзерній – на сумарному потоці газів після УК. В результаті одержуємо, що схемне рішення ТУОНП на рис. 2 забезпечує зниження температури наддувного повітря на величину $\Delta t_n = 25 \dots 30 \text{ }^\circ\text{C}$ при $t_r = 110 \text{ }^\circ\text{C}$ і 20 % витраті газів через байпасну лінію.

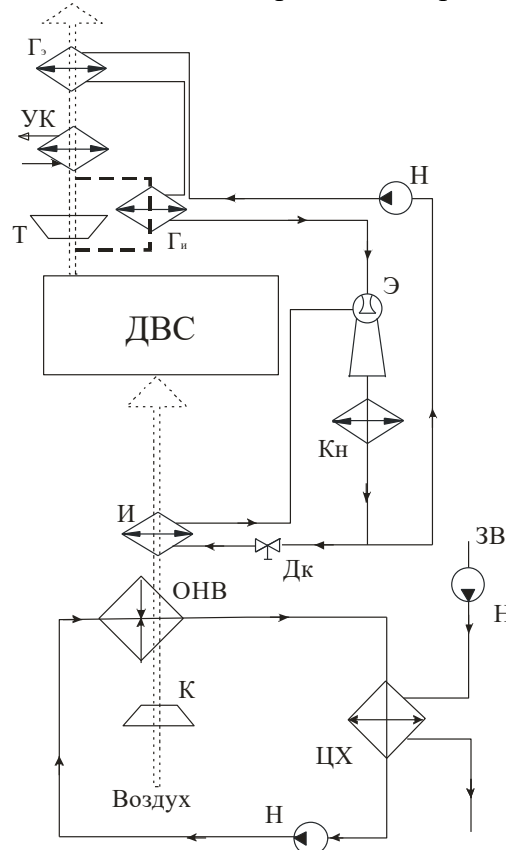


Рисунок 2. Схема системи охолодження наддувного повітря ДВЗ на базі ежекторної ТУОНП з випарною секцією генератора на байпасній лінії газів (економайзерна секція після турбіни ТК); Т – турбіна ТК; К – наддувний компресор; ОНВ – охолоджувач наддувного повітря водняний; ЦХ – центральний холодильник; ЗВ – забортна вода;

ТУОНП: Г_е та Г_і – економайзерна та випарна секції генератора; Е – ежектор; Кн – конденсатор; Н – насос; Дк – дросельний клапан; И – випарник-повітроохолоджувач

Враховуючи, що зниження температури наддувного повітря після охолоджувача наддувного повітря у випарнику ТУОНП на величину $\Delta t_n = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ приводить до зменшення питомої витрати палива приблизно на 0,7 %, отримуємо, що утилізація надлишкового теплового потенціалу газів байпасної лінії, згідно зі схемою на рис. 2, забезпечує скорочення питомої витрати палива майже на 2 %.

Висновки:

1. Використання надлишкової, понад необхідної для приводу наддувного компресора, теплової енергії газів у ежекторних ТУОНП для охолодження наддувного повітря ДВЗ забезпечує скорочення питомої витрати палива приблизно на 2 % у разі відсутності УК і 1 %

– при утилізації частини теплоти газів в УК . При цьому температура наддувного повітря знижується відповідно на 25...30 і 15 °С порівняно з його охолодженням у водяному ОНП.

2. Запропоновано схемні рішення систем охолодження наддувного повітря ДВЗ з використанням ежекторних ТУОНП.

Література

1. Influence of Ambient Temperature Conditions on Main Engine Operation: MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, Denmark 2005.
2. MAN B&W. Project Guide. Two-stroke Engines. MC Programme. Vol. 1: MAN B & W Diesel A / S., Copenhagen, Denmark 1986.
3. *Shiraishi K., Ono Y.* Hybrid Turbocharger with integrated High Speed Motor-generator // Technical Review: Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. - 2007. -Vol. 44. -No. 1 (березень). - 3 р.
4. MAN Engine Selection Guide. MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, Denmark.

USE OF EXCESSIVE ENERGY OF COMBUSTION PRODUCTS FOR CHARGE AIR COOLING OF ICE

Andrieiev Artem, Andrieieva Nataliia

A power output of gas turbine, recovering the energy of combustion products of ICE, was compared with the power, required by air charging compressor. The effectiveness of using the excessive thermal energy of combustion products for cooling charged air has been analyzed. The schemes of ejector waste heat recovery systems for cooling charged air of ICE were proposed.

Key words: internal combustion engine, combustion products, disposal, supercharged air, heat-using cooling system.

УДК 621.438 (075)

OXY-FUEL COMBUSTION POWER PLANTS AS AN ALTERNATIVE TO CONVENTIONAL POWER GENERATION

Patlaichuk V. M.

Head of the Department of Turbines

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Mykolayiv, Ukraine

volodymyr.patlaichuk@nuos.edu.ua

Abstract. The advantages, disadvantages and features of the design of power plants using fossil fuel combustion in pure oxygen are analyzed. The prospects of their implementation in the energy sector are considered.

Keywords: power plant; carbon capture and storage; oxy-fuel combustion; combustion chamber; environmental impact.

Oxy-fuel combustion is the process of burning a fuel using pure oxygen, or a mixture of oxygen and recirculated flue gas, instead of air. Since the nitrogen component of air is not heated, fuel consumption is reduced, and higher flame temperatures are possible. Historically, the primary use of oxy-fuel combustion has been in welding and cutting of metals, especially steel, since oxy-fuel allows for higher flame temperatures than can be achieved with an air-fuel flame. It has also received a lot of attention in recent decades as a potential carbon capture and storage technology.

There is currently research being done in firing fossil fuel power plants with an oxygen-enriched gas mix instead of air. Almost all of the nitrogen is removed from input air, yielding a stream that is approximately 95% oxygen. Firing with pure oxygen would result in too high a flame temperature, so the mixture is diluted by mixing with recycled flue gas, or staged combustion. The recycled flue gas can also be used to carry fuel into the boiler and ensure adequate convective heat

transfer to all boiler areas. Oxy-fuel combustion produces approximately 75% less flue gas than air fueled combustion and produces exhaust consisting primarily of CO₂ and H₂O.

The justification for using oxy-fuel is to produce a CO₂ rich flue gas ready for sequestration. Oxy-fuel combustion has significant advantages over traditional air-fired plants. Among these are:

- the mass and volume of the flue gas are reduced by approximately 75%;
- because the flue gas volume is reduced, less heat is lost in the flue gas;
- the size of the flue gas treatment equipment can be reduced by 75%;
- the flue gas is primarily CO₂, suitable for sequestration;
- the concentration of pollutants in the flue gas is higher, making separation easier;
- most of the flue gases are condensable; this makes compression separation possible;
- heat of condensation can be captured and reused rather than lost in the flue gas;
- because nitrogen from air is absent, nitrogen oxide production is greatly reduced;
- if the fuel contains sulfur, sulfuric acid can possibly be recovered instead of being released as a dangerous environmental pollutant or "lost" in flue gas desulfurization.

Economically speaking this method costs more than a traditional air-fired plant. The main problem has been separating oxygen from the air. This process requires much energy, nearly 15% of production by a coal-fired power station can be consumed for this process. However, a new technology which is not yet practical called chemical looping combustion can be used to reduce this cost. In chemical looping combustion, the oxygen required to burn the coal is produced internally by oxidation and reduction reactions, as opposed to using more expensive methods of generating oxygen by separating it from air.

At present in the absence of any need to reduce CO₂ emissions, oxy-fuel is not competitive. However, oxy-fuel is a viable alternative to removing CO₂ from the flue gas from a conventional air-fired fossil fuel plant. However, an oxygen concentrator might be able to help, as it simply removes nitrogen.

In industries other than power generation, oxy-fuel combustion can be competitive due to higher sensible heat availability. Oxy-fuel combustion is common in various aspects of metal production.

Oxy-fuel combustion may also be cost effective in the incineration of low BTU value hazardous waste fuels. It is often combined with staged combustion for nitrogen oxide reduction, since pure oxygen can stabilize combustion characteristics of a flame.

Currently, oxy-fuel combustion power plants are only at the stage of experimental testing and research.

One case study of oxy-fuel combustion is the attempted White Rose plant in North Yorkshire, United Kingdom [1]. The planned project was an oxy-fuel power plant coupled with air separation to capture two million tons of carbon dioxide per year. The carbon dioxide would then be delivered by pipeline to be sequestered in a saline aquifer beneath the North Sea. However, in late 2015 and early 2016, following withdrawal of funding by the Drax Group and the U.K. government, construction was halted.

There are some another pilot plants undergoing initial proof-of-concept testing to evaluate the technologies for scaling up to commercial plants, including:

- Callide A Power Station in Queensland Australia [2; 3];
- Schwarze Pumpe Power Station in Spremberg, Germany [4; 5];
- CIUDEN in Cubillos del Sil, Spain;
- NET Power Demonstration Facility [6; 7].

One of the major environmental impacts of burning fossil fuels is the release of CO₂, which contributes to climate change. Because oxy-fuel combustion results in flue gas that already has a high concentration of CO₂, it makes it easier to purify and store the CO₂ rather than releasing it to the atmosphere.

Many fossil fuels, such as coal and oil shale, produce ash as a result of combustion. This ash also needs to be disposed of, which may impact the environment. So far studies indicate that, in

general, oxy-fuel combustion does not significantly affect the composition of ash produced. Measurements have shown similar mineral and heavy metal concentrations regardless of whether an air or oxyfuel environment was used.

REFERENCES

- [1] White Rose Project Fact Sheet: Carbon Dioxide Capture and Storage Project. *Carbon Capture and Sequestration Technologies Program at MIT*. URL: https://sequestration.mit.edu/tools/projects/white_rose.html.
- [2] Rollo W. Clean coal trial hoped to help lower power station carbon emissions. *ABC News*, 2015. URL: <https://www.abc.net.au/news/2015-03-14/engineers-hope-clean-coal-project-will-have-global-application/6296826>.
- [3] Greig C., Bongers G., Stott C., Byrom S. Overview of CCS Roadmaps and Projects. URL: <http://anlecrd.com.au/wp-content/uploads/2017/02/Overview-of-CCS-Roadmaps-and-Projects.pdf>.
- [4] Mansel T. Germany plans CO₂-free power plant. *BBC News*, 2005. URL: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/4642837.stm>.
- [5] Vattenfall abandons research on CO₂ storage. *The Local*, 2014. URL: <https://www.thelocal.se/20140507/vattenfall-abandons-research-on-co2-storage>.
- [6] Isles J. Gearing up for a new supercritical CO₂ power cycle system. *Gas Turbine World*. 2014. Vol. 44 (6). P. 14-18.
- [7] Allam R. NET Power's CO₂ cycle: the breakthrough that CCS needs. *Modern Power Systems*. URL: <https://www.modernpowersystems.com/features/featurenet-powers-co2-cycle-the-breakthrough-that-ccs-needs>.

УДК 621.438 (075)

АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ, ВИКОНАНОЇ ЗА ЦИКЛОМ АЛЛАМА

Патлайчук В. М.

кандидат технічних наук,
завідувач кафедри турбін

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
volodymyr.patlaichuk@nuos.edu.ua

Кутняк І.В.

студент групи 6231м

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Анотація. Розглянута теплова схема енергетичної установки, яка виконана на основі термодинамічного циклу Аллама. Проведені математичне моделювання та аналіз параметрів такої установки.

Ключові слова: цикл Аллама; енергетична установка; нульові викиди; турбіна; камера згоряння; вуглекислий газ; тепловий баланс.

В останні роки у зв'язку із загальним трендом до декарбонізації енергогенеруючих потужностей (тобто до зменшення викидів від них вуглекислого газу до атмосфери) набувають розвитку дослідження енергетичних установок, в яких спалювання палива відбувається не в традиційному середовищі атмосферного повітря, а в середовищі чистого

кисню. Випускні гази від таких установок складаються майже на 100% з вуглекислого газу (CO_2) та водяної пари (H_2O).

Різновидом енергетичних установок на чистому кисні є установки, виконані за циклом Аллама, які в даний час ще проходять експериментальні дослідження. Пілотний проєкт ефективною потужністю 25 МВт був введений в дію у Ла-Порте, штат Техас, у травні 2018 року [1; 2; 3].

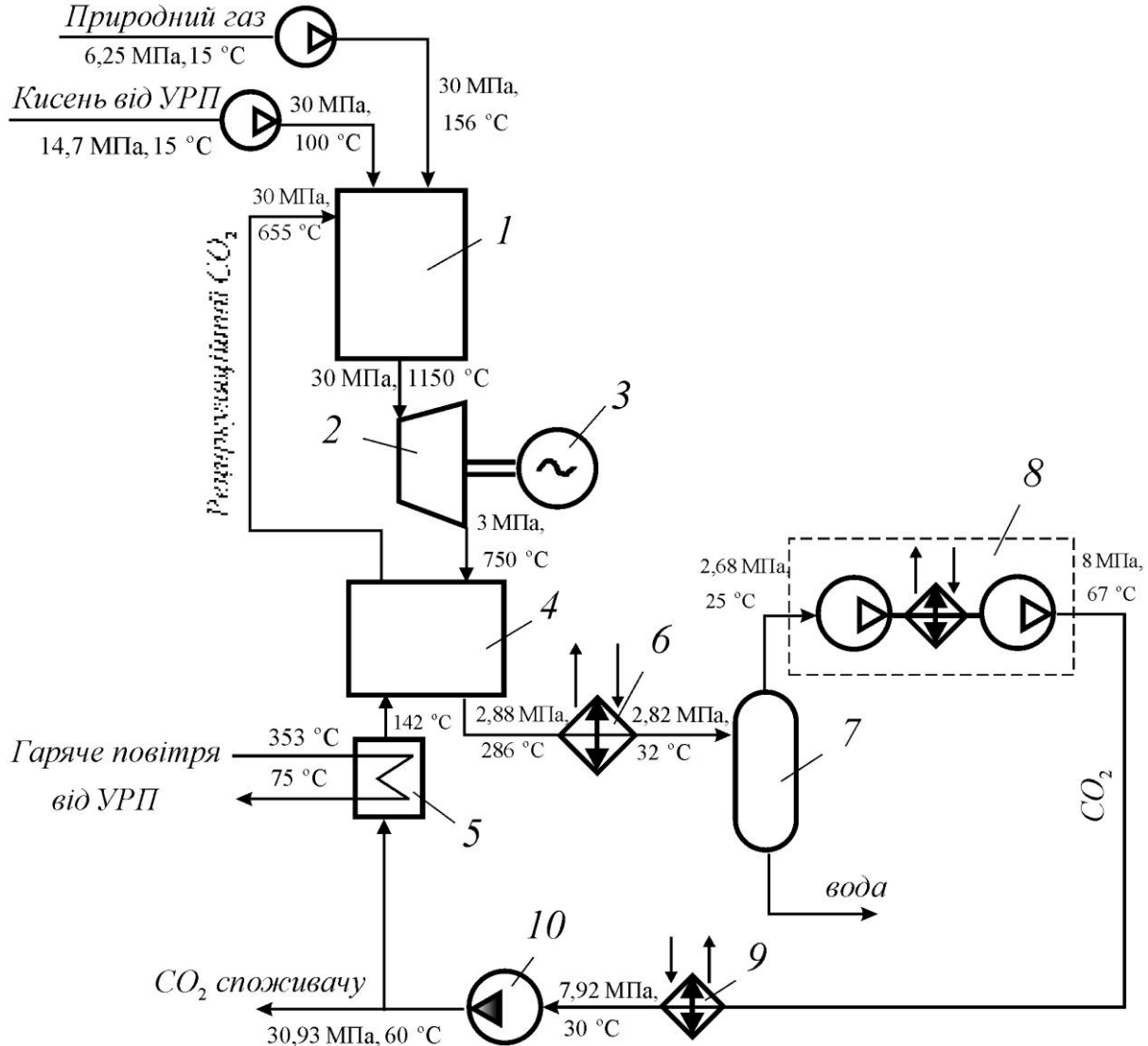


Рис. 1. Теплова схема спроектованої енергетичної установки:

1 – камера згоряння; 2 – турбіна; 3 – електрогенератор; 4 – високотемпературна секція регенератора; 5 – низькотемпературна секція регенератора; 6 – охолоджувач випускних газів; 7 – сепараційна установка; 8 – двосекційний з проміжним охолодженням компресор вуглекислого газу; 9 – охолоджувач вуглекислого газу; 10 – насос вуглекислого газу; УРП – установка розділення повітря

Спалення природного газу в таких установках відбувається в середовищі кисню при тиску 20...40 МПа [4]. Для зниження температури випускних газів (до 1100...1200 °С) в камеру згоряння 1 також подається рециркуляційний потік вуглекислого газу (рис. 1).

Після розширення в турбіні 2 випускні гази, які приблизно на 97% складаються з вуглекислого газу та на 3% з водяної пари, охолоджуються в високотемпературній секції регенератора 4 та в охолоджувальній системі 6. Відділення від них сконденсованої водяної пари відбувається в сепараційній установці 7.

Отриманий внаслідок сепарації чистий потік вуглекислого газу стискається в компресорній 8 та насосній 10 установках, після чого частина його (приблизно 3,5% від

загальної кількості) поступає споживачу, інша частина (т.зв. рециркуляційний CO₂) повертається до камери згоряння, попередньо підігрівшись у низькотемпературній 5 та високотемпературній 4 секціях регенератора.

Спираючись на опубліковану інформацію з пілотного проекту, розроблена математична модель такої енергетичної установки та проведені параметричні розрахунки її термодинамічного циклу. Деякі результати з них наведені на рис. 1.

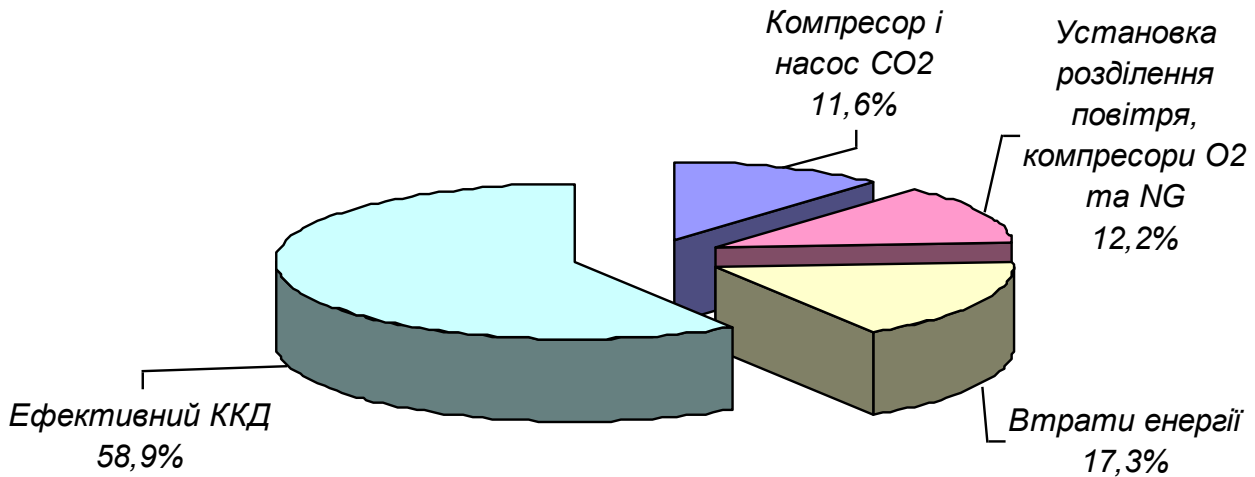


Рис. 2. Розподіл теплового балансу базової установки у Ла-Порте

На рис. 2 та 3 для порівняння наведені розподіл теплового балансу базової установки у Ла-Порте [1] та розподіл теплового балансу спроектованої установки. Порівняння цієї інформації свідчить про те, що виконане математичне моделювання циклу Аллама в цілому адекватно описує фізичні процеси, що відбуваються в цій енергетичній установці.

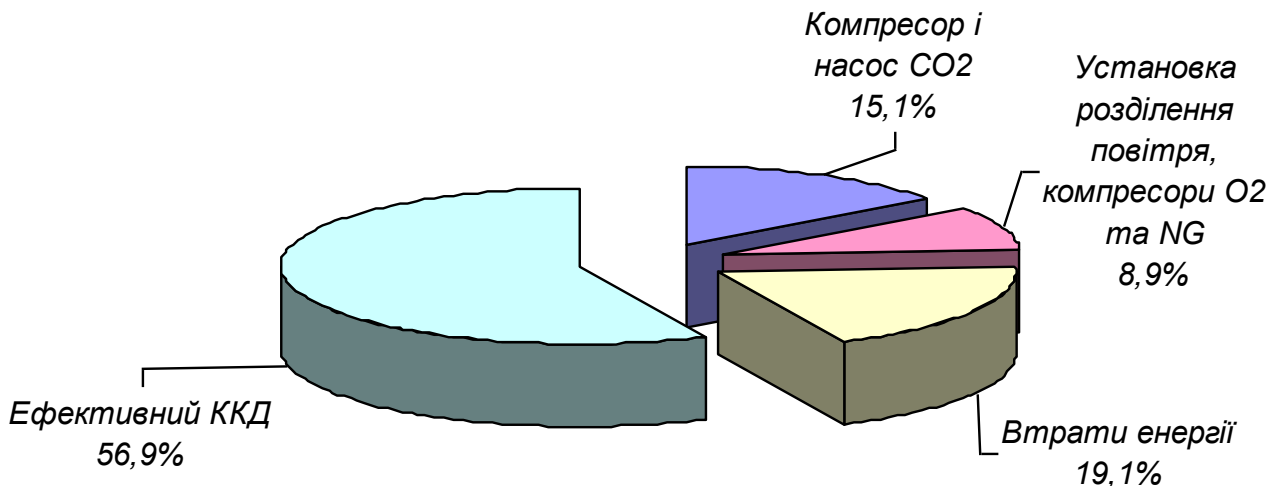


Рис. 3. Розподіл теплового балансу спроектованої установки

Висока ефективність подібних установок та повна відсутність будь-яких викидів від них в атмосферу створює гарні перспективи для їх використання в енергетиці. Суттєвим недоліком подібних установок є надто висока на даний момент собівартість виробництва ними електроенергії (головним чином, внаслідок використання спеціальних установок розділення повітря) та недостатня технічна досконалість головних елементів (камера згоряння, турбіна, регенератор), які знаходяться лише на початковій стадії свого дослідження.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Isles J. Gearing up for a new supercritical CO₂ power cycle system. *Gas Turbine World*. 2014. Vol. 44 (6). P. 14-18.
- [2] Breaking ground for a groundbreaker: the first Allam Cycle power plant. *Modern Power Systems*. URL: <https://www.modernpowersystems.com/features/featurebreaking-ground-for-a-groundbreaker-the-first-allam-cycle-power-plant-4893271>.
- [3] Dodge E. CCS Breakthrough: CO₂ Power Cycles Offer Improved Efficiency and Integrated Carbon Capture. *Breaking Energy*. URL: <https://breakingenergy.com/2014/11/14/ccs-breakthrough-sco2-power-cycles-offer-improved-efficiency-and-integrated-carbon-capture>.
- [4] Allam R., Martin S., Forrest B., Fetvedt J., Lu X., Freed D., Brown G., Sasaki T., Itoh M., Manning J. Demonstration of the Allam Cycle: An Update on the Development Status of a High Efficiency Supercritical Carbon Dioxide Power Process Employing Full Carbon Capture. *Energy Procedia*: 13th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-13, 14–18 November 2016. Vol. 114. P. 5948–5966.

Analysis of the parameters of a power plant made according to the Allam cycle

Patlaichuk V. M., Kutnyak I. V.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine.

Abstract. The thermal scheme of the power plant, which is made on the basis of the Allam thermodynamic cycle, is considered. Mathematical modeling and parametric research of such a power plant were carried out.

Keywords: Allam cycle; power plant; zero emissions; turbine; combustion chamber; carbon dioxide; thermal balance.

УДК 62-713

РОЗРОБКА СУЧАСНИХ ОХОЛОДЖУВАЧІВ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ

Гогоренко О. А.

в.о. завідувача кафедри Двигунів внутрішнього згорання, установок та технічної експлуатації, кандидат технічних наук, доцент

Мошенцев Ю. Л.

професор кафедри Двигунів внутрішнього згорання, установок та технічної експлуатації, кандидат технічних наук

Немченко А. В.

*здобувач освіти другого (магістерського) рівня
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна*

Анотація. Представлені рекомендації щодо конструювання, виготовлення з використанням низькотемпературних олов'янистих припаїв та результати випробувань конструкції сучасного охолоджувача наддувного повітря. Результати випробувань свідчать про можливість переходу до подібних теплообмінників. Цей крок сприятиме зменшенню витрат під час їх виробництва і одночасно допоможе досягти максимального зниження температури наддувного повітря в ресивері двигуна. При цьому буде досягнуто зниження повітряного опору при інших рівних умовах експлуатації.

Ключові слова: водяний канал, коефіцієнт теплової ефективності, охолоджувач наддувного повітря, пучок, теплообмінний елемент.

Чимало двигунів, які використовують наддув і охолодження наддувного повітря, призначені для загального використання як на суші, так і на водному транспорті. Як наслідок, охолоджувачі наддувного повітря (ОНП) для таких двигунів у всьому світі

зазвичай виготовляються так, щоб їх можна було використовувати для охолодження як прісною, так і морською водою. Основою для створення поверхонь теплообміну (ПТ) в таких ОНП є міцні трубні пучки з товстими стінками. З'єднання трубок із трубними дошками виконується шляхом вальцювання. Для здійснення вальцювання товщина трубних дошок повинна становити не менше 1,5 зовнішнього діаметра трубок.

Останнім часом спостерігається тенденція до відмови від охолодження наддувного повітря забортною водою навіть для головних судових двигунів [1]. З метою забезпечення надійності функціонування та можливості регулювання температури наддувного повітря, основні теплообмінні компоненти охолоджуються прісною водою. За необхідності, окремі доохолоджуючі секції іноді використовують забортну воду для охолодження. Це також стосується і допоміжних двигунів. Звісно, якщо відпадає необхідність використовувати забортну воду для більшості двигунів, це відкриває можливість проектувати охолоджувачі наддувного повітря з іншими урахуваннями і вимогами. Водяні канали таких ОНП можуть бути спроектовані з мінімально можливим перерізом, стінки каналів можуть мати мінімальну товщину, трубні дошки можуть бути тоншими. Якщо компактність ПТ для ОНП попередніх поколінь у середньому становила $600 \dots 650 \text{ м}^2/\text{м}^3$, то для сучасних ОНП цей параметр можна довести до $2000 \text{ м}^2/\text{м}^3$ і навіть більше. Маса пучків сучасних ОНП можуть бути зменшені приблизно в 3 рази, а застосування тонких трубних дошок замість товстих, необхідних для вальцювання, знижує масу теплообмінного елемента ще більше.

Такі зміни дозволяють істотно підвищити ККД ОНП при збереженні колишніх розмірів теплообмінника і забезпечити низький повітряний опір. У цьому випадку виникла потреба створення сучасного ОНП для двигуна типу MTU 20V4000G63 [2]. Якщо ОНП попереднього покоління мав ККД близько 0,83 і повітряний опір близько 300 мм вод. ст., то для сучасного ОНП ККД сягає 0,97 (при середньому рівні забруднення) і повітряний опір – менше 150 мм вод. ст.

Формування пучків ОНП на основі тонких трубних дошок можливе за допомогою різних методів, включаючи паяння або спікання з використанням технологій, таких як CuproBrazе [3] або аналогічних до них.

Відповідно була потрібна розробка життєздатної конструкції на цій основі. Сучасний ОНП був створений за розрахунками авторів. Вкладом авторів у розробку конструкції був вибір геометрії ПТ та визначення параметрів ОНП на розрахунковому режимі. При розробці конструкції слід було гарантувати збереження розмірів корпусу, оскільки ОНП повинен бути взаємозамінним із попередніми варіантами конструкції. Пучок був виконаний паяним, ребра з'єднувалося з трубками спіканням, з'єднання трубок із трубними дошками виконувалося паянням занурення, трубні дошки двошарові, із товщиною кожного листа латуні 1,5 мм. Верхня трубна дошка відігнута по периметру вгору і відгин дошки припаяний до товстостінної проставки, притисненої до корпусу болтовим нерозбірним з'єднанням. Загальний вигляд ОНП представлено на рис. 1.

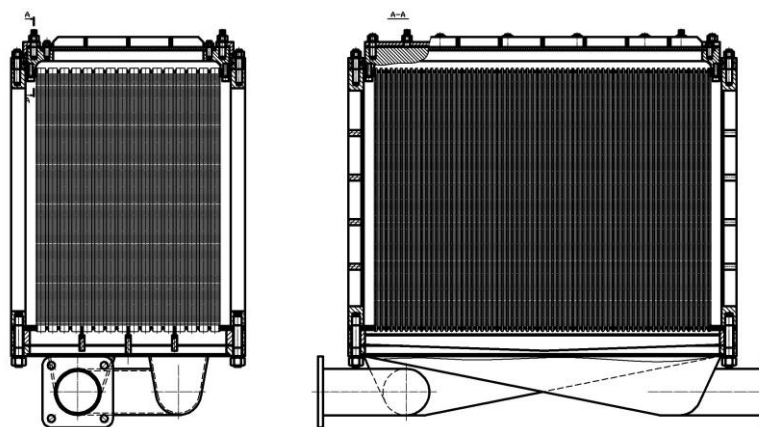


Рис. 1. Охолоджувач наддувного повітря двигуна MTU 20V4000G63

Представлений ОНП був випробуваний в лабораторії кафедри ДВЗ, У та ТЕ на вібростенді, що забезпечує умови вібраційної дії, еквівалентні таким як і на двигуні. ОНП випробовувався заповненим охолоджуючою рідиною з постійно температурою, що відповідає температурі стінки ПТ на номінальному режимі роботи двигуна. Водяна порожнина ОНП при цьому навантажувалася постійним тиском, рівним різниці тисків у повітряній і водяній порожнинах під час роботи двигуна. Тривалість випробувань становила 200 годин. Випробування підтвердили працездатність конструкції в рамках відповідності дійсним умовам експлуатації, яка могла бути забезпечена на вібростенді.

Наступним етапом передбачається провести експерименти ОНП на двигуні, щоб перевірити та підтвердити розрахункові теплотехнічні параметри. У разі успішних результатів цих випробувань, ОНП буде вироблятися масово і постачатися для встановлення на двигунах вказаного типу.

Література

1. MAN Energy Solutions. Two-stroke project guides [Електронний ресурс]. Режим доступу – <http://surl.li/mngsd>.
2. Diesel Generator MTU Series 4000 [Електронний ресурс]. Режим доступу – <http://surl.li/mngpy>.
3. CuproBrazе Heat Exchanger Technology [Електронний ресурс]. Режим доступу – <https://cuprobrazе.com>.

DEVELOPMENT OF MODERN CHARGE AIR COOLERS

Oleksiy Gogorenko

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Internal Combustion Engines, Installations and Technical Operation Department

Yuryi Moshentsev

Candidate of Technical Sciences, Professor of Internal Combustion Engines, Installations and Technical Operation Department

Andrii Nemchenko

second (master's) level student

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Mykolayiv, Ukraine

Abstract. Recommendations for design, manufacture using low-temperature tin solders and test results of the design of a modern supercharged air cooler are presented. The test results indicate the possibility of switching to similar heat exchangers. This step will contribute to the reduction of costs during their production and at the same time will help to achieve the maximum reduction of the temperature of the supercharged air in the engine receiver. At the same time, a reduction in air resistance will be achieved under other equal operating conditions.

Key words: bundle, charge air cooler, coefficient of thermal efficiency, heat exchange element, water channel

Секція №4. ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ З СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ У ВНЗ

УДК 811.111'42

ВАЖЛИВІСТЬ ВИВЧЕННЯ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ ЗА ПРОФЕСІЙНИМ СПРЯМУВАННЯМ ПІД ЧАС ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ З МОРСЬКОГО СУДНОПЛАВСТВА У ВНЗ

Ворчакова І. Є.

кандидат політичних наук, доцент

доцент кафедри психології, філософії та соціально-гуманітарних дисциплін

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

iryana.vorchakova@nuos.edu.ua

Личко Б. М.

кандидат технічних наук, доцент

*в.о. завідуючого кафедрою експлуатації суднових енергетичних установок та
теплоенергетики Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

bogdan.lychko@nuos.edu.ua

Анотація. В роботі піднімаються питання важливості та необхідності викладання англійської мови за професійним спрямуванням для майбутніх фахових моряків. Доводиться, що забезпечення якісного та компетентного викладання зазначеної іноземної мови є показником високого рівня забезпечення вищої професійної освіти. Актуальність наукового пошуку підтверджується державним прагненням інтегрувати в освітні програми вищих навчальних закладів України міжнародні освітні стандарти.

Ключові слова: англійська мова, професійне спрямування, вища освіта, морське судноплавство, фахівці морської справи.

В умовах складної воєнної ситуації в Україні активізується міжнародне військове співробітництво та інтеграційні світові процеси, які гостро піднімають питання подальшого розвитку й підвищення ефективності функціонування мовної підготовки у вищих навчальних закладах української держави. В епоху цифрових технологій і глобальних трансформацій створюються серйозні виклики для викладання та навчання. Саме тому все більшої актуальності набуває проблема викладання та вивчення англійської мови за професійним спрямуванням у вищій школі.

Актуальність пріоритетності вивчення англійської мови підсилюється ще й тим фактом, що 28 червня 2023 року Президент України Володимир Зеленський подав до Верховної Ради України законопроект № 9432 «Про застосування англійської мови в Україні». Ним передбачається офіційно закріпити статус англійської мови як однієї з мов міжнародного спілкування в Україні. Крім того, Міністерство освіти і науки України схвалило «Концептуальні засади державної політики щодо розвитку англійської мови у сфері вищої освіти», метою яких є створення можливостей для культурного, освітнього та професійного розвитку та прискорення інтеграції у глобальний освітній простір.

Однією з вимог інтеграції України в європейське освітнє середовище є забезпечення підготовки якісної морської освіти. Знання англійської мови майбутніми фахівцями в галузі морського судноплавства є невід'ємною вимогою Міжнародної морської організації.

Міжнародна морська організація (ІМО) офіційно зазначила в Міжнародній конвенції про підготовку і дипломування моряків та несення вахти (STCW), що англійська мова є морською мовою, а також розробила Стандарти фрази морської комунікації (SMCP), аби зменшити непорозуміння під час професійної комунікації та підвищити безпеку на морі [5, с. 156].

У тексті Конвенції СОЛАС-74 (Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі) визнано та закріплено привілейований статус англійської мови в якості робочої мови міжнародного торговельного флоту. Відтак, відповідно до схваленого статусу англійська мова стала засобом створення єдиного мовного середовища, в якому відбувається професійна діяльність і протікає повсякденне життя моряків, членів змішаного екіпажу [4, с. 130].

Таким чином, задля досягнення міждержавного консенсу, визначено загальну мовну політику у сфері морського судноплавства, а також представлено вимоги щодо професійно орієнтованої комунікативної компетентності фахівців морської справи.

Отже, англійська мова є ключовою компетентністю сучасної людини – інструментом міжнародної комунікації в академічному та професійному житті. Аналіз останніх досліджень і публікацій як основа для визначення особливостей викладання англійської мови для студентів немовних спеціальностей виявив, що відмітними рисами організації навчального процесу є орієнтованість на студентів і застосування діяльнісного й комплексного підходів [2, с. 121].

Саме виходячи з вищезазначеного, кафедра експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, в процесі підготовки бакалаврів за програмою «Управління судновими технічними системами і комплексами», одним з основних завдань визначає забезпечення студентам неперервного вивчення англійської мови за загальним і професійним спрямуванням.

Результати навчання майбутніх моряків повинні відповідати високим світовим стандартам і забезпечуватися на трьох рівнях (допоміжний, експлуатаційний та управлінський) з обов'язковим розвитком певної кількості комунікативних і професійних навичок та компетенцій на кожному рівні підготовки. Враховуючи те, що глибинне навчання являє собою сукупність навчальних результатів студентів, включаючи здобуття основного академічного змісту, навичок вирішення нових проблем, видається досить розумним застосувати його для навчання морської англійської мови [6, с. 178].

Сьогодні дослідники визначають варіативність підходів до викладання англійської морської мови, які мають як свої переваги, так і недоліки. Говорячи про останні, узагальнивши різні наукові погляди, можна виділити наступні :

- 1) відсутність консолідованих методичних вказівок;
- 2) відокремленість дослідників від багатьох національних шкіл і традицій;
- 3) відстороненість морської англійської від загальної англійської практики та нехтування основним лінгвістичним принципом доброчесності, що має на меті навчити студентів комунікативному контексту життя;
- 4) недостатня розробка міждисциплінарної концепції, що передбачає контакти між викладачами мови та професіоналами з навігації та морської техніки [3, с. 180].

Вищезазначені недоліки призвели до необхідності включати лінгвістичний підхід до текстів, лексики, пов'язаної зі сферою майбутніх фахівців, а також підходу формування навичок для досягнення цілей професійної освіти. Іноземні мови є гарною платформою для розвитку не лише професійних навичок, а й досягнення навичок кращої соціальної взаємодії. Вміння дискутувати англійською мовою, відстоювати свою точку зору, успішно вирішувати міжособистісні та міжкультурні питання – це потужна перевага при конкурентному відборі фахівців будь-якої сфери на ринку праці сьогодні. Активне слухання та критичне мислення

разом із комунікативними навичками є обов'язковими навичками під час занять з англійської мови у вищому навчальному закладі [1, с. 193].

Таким чином, виходячи з вищезазначеного, доведено важливість і необхідність викладання англійської мови за професійним спрямуванням для морських спеціальностей. Враховуючи останні тенденції застосування англійської мови в практичній діяльності, підтверджується гіпотеза, що технічна англійська критично важлива при роботі на морському судні.

Література:

1. Діденко М. О., Сибірко О. С. Способи розвитку гнучких навичок майбутніх моряків на заняттях з англійської мови за професійним спрямуванням. *Наукові записки Національного університету «Острозька академія», серія «Філологія»*. 2022. Вип. 13(81). С. 193-197.
2. Канюк О. Особливості викладання англійської мови для студентів немовних спеціальностей. *Український педагогічний журнал*. 2020. № 2. С. 117-122.
3. Колмикова О. О. Труднощі під час викладання англійської мови за професійним спрямуванням майбутнім офіцерам торговельного флоту *Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах* : зб. наук. пр. / [редкол.: А.В. Сущенко (голов. ред.) та ін.]. Запоріжжя : КПУ, 2020. Вип. 69. 200 с. Т. 2. С.179-182.
4. Огородник Н. Є. [Зміст навчання англійської мови майбутніх офіцерів машинного відділення](#). *Молодий вчений*. 2019. № 71. С. 129-133.
5. Хроленко О. А., Савватєєва В. Д. Важливість викладання лексики морської англійської мови відповідно до професійних потреб студентів. *Молодий вчений*. 2020. № 6 (82). С. 156-161.
6. Litikova O. I. Advantages of marine English deeper learning technologies. *Педагогічний альманах*. 2020. Вип. 46. С.169-178.

THE IMPORTANCE OF STUDYING THE ENGLISH LANGUAGE UNDER PROFESSIONAL DIRECTION DURING THE TRAINING OF MARITIME SPECIALISTS IN UNIVERSITIES

Vorchakova I. E.

the department of psychology, philosophy and social and humanitarian disciplines,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Mykolaiv, Ukraine

Lychko B. M.

Operation of Ship's Power Plants and Heat Power Department, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The work raises questions of the importance and necessity of teaching English in a professional direction for future professional sailors. It is proven that the provision of high-quality and competent teaching of the specified foreign language is an indicator of a high level of provision of higher professional education. The relevance of scientific research is confirmed by the government's desire to integrate international educational standards into the educational programs of higher educational institutions of Ukraine.

Keywords: English language, professional direction, higher education, maritime shipping, specialists in marine affairs.

УДК 65.9

ПІДГОТОВКА СУДНОВИХ МЕХАНІКІВ В УМОВАХ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ФЛОТУ

Кісетов Ю. В.,

канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова м. Миколаїв, Україна
kisetov499@ukr.net

Анотація. Розглянуто вплив тенденцій декарбонізації судноплавної галузі за рахунок впровадження нових альтернативних видів палива та їх наслідки для потреб у навчанні суднових механіків. Нормативні документи ІМО, що регламентують зменшення викидів в навколишнє середовище, також висувають питання додаткової підготовки суднових екіпажів стосовно особливостей управління, експлуатації, ремонту і технічного обслуговування устаткування і обладнання, задіяного в процесах декарбонізації судна.

Ключові слова: нормативні документи ІМО, декарбонізація, підготовка суднових механіків, альтернативні палива, навчальний процес, навички та компетенції.

Міжнародна морська організація (ІМО), яка регулює і контролює дію світового судноплавства на навколишнє середовище, регламентує зменшення викидів в процесі експлуатації флоту з часом [1, 2]. На рис. 1 наведено прогнозні дані декількох джерел стосовно декарбонізації флоту до 2050 року [1, 3, 4].

Впровадження прогнозів, які ми розглядаємо, суроводжується очікуванням значного зростання кількості моряків, які потребують навчання технологій використання альтернативного палива для суднової енергетичної установки. На рис.2-3 наведено прогнозоване зростання кількості моряків, яким потрібно буде працювати на судах з альтернативними видами палив [3, 4].

У сценарії ІМО 2018 року очікується, що до 2050 року 310 000 моряків плаватимуть на судах з альтернативною силовою установкою і їм буде потрібна додаткова підготовка. У сценарії "Декарбонізація до 2050 р." 750 000 морякам буде потрібна додаткова підготовка для роботи з альтернативними видами палива та технологіями. У сценарії з нульовими викидами вуглекислого газу до 2050 року», який передбачає різке збільшення використання альтернативних видів палива. в 2020-х роках 450 000 морякам знадобиться додаткове навчання до 2030 року і 800 000 до середини 2030-х років. Також виникає низка специфічних питань, пов'язаних з проблеми безпеки для традиційних і нових паливних технологій (табл.1).

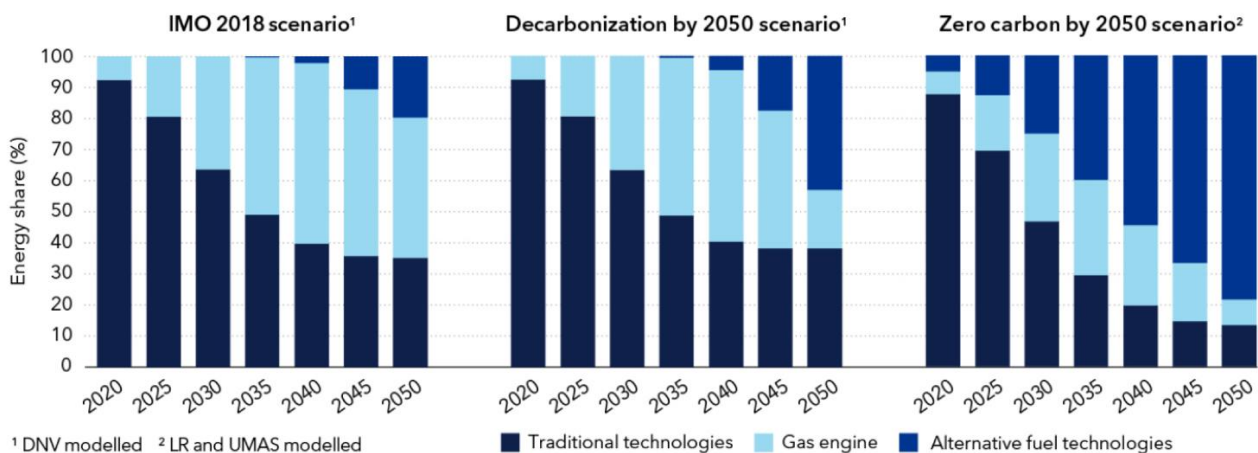


Рис. 1 Передбачувана частка енергетичних технологій у морському флоті:
1- сценарій декарбонізації до 2050 року (прогноз ІМО 2018 року і DNV);

2- сценарій з нульовим викидом вуглецю до 2050 року (прогнозні моделі Lloyd's Register та University Maritime Advisory Services).

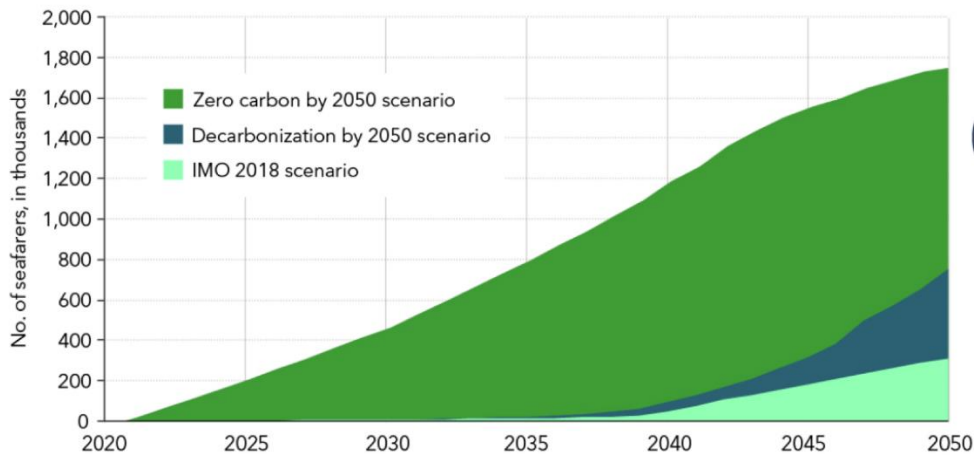
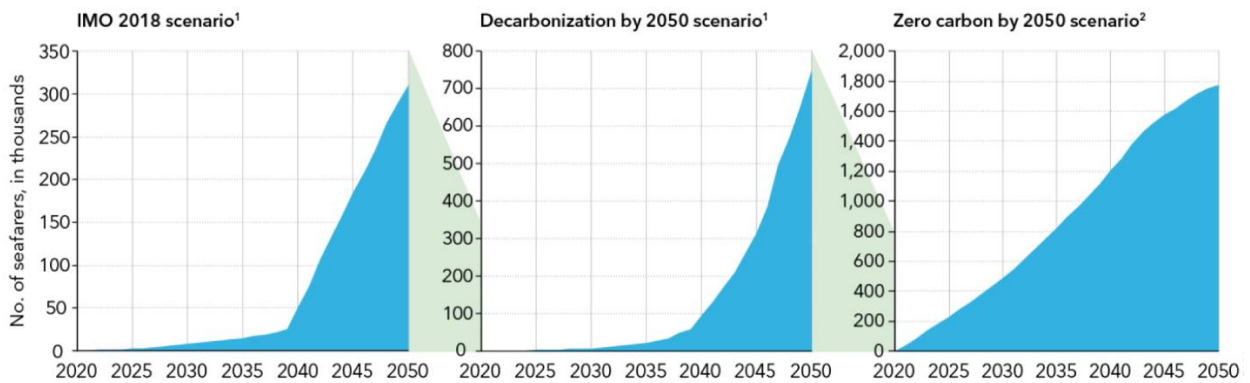


Рис.2 Розрахункова кількість моряків, які будуть працювати на суднах, обладнаних технологіями альтернативного палива



¹ DNV modelled ² LR and UMAS modelled

Рис.3 Оцінки кількості моряків, які потребують додаткової спеціальної підготовки

Розглянемо деякі особливості впливу процесів впровадження нових альтернативних видів палива на навчальний процес підготовки суднових механіків.

Таблиця 1

Огляд проблем безпеки для традиційних і нових паливних технологій, які використовуються на судні

Fuel technology	HFO/MGO	LNG/LPG	Hydrogen	Methanol	Ammonia
Flammability	Low risk	Low risk	High risk	Medium risk	Medium risk
Explosion risk	Low risk	Low risk	High risk	Low risk	Low risk
Toxicity	Low risk	Low risk	Low risk	Medium risk	High risk

Low risk Medium risk High risk

Наведена інформація свідчить, що вищезазначені вимоги, потрібно враховувати у відповідних системах освіти, щоб мати можливість забезпечити судноплавний флот компетентним персоналом. У табл. 2 наведено основні навички і компетенції суднових механіків, які впливають на поглиблену увагу в навчальних планах і програмах їх підготовки.

Таблиця 2

Навички та компетенції для експлуатації суден з використанням технологій альтернативного палива

Навички та компетенції безпеки	
Навички	<ul style="list-style-type: none"> • Прийняти мислення про безпеку при роботі з новими видами палива • Здатність запроваджувати оновлені процедури готовності до надзвичайних ситуацій, такі як надання першої допомоги, виявлення пожежі, вогнеборство тощо
Компетенції	<ul style="list-style-type: none"> • Знання потенційної небезпеки палива на борту та того, як це стосується роботи обладнання і його обслуговування • Знання процедур тестування нових видів моніторингу навколишнього середовища • Знання хімії та фізики конкретного палива для розуміння потенційних загроз безпеки • Розуміння основних понять і властивостей різних видів палива
Навички та компетенції для оволодіння складними морськими операціями	
Навички	<ul style="list-style-type: none"> • Здатність виконувати безпечне технічне обслуговування судна та обладнання з більш небезпечними видами палива на борту • Здатність працювати з цифровими та ручними системами для мостика, палуби, двигуна, маневрування та руху, які представлені з новою технологією палива • Здатність освоїти нові методи бункерування • Здатність керувати складною гібридною технікою з нульовим рівнем викидів • Вміння працювати з гідравлічними компонентами та пневматичним обладнанням
Компетенції	<ul style="list-style-type: none"> • Знання функцій двигуна та маневрених характеристик • Знання того, як керувати обладнанням енергоефективним способом
Навички та компетенції сталого розвитку	
Навички	<ul style="list-style-type: none"> • Знання моніторингу викидів та документації • Знання економіки навколишнього середовища та використання систем управління продуктивністю • Знання методів логістики та оптимізації для

	<p>досягнення високого рівня завантаження суден та оптимальної маршрутизації</p> <ul style="list-style-type: none"> • Знання екологічної свідомості
Компетенції	<ul style="list-style-type: none"> • Дистанційне керування операціями, реєстрація та аналіз даних з кількох джерел • Базові знання цифрових технологій (Інтернет речей, датчики, мережі, кібербезпека, підключення тощо). Розширена аналітика та використання даних для оптимізації процесів • Технічні знання для розуміння складних систем (механік як системний менеджер) • Знання кібербезпеки
Навички та компетенції автоматизації	
Навички	<ul style="list-style-type: none"> • Керування збоями автоматизації за допомогою наземної підтримки • Знання та навички використання автоматизованих систем. Уміння контролювати та виправляти їх функції
Компетенції	<ul style="list-style-type: none"> • Можливість діагностики та усунення дефектів за допомогою автоматизованих систем • Поглиблені знання електричних систем • Знання програмованих логічних контролерів

Висновок. В інтересах забезпечення безпеки судна, екіпажу та вантажу, а також з міркувань зниження витрат і періодів виведення судна з експлуатації, важливо зосередити увагу на якості підготовки механіків для роботи в умовах використання нових альтернативних видів палива. Важливо, щоб вахтові механіки були в повному об'ємі ознайомлені з устаткуванням і обладнанням, задіяними в підготовці і обробці палива на судні, заходами технічного обслуговування та іншими питаннями процесів експлуатації обладнання суднової енергетичної установки.

Література:

1. International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers as amended, including the 1995 and 2010 Manila Amendments. STCW Convention and STCW Code. 2011 edition. Language (s): ENG, FRE, SPA, RUS, CHI, ARA (IMO-IC938). [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://SEARCH.LIGAZAKON.UA/L_DOC2.NSF/LINK1/MU10242.html
2. Sulphur Cap 2020 [Електронний ресурс] / - Режим доступу до ресурсу: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Sulphur-2020.aspx>.
3. Raymond Antoni Kaspersen (PM), Henning Ødeby Karlsen, Henrik Helgesen, Georg Giskegerde, Christine Lagerstedt Krugerud & Peter Nyegaard Hoffmann INSIGHTS INTO SEAFARER TRAINING AND SKILLS NEEDED TO SUPPORT A DECARBONIZED SHIPPING INDUSTRY. Report no.: 2022-0814, rev. 0, Date: 2022-11-04, 25 p.
4. <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/New-study-of-seafarer-training-and-skills-needed-to-support-decarbonization.html>.

TRAINING OF SHIP MECHANIC IN THE CONDITIONS OF DECARBONIZATION OF THE FLEET

Kisietov J., *Ph.D. technical of Sciences, associate professor of the department of operation of ship power plants and thermal power engineering*

National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine

kisietov499@ukr.net

Abstract. *The impact of decarbonization trends in the shipping industry due to the introduction of new alternative fuels and their consequences for the training needs of ship mechanics are considered. Normative documents of the IMO, which regulate the reduction of emissions into the environment, also raise the issue of additional training of ship crews regarding the features of management, operation, repair and maintenance of equipment and equipment involved in ship decarbonization processes.*

Keywords: *IMO regulations, decarbonization, ship mechanic training, alternative fuels, educational process, skills and competencies.*

УДК 378.147:54

СТЕЙКХОЛДЕРИ, ЗАПИТ ТА ОЧІКУВАННЯ

Семенов М.М.

*доцент НУК кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

mikola.semenov@nuos.edu.ua

Шаповалов Ю.О.

кандидат технічних наук,

*доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

yuriy_shapovalov_2011@ukr.net

Дмитрякова І.О.

студент, співробітник Південноукраїнської АЕС

irina.dya4enko20@gmail.com

Варваринець А.Л.

студент, співробітник Первомайської філії Миколаївобленерго

allavarvarinets@gmail.com

Анотація. Розглядаються особливості вимог та потреб випускників закладів вищої освіти до роботодавців. Висвітлено недосконалість сучасного механізму регулювання взаємодії роботодавців та випускників ринку праці. Запропоновано розглядати якість освіти як ключовий критерій удосконалення процесу підготовки висококваліфікованих фахівців.

Ключові слова. Випускник, «зумери», хмарні сховища, EMPEQ

Сучасне покоління, яке народилося між другою половиною дев'яностих та другою половиною двохтисячних років, називається поколінням «зумерів»[1]. Цей термін застосовується для людей, які виростили в епоху глобалізації, інтернету та нових технологій. Це покоління характеризується етичним споживанням, підприємницькими амбіціями, прогресивними поглядами на різні теми — від освіти до питань статі. Вони також звикли до багатозадачності, швидкої адаптації та постійного навчання.

Покоління «зумерів» очікує доступності за вимогою. «Зумери» зростали в епоху смартфонів, вони звикли отримувати інформацію швидко та легко, а значить, роботодавці

повинні забезпечити їх необхідним інструментам та доступом, щоб вони могли ефективно виконувати свою роботу. Більшість членів покоління «зумерів» просто не матиме терпіння на аналогові рішення, такі як ручка, папір, ручне введення даних і часто безрезультатні пошуки в Google. Це означає необхідність надання своєчасного доступу до критично важливих даних. Організації повинні бути готові надати співробітникам смартфони та хмарні технології, рішення, які забезпечують миттєве отримання інформації, необхідної для виконання своїх завдань. Це може включати також використання штучного інтелекту для автоматичного отримання специфікації обладнання, визначення частин устаткування та оцінки залишкового терміну використання обладнання. Додаткова перевага для співробітників, незалежно від віку, які мають програмне забезпечення дозволять їм виконувати завдання швидше, а також зменшити помилки внаслідок ручного введення даних. За це відповідають хмарні сховища. Хмара забезпечує співробітникам простий спосіб зберігання та обміну даних, не турбуючись про збої апаратного забезпечення чи ризики безпеки, пов'язані зі збереженням даних на локальних жорстких дисках. Це полегшує роботу для віддаленої співпраці команд і гарантує внесення будь-яких змін, що миттєво оновлюються на всіх пристроях, підключених через хмарне сховище. Ці рішення також покращують масштабованість, щоб організації могли збільшити свій об'єм інформації за потреби, без необхідності інвестувати в додаткові фізичні інфраструктури або оновлення обладнання. Крім того, хмарні рішення для зберігання забезпечують підвищену гнучкість, оскільки користувачі можуть отримувати доступ до даних звідки завгодно в будь-який час за допомогою лише підключення до Інтернету, що допомагає підтримувати зв'язок між усіма, незалежно від їхнього географічного розташування або який пристрій вони використовують (наприклад, ноутбук, планшет, смартфон). Зрештою, працівники покоління «зумерів» просто не приймуть підхід до зберігання даних про будівлі та обладнання в окремих електронних таблицях або фотогалереї на телефоні чи комп'ютері кожного аудитора.[2]

Оскільки все більше співробітників молодшого покоління приходять до підприємств, роботодавці повинні знати про свої технологічні очікування, щоб залишитися конкурентоспроможними на сучасному ринку праці – особливо з огляду на робочу силу, дефіцит якої є як у машинобудівній, так і в сумісних промисловостях. Доступність та хмарні сховища мають бути частиною сучасного на робочого місця для інженерів та інших спеціалістів. Швидке оволодіння сайту EMPEQ є чудовим прикладом рішення, який вважається технологічним столом ставок для молодших співробітників. За допомогою Fast Site Survey одне натискання камери смартфона усуває всі аналогові кроки, які раніше були необхідні для отримання та централізації даних, які важливі для створення аудиту[2]. Інвестиції в такі та інші технологічні рішення, швидко окупаються на підприємствах, які прагнуть успіху в сучасному світі.

Висновки

1. Наведена інформація вказує, що нове покоління потребує особливих умов праці.
2. Одним із актуальних завдань є організація в нашій країні *якості освіти на сучасному рівні по задоволенню потреб випускників та стейкхолдерів.*

Література

1. Зумери та міленіали у глобальному дослідженні deloitte 2022. Що варто знати бізнесу?/<https://hub.kyivstar.ua/news/zumery-ta-milenialy-u-globalnomu-doslidzhenni-deloitte-2022-shho-varto-znati-biznesu/>
2. What Employers Need to Know about the Gen Z's Technology Expectations; Herbert Dwyer/ International Journal of Energy Management Steven Parker, PE, CEM, Editor-in-Chief Vol. 5, No. 4—2023: 11-13

STAKEHOLDERS, DEMAND AND EXPECTATIONS

Semenov Mykola Mykolaevich, Shapovalov Yuriy Olexandrovich, Dmitryakova Iryna Oleksiivna, Varvarinets Alla Leonidovna

Admiral Makarov National University of Shipbuilding.

Abstract. Peculiarities of requirements and needs of graduates of higher education institutions to employers are considered. The imperfection of the modern regulation mechanism of interaction between employers and graduates of the labor market is highlighted. It is proposed to consider the quality of education as a key criterion for improving the process of training highly qualified specialists.

Keywords. Graduate, "zoomers", cloud storage, EMPEQ

УДК 629.5.02

**ВИГОТОВЛЕННЯ ТОНКОСТІННИХ ПРОФІЛІВ
З МАЛОПЛАСТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Новошицький А. В.

кандидат технічних наук,

*доцент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна*

novtsm@gmail.com

Євдокимов К.С., Очеретько Д.А., Швидкий Р.О.

*студенти кафедри інженерної механіки та технології машинобудування,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна*

Анотація. Представлена технологія виготовлення тонкостінних гнутих профілів з малопластичних матеріалів гнуттям с поздовжнім розтягом при локальному нагріві струмами високої частоти ділянок заготовки перед профілювальними роликками.

Ключові слова: тонкостінні профілі, технологія виготовлення тонкостінних профілів, гнуття з поздовжнім розтягом.

Вступ. Виробництво гнутих профілів дрібними серіями широкої номенклатури безпосередньо на підприємстві можливе на основі технології профілювання гнуттям з поздовжнім розтягом [1, 2], яка розроблена в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова. Технологія передбачає послідовну локальну формозміну заготовки профілювальними роликками при дії на неї поздовжнього навантаження розтягу.

Метою даної роботи є розширення можливостей технології виготовлення тонкостінних гнутих профілів гнуттям з поздовжнім розтягом для одержання профілів з малопластичних матеріалів.

Основна частина. Для здійснення можливості виготовлення гнутих профілів із малопластичних матеріалів запропоновано розігрів ділянок заготовки перед профілювальними роликками струмами високої частоти [3].

Технологічний процес виготовлення профілю [3] зі штабової або листової заготовки передбачає проведення наступних операцій: розміщення заготовки між захватами; деформування і затискання кінцевих ділянок; розтяг заготовки; подача каретки, оснащеної профілюючими роликками та індуктором струмів високої частоти, до рухомого захвату; змикання профілюючих роликів і заготовки та включення індуктора; переміщення каретки

до нерухомого захвату; відключення індуктора; розвантаження; розмикання профілюючих роликів і захватів; виймання готового профілю, рис. 1.

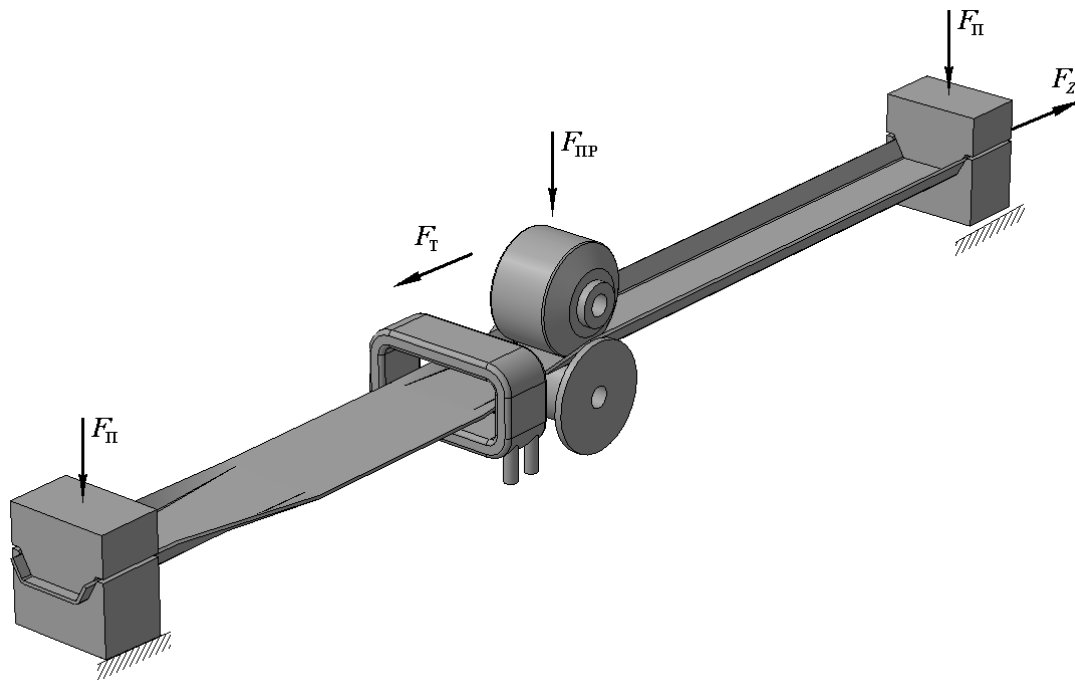


Рис. 1. Технологічний процес виготовлення профілю з нагрівом заготовки струмами високої частоти

Початок контакту роликів із заготовкою відбувається біля рухомого захвату в районі кінцевих згинальних деформацій, що виникають у результаті деформування кінцевої ділянки заготовки в захватах силою $F_{\text{П}}$ і наступного додавання сили розтягу F_Z . При прикладенні зусиль притиску $F_{\text{ПР}}$ до профілюючих роликів здійснюється деформування ділянки заготовки відповідно до форми робочих поверхонь роликів. У результаті переміщення роликів під дією зусилля F_T здійснюється послідовне формування профілю.

Створення навантаження розтягу забезпечує оптимальні умови формування профілю, при його дії полки профілю здобувають прямолінійну форму. Поздовжні пластичні деформації від поперечного вигину заготовки компенсуються в результаті її деякого пластичного розтягу. Це попереджає виникнення поздовжньої зігнутості, а також поздовжньої скрученості навіть при формуванні профілів з несиметричним поперечним перерізом.

Внаслідок нагріву ділянки заготовки і збільшення її пластичності необхідні сила поздовжнього розтягу і згинальних момент зменшуються, також зменшується пружинення. Температуру нагрівання обирають в залежності від механічних властивостей матеріалу штабової заготовки.

При виготовленні гнутих профілів з малопластичних матеріалів, запропонована технологія може бути об'єднана з технологічними схемами наведеними в [4, с. 115 – 122], що дасть можливість одержувати профілі: підвищеної жорсткості, з плоскими кінцевими ділянками, з періодично повторюваними гофрами, з поздовжніми криволінійними гофрами, зі складною кривизною, рифлені та перфоровані профілі.

Висновок. Запропонована технологія виготовлення високоточних гнутих профілів з малопластичних матеріалів. Згідно розробленої технології можливо розширення технологічних можливостей установки для виготовлення профілів.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Новошицкий А. В. Технология изготовления тонкостенных профильных элементов судовых конструкций гибкой с продольным растяжением [Текст] : монография / А. В. Новошицкий. – Николаев : издательство Швец В. М., 2017. – 152 с.
- [2] Декл. пат. 44451А Україна, МПК7 В 21 D 5/00, В 21 D 53/00. Спосіб виготовлення гнутих профілів [Текст] / С. М. Соловійов, А. В. Новошицький ; Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова. – № 2001031674 ; заявл. 12.03.01 ; опубл. 15.02.02, Бюл. № 2.
- [3] Патент на корисну модель. 145415 Україна, МПК (2020.01) В 21 D 5/00, В 21 D 11/20 (2006.01), В 21 D 53/00. Спосіб виготовлення гнутих профілів [Текст] / О. С. Рашковський, А. В. Новошицький ; Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова. – № u202003981 ; заявл. 02.07.20 ; опубл. 10.12.20, Бюл. № 23.
- [4] Новошицкий А. В. Технология изготовления модульных конструкций малотоннажных судов [Текст] : монография / А. В. Новошицкий. – Николаев : издательство Швец В.М., 2021. – 164 с.

MANUFACTURING OF THIN-WALLED PROFILES FROM LOW-PLASTIC MATERIALS

Novoshytskyi Anton Volodymyrovych, Associate professor of the Department of engineering mechanics and technology of mechanical engineering. Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine.

anton.novoshytskyi@nuos.edu.ua

Evdokimov K.S., Ocheredko D.A., Shvidky R.O., Students of the Department of engineering mechanics and technology of mechanical engineering Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine.

Abstract. The technology of manufacturing thin-walled bent profiles from low-plastic materials by bending with longitudinal stretching with local heating by high-frequency currents of the parts of the workpiece in front of the profiling rollers is presented.

Keywords: thin-walled profiles, production of thin-walled profiles, bending with longitudinal tension.

УДК 629.5.02

УСТАНОВКА ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТОНКОСТІННИХ ПРОФІЛІВ З МАЛОПЛАСТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Новошицький А. В.

кандидат технічних наук,

*доцент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна*

Павлов О.О., Репіна О.С.

*студенти кафедри інженерної механіки та технології машинобудування,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна*

Анотація. Представлена модифікована установка для виготовлення тонкостінних гнутих профілів з малопластичних матеріалів гнуттям с поздовжнім розтягом при локальному нагріві струмами високої частоти ділянок заготовки перед профілювальними роликками.

Ключові слова: установка для виготовлення тонкостінних профілів, тонкостінні профілі, технологія виготовлення тонкостінних профілів, гнуття з поздовжнім розтягом.

Вступ. Виробництво гнутих тонкостінних профілів із малопластичних матеріалів, на існуючому заводському технологічному обладнанні не завжди раціонально. Зі зменшенням товщини заготовок традиційні технології формоутворення не забезпечують у ряді випадків необхідної якості гнутих профілів. У таких умовах раціональним є використання технології виготовлення профілів гнуттям з поздовжнім розтягом та відповідного профілюючого обладнання [1 – 3].

Метою даної роботи є розширення технологічних можливостей профілюючої установки для виготовлення тонкостінних гнутих профілів гнуттям з поздовжнім розтягом щодо одержання профілів з малопластичних матеріалів.

Основна частина. Для здійснення можливості виготовлення гнутих профілів із малопластичних матеріалів профілююча установка оснащується індуктором струмів високої частоти, який дозволяє здійснювати локальний розігрів ділянки заготовки безпосередньо перед профілювальними роликками для підвищення її пластичності [4].

Конструктивна схема профілюючої установки представлена на рисунку 1.

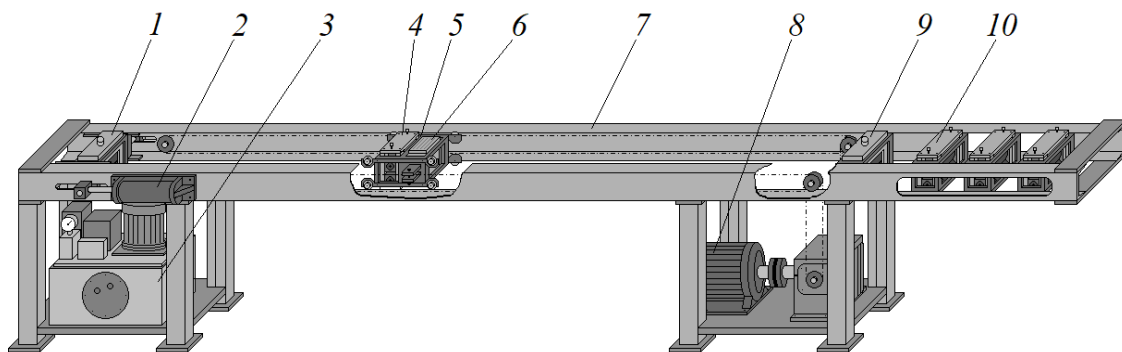


Рис. 1. Конструктивна схема профілюючої установки:

- 1 – затискна головка тягнуця; 2 – гідроциліндри; 3 – гідростанція;
- 4 – обойма з роликками; 5 – каретка; 6 – індуктор; 7 – станина;
- 8 – механізм переміщення каретки; 9 – затискна головка нерухома;
- 10 – обойми роликків попереднього деформування

У робочій зоні між поздовжніми балками станини 7 розташовуються затискна головка тягнуця 1 і затискна головка нерухома 9. Деформування та фіксація кінцевих ділянок заготовки здійснюється при створенні відповідного зусилля затиску. Нерухома затискна головка кріпиться до поздовжніх балок. Тягнуця затискна головка переміщається по напрямним, прикріпленим до поздовжніх балок. Сила розтягу заготовки створюється при переміщенні тягнучої затискної головки, за допомогою гідроциліндрів 2. Каретка 5 з обоймою з профілюючими роликками 4 та індуктором струмів високої частоти 6 здійснює човникове переміщення вздовж балок. Привод механізму пересування каретки 8 складається з електродвигуна, черв'ячного редуктора та двоступінчастої ланцюгової передачі. Для попереднього поздовжнього гофрування заготовки перед нерухомою згинальною головою в консольній частині установки розміщуються обойми з роликками попереднього деформування 10.

Установка забезпечує можливість швидкого переналагодження для випуску профілів іншої номенклатури шляхом заміни обойм з профілюючими роликками та штампів затискачів.

Основні технічні характеристики установки: сила розтягу заготовки, сила для деформування та затискання кінцевих ділянок заготовки, сили для переміщення профілюючих роликків, визначаються згідно з розрахунками параметрів технологічного процесу виготовлення профілів гнуттям з поздовжнім розтягом [1].

Висновок. Модифікована профілююча установка забезпечує можливість виготовлення тонкостінних гнутих профілів підвищеної точності та жорсткості з малопластичних матеріалів.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Новошицкий А. В. Технология изготовления тонкостенных профильных элементов судовых конструкций гибкой с продольным растяжением [Текст] : монография / А. В. Новошицкий. – Николаев : издательство Швец В. М., 2017. – 152 с.
- [2] Декл. пат. 44451А Україна, МПК7 В 21 D 5/00, В 21 D 53/00. Спосіб виготовлення гнутих профілів [Текст] / С. М. Соловйов, А. В. Новошицький ; Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова. – № 2001031674 ; заявл. 12.03.01 ; опубл. 15.02.02, Бюл. № 2.
- [3] Декл. пат. 43149А Україна, МПК7 В 21 D 5/00, В 21 D 11/20. Розтяжна машина [Текст] / С. М. Соловйов, А. В. Новошицький ; Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова. – № 2001031675 ; заявл. 12.03.01 ; опубл. 15.11.01, Бюл. № 10.
- [4] Патент на корисну модель. 145415 Україна, МПК (2020.01) В 21 D 5/00, В 21 D 11/20 (2006.01), В 21 D 53/00. Спосіб виготовлення гнутих профілів [Текст] / О. С. Рашковський, А. В. Новошицький ; Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова. – № u202003981 ; заявл. 02.07.20 ; опубл. 10.12.20, Бюл. № 23.

EQUIPMENT FOR THE PRODUCTION OF THIN-WALLED PROFILES FROM LOW-PLASTIC MATERIALS

Novoshytskyi Anton Volodymyrovych, Associate professor of the Department of engineering mechanics and technology of mechanical engineering. Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine.

anton.novoshytskyi@nuos.edu.ua

Pavlov O.O., Repina O.S., Students of the Department of engineering mechanics and technology of mechanical engineering Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine.

Abstract. A modified equipment for the production of thin-walled bent profiles from low-plastic materials by bending with longitudinal stretching with local heating by high-frequency currents of the parts of the workpiece in front of the profiling rollers is presented.

Keywords: equipment for the production of thin-walled bent profiles, thin-walled profiles manufacturing technology, bending with longitudinal tension.

UDK 621.517: 62-717

THE INFLUENCE OF THERMOPRESSOR DESIGN CHARACTERISTICS ON THE PERFORMANCE OF A GAS TURBINE MULTISTAGE COMPRESSOR

Halina Kobalava, PhD, Associate Professor of the Heat Engineering Department
g.lavamay@gmail.com

Yurii Safin, Yurii Petrokhaus, students
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Kherson Educational-Scientific Institute, Ukraine

Abstract: A study of the thermopressor operation for air intercooling between the stages of a multistage compressor as part of a modern gas turbine (specifically the LMS100 model from General Electric) was conducted in the article. The primary characteristics of the two-phase flow at the thermopressor outlet were determined. The application of the thermopressor allowed for the reduction of the compressed air temperature between the compressor stages to 50–70 °C. This

temperature decrease, under thermo-gas-dynamic compression conditions, resulted in an increase in pressure at the thermopressor outlet to 12–28 kPa (4–9%).

Keywords: Pressure Increase, Two-Phase Flow, Gas Turbine.

In 2005, General Electric brought the first modern LMS100 gas turbine with a nominal capacity of nearly 100 MW into commercial operation, making use of air intercooling technology. This gas turbine stands out as the most efficient in an open circuit design to date. A distinctive feature of the LMS100 is its implementation of intercooling within the air compression section of the compressor. It's worth noting that the LMS100 is the only mass-produced unit of this kind worldwide. The integration of intercooling in the LMS100 has led to a significant increase in air pressure, with a degree of $\pi_c = 40$, while maintaining an impressive efficiency of $\eta_e = 45.5\%$.

An alternative way to inject water into the air flow between the compressors is to use a thermopressor (Fig. 1). This device belongs to the category of jet devices and comprises the following key components:

1. A confuser (intended to accelerate the airflow to a speed approaching the speed of sound);
2. A nozzle (designed to inject water into the flow);
3. An evaporation chamber (where the process of thermo-gas-dynamic compression takes place);
4. A diffuser (designed to homogenize the flow, reduce its velocity, and increase the flow's pressure).

The advantages of using a thermopressor include:

1. Increased pressure and cooling of the working fluid, resulting in reduced compression work in the compressor;
2. Effective atomization and humidification of liquid (water) between compressor stages;
3. Decreased additional work of the compressor during the evaporation of water droplets in the flow path during compression;
4. An increased quantity of the working fluid in the cycle [2].

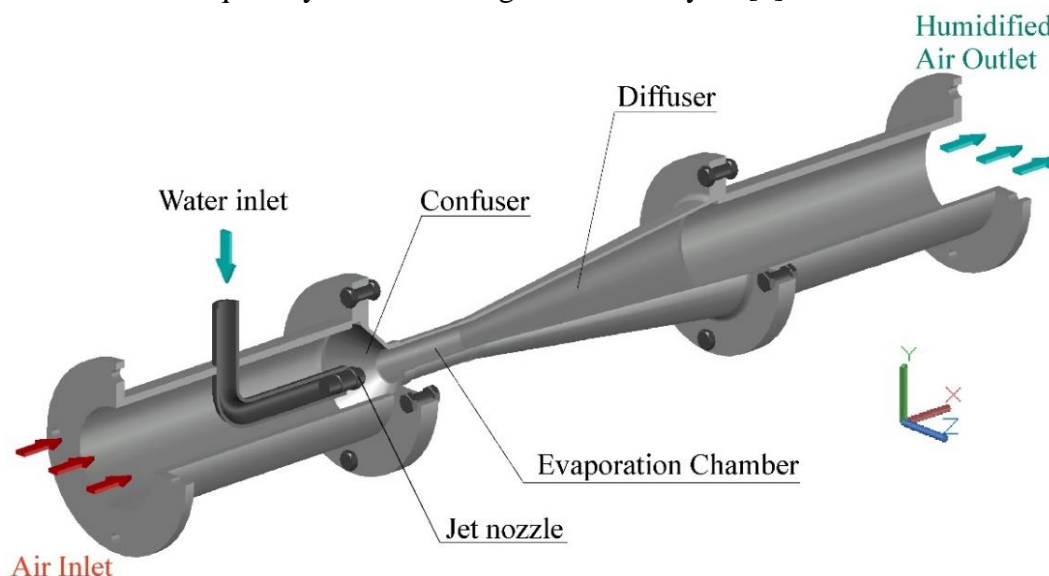


Fig. 1. 3D model of the thermopressor

Numerical modeling was performed using the finite volume method, implemented through the ANSYS Fluent software package. The simulation employed an Eulerian-Lagrangian approach to model the interaction between injected water droplets and the airflow. The behavior of the airflow was investigated using a two-parameter $k-\epsilon$ Realizable turbulence model from the RANS group of models [2]. Additionally, a Discrete Phase Model was employed to simulate the movement of water droplets [3].

The analysis of the gas turbine cycle employed established calculation methods [4]. Gas turbine cycle calculations were conducted for various degrees of pressure increase ($\pi_c = 12\text{--}40$). In these calculations, instead of using an air cooler (whether surface or nozzle injection), the installation of a thermopressor in the circuits was proposed.

The implementation of the thermopressor resulted in a significant reduction in air temperature between the compressor stages, specifically by $t_{2\text{atp}} = 50\text{--}70$ °C (Fig. 2), which translates to a range of 50–110 °C. This temperature reduction under thermo-gas-dynamic compression conditions led to an increase in pressure by $\Delta P_{\text{atp}} = 12\text{--}28$ kPa, equivalent to 4–9% (Fig. 2). The use of contact air cooling through the thermopressor also led to a reduction in compressor compression work by 2.5–3.0%.

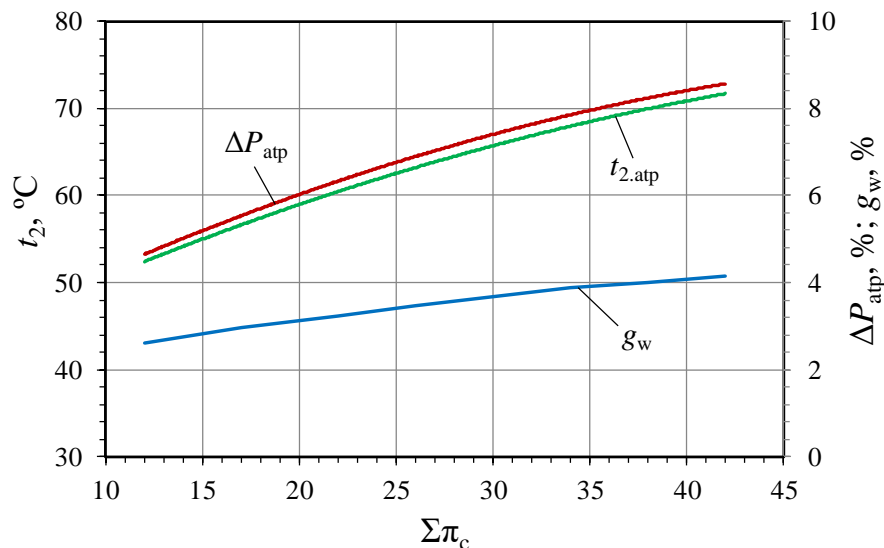


Fig. 2. Dependences of the outlet air temperature ($t_{2,\text{atp}}$), the relative water flow rate (g_w) and the relative pressure increase at the thermopressor outlet (ΔP_{atp}) on the total compressor pressure increase $\Sigma\pi_c$

The quantity of water injected into the thermopressor can surpass the amount needed for evaporation in the evaporation chamber, by up to 10% relative to the volume of air. This approach enables evaporation during compression within a high-pressure compressor, moving the compression process closer to isothermal conditions with minimized compression work. Consequently, the use of the thermopressor can serve as an alternative to traditional contact cooling methods, typically involving nozzle injection, for cooling compressed air.

Conclusion. The paper examines the efficiency of employing a thermopressor for contact cooling of compressed air within the LMS100 gas turbine system. The thermopressor demonstrates effective fine atomization of water, thereby improving the compression process within the high-pressure compressor.

The results show that the use of the thermopressor leads to:

An increase in air pressure between the compressor stages by 4–9%, resulting in reduced compression work in the compressor stages;

An increase in the quantity of the working fluid in the cycle by $g_w = 2\text{--}4\%$, subsequently boosting the specific power of the gas turbine by 3–10%.

References

- [1] Reale M. J., New High Efficiency Simple Cycle Gas Turbine – GE’s LMS100. Reale M. J., GE Energy, 2004, 15 p.
- [2] Yang, Z., Konovalov, D., Radchenko, M., Radchenko, R., Kobalava, H., Radchenko, A., Kornienko, V.: Analysis of efficiency of thermopressor application for internal combustion engine. Energies 15(6), 2250 (2022). DOI: 10.3390/en15062250

[3] Jafarmadar S. Numerical Simulation of Flash Boiling Effect in a 3-Dimensional Chamber Using Computational Fluid Dynamic Techniques. Jafarmadar S., Jahangirami A. *International Journal of Engineering*, 2016, Vol. 29(5), pp. 87-95.

[4] Yu, Z., Løvås, T., Konovalov, D., Trushliakov, E., Radchenko, M., Kobalava, H., Radchenko, R., Radchenko, A.: Investigation of thermopressor with incomplete evaporation for gas turbine intercooling systems. *Energies* 16(1), 20 (2023). DOI: 10.3390/en16010020

ЗМІСТ

ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

<i>Бондаренко М.С.</i> Світлій пам'яті Віктора Михайловича Горбова присвячується	3
<i>Volodymyr Lopatnov</i> Climate-Friendly Technologies In The Canadian Shipping Industry: Current Implementation And Charting A Path To 2030	5
<i>R. Varbanets, D. Minchev, I. Savelieva, A. Rodionov, T. Mazur, S. Psariuk, V. Bondarenko, N. Aleksandrovska</i> Improved Methods for Diagnosing Issues in Marine Diesel Engines to Meet IMO Decarbonization Standards	7
<i>Чередніченко О.К., Личко Б.М.</i> , Сучасний стан та шляхи підвищення енергоефективності суднових енергетичних установок	10
<i>Кузнецов В.В.</i> , Підвищення ефективності і компактності енергетичних установок інтенсифікацією теплопередачі в їх елементах	16
<i>Чернявський В.В., Акімов О.В., Носов П.С.</i> , Етапи імплементації фахової морської платформи OTG OLP та природничо-наукової LABSTER в освітній процес Херсонської Державної Морської Академії	18
<i>Коробко В.В., Безушко С.О., Стельмах О.І.</i> , Концептуальний проект гібридної ЕУ контейнеровозу PERFECT III	22

СЕКЦІЯ №1. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ

<i>Дощенко Г.Г., Наговський Д.А.</i> , Підвищення надійності суднових енергетичних систем	25
<i>Шемчук В.О.</i> , Використання роторних вітрел в пропульсивному комплексі рудовоза «SAO DIANA»	28
<i>Шалапко Д.О.</i> , Інтеграція водневих систем до суднових енергетичних комплексів	31
<i>Бутко В.П., Білоусов Є.В.</i> Аналіз відмов головних двигунів типу MAN-B&W 9L21/31 в процесі їх експлуатації на судах проекту 17620	35
<i>Шостак В.П., Самохвалов В.С., Личко Б.М.</i> Енергетика, паливо й екологія транспортних суден	38
<i>Сербін С.І., Діасамідзе Б.Т., Шмарков О.А.</i> Можливості застосування водневого палива при роботі камери згоряння гібридної газопарової установки	41
<i>Діасамідзе Б. Т., Шмарков О.А.</i> Можливості використання газотурбінних двигунів у морському транспорті	44
<i>Худяков І.В., Грицук І.В., Погорлецький Д.С., Поліщук О.В., Літвінов М.Є.</i> Протидія низькотемпературній корозії гільзи циліндрів суднових двигунів	49
<i>Казарєзов А.Я.</i> , Оцінка потужності головного двигуна моторної яхти	52
<i>Чередніченко О.К., Коробейнікова Н.В., Басов О.Ю.</i> , Критерії вибору складу енергокомплексу плавучої електростанції	55
<i>Маховський А.А.</i> , Модернізація енергетичної установки судна CON-RO «EL COQUI»	57
<i>Костюк А.І.</i> , Розробка гібридної пропульсивної установки LNG танкера «BRITISH PARTNER»	62
<i>Семенов М.М., Шановалов Ю.О., Качмар А.С., Попенко М.І.</i> Дослідження можливості використання теплонасосних установок в стічних системах морських суден	66
<i>Орлов М.В.</i> , Розробка системи повітряного змащення корпусу судна газовозу «BW TULIP»	69
<i>Єпіфанов О. А. Пацурковський П.А.</i> Підвищення екологічної ефективності суднових котельних установок	72
<i>Мессер Д.О.</i> , Вдосконалення пропульсивного комплексу хімовозу «FURE VINGA»	74

Шумило О.М. , Оцінка впливу геометричних параметрів корпусу електрохода на інерційні характеристики.....	78
Смирнов Р. Ю. , Зменшення емісії двоокису вуглецю ЕУ контейнеровоза «SABRE TRADER»	82
Пирисунько М.А., Алтухов Є.П., Герус Є.С. , Аналіз підвищення ефективності очищення відпрацьованих газів суднових ДВЗ шляхом застосування каталітичних нейтралізаторів	85
Авдюнін Р.Ю., Руденчик В.А., Пошивай М. І. , Захист суднового обладнання від корозії	88
Дюков В.О. , Шляхи вдосконалення суднової енергетичної установки танкера «FUJISAN MARU» для зниження викидів NO _x та CO ₂	90
Митрофанов О. С., Проскурін А. Ю., Малярєнко В. В., Кирток Б.В. , Аналіз використання альтернативних видів палива в двигунах із запаленням від стиснення.....	93
Митрофанов О. С., Проскурін А. Ю. , Підвищення ефективності двигуна 1С 6,8/5,4 за рахунок використання термохімічної утилізації тепла відпрацьованих газів.....	96
Погорлецький Д.С. , Оптимізація витрати високолузжого циліндрового масла суднового малооборотного двигуна.....	101
Бєков Б.А., Шевцов А.П. , Підвищення ефективності газотурбінних установок охолодженням стискаємого повітря через поверхні напрямних лопаток компресора	103
Зубарев А.А., Минсєв А. А. , Аналіз підвищення ефективності роботи суднових дизель-генераторів утилізацією теплоти	106
Хоменко В.С., Руденчик В.А., Пошивай М. І. , Ризик кібербезпеки на морі	108
Демченко О. С. Нові альтернативні види палива для СЕУ	110
Козлов А. Є. Паливopідготовка на судні	113
Кубінський В.В. Хімічна обробка палива на судні	116
Снісар О. О. Гомогенізація в процесі паливopідготовки	118

СЕКЦІЯ №2. УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ У ЕЛЕМЕНТАХ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Ткач М. Р., Золотий Ю.Г., Фістік О.В., Костріков О.А. , Експериментальне та розрахункове моделювання крутильних коливань трансмісії легкої ГТУ	120
Ткач М. Р., Галинкін Ю. М., Монахов А. А., Золотий Ю. Г., Костріков О.А. , Використання методу реверс-інженірингу для визначення власних частот і форм коливань	124
Лавренченко Г.К., Слинько О.Г., Бойчук А.С., Козловський С.В., Галкін В.М. , Термодинамічний цикл паротурбінної установки з ізохорним процесом перегріву пари	127
Грич А.В., Остапенко О.В. Особливості тригенераційної установки з абсорбційно-адсорбційною холодильною машиною	131
Грич А.В., Остапенко О.В. Система кондиціонування з абсорбційно-парокомпресорною холодильною машиною для машинного відділення теплоелектростанції.....	133
Ніколаєв О.Л., Поліщук В.А., Голенко Л.В., Іщенко Д.О., Пінчук Т.М., Іванющенко М.С. , Вдосконалення гідравлічних систем зубошліфувальних верстатів на базі застосування функціональних термочутливих елементів	136
Кузнецов В.В., Кузнецова С.А. , Суднові теплообмінні апарати типу «газ»-«рідина» з контрольованим відривом потоку	139
Козловський А. В. , Дослідження енергетичних характеристик плазмового стабілізатору полум'я для камери згоряння ГТД.....	141
Козловський А. В. , Верифікація математичної моделі нестационарних хімічно реагуючих потоків в низькоемісійних камерах згоряння ГТД	143

<i>Литов О.В.</i> , Енергозберігаючі теплообмінні апарати суднових систем мікроклімату і рефрижерації.....	144
<i>Литов О.В.</i> , Визначення параметрів при перехідних режимах (пуске, зупинці) суднових герметичних компресорних агрегатів.....	147
<i>Калініченко І.В.; Юрковський Ю.В.</i> , Покращення експлуатаційних показників енергетичної установки танкера керуванням режимами роботи паливної апаратури	149
<i>Serhii Morhun, Mykola Semenov, Ruslan Honcharuk, Evgen Lutsenko, Andrii Ogorodnik</i> , Gas Turbine Engine Rotors Stress-Strain State Determination Under The Vibration Load	152
<i>Natalia Smetankina, Serhii Morhun</i> Gas Turbine Engine Rotors Fatigue Strength Parameters Determination.....	153
<i>Свиридов В.І.</i> , Оцінка технічного стану судових машин і механізмів	155
<i>Надольский В.В.</i> , Зміцнення робочих поверхонь деталей за допомогою хіміко-термічної обробки.....	157
<i>Ключков О.О.</i> , Сучасна термообробка алюмінієвих сплавів	158
<i>Калачова О.В.</i> , Сучасні методи зміцнення зубчастих коліс	159
<i>Зубарев А.А., Серьогін С. М.</i> , Підвищення ефективності систем інертних газів на нафтовивізних танкерах.....	160

СЕКЦІЯ №3. ЕНЕРГООЩАДНІ ТА ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В СУДНОВІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ

<i>Боду С.Ж., Поліщук М.Я.</i> , Інноваційні методи азотування, переваги та перспективи	162
<i>Ващиленко М.В., Патлайчук О.В.</i> , Розробка та аналіз теплової схеми гібридної SOFC-GT енергетичної установки для електростанції потужністю 2000 КВт.....	164
<i>Ващиленко М.В., Патлайчук О.В.</i> , Дослідження впливу підвищення тиску в компресорі на ефективність енергетичної установки типу SOFC-GT.....	168
<i>Borys Tymoshevskyy, Mykhaylo Tkach</i> Efficiency Of Low-Grade Heat Recovery Of Marine Ice With Metal-Hydride Technology	172
<i>Ратушняк І.О., Ратушняк Л.П., Бойченко І.В.</i> , Нові (ринкові) підходи ІМО до зменшення викидів парникових газів та вуглецеємності морського транспорту	173
<i>Ратушняк І.О., Ратушняк Л.П.</i> , Перегляд початкової стратегії ІМО щодо скорочення викидів парникових газів із суден у 2023 році	176
<i>Остапенко О.В.</i> , Автономна теплоелектростанція з інтегрованою ежекторно-абсорбційною холодильною машиною	179
<i>Колбасенко О.В. Димо Б.В., Анастасенко С.М., Стельмах О.І.</i> , Підвищення ефективності спалювання водопаливних емульсій в ДВЗ	181
<i>Artem Hrych</i> Opportunity Analysis To Improving The Efficiency Of Hvac System Of The Integrated Power Plant	185
<i>Грич А.В., Остапенко О.В.</i> , Ефективність кондиціонування повітря з ступеневим охолодженням повітря для автономної теплоелектростанції підприємства.....	188
<i>Victoria Kornienko</i> Enhancing the Fuel Efficiency of Cogeneration Plants by Fuel Oil Afterburning in Exhaust Gas before Boilers	191
<i>Victoria Kornienko</i> , Protection of Condensing Heat Exchange Surfaces of Boilers from Sulfuric Acid Corrosion	196
<i>Чередніченко О.К., Басов О.Ю., Коробейнікова Н.В., Гомон С.В., Сургаєв А.В.</i> , Аналіз проблем контролю енергоефективності суден, які працюють в умовах порту	200
<i>Прудніков І.А., Андрєєв А.А.</i> , Вплив добавок ультрадисперсних порошків м'яких металів у моторне масло дизелів на їх ефективність	203

<i>Гурин К.Ю., Андреев А.А.</i> , Доцільність обробки палива суднових дизелів магніто-гідродинамічними активаторами	205
<i>Андреев А.А., Андреева Н.Б.</i> , Використання надлишкової енергії продуктів згорання для охолодження наддувного повітря ДВЗ	207
<i>Patlaichuk V.M.</i> , Oxy-fuel Combustion Power PLANTs as an Alternative to Conventional Power Generation	210
<i>Патлайчук В.М., Кутняк І.В.</i> , Аналіз параметрів енергетичної установки, виконаної за циклом Аллама	212
<i>Гогоренко О. А., Мошенцев Ю. Л., Немченко А. В.</i> Розробка сучасних охолоджувачів наддувного повітря.....	215

СЕКЦІЯ №4. ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ З СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ У ВНЗ

<i>Ворчакова І. Є., Личко Б. М.</i> Важливість вивчення англійської мови за професійним спрямуванням під час підготовки фахівців з морського судноплавства у ВНЗ	218
<i>Кісетов Ю. В.</i> Підготовка суднових механіків в умовах декарбонізації флоту	221
<i>Семенов М.М., Шаповалов Ю.О., Дмитрякова І.О., Варваринець А.Л.</i> Стейкхолдери, запит та очікування	225
<i>Новошицький А. В., Євдокимов К.С., Очерedyкo Д.А., Швидкий Р.О.</i> Виготовлення тонкостінних профілів з малопластичних матеріалів	227
<i>Новошицький А. В., Павлов О.О., Репіна О.С.</i> Установа для виготовлення тонкостінних профілів з малопластичних матеріалів	229
<i>Halina Kobalava, Yurii Safin, Yurii Petrokhaus</i> The Influence Of Thermopressor Design Characteristics On The Performance Of A Gas Turbine Multistage Compressor	231

Наукове видання

СУДНОВА ЕНЕРГЕТИКА: СТАН ТА ПРОБЛЕМИ

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

07-08 листопада 2023 року

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, проспект Героїв України, 9*

*Машинобудівний навчально-науковий інститут
вул. Кузнецька, 5*

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

(українською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск Б. М. Личко
Комп'ютерна верстка В. В. Торубара

Формат 60×84/8 Ум. друк. арк. 16,2. Наклад 100. Зам. № 48/23-Ц

Видавець та виготовлювач Торубара В. В.

вул. Наваринська, 5–17, м. Миколаїв, 54001, тел.: (067) 800-70-70

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4626 від 9.10.2013