



НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПРОБЛЕМИ ДВИГУНОБУДУВАННЯ

VIII МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА
КОНФЕРЕНЦІЯ

05-06 грудня 2024 року



МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

м. Миколаїв ■ 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

**СУЧАСНИЙ СТАН
ТА ПРОБЛЕМИ ДВИГУНОБУДУВАННЯ**

VIII Міжнародна науково-технічна конференція

05-06 грудня 2024 року

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, пр. Героїв України, 9

ПАРТНЕРИ КОНФЕРЕНЦІЇ:

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Академія наук суднобудування України
ДП Науково-виробничий комплекс газотурбобудування «Зоря»-«Машпроект»
Колумбійський університет (Нью-Йорк, США)
Корейський науково-дослідний інститут машинобудування і матеріалів (Республіка Корея)
Технологічний університет (Онтаріо, Канада)

Матеріали публікуються за оригіналами, наданими авторами.

Претензії до організаторів не приймаються.

Відповідальний за випуск:

О. А. Гогоренко

С 89 Сучасний стан та проблеми двигунобудування : Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції : – Миколаїв : Іліон, 2024. – 178 с.

ISBN 978-617-534-747-8

У збірнику опубліковані матеріали міжнародної конференції, яка відбулася у Національному університеті кораблебудування (м. Миколаїв) 05-06 грудня 2024 року. Розглянуті науково-технічні досягнення вітчизняних та зарубіжних науковців у галузі розроблення, виготовлення, дослідження та технічної експлуатації двигунів внутрішнього згоряння, газотурбінних, паротурбінних, комбінованих двигунів, а також двигунів інших типів і енергетичних установок, що використовують зазначені двигуни. Зокрема увага приділяється обговоренню інноваційних науково-технічних розробок у сфері новітніх теплових двигунів, стаціонарних і транспортних енергетичних установок. Також серед завдань конференції – пошук шляхів використання альтернативних палив у двигунах і енергетичних установках та вирішення питань підвищення енергоефективності й екологічності стаціонарної та транспортної енергетики.

Матеріали збірника можуть бути корисними для науковців, інженерно-технічних працівників, викладачів, студентів і аспірантів.

УДК 621.43

ISBN 978-617-534-747-8

**© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2024**

ВСТУП

Цьогорічна конференція має особливе значення, адже вона присвячена визначній події – 100-річчю Машинобудівного навчально-наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова. Протягом століття наш інститут не лише виховував нові покоління інженерів, але й став осередком наукових досліджень, інновацій і значних відкриттів, зокрема в галузі двигунобудування. Наші науковці та випускники роблять вагомий внесок у розвиток сучасної інженерної науки і технологій, залишаючи помітний слід у глобальній технічній спільноті.

Особливим символом цьогорічної конференції є те, що організатори отримали рівно 100 тез доповідей. Це знакова цифра, яка відображає величний шлях інституту та його досягнення. У кожній тезі закладена частинка колективного прагнення до вирішення актуальних проблем двигунобудування, і кожна з них є цеглиною у фундаменті майбутнього цієї галузі.

Разом із тим, конференція 2024 року відбувається в непростий час воєнного стану в Україні – в умовах, які вимагають від усіх нас стійкості, мужності та віри в перемогу. Попри всі труднощі, ми продовжуємо працювати, досліджувати, створювати інновації, об'єднуючи зусилля задля розвитку науки і технологій, які сприятимуть відновленню нашої держави в післявоєнний період.

Щиро вдячні кожному з вас за участь, за ваші новаторські ідеї, за віру в те, що навіть у найскладніші часи наука є тим світлом, яке веде нас уперед. Наступна конференція відбудеться у 2026 році. Сподіваємося, що ця подія проходитиме у мирній, вільній і процвітаючій Україні. До нових зустрічей на шляху до розбудови науки та нашої спільної перемоги.

***З найкращими побажаннями,
організаційний комітет конференції***

ПЛАЗМОХІМІЧНІ СИСТЕМИ ДЛЯ СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Сербін С. І.

д-р техн. наук, професор кафедри турбін
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Плазмохімічні технології знаходять широке застосування в різних галузях науки і техніки. Вони базуються на використанні низькотемпературних (1000-5000 K) плазмових струменів, які є потужним ініціюючим фактором, що значно прискорює різні фізико-хімічні процеси.

На сьогоднішній день застосування плазмохімічних технологій досліджене відносно процесів ініціації займання та стабілізації згоряння палива в камерах згоряння різних теплових двигунів [1-3], включаючи авіаційні двигуни [4], комплексної газифікації, а також плазмової активації вугілля [5], термічної обробки органічних відходів [6] та переробки різної вуглеводневої сировини [7-9]. Аналіз можливостей плазмохімічного методу інтенсифікації свідчить про те, що його практичне застосування в СЕУ може бути суттєво розширене.

Запропонований плазмохімічний метод базується на високій хімічній активності продуктів плазмових перетворень. При значному рівні турбулентності плазмохімічний факел здійснює стабілізуючий та ініціюючий вплив на згоряння основного палива в камері згоряння різних теплових двигунів.

Дослідження ефективності плазмохімічних реакторів, а також плазмохімічних форсунок та реакторів водневмісного газу проведено в складі різних камер згоряння суднових газових турбін, двигунів внутрішнього згоряння та парових котлів. Ці дослідження підтвердили високу ефективність цього методу інтенсифікації згоряння.

Експериментальні дослідження характеристик камери згоряння суднових ГТД з плазмохімічним реактором проводилися на дизельному та моторному паливах у діапазоні зміни швидкостей повітря на вході в жарову трубу від 20 до 60 м/с, температур на вході від 313 до 550 K.

Плазмово-паливний факел сприятливо впливає на розподіл температур за перерізами жарових труб. Увімкнення плазмотрона реактора призводить до зменшення максимальних температур газу біля стінок жарової труби на 50-150 градусів та зниження окружної нерівномірності температурного поля у вихідних перерізах камери на 5...9 % залежно від коефіцієнта надлишку повітря в камері. При увімкненні плазмотрона покращилися умови теплової та хімічної стабілізації процесу, що пояснює відсутність бідного зриву факела палива у всьому діапазоні досліджених параметрів.

В результаті зміни характеру тепловиділення вздовж камери згоряння при увімкненні плазмотрона на 1,8...9,0 % збільшується коефіцієнт повноти згоряння, причому приріст є найбільшим в області з більшими коефіцієнтами надлишку повітря. Варто зазначити значне зменшення механічного недопалу та димлення на пускових режимах навіть за умов низьких температур повітря на вході в камеру та використання моторних палив.

Застосування плазмохімічних реакторів в складі топки суднового котла дозволяє здійснити займання основного палива до її виходу на режим стійкого горіння. При цьому надійний запуск у всьому діапазоні експлуатаційних режимів здійснювався при потужності плазмово-паливного факела не більше 1,3 % від номінальної теплової продуктивності котла.

Додавання плазмохімічних продуктів до палива знижує питомі витрати двигуна внутрішнього згоряння до 2 % і зменшує вміст сажі на вихлопі до 30 %. Також зменшується кількість канцерогенних поліциклічних ароматичних вуглеводнів. Введення плазмохімічних продуктів через впускний трубопровід призводить до підвищення ефективності дизельного двигуна на 2,5...4,0 %.

Література:

1. Weinberg F. J. (1983). Plasma Jets in Combustion. Int. Conference on Combustion in Engineering. Oxford. p. 65-72.
2. Gatsenko N. A., Serbin S. I. (1994) Arc plasmatrons for burning fuel in industrial installations. Glass and Ceramics. 51(11-12). pp. 383-386.
3. Matveev I. B., et al (2006). Flow structure investigations in a Tornado combustor. Collection of Technical Papers: 4th International Energy Conversion Engineering Conference. 2: pp. 1001-1013.
4. Shibin Ding, Qingzhi Wang, and Weizhuo Hua. (2023). Intelligent control chamber for plasma-enhanced combustion. Journal of Physics: Conference Series. 2483 012066.
5. Messerle V. E, Mosse A. L. and Ustimenko A. B. (2023). Plasma-chemical waste processing: numerical analysis and experiment. Part 2. Fuels and lubricants. Thermophysics and Aeromechanics. 30(2): pp. 387-392.
6. Matveev I. B., Serbin S. I. and Washchilenko N. V. (2017). New Combined-Cycle Gas Turbine System for Plasma-Assisted Disposal of Sewage Sludge. IEEE Transactions on Plasma Science. 45(12): pp. 3100-3104.
7. Serbin S. I., Matveev I. B., Mostipanen G. B. (2015), Plasma-Assisted Reforming of Natural Gas for GTL: Part II - Modeling of the Methane-Oxygen Reformer. IEEE Transactions on Plasma Science. 43(12): p. 3964-3968.
8. Matveev I. B., Serbin S. I. and Washchilenko N. V. (2015). Plasma-Assisted Reforming of Natural Gas for GTL: Part III - Gas Turbine Integrated GTL. IEEE Transactions on Plasma Science. 43(12): pp. 3969-3973.
9. Serbin S. I., Kozlovskiy A. V. and Burunsuz K. S. (2016). Investigations of Nonstationary Processes in Low Emissive Gas Turbine Combustor with Plasma Assistance. IEEE Transactions on Plasma Science. 44(12): pp. 2960-2964.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ У СКЛАДІ ПЛАВУЧИХ ЕЛЕКТРОГЕНЕРУЮЧИХ СТАНЦІЙ

Тимошевський Б. Г.

д-р техн. наук, професор кафедри двигунів внутрішнього згорання, установок та технічної експлуатації

Ткач М. Р.

д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

В теперішній час електроенергетичні системи все більше відчувають на собі наслідки негативних процесів на ринках первинних енергоносіїв. Енергоменеджмент та науковці форсують впровадження передових шляхів зниження собівартості виробництва енергії для тимчасового або постійного електропостачання та протистояння жорсткій конкуренції на енергетичних ринках [1, 2, 3]. Досягнення цієї мети можливе за рахунок зниження вартості електричної та теплової енергії, а також податків за рахунок високоефективного використання двигунів та утилізації вторинних енергоресурсів.

Ці генеруючі потужності можуть бути використані не тільки в звичайних умовах, але й при стихійних лихах, катастрофах, а також військових діях [4]. Така ситуація зумовлює актуальність науково-технічних розробок у сфері створення високоефективних енергетичних потужностей, які б постачали електричну та теплову енергію споживачам. Одним із перспективних варіантів є плавучі електростанції, які можна швидко перемістити водними шляхами в потрібний район та ввести в дію.

Зараз на ринку плавучої електроенергетики домінують Power Barge (58 об'єктів зі встановленою потужністю понад 4,4 ГВт) та Karpowership (24 об'єкти зі встановленою потужністю понад 4,1 ГВт) [5]. Для порівняння: встановлена потужність українських електростанцій становила 52,787 ГВт на кінець 2021 р. (НЕК «Укренерго») [6].

Основним пріоритетом для плавучих електростанцій є використання дизельних двигунів агрегатною потужністю 20...100 МВт з використанням дизельного та газового палива. Конструкція та облаштування плавучої електростанції відповідно підпадають під дію Правил українського та іноземних Регістрів судноплавства, відповідним документам виробника двигунів та іншим законодавчим актам, пов'язаним з проектуванням суден. Морехідні властивості плавучої електростанції, оцінені за правилами ІМО, відповідають Міжнародному морському реєстру [7].

Відомі плавучі електростанції на базі середньообертових поршневих двигунів [8]. Ці електростанції мають наступні переваги: зручне розміщення потужності там, де є потреба в електроенергії та підтримує швидкий розвиток інфраструктури регіонів, короткі терміни будівництва. Плавучі електростанції можуть скористатися фінансовими стимулами суднобудівних регіонів, мінімальним впливом на навколишнє середовище, оскільки потрібна лише невелика ділянка прибережної території, незалежністю від місцевої інфраструктури. Плавучі електростанції вимагають мінімального інвестиційного ризику оператора завдяки мобільності, універсальності та адаптивності.

В якості основних в цих плавучих об'єктах використовуються середньообертові дизельні або двопаливні двигуни. Найбільш поширеними є MAN M&W G, L48/60, V48/60, V51/60DF, Wärtsilä-Sulzer L50DF і V50Df, серії WinGD X-DF і DS [10, 11]. ККД цих двигунів досить високий та знаходиться в діапазоні 0,44...0,48 або 0,175...0,190 кг/(кВт×год) за умовами ISO дизельного палива з теплоємністю 42700 кДж/кг та при робочому навантаженні 85 % від максимальної тривалої потужності (MCR). За рахунок варіювання кількості циліндрів у двигуні та кількості двигунів можна отримати досить широкий діапазон потужностей. Наразі потреби споживачів знаходяться в діапазоні потужностей від 70...500 МВт. Таким чином, кількість середньообертових двигунів значна та може досягати 8...20 одиниць. Велика кількість багаточиліндрових двигунів створює певні незручності в конструкції плавучої електростанції, загальному облаштуванні та обслуговуванні обладнання. Позбутися від цих недоліків можна за рахунок використання більш потужних та ефективних малообертових двигунів.

Ці малообертові двигуни мають найкращі показники питомої витрати палива, добрими масогабаритними та екологічними показниками. Коефіцієнт корисної дії цих двигунів становить 0,52...0,54 (0,156...0,160 кг/(кВт×год)), однак все ж значна доля енергії втрачається за рахунок втрат у навколишнє середовище. Рекуперація джерел теплових втрат, особливо наддувального повітря, охолоджуючої води та масла, досі вважалася недоречною. Зараз неможливо нехтувати використанням цих ресурсів, особливо в умовах високих витрат на паливо.

До теперішнього часу використання малообертових двигунів було обмежене відсутністю тихохідних багатополюсних генераторів, які можуть генерувати електроенергію на частоті 50/60 Гц. Але кілька років тому компанія Siemens почала виробництво промислових 30-полюсних генераторів серії SGen-100A/SGen-1000A до 370 МВА [9]. Це дозволяє комбінувати малообертові двигуни з генераторами та виробництво електроенергії з частотою 50/60 Гц. В якості основних двигунів для плавучих електростанцій рекомендуються двотактні двигуни MAN B&W G80ME-C9.2-TII, K98ME-C, K108MC-S і Wärtsilä-Sulzer RT-Flex96C.

Як приклад одного з можливих варіантів схемного рішення ефективної електроенергетичної та теплогенеруючої установки для плавучої електростанції на базі малообертових двотактних крейцкопфних поршневих двигунів MAN B&W 12G90ME-C10.5-LPSCR з MCR потужністю 74,88 МВт. Кожен оснащений 4 турбокомпресорами MAN TCA77-26. Спро-

щена принципова схема енергетичного об'єкта наведена на рис. 1. Цей двигун є одним з найбільш екологічно досконалих та відповідає нормам Tier III. Однією з особливостей є обладнання щодо ефективної генерації електроенергії, яке включає back-to-back двоспрямований електронний перетворювач, що дозволяє генерувати стабільну частоту струму 50/60 Гц при змінній частоті обертання двигуна.

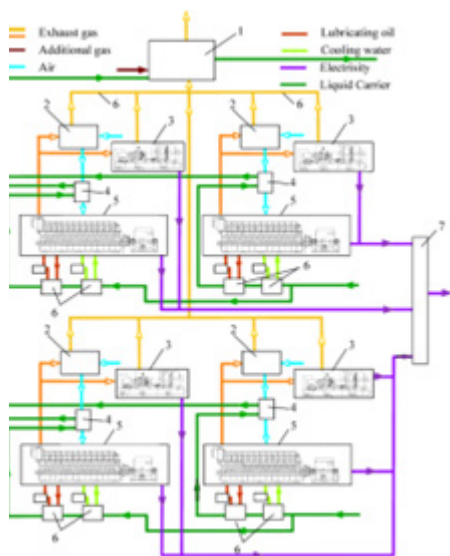


Рис. 1. Спрощена схема електроенергетичної установи плавучої електростанції

1 – комбінований котел, 2 – турбонаддувний агрегат, 3 – турбогенератор, 4 – охолоджувач наддувального повітря, 5 – дизель-генератор, 6 – масло- та водоохолоджувачі, 7 – електричний розподільувач

вучих електростанцій з цими двигунами. Найбільш переважними областями застосування таких об'єктів є глибоководні порти та інші подібні локації. Малооборотні двопаливні двигуни середньої та невеликої потужності, як приводи електрогенераторів, будуть ефективні для плавучих електростанцій, які можуть працювати на малих морських глибинах та річкових ділянках за рахунок меншої маси двигуна, габаритів та осадки судна.

Так, для комплектації енергетичної установи плавучої електростанції двигунами 4x8X62DF із запропонованою системою утилізації, загальна електрична потужність складає 93,7 МВт, тепла потужність для берегових споживачів – 33,8 МВт, питома витрата палива – 0,152 кг/(кВт·год), а коефіцієнт використання палива – 0,722.

Висновки. Використання малооборотних двигунів внутрішнього згоряння великої та середньої потужності в якості основного приводу електрогенератора для плавучих електростанцій представляється ефективним рішенням щодо зниження витрат на електроенергію. Впровадження таких двигунів стало можливим завдяки високоефективним багатополісним генераторам, які були розроблені останнім часом. Питома витрата палива може бути досягнута у межах 0,148...0,152 кг/(кВт·год).

Впровадження додаткового електротурбогенератора для додаткового виробництва електроенергії, який працює за рахунок надлишкової енергії випускних газів, а також системи глибокої утилізації низькопотенційної теплоти наддувального повітря, масла та охолоджуючої води дозволяє збільшити загальну ефективність виробництва електроенергії до 12 %.

Слід зазначити, що оцінені результати є дещо оптимістичними. Однак запропонований підхід є багатообіцяючим на шляху підвищення ефективності та екологічності.

Виходячи з цих результатів, ми вважаємо, що представлена концепція плавучої електростанції є ефективною для електро- та теплопостачання промислових підприємств й населених пунктів у прибережних та прирічкових зонах.

Література:

1. Floating power plants. Power barges: decentralized power generation. Available from: <https://www.bwsc.com/fr/technical-solutions/engine-based-power-plants/floating-power-plants>
2. Floating Power Plant. Efficiency, mobility and reliability. Available from: <https://www.stengg.com/en/marine/products-and-solutions/floating-power-plant/>
3. Novel Floating Power Plants on the Horizon. News & Technology for the Global Energy Industry, Dec 2, 2018. Available from: <https://www.powermag.com/novel-floating-power-plants-on-the-horizon/>
4. Kleijn A. Summary assessment of the status of floating powerplants / CE Delft, Netherlands, 2022. Available from: <https://policycommons.net/artifacts/3154501/summary-assessment-of-the-status-of-floating-powerplants/3952363/>

5. I Made Ariana, Hari Prastowo, Aldio Paruna. «Design of 100 MW LNG Floating Barge Power Plant», International Journal of Marine Engineering Innovation and Research, Vol. 1(3), Jun. 2017. p. 120-127
6. Ukrainian Power Stations. Available from: <https://www.eeseaec.org/energeticeskij-profil-ukrainy/elektriceskie-stancii-ukrainy>
7. Floating Diesel Power Station of 72 MW. Available from: <https://www.mandieselturbo.com/docs/default-source/shopwaredocuments/floatingffcf061c05c64b9ab2725c2804935386.pdf?sfvrsn=2>
8. Floating Power Plants. Available from: <https://vardmarine.com/vessels/vard-9-series-specialized-vessels/floating-power-plants/>
9. Highlights of the SGen-100A-2P/ SGen-1000A series generator. Available from: <https://www.siemens-energy.com/global/en/offers/power-generation/generators/sgen-100a.html>

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ В ЕНЕРГЕТИЧНИХ МОДУЛЯХ ПЛАВУЧИХ ОБ'ЄКТІВ ОФШОРНОГО НАФТОГАЗОВИДОБУТКУ

Чередніченко О. К.

д-р техн. наук, професор кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова.
Миколаїв, Україна

В останні часи широке використання набули мобільні енергокомплекси, зокрема плавучі електростанції, як додаткове або альтернативне джерело постачання електричної енергії для віддалених районів, або припортової території. Кількість плавучих електростанцій збільшується в останні десятиліття. Окрім двох основних компаній, Karpowership та Power Barge Corporation, на ринок також виходять інші невеликі компанії.

Плавучу електростанцію можна визначити як судно спеціального призначення, на якому встановлено електростанція, що служить джерелом електроенергії для зовнішніх споживачів. В окрему групу плавучих електростанцій можуть бути винесені енергетичні модулі забезпечення об'єктів офшорного нафтогазовидобутку.

Плавучі електростанції пропонують гнучке і децентралізоване рішення для швидкої подачі електроенергії в райони з обмеженою інфраструктурою. Вони широко використовуються у віддалених регіонах, зонах стихійних лих і служать резервними джерелами живлення. Високі витрати палива і вплив на навколишнє середовище створюють серйозні проблеми для світового ринку мобільних електростанцій. Вирішення цих проблем може бути досягнуто за рахунок застосування сучасних технологій раціонального перетворення енергії та ефективного використання вторинних енергоресурсів (БЕР).

Таким чином, ціль роботи - аналіз шляхів підвищення енергоефективності плавучих електростанцій актуальна та відповідає запиту практики.

Більшість компаній на ринку мобільних електростанцій враховують локальні та глобальні вимоги щодо енергоефективності та надають можливості використання альтернативних палив (наприклад, ЗПГ), які мають менший вплив на якість місцевого повітря у порівнянні з тим, як це було кілька років тому. Виробники вже розробили енергетичне обладнання, яке може працювати на відновлюваних видах палива, таких як аміак, метанол та інше.

Утилізація скидного тепла двигунів і елементів енергетичних установок дозволяє підвищити ефективність використання енергії палива. Одним із перспективних методів підвищення енергоефективності є термохімічна конверсія вуглеводневих палив за рахунок утилізації вторинних енергоресурсів двигунів внутрішнього згоряння, газотурбінних двигунів та теплотехнічного обладнання.

На офшорних суднах енергозабезпечення об'єктів нафтогазовидобутку знайшли велике поширення газотурбінні енергетичні модулі широкого спектра потужності від світових виробників енергетичних ГТУ.

В процесі визначення перспективних схем енергомодулів плавучих електростанцій слід враховувати, що газотурбінні двигуни енергетичних установок мобільних об'єктів відрізняються від ГТД стаціонарних енергетичних установок більш жорсткими вимогами не тільки до масогабаритних параметрів, а ще й до характеристик надійності. Це тягне за собою відносно зниження ККД двигуна та обмеження по температурі газу перед турбіною. Одним із шляхів вирішення проблеми створення високоефективного суднового газотурбінного енергомодуля може бути використання ГТД складної теплової схеми.

Концепція установки складного циклу стає більш привабливою, коли потрібне виконання наступних вимог (краще за умови більше ніж одна): зменшена витрата палива; мінімальні витрати на будівництво та монтаж (менші двигуни генераторів, але більше агрегатів за кількістю); підвищена безпека та надмірність потужності; гнучка схема підключення споживачів; менші викиди через ефективні навантаження двигунів; можлива робота у широкому спектрі температур навколишнього середовища.

В умовах концептуального проєктування математичне моделювання є найбільш раціональним засобом дослідження складних фізичних процесів. Компанія SoftInWay створила програмний комплекс AxCYCLE™ для термодинамічного моделювання та розрахунків теплового балансу виробництва теплоти та циклів перетворення енергії. Цей програмний продукт використовується в наукових дослідженнях енергетичних систем в Машинобудівному навчально-науковому інституті Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова (Україна).

Методика та алгоритми проведення досліджень приведені в роботі [1].

З метою порівняння характеристик енергетичних модулів різного складу та конструктивного виконання було проведено дослідження енергетичних модулів на базі: сучасних газотурбінних двигунів простого циклу (GTE); ГТД регенеративного циклу (GTR); газотурбінної установки з утилізаційним паротурбінним контуром (GTS); ГТУ з впорскуванням пари (GTC); ГТУ з термохімічними системами обробки палива (GT – TCHR); гібридної енергетичної системи з паливними елементами SOFC (SOFC – GT¹).

Перспективним різновидом паливних елементів є твердооксидні елементи SOFC (Solid Oxide Fuel Cell). Високі значення температури відпрацьованих газів дозволяють застосовувати SOFC разом з утилізаційною газовою турбіною (GT) для виробництва електричної енергії в гібридних енергетичних установках SOFC-GT. На рис. 1 показано деякі варіанти теплових схем енергетичних установок, які створені в програмному середовищі AxCYCLE™.

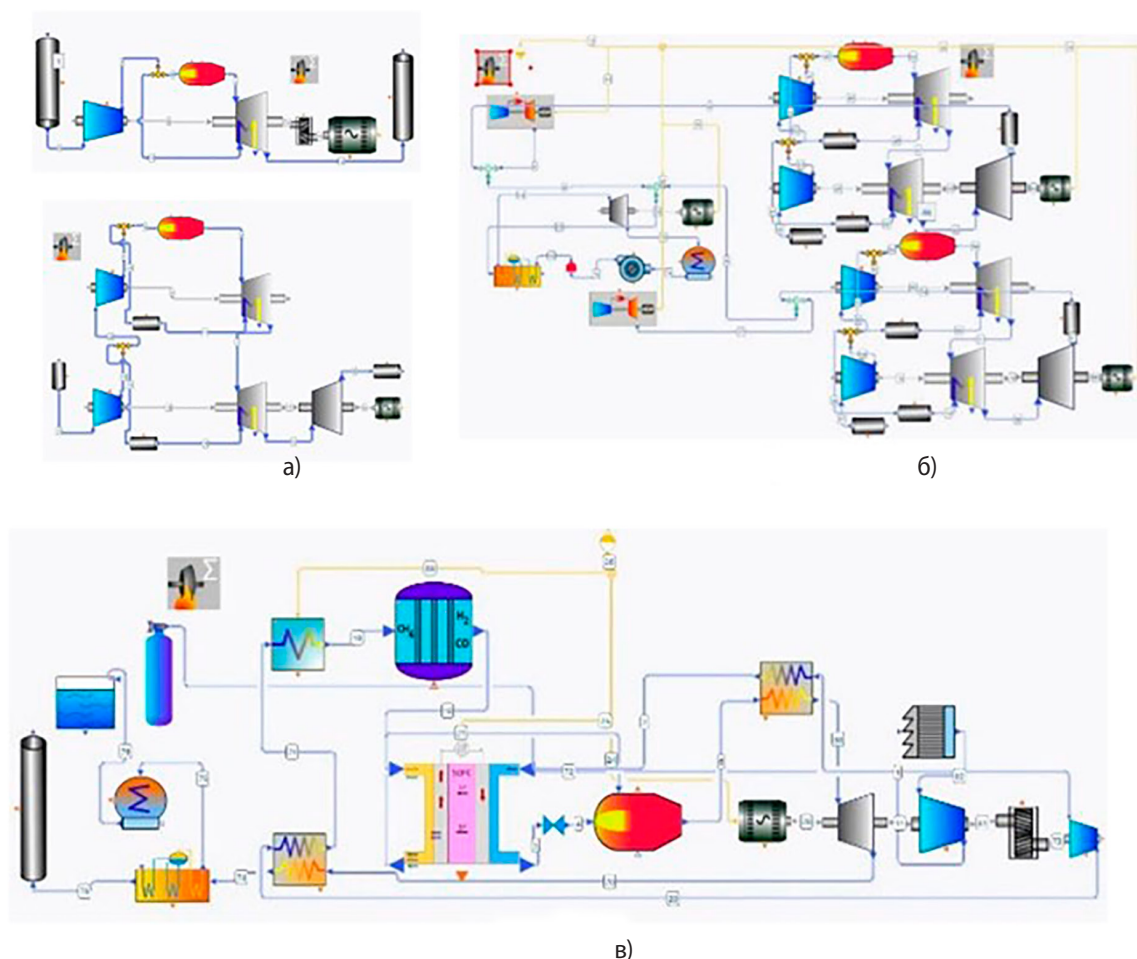


Рис. 1. Теплові схеми енергетичних установок: а) установки простого циклу GTE на базі UGT25000/2500 (нижня/верхня); б) установка з утилізаційним паротурбінним контуром GTC на базі 2xLM6000 та 2xUGT25000; в) енергетична система з паливними елементами SOFC – GT

За результатами математичного моделювання процесів в енергетичних установках різного складу та структурного виконання виявлена перспективність установок SOFC-GT з контуром додаткових підігрівачів робочого тіла. Інноваційним аспектом даної схеми є те, що генератор компенсує витрати електроенергії на організацію процесу (приводи насосів, компресорів, нагрівачів) при заданих параметрах циклу. Максимальний ККД установки досягає 63,7 %.

Висновки. 1. Підтверджено, що в умовах концептуального проектування математичне моделювання є найбільш раціональним засобом дослідження складних фізичних процесів. 2. Виявлена висока ефективність програмного продукту AxSTREAM® при моделюванні термодинамічних процесів та розрахунках теплового балансу виробництва теплоти та оцінки ефективності циклів перетворення енергії.

Література:

1. Математичне моделювання процесів в дизель-газотурбінних енергетичних комплексах з термохімічною обробкою палива / О. К. Чердніченко, М. Р. Ткач, О. С. Митрофанов, Д. В. Костенко // Авіаційно-космічна техніка і технологія : Науково-технічний журнал. Харків : ХАІ, 2022. Т. 38, 4 (спецвипуск 1). С. 78-86.

¹ Високі значення температури відпрацьованих газів дозволяють застосовувати SOFC разом з утилізаційною газовою турбіною

Korobko V. V.

The maritime sector is undergoing a transformative shift, prioritizing environmentally sustainable shipping practices over the traditional focus on “economic efficiency.” This evolution is driven by the United Nations’ Sustainable Development Goals (SDGs) [1] and regulations established by the International Maritime Organization (IMO) [2]. In practical terms, this shift involves substantial changes to fleet management, hull design, and the configuration of main and auxiliary power systems on ships.

Together, these advancements enhance the environmental performance of ship power systems (SPPs), especially by reducing harmful chemical emissions. However, they also introduce challenges in mitigating the total volume of thermal waste, as the temperature of these emissions is significantly reduced.

Examples of low-temperature ORC (Organic Rankine Cycle) systems with capacities ranging from 125 to 800 kW have been implemented on ships [3, 4]. Operational data indicate that the efficiency of these systems is highly sensitive to seawater temperature, declining as the temperature increases. Key disadvantages of ORC systems include suboptimal mass-to-dimension ratios and the environmental risks associated with their working fluids.

A conceptual schematic of a thermoacoustic energy-saving system is presented in Fig. 1. A thermoacoustic WHRS, utilizing one or more thermoacoustic TATGs, enables the recovery of waste heat at various potentials to produce additional mechanical work [6].



The power of the TATG can be determined based on the exoegetical potential of the available thermal emissions – $Q_{in}^i \eta_C^i$

$$Ne_{reg}^{TATG} = Q_{in}^{TAE} \eta_{carnot}^{TAE} \eta_i^{TAE} \eta_{tr} \eta_{gen}$$

where, η_{carnot} – efficiency of Carnot, η_i^{TAE} – “indicator” efficiency of TAE, η_{BDT} – efficiency of pulsed bidirectional turbine, η_{gen} – generator efficiency.

The maximum efficiency of TAEs can be achieved through the rational organization of energy exchange between external heat sources and the structural elements of the TAE – heat exchangers, the matrix (stack), and the working medium.

In the papers [7], it is shown that the efficiency of TAE depends on the distribution of temperatures in the matrix. This is evidenced by a modified equation, which formalizes the increment of acoustic energy $\dot{E}_2$ in the matrix element:

$$\frac{d\dot{E}_2}{dx} = -\frac{r_v}{2} |U_1|^2 - \frac{1}{2r_k} |p_1|^2 + \frac{1}{2} \text{Re}[\tilde{p}_1 U_1 g(x, z)]$$

It's an increment $d\dot{E}_2/dx$ depends on the “gain” of acoustic energy $g(x, z)$, which takes into account the temperature distribution in the matrix, both in the longitudinal x and along the lumbar axis z.

$$g(x, z) = \frac{f_k - f_v}{(1 - \sigma)(1 - \hat{Q})} \frac{1}{x_m \xi} \frac{dT_m(x, z)}{dx}$$

Maximum achievable efficiency and power output are possible only when the temperature in the matrix varies exclusively in the longitudinal direction, i.e., $T_m(x)$. When recuperative heat exchangers with liquid heat transfer media are used in TAEs, the temperature distribution is inevitably two-dimensional, which is an undesirable factor for optimal performance.

This issue can be mitigated by employing heat exchangers with phase-change processes in TAEs. Specifically, the heater should function as a condenser, while the cooler should act as an evaporator.

An effective solution for the implementation of thermoacoustic energy-saving systems is the use of multi-channel heat pipes [8] in WHRS thermoacoustic heat exchangers. Such heat exchangers, including heaters and coolers, are capable of ensuring an adequate intensity of energy exchange between the thermoacoustic core and external heat sources, while simultaneously providing a uniform temperature distribution on their external surface and matrix. Evidently, the application of multi-channel heat pipe heat exchangers requires addressing several design challenges, including the configuration of thermoacoustic heat machines within WHRS and the organization of heat carrier flows.

Conclusions. In thermoacoustic systems designed to utilize low-temperature heat sources, whether waste or renewable, energy exchange between external energy sources and the TAE heat exchange core can be conducted solely through recuperative heat exchangers with liquid coolants. Since the surface temperature of recuperative heat exchangers varies with the flow of the heat carrier, the local temperature difference between the heater and the cooler also varies, causing an uneven longitudinal temperature gradient across the matrix. In thermoacoustic engines designed to utilize heat sources with temperature potentials in the range of 100–500 K, the use of heat exchangers with phase-change processes is advisable. The most efficient solution for low-temperature thermoacoustic engines is the implementation of gravitational thermosiphons with regulated pressure as heaters.

Further research in the field of thermoacoustic WHR technologies, based on the refined physical model with two-dimensional temperature fields at the inlet and outlet of the thermoacoustic engine matrix, identifies and addresses the causes of inefficient heat-to-acoustic energy conversion zones within the thermoacoustic core, as well as the development of schematic and structural solutions aimed at using heat pipe heat exchangers.

References:

1. United Nations Environment Programme, & International Resource Panel (2024). Global Resources Outlook 2024 - Bend the trend: Pathways to a Liveable Planet as Resource Use Spikes. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44901>.
2. IMO STRATEGY ON REDUCTION OF GHG EMISSIONS FROM SHIPS (2023). <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx>.
3. Hoang, A. T., 2018. Waste heat recovery from diesel engines based on organic Rankine cycle. Applied Energy, 231, 138–166. <https://doi.org/10.1016/apenergy.2018.09.02>.
4. Singh, D., Pedersen, E. A review of waste heat recovery technologies for maritime applications. Energy Conversion and Management, 111, 2016. – pp. 315–328. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman>.
5. Swift, G. W., 2002. Thermoacoustic - A unifying perspective for some engines and refrigerators. Acoustical Society of America.
6. Korobko, V., Serbin, S., Le, H. C., 2023. Exploration of a model thermoacoustic turbogenerator with a bidirectional turbine. Polish Maritime Research, 30(4), 102–109. <https://doi.org/10.2478/pomr-2023-0063>.
7. Korobko, V., Shevtsov, A., Serbin, S., Wen, H., & Dzida, M. (2024). Impact of the type of heat exchanger on the characteristics of low-temperature thermoacoustic heat engines. International Journal of Thermofluids, 24, 100953. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2024.100953>.
8. Valentin Guichet, Navid Khordehghah, Hussam Jouhara, Experimental investigation and analytical prediction of a multi-channel flat heat pipe thermal performance, Int. J. Thermofluids 5_6 (2020) 100038, <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2020.100038>.

НАПРЯМКИ НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ КАФЕДРИ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ, УСТАНОВОК ТА ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Митрофанов О. С.

д-р техн. наук, доцент кафедри двигунів внутрішнього згоряння, установок та технічної експлуатації

Гогоренко О. А.

канд. техн. наук, доцент, в.о. завідувача кафедри двигунів внутрішнього згоряння, установок та технічної експлуатації

Проскурін А. Ю.

канд. техн. наук, доцент кафедри двигунів внутрішнього згоряння, установок та технічної експлуатації

Мошенцев Ю. Л.

канд. техн. наук, професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння, установок та технічної експлуатації

Тимошевський Б. Г.

д-р техн. наук, професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння, установок та технічної експлуатації
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Кафедра двигунів внутрішнього згоряння, установок та технічної експлуатації (ДВЗ, У та ТЕ) має не тільки значний багаторічний досвід з підготовки високоякісних фахівців з двигунобудування але й сучасну та різноманітну за напрямками наукову діяльність:

- дослідження робочих процесів в поршневих і комбінованих ДВЗ;
- математичне моделювання робочих процесів в ДВЗ на базі сучасних теорій та методів системного аналізу;
- дослідження ефективності поршневих і комбінованих двигунів нетрадиційних конструкцій та схем;
- дослідження та удосконалення агрегатів ДВЗ;
- використання водню і гідридних технологій для підвищення ефективності енергетичних установок з ДВЗ;
- дослідження ефективності енергетичних установок з ДВЗ шляхом термохімічної утилізації тепла;
- вдосконалення схем систем охолодження і характеристик теплообмінних апаратів;
- виробництво та ефективне використання альтернативних палив та енергоносіїв в ДВЗ.

Фундаментальні наукові дослідження сприяли створенню на кафедрі наукових шкіл під керівництвом провідних вчених з професорсько-викладацького складу. Так на кафедрі ДВЗ, У та ТЕ існує та постійно розвивається такі наукові школи, як:

- «Перспективні енергетичні технології», засновники – д-ри техн. наук, професори Тимошевський Б. Г. та Ткач М. Р. (рік заснування – 1982);
- «Робочі процеси у теплових двигунах та енергетичних установках і системах», засновник – канд. техн. наук, професор Мошенцев Ю. Л. (рік заснування – 1973).

Використання альтернативних палив та енергоносіїв в ДВЗ є одним з найперспективніших напрямків світового двигунобудування. Наукові дослідження на кафедрі з цього напрямку умовно можна поділити на два основні блоки, це: отримання та зберігання альтернативних видів палива; дослідження особливостей організації робочого процесу при застосуванні альтернативних видів палива.

На сьогодні на кафедрі з напрямку отримання та зберігання альтернативних видів палива здійснюються наступні дослідження:

- термічної та каталітичної деструкції полімерних відходів з метою отримання моторних палив [1];
- отримання водневмісного газу (синтез-газу) з використанням термохімічної утилізації тепла відпрацьованих газів ДВЗ [2];
- використання воднево-металогідридних технологій для утилізації низькопотенційного тепла ДВЗ [2];
- застосування сонячно-водневих металогідридних акумулюючих установок з виробництва та зберігання водню.

Використання альтернативних видів палива в енергетичних установках з ДВЗ потребує внесення певних коректив, як в конструкцію так і в організації робочого процесу. Дослідження з цього напрямку спрямовані на:

- застосування рідких вуглеводневих палив, отриманих з полімерних відходів у дизельних та газотурбінних двигунах [1];
- використання альтернативного газоподібного палива (водню або синтез-газу) як основного, тобто повне заміщення базового вуглеводневого палива альтернативним [2, 3];
- використання альтернативного газоподібного палива (водню або синтез-газу) як добавок до основного [2-4].

З напрямку дослідження ефективності поршневих і комбінованих двигунів нетрадиційних конструкцій та схем на базі кафедри проводилися теоретичні та експериментальні дослідження дослідних зразків:

- дизельних безшатуних двигунів [5];
- роторно-поршневих двигунів із шарнірно-кулачковим механізмом перетворення руху [6-8].

На кафедрі постійно ведуться дослідження, метою яких є удосконалення схем систем охолодження і теплообмінних

апаратів дизельних двигунів для підвищення паливної економічності та поліпшення екологічних параметрів енергетичних установок [9, 10]. Так, зокрема, можна виділити деякі основні задачі досліджень цього напрямку:

- розробка способу створення перспективних маловитратних схем систем охолодження;
- удосконалення комплексної математичної моделі маловитратних систем охолодження;
- підвищення точності математичних моделей розрахунків елементів системи охолодження (охолоджувачів масла, наддувного повітря, води);
- уточнення математичної моделі робочого циклу двигуна при визначенні теплових потоків в охолоджувальні середовища.

Висновки. Актуальність та практична затребуваність наукової діяльності кафедри ДВЗ, У та ТЕ підтверджується значною кількістю наукових публікацій, підготовлених та захищених кандидатських та докторських дисертацій, отриманих патентів, грантів, а також успішно реалізованих наукових тем. Так, зв'язок наукової роботи кафедри зі стратегічними пріоритетними напрямками інноваційної діяльності в Україні відображається у вигляді виконаних фундаментальних науково-дослідницьких держбюджетних і госпдоговірних робіт: № 1813 «Розробка науково-технічних основ створення когенераційних установок на основі водневих термохімічних циклів», ДР № 0111U002313; № 11.2014/01 «Розробка сонячно-водневої металогібридної установки»; № 1995 «Розробка та створення зразку комбінованої системи енергопостачання на базі водневих гібридних технологій», ДР № 0115U000306; № 2068 «Розробка технології підвищення ефективності функціонування енергетичних установок малотоннажних суден шляхом використання спиртових палив», ДР № 0116U008670; «Розробка технології отримання та безпечного акумулювання водню з сірководню Чорного моря», ДР № 0117U007283; № 1788 «Вдосконалення існуючих та створення перспективних систем охолодження та їх елементів для тепловозних двигунів», ДР № 0111U009622.

Література:

1. Тимошевський Б. Г., Ткач М. Р. Моторні палива з полімерної сировини: виробництво та застосування. Київ: Видавництво «День Печати», 2011. 290 с.
2. Утилізація тепла судових ДВЗ: термохімічні та воднево-металогібридні технології: монографія / М. Р. Ткач, Б. Г. Тимошевський, О. С. Митрофанов, А. Ю. Проскурін, А. С. Познанський, Ю. М. Галинкін. Миколаїв: Видавець Торубара В. В., 2020. 168 с.
3. Mytrofanov O. S. Features of the use of synthesis-gas in the low-displacement ship power plants / O. S. Mytrofanov, A. Yu. Proskurin // Engineering science: development prospects in countries of Europe at the beginning of the third millennium: Collective monograph. Volume 1. Riga: Izdevnieciba "Baltija Publishing", 2018. 460 p.
4. Mytrofanov O. Analysis of the piston engine operation on ethanol with the synthesis-gas additives / O. Mytrofanov, A. Proskurin, A. Poznanskyi // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 4/1 (94). pp. 14-19. doi: 10.15587/1729-4061.2018.136380
5. Мінчев Д. С. Підвищення ефективності дизельних безшатунних двигунів шляхом удосконалення схем та параметрів системи наддуву: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.03 «Двигуни та енергетичні установки» / Д. С. Мінчев. Миколаїв, 2010. – 22 с.
6. Determining the effective indicators of a rotary-piston motor operation / Mytrofanov O., Proskurin A., Poznanskyi A. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 5/8 (107). P. 80-85. doi: 10.15587/1729-4061.2020.211425
7. Determining a change in the compressed air temperature during the operation of a rotary piston engine / O. Mytrofanov, A. Proskurin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 6/8 (108). P. 25-31. doi: 10.15587/1729-4061.2020.217239
8. Mytrofanov O. S. Transport power plants with rotary piston air engines / O. S. Mytrofanov, A. Yu. Proskurin // Prospects and priorities of research in science and technology: Collective monograph. Volume 2. Riga: Izdevnieciba "Baltija Publishing", 2020. pp. 99-116.
9. Moshentsev Y., Gogorenko O., Dvirna O. Rational liquid cooling systems of internal combustion engines. Advances in Science and Technology Research Journal. 2022. 16(1). pp. 158-169. doi:10.12913/22998624/144345.
10. Мошенцев Ю. Л. Базова схема системи охолодження ДВЗ, як основа для створення високоефективних систем / Ю. Л. Мошенцев, О. А. Гогоренко // Збірник наукових праць НУК. Миколаїв: НУК, 2023. № 1 (490). С. 86-95. doi.org/doi.org/10.15589/znpp2023.1(490).1.

ПРО ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ

Воїнов О. П.

д-р техн. наук, професор кафедри теплотехніки

Самохвалов В. С.

канд. техн. наук, доцент кафедри теплотехніки

Кобалава Г. О.

канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри теплотехніки

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

У довоєнний час останніми роками Україна як морська і річна держава поступово розвивала суднобудівну та судноремонтну галузі, які на початку нинішнього століття знаходилися в занепаді, віддаючи переваги використанню економічних енергетичних комплексів, сучасних суднових двигунів.

На початку 20-х років концерн Укроборонпром презентував стратегію розвитку суднобудівної промисловості України на період до 2030 року та подальшу перспективу, з метою забезпечення конкурентоспроможності на основі оптимізації виробничих потужностей, їх модернізації і технічного переозброєння [1]. Важливу роль в стратегії було приділено задачам оборонного виробництва, оскільки в Україні не виробляються окремі зразки комплектувального обладнання, такі як дизельні двигуни і дизель-генератори, що зумовлює імпортозалежність.

Широкомасштабне вторгнення змінило економічні можливості нашої країни в суднобудівній і судноремонтній галузях, залишивши існуючі проблеми та додавши нові.

Існуючий вітчизняний рухомий склад, як вантажний, так і пасажирський, вимагає значного оновлення. Зокрема, особливістю сучасного стану вітчизняного флоту є фізичний і моральний знос суднових двигунів.

У існуючих умовах доцільним є вдосконалення способів діагностики технічного стану, паливної економічності та екологічних показників роботи суднових двигунів, вдосконалення засобів забезпечення оптимального температурного режиму роботи двигунів, дослідження робочих процесів суднових двигунів внутрішнього згоряння, які працюють на твердому та газоподібному альтернативному паливі, вдосконалення системи забезпечення зносостійкості, терміну служби, технічного стану суднових двигунів шляхом використання сучасних покриттів робочих поверхонь деталей при їх ремонті, підвищення енергоефективності та працездатності суднових двигунів шляхом використання підходів технічної геронтології, яка пропонує можливості часткового або повного оновлення [2-7].

При повному оновленні зношений технічний об'єкт, зокрема судновий двигун, замінюють на новий, однак в сьогоднішніх умовах це є неможливим із-за відсутності належних економічних ресурсів. У цій обстановці набуває актуальності завдання розвитку вітчизняного суднобудування, з яким пов'язана перспектива майбутнього повного оновлення парку плавзасобів.

Оновлення суднових двигунів шляхом проведення масової реконструкції, модернізації та технологічного переоснащення поки є також недоступним, оскільки вимагає здійснення в державному масштабі широкого комплексу організаційно-технічних заходів.

Тому слід шукати та користатися наявними резервними можливостями. Такою можливістю нині є застосування часткового оновлення зношеного суднового устаткування, при якому судові двигуни залишають у експлуатації.

Часткове оновлення взагалі є комплексно-системним науково-технічним заходом, що дозволяє в зношеному складному технічному об'єкті виявити та реалізувати можливості різного роду підвищення рівня технологічної ефективності функціонування, у тому числі його екологічності.

Програма часткового оновлення зношеного технічного об'єкта являє собою, по суті, розгорнуту, розширену та поглиблену програму технічного, експлуатаційного та ремонтного обслуговування цього технічного об'єкта, що здійснюється в напрямку підвищення насамперед рівня його екологічної ефективності. Слід зазначити, що додатковим ефектом, як правило, є підвищення рівня економічної та загальнотехнічної ефективності оновленого технічного об'єкта.

Рівень результативності, ефективності здійснення програми часткового оновлення зношеного технічного об'єкта залежить від дії низки факторів, від постановки та управління роботою щодо її організації та здійснення.

Все зазначене цілком стосується суднових двигунів і дозволяє вказати можливі реальні засоби підвищення рівня їх технічного стану, економічності та екологічності шляхом використання програми їх часткового оновлення.

При оновленні суднового двигуна слід враховувати низку рекомендацій. Високі теплові та механічні навантаження в сучасних високооборотних суднових двигунах зумовлюють необхідність забезпечувати шляхом конструктивних і технологічних заходів допустиму теплову напруженість деталей циліндропоршневої групи та надійну роботу паливної апаратури. Подальший прогрес суднових високооборотних двигунів закордонні експерти пов'язують із широким використанням керамічних теплостійких покриттів деталей циліндропоршневої групи, пошуком рішень, спрямованих на подальше підвищення середнього ефективного тиску та зниження питомої маси двигунів, розширенням використання електронних систем керування паливopoдачею, газорозподілом, повітропостачанням.

Середньооборотні дизелі використовують у складі суднових енергетичних установок в якості головних двигунів. Їхні тенденції розвитку характеризуються розробками, що забезпечують ефективне використання важких сортів палива, збільшення циліндрових та агрегатних потужностей, підвищення паливної економічності. Зниження витрати палива в сучасних середньооборотних дизелях забезпечується за рахунок підвищення максимального тиску циклу, вдосконалення газотурбінного наддуву, скорочення втрат енергії відпрацьованих газів та збільшення ККД агрегатів наддуву, підвищення тиску впорскування палива, збільшення механічного ККД дизеля.

Подібні шляхи підвищення паливної економічності забезпечать прогрес у модернізації випуску та створення нових моделей суднових середньооборотних дизелів, технічний рівень яких характеризується питомою ефективною витратою палива, середнім ефективним тиском, циліндровою та агрегатною потужністю.

Література:

1. Стратегія розвитку суднобудівної промисловості України на період до 2030 року та подальшу перспективу [Електронний ресурс].- URL: <https://komprompol.rada.gov.ua/uploads/documents/30813.pdf>.
2. Системи та засоби транспорту. Проблеми експлуатації та діагностики: монографія / [V. Blanicu та ін.]; за наук. Ред. проф. І. В. Грицука.- Херсон: ХДМА, 2019.- 442с.
3. Поліпшення паливної економічності і екологічних показників транспортних засобів з системою теплової підтримки: монографія / Погорлицький Д. С., Грицук І. В., ін. – Харків-Херсон-Вінниця: ПП ТД «Едельвейс і К.», 2022.- 178с.
4. Оперативний контроль технічного стану транспортних засобів: монографія / Грицук І. В., В. П. Волков, др. Харків-Херсон-Вінниця: ПП ТД «Едельвейс і К.», 2023.- 197с.
5. Білоусов Є. В. Теоретичні основи робочих процесів в суднових двигунах, що працюють на альтернативних паливах: монографія.- Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2020.- 444с.
6. Воїнов О. П., Кобалава Г. О., Самохвалов В. С. Про управління екологічністю об'єктів сфери суднобудування та морської інфраструктури / Енергія. Бізнес. Комфорт: матер. регіон. наук.-практ. конф., 14 лист. 2023.- Одеса: ОНТУ, 2024.- С. 10-13.
7. Воїнов О. П., Самохвалов В. С., Кобалава Г. О. Можливості оновлення суднових котельних установок / Матер. 14-ї міжнар. наук.-практ. конф. «СЕУТОО-2023», 16-18 берез. 2023 р., Херсон.- Херсон: ХДМА, 2023.- С. 137-139.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СПАЛЮВАННЯ ОРГАНІЧНИХ ПАЛИВ ЗАСТОСУВАННЯМ ВОДОПАЛИВНИХ ЕМУЛЬСІЙ

Колбасенко О. В.

PhD аспірант

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

м. Харків, Україна

Димо Б. В.

канд. техн. наук, професор, в.о. завідувача кафедри технічної теплофізики і суднових паровиробних установок

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

Анастасенко С. М.

канд. техн. наук, доцент, в.о. завідувача кафедри теплоенергетики та технологій машинобудування

Первомайський навчально-науковий інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Первомайськ, Україна

Згідно опублікованих даних [1-3] спалювання водопаливних емульсій дозволяє підвищити комплексну ефективність їх використання: економію чистого палива від 2 до 8 % в ДВЗ, а в котлах від 2 до 20 %; зменшення викидів токсичних NO_x на 25...45 %, SO₂ на 25...35 %, сажі на 60...80 %; зниження інтенсивності корозійних процесів і забруднення поверхонь нагріву. Значення зазначених факторів коливаються в широких межах (при вмісті ВПЕ W_в в межах від 5 до 30 %). Особливо актуальне використання ВПЕ при спалюванні важких залишкових сірчистих мазутів, бітуму, а також при термічній переробці нафтовмістких вод, що забезпечує економію енергоресурсів.

Великі діапазони зміни параметрів, що визначають ефективність спалювання ВПЕ, пояснюється не тільки різними якісними показниками органічного палива і води (для якої досі не регламентовані необхідні значення параметрів для підготовки ВПЕ), але передусім технологією підготовки і необхідними кінцевими значеннями характеристик підготовленої ВПЕ, які забезпечать найкращі комплексні показники ефективності спалювання: економічність, екологічність, надійність.

Мета роботи: підвищення техніко-економічної, екологічної ефективності та надійності роботи двигунів та котельних установок активізацією горіння водопаливних емульсій.

Існує багато систем підготовки ВПЕ, в яких основним завданням є отримання тонкодисперсної емульсії, що забезпечує стабільність складу при зберіганні. Але прийнятними параметрами підготовленої ВПЕ слід вважати ті її значення, які забезпечать необхідні параметри процесу горіння при високих економічних і екологічних показниках та надійності роботи паливоспалювальних агрегатів (ДВЗ, ГТД, котлів).

Згідно останніх сучасних публікацій при кавітаційному режиму течії води і органічних рідин спостерігається явище гідролюмінесценції, що пояснюється електричною теорією появою в кавітаційному середовищі вільних електронів

і позитивних іонів як у рідині, так і в об'ємі пароповітряних пухирців. Такі ж процеси проходять і при кавітаційній підготовці ВПЕ, що повинно призвести до аналогічних процесів при горінні, особливістю якого являється поява мікробухів, що спричиняють кавітаційні процеси при розпилюванні ВПЕ.

В даний час не існує однозначної думки щодо визначення адіабатної (розрахункової) температури T_a горіння ВПЕ, значення якої залежить від величини тепловиділення в камері згорання (особливо при зміні водовмісту ВПЕ). Визначення значення T_a є визначальним при проведенні теплотехнічних розрахунків паливоспалювальних агрегатів при складанні теплових (енергетичних) балансів, при визначенні величини ККД та при розрахунку теплообміну. В основному прийнято враховувати фізичний вплив води, внаслідок чого зі збільшенням водовмісту ВПЕ (у зв'язку із зменшенням частки чистого палива в 1 кг емульсії) T_a повинна знижуватися через витрату теплоти на підігрів і випаровування води ВПЕ. При цьому вважається, що тільки за рахунок мікробухів крапель ВПЕ і вторинного диспергування можливе підвищення тепловиділення та зростання T_a . В інших публікаціях додатково враховується і хімічний механізм процесу, що полягає в процесі дисоціації молекул води і появи молекулярного водню H_2 , внаслідок горіння якого можливе зростання тепловиділення при водовмісті емульсії 5...10 %. У публікаціях приводяться також дані про зростання теплоти згорання Q_f ВПЕ без зазначення причин і залежності її значень від W_f .

У Нормативному методі теплового розрахунку котлів відсутні рекомендації як в оцінці значення Q_f ВПЕ, так і для проведення теплотехнічних розрахунків при їх спалюванні, що пов'язано з недостатньою кількістю експериментальних даних та їх суперечливістю. Вважається, що збільшення вологості палива призводить до зменшення його теплоти згорання Q_f . Відсутні дані про величину втрат теплоти в котлах при спалюванні ВПЕ в залежності від водовмісту W_f і α .

Опублікована невелика кількість даних про зростання температур горіння ВПЕ при збільшенні W_f від 10 до 25 %, а також про істотну економію чистого палива в складі ВПЕ: в котлах до 20...25 % при W_f α 25 % і в ДВЗ до 8 % при W_f α 25 %, що можливо тільки при збільшенні тепловиділення при згоранні ВПЕ із зазначеним вмістом води.

Опубліковано недостатньо даних про істотне зниження інтенсивності низькотемпературної сірчаноокислої корозії (НТК) при спалюванні ВПЕ з $W_f = 30$ %, що дозволяє знизити температуру відхідних газів і підвищити ККД котлів. Але в них не враховано, що можлива залежність інтенсивності НТК від коефіцієнта надлишку повітря α .

В останніх публікаціях велика увага приділяється електричним теоріям кавітаційних процесів. Суперечливі думки про можливість проходження мікробухів в камерах згорання, впливу їх на процес горіння викликає необхідність проведення додаткових досліджень механізму згорання ВПЕ, при якому забезпечується економія чистого палива. Тому актуальними є дослідження процесів кавітаційної підготовки ВПЕ і її спалювання з метою розробки рекомендацій по оцінці якості підготовленої емульсії, і ефективності її спалювання, щодо визначення максимального рівня тепловиділення в камерах згорання і значення адіабатичної температури. Для котлоагрегатів важлива оцінка ефективності теплообміну в топках котлів і в конвективних поверхнях нагріву, і в кінцевому рахунку розробки методики теплотехнічних розрахунків котлів з урахуванням особливостей процесу горіння ВПЕ.

Висновки. 1. Проведені дослідження вказують на ефективність процесу горіння при спалюванні ВПЕ більш, ніж при введенні води (водяної пари) у зону горіння.

2. Кавітаційно активована ВПЕ забезпечує якісне запалювання та стійке горіння збіднених сумішей у камерах згорання.

3. В наступний час відсутні нормативні методи розрахунку процесу спалювання ВПЕ в камерах згорання теплових двигунів (ДВЗ, ГТД) та котлоагрегатів.

Література:

1. Filipshchuk A. N., Kolbasenko O. V., Shevtsov A. P., and Dymo B. V. (2021). Technology for Improving Technical, Economic and Ecological Efficiency of Boiler Plants Using Physico-Chemical Correction of the Water-Fuel Emulsions Composition. Problems of the Regional Energetics, 3 (51), 62-77. DOI: <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2021.3-51.06>.
2. Experimental investigation of the performance and emission characteristics of direct injection diesel engine by water emulsion diesel under varying engine load condition / M. Fahd, Y. Wenming, P. Lee [и др.] // Applied Energy. – 2013. – No 102. – pp. 1042-1049.
3. Марченко А. П. Особливості процесу згорання в дизелі при роботі на водопаливній емульсії / А. П. Марченко, І. В. Парсаданов, А. О. Прохоренко, А. В. Савченко, О. О. Осетров // Двигатели внутреннего сгорания. – 2016. №1. С. 3-10.

ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ПАЛИВОПІДГОТОВКИ СУДНОВОГО МАЛООБЕРТОВОГО ДВИГУНА

Погорлецький Д. С.

канд. техн. наук, доцент кафедри суднових технічних систем і комплексів
Херсонська державна морська академія
м. Херсон, Україна

Міжнародною організацією зі стандартизації (ISO) у 1987 році були розроблені і затверджені стандарти на паливо DP-8216 і DP-8217. Дані стандарти ISO кожні 5 років піддають перегляду, у 2010 році на вимогу Міжнародної морської організації (IMO) ISO підготувала специфікацію морських сортів палива, що відповідає зміненому Додатку VI Міжнародної конвенції щодо запобігання забрудненню з суден (МАРПОЛ). В даний час дані стандарти позначаються як ISO 8216-1:2010 та ISO 8217:201024 і визначають 4 марки дистильатних та 6 марок залишкових суднових палив. Дистильатні

палива: газойль DMA, чисте дизельне паливо DMB та DMZ (з великим значенням мінімальної в'язкості), паливо DMX, призначене для використання у зовнішньому аварійному устаткуванні. В'язкість цієї групи палив при 40°C становить 1,4...2,5 мм²/с (Ст). Залишкові сорти палив: RMA, RMB, RME, RMG, RMH, RMKG, в'язкість при 50 °C у межах 180...700 мм²/с (Ст) [1-6]. Останніми роками на судах для малообертових двигунів (МОД) і середньообертових двигунів (СОД) дедалі ширше використовують важкі сорти палив високої в'язкості, які мають нижчу вартість [3]. Відповідно до вимог двигунобудівних фірм (Wartsila-Sulzer, MAN-Burmeister&Wain), двигуни повинні надійно експлуатуватися на всіх режимах роботи (в тому числі на пускових і перехідних) при використанні палив з в'язкістю до 380 мм²/с [1-6].

Під час роботи МОД на високов'язких залишкових сортах палив спостерігається відхилення від нормального процесу згоряння в циліндрі, викликане зміною параметрів паливоподачі. Істотно збільшується тиск впорскування та змінюються фази подачі палива, причому ці відхилення тим значніші, чим вища в'язкість палива. Важкі сорти палив в порівнянні з дизельними характеризують нижчим цетановим числом, що призводить до збільшення періоду затримки займання при згорянні. Внаслідок цього до початку займання в циліндр двигуна подається дещо більша кількість палива, це зумовлює збільшення питомої витрати пального і жорстку роботу двигуна. Зміна процесу згоряння викликає і більшу, ніж при роботі на дизельному паливі, теплову напруженість циліндрів [1-5]. Також різні джерела вказують на тенденцію збільшення концентрації каталітичних частинок у важкому паливі для суднових двигунів, дані, отримані DNV Petroleum Services (DNVPS). Природоохоронне законодавство призвело до збільшення попиту на низькосірчисті палива, що у свою чергу, спонукало нафтопереробні заводи збільшувати виробництво сумішей важких палив, змішування палив є основним джерелом каталітичних частинок. Види палив з високим вмістом каталітичних частинок можна знайти у складі всіх марок залишкового палива. Зверніть увагу, що найпоширеніша марка палива RMG 380 cСт містить каталітичні частки в діапазоні від 1 до 110 ppm Al+Si, а RMG 700 – до 400 ppm Al+Si. У середньому концентрація каталітичних частинок вища у марках з більш високою в'язкістю (VeriFuel, Alfa Laval). Лінія паливopідготовки Alfa-Laval є комплексним рішенням для мінімізації енергоспоживання та максимального захисту від впливу каталітичних частинок [1-6]. На ефективність сепарації впливають робочі параметри, до яких відносяться витрата палива і температура, які контролюють в'язкість, і щільність палива. Безперервне управління витратою є простим і ефективним способом забезпечення оптимальної продуктивності сепарації. Судноплавним компаніям рекомендується повністю використовувати встановлену пропускну здатність сепаратора та паралельно використовувати резервні сепаратори [1-6]. Рух «на малих ходах» відноситься до практики експлуатації трансокеанських вантажних суден, контейнерних суден, на швидкості, яка значно нижча за їх максимальну швидкість. Як правило, сепаратор для палива має конфігурацію, що забезпечує 100% витрату палива плюс постійні значення для різних діапазонів. Однак двигуни суден на сьогодні рідко працюють зі 100 % навантаженням. Зменшення витрати палива сепаратором по відношенню до витрати палива двигуна призведе до підвищення ефективності роботи сепаратора, оскільки паливо залишатиметься у сепараторі довше. Тому з допомогою автоматичного управління витратою з урахуванням фактичного споживання палива з'являється значний потенціал підвищення ефективності сепарації [1-6].

Для підтримки максимально можливої ефективності сепарації палива, витрата палива у сепараторі має підтримуватись на низькому та стабільному рівні. Витрату можливо контролювати двома способами:

- З допомогою регулятора фіксованої витрати. При регулюванні фіксованої витрати перед сепаратором встановлюється клапан регулювання витрати. Це просте рішення, але не енергоефективне, оскільки частина нафтопродукту закачується назад у відстійник.

- Змінна витрата. Частотно-регульований привід (ЧРП) можна використовувати для управління швидкістю двигуна насоса подачі, що дозволяє регулювати швидкість подачі відповідно до фактичного навантаження двигуна. На відміну від регулювання фіксованої витрати, при якому потік перебивається, використання змінної витрати знижує енергоспоживання як насоса живлення, так і сепаратора. Зміна витрати у випадку двигуна, що працює на 75 % від свого навантаження, збільшує ефективність сепарації (рис. 1).

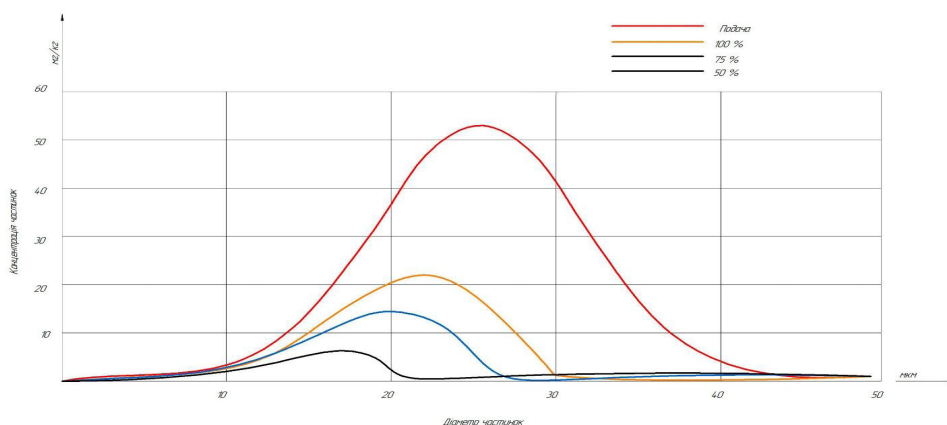


Рис. 1. Вплив витрати на ефективність сепарації

Для підвищення якості процесу сепарації палива пропонується модернізувати (оптимізувати) режим подачі палива до сепаратору. Найменша подача палива до сепаратора це гарне рішення для підтримки ефективного режиму сепарації важких високов'язких палив.

Звичайні сепаратори не можуть забезпечити сепарування палива з густиною понад 990 кг/м³ при 15 °С, це не надає можливості судновласнику скористатися перевагою дешевих палив з високою в'язкістю і високою густиною. Для рішення даної проблем пропонується встановити частотно-регульований привід електродвигуна насосу EI-P7012, це частотний перетворювач скалярного типу, спроектований для технічних систем, що функціонують із надлишковим тиском чи змінною витратою рідини.

Висновок. Встановлення частотно-регульованого приводу, для регулювання подачі палива до сепаратора з мінімально необхідною продуктивністю, надасть можливі переваги: зменшення утворення відстою у паливних цистернах; підвищення гнучкості роботи сепараторів системи паливopідготовки, оскільки може бути очищене паливо густиною до 1010 кг/м³ при 15 °С і в'язкістю до 700 сСт; зменшення трудомісткості обслуговування, за рахунок простоти системи та відсутності регульовальних шайб; зменшення кількості аварійних сигналів, завдяки відсутності водяного затвору; збільшення теплота згоряння палива, що надасть можливість оптимізації роботи системи паливopідготовки та підвищить економічність роботи суднового двигуна.

Література:

1. Солодовніков В. Г. Вплив сірчистих сполук палива на робочий процес суднових дизелів / В. Г. Солодовніков // 36. матер. III Міжнар. наук.-техніч. конфер. Сучасний стан та проблеми двигунобудування, 19-21 листопада 2014р. - Миколаїв, НУК, 2014. – С. 191-194.
2. The MC Engines Service Experience / MAN B&W DIESEL A/S Copenhagen SV Reg. No.: 24231/ – 3rd edition. – November. 1998. – 13 p.
3. ISO 8217 Fuel Standart : Quality Specification for Marine Bunker Fuels.
4. Застосування двоступінчастої обробки палива для покращення робочих параметрів та експлуатаційних характеристик суднового дизеля/ В. Г. Солодовніков // Суднові енергетичні установки. – 2014. – Вип. 34. – С. 130.
5. Білоусов Є. В. Комплексна утилізація відходів сепарації палива в суднових енергетичних установках / Є. В. Білоусов, М. С. Агєєв, Н. Н. Кобяков // Вісник двигунобудування. – 2011. - № 2. – С. 111-114.
6. Худяков І. В., Грицук І. В., Погорлицький Д. С., Поліщук О. В., Літвінов М. Є. Протидія низькотемпературній корозії гільзи циліндрів суднових двигунів. Суднова енергетика: стан та проблеми: Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв : Видавець Торубара В. В., 2023. – 240 с.

MANUFACTURING TECHNOLOGY IMPROVEMENT OF BEVEL-TOOTH WHEELS AND BEVEL GEARS

Nikolaiev O. L., Polishchuk V. A.

Candidates of Technical Sciences, Associate Professors
Department of Engineering Mechanics and Technology of Machinebuilding

Li Yonghong

Master's student
Department of Engineering Mechanics and Technology of Machinebuilding
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine

To ensure high performance, gears undergo chemical-thermal treatment. This treatment is a combination of thermal and chemical processes aimed at changing the chemical composition and structure of the surface layer of gears. It introduces various elements into the surface layer, such as carbon, nitrogen, oxygen, and silicon, through chemical reactions with the surrounding environment. This forms a hard diffusion layer on the gear surface, with a gradual decrease in the concentration of diffusing elements and microhardness with depth. For effective surface strengthening, carburizing and nitrocarburizing are often used, with nitriding used less frequently.

The contact endurance of the teeth is defined by their resistance to common failures of the working surfaces, such as pitting (flaking of surfaces in the form of small pits) and micro-cracking, as well as wear under contact stresses. Uniform wear across the tooth surface is important, achieved by profile and length modifications of the tooth. The so-called "contact patch" — the contact area on the tooth surface during engagement – should maximize area without reaching the tooth edges, even under maximum loads.

The presence of residual compressive stress in the surface layers of the teeth, up to a depth of 0.02 mm, also improves wear resistance under contact stress. Carburizing and nitrocarburizing offer advantages over nitriding, including a wide range of layer thickness control, compatibility with low- and medium-alloy steels, high productivity, and the option for hardening after slight cooling or directly from diffusion saturation temperature. These methods also provide high bending and contact endurance indicators for the teeth [1, pp. 12-16].

Gears made of low- and medium-alloy steels, after surface carburizing and hardening, reach a hardness of HRC 55...63 at a carbon concentration of 0.8...1.1 %, while the core retains a tough structure with a hardness of HRC 33...45, resistant to

impact loads. For gears operating under high contact loads, the carbon concentration in the tooth surface layers is increased to 1.1...1.4 % without increasing hardness. The thickness of the carburized layer (distance from the tooth's side surface to layers with hardness HRC $\leq$ 51) mainly depends on the gear module, averaging 0.2 mm. If needed, for instance, to enhance gear strength or increase allowance for finishing after chemical-thermal treatment, the thickness of the carburized layer can be increased.

Recently, gas vacuum carburizing has been widely applied. The best results have been achieved when combining vacuum carburizing with subsequent gas quenching (using helium or nitrogen) under high pressure [2, p. 235].

Since gas vacuum carburizing with subsequent quenching allows for reducing errors in kinematic accuracy, smooth operation, tooth contact, and side clearance by 20...25 % compared to atmospheric carburizing and oil quenching, the allowance on the tooth side has decreased by 10...15%. This has increased the efficiency of finishing processes, such as gear grinding, and reduced the impact of "technological inheritance" on manufacturing accuracy.

Conclusions. Gas vacuum carburizing combined with quenching provides gear wheels made of alloy steels with high surface hardness of HRC 58...63, as well as high contact endurance (300...1650 N/mm²) and bending endurance (320...540 N/mm²) of the teeth. The main advantages of this technology include the reduction of deformation in the teeth of the hypoid gear, which allows a 10...15% reduction in machining allowances on the teeth, increased productivity in gear grinding after thermochemical treatment, and a decreased impact of "technological inheritance" on the gear's manufacturing accuracy. Advantages also include reduced shaft deformation and the absence of contamination (such as soot and scale) after thermochemical treatment, which are typical for carburizing in atmospheric furnaces and oil quenching. This allows the elimination of straightening and washing operations for workpieces from the technological process.

References:

1. Калашников А. С., Моргунов Ю. А., Калашников П. А. Хіміко-термічна обробка зубчастих коліс із використанням газової вакуумної цементації. Інженерний журнал. 2013. № 10. – С. 12-16.
2. Удосконалення технології виготовлення косозубих коліс та конічних шестерень / Ніколаєв О. Л., Поліщук В. А., Сич А. В. та ін. / Суднова енергетика: стан та проблеми : Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв : Видавничий дім «Гельветика», 2021. – С. 235-239.

ASPECTS OF MARINE FUEL OILS SULPHUR REDUCTION

Dzygar A. K.

Senior lecturer

Pohorletskyi D. S.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Gritsuk I. V.

Doctor of Technical Sciences, Professor

Khudiakov I. V

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Kherson State Maritime Academy

Kherson, Ukraine

MARPOL Annex VI, [1] which controls air pollution from ships, includes a requirement that either the fuel does not exceed a specified maximum sulfur content, or an approved equivalent alternative means is used. During the lifetime of this document, regional and/or national authorities can introduce their own local emission requirements, which can impact the allowable sulphur content. It is the buyer's and the user's responsibility to establish which statutory requirements are necessary to meet and specify on that basis the corresponding maximum fuel sulphur content to the seller.

No doubt that started on 1-st January 2020 global reduction Sulphur content till 0.5 % of marine fuel bunker will give good result to reduce air pollution. As per IMO preliminary calculation that overall Sulphur oxide emissions from ships expected to drop 77 %. Also expected very positive impacts on human health and diseases such as premature deaths, cardiovascular, respiratory and pulmonary will be reduced.

The International Standards Organisation (ISO) has released the latest version of the marine fuel specification, ISO 8217:2024, effectively replacing the previous ISO 8217:2017 standard, and introduces updates, most notably the inclusion of 0.50 % Very Low Sulphur Fuel Oil (VLSFO) grades, which have become the predominant marine fuel following the IMO 2020 regulation. The New standard features four new RM grades for fuels with 0.50 % or 0.10 % sulphur content and five new 'RF' biofuel grades with unrestricted FAME content.

Characteristics	Units	Limit	Category ISO-F-					Test Method(s)
			RF20	RF80	RF180	RF380	RF500	
General requirements			Clauses 5 to 10					
Viscosity @ 50°C (a)	mm2/s (b)	max.	20,00	80,00	180,0	380,0	500,0	ISO 3104
		min.	2.000 (c)	20,00	80,00	120,0	380,0	
Density @ 15°C	kg/m3	max.	955,0	991,0			1010,0	ISO 3675 or ISO 12185
CCAI		max.	860	870				Dens/Visc formula
Sulfur	% mass	max.	Statutory requirements (d)					ISO 8754 or ISO 14596 or ASTM D4294 or ASTM D2622
Flash Point	°C	min.	60,0					ISO 2719 Proc. B
Hydrogen Sulfide	mg/kg	max.	2,00					IP 570
Acid Number	mg KOH/g	max.	2,5					ASTM D664 Proc. B
Carbon Residue, Micro (MCR)	% mass	max.	10,00	15,00		18,00	20,00	ISO 10370
Pour Point (upper)(e)	°C	max.	6	30				ISO 3016
Water Content	% vol.	max.	0,30	0,50				ISO 3733
Ash Content	% mass	max.	0,070	0,100			0,150	ISO 6245
Vanadium	mg/kg	max.	150	350			450	IP 501, IP 470 or ISO 14597
Sodium	mg/kg	max.	50	100				IP 501 or IP 470
Aluminium + Silicon	mg/kg	max.	40	60				IP 501, IP 470 or ISO 10478
Unrefined Used lubricating Oil (ULO)	mg/kg		Ca > 30 and Zn > 15 or Ca > 30 and P > 15					IP 501, IP 470 or IP 500
Potential Total Sediment (TSP)	% mass	max.	0.10 (f)					ISO 10307-2 Proc. A
Accelerated Total Sediment (TSA)	% mass	-	Report (g)					ISO 10307-2 Proc. B
Existent Total Sediment (TSE)	% mass	-	Report (g)					ISO 10307-1
FAME Content	% mass	-	Report (h)					ASTM D7963 or IP 631
Net Heat of Combustion (LCV)	MJ/kg	-	Report (g)					ASTM D240

Ships' owners had time to decide which way choose to be complied with MARPOL Annex VI, reg.14, and it was a very drastically reduction of Sulphur limit in fuel [1]. Finally, three options with some variations had been chosen till due date 01-st January 2020:

- consumption compliant fuel oil, 0.5 % Sulphur (VLSFO) by single fuel Engines (MC/ME/-C types of Engines);
- consumption by dual fuel Engines (ME-GI, ME-LGI types of Engines) compliant oil: LNG, Ethane, LPG & 0-0.5 % S fuel);
- consumption 0-3.5% S fuel + Scrubber by MC/ME/-C types of Engines;
- consumption of Fuel Oils [1, 2, 3, 7]: ULSFO 0.10 % S – due to ECA requirements (expected new local zones) will continue to be used, and appearing in the market new fuels within range 0.10 Sulphur. Mostly fuel oils are distillates, but also in market is gas oil blended with residual oil. Additional operation precautions required to use distillate oil due to low viscosity, especially for fuel system components. Stability, compatibility, purification problems, and contamination are related to blended fuel oils.

VLSFO 0.50 % S – to be in compliant the 0.50 % Sulphur cup possible to blend refinery residual product up to 40 % with low Sulphur distillate oil. In result the fuel oil is compliant good quality oil, but with compatibility and stability problems.

Each option has positive and negative aspects:

Option	Positive	Negative
Consumption compliant fuel oil, 0.5 % Sulphur (VLSFO) by single fuel Engines (MC/ME/-C types of Engines);	1.Minimum investment for change over to compliant Fuel Oil 0.5% Sulphur; 2.Upgrading engines and machinery is not required; 3.Same crew can run ship without additional training;	1.Fuel oil price is HIGH, in some region VLSFO is not available or very HIGH price; 2.Possibility wearing or damage of engine parts due to Cat fines and purification problems due to non-compatible grades of fuel oils; 3.Investment to new generation purifier and equipment for monitoring wearing liners and piston rings; 4.Cylinder oils with appropriate TBN should be used;
Consumption by dual fuel Engines (ME-GI, ME-LGI types of Engines) compliant oil: LNG, Ethane, LPG & 0-0.5 % S fuel	1.Compliant fuel may be used without change over for ECA zones; 2. LNG may become the main shipping fuel of the future, but due to expensive it will be not soon;	1.Invested new generation engines for newbuilt ships or upgraded engine for ships in operation; 2.Boiler fuel oil system and burner had been upgraded; 3.Ship's bunkering and storage fuel system had been upgraded; 4.Basic training, model courses 7.13 for crew and advanced training for all officers and other personnel, model course 7.14, subject to the IGF code required. 5.Equipped for bunkering ports are not available in some areas;
Consumption 0-3.5 % S fuel + Scrubber by MC/ME/-C types of Engines	1. Allow operators to continue using the cheap, abundant residual fuels they already know well; 2. Scrubbers already in operation have proven capability to handle of high levels of Sulphur in fuel; 3.Dry Scrubbers with sodium-based sorbent the final exhaust released in compliant with all emissions regulations are available already.	1.ECA zones change over required; 2. Scrubbers are required investment, space close to ship's funnel, additional equipment in ER, tank for close loop system (increasing number of ports with local requirements to use only close loop Scrubbing system); 3.Additional work load for maintenance and operation Scrubber, and monitoring, correct recording scrubbing process due to ship under focus of PSC & MARPOL;

Consumption fuel oil in past years in ECA and since 01.01.2020 already shown:

- intensive wearing of cylinder liners due to cat fines. Required additional control and lubricating oil laboratory for monitoring wearing;
- purification and filtration problems due to incompatibility;
- change over to new bunkered oil is always risk, required minimum contamination with previous fuel oil, which is not possible and safe. Sometime also required cleaning fuel tanks.

Heavy fuel oil (HFO) with scrubbers [3, 7] – cheapest and attractive option for many ships. Since started to use in operation the scrubbers have shown good result to handle high level of Sulphur in fuel. Corrosion of scrubbing components is main problem. Dry scrubbing system in market should partly reduce this problem. Exhaust temperature after engine is increased due to raise back pressure after turbochargers, and additional monitoring / adjustment is required.

LNG – as per ExxonMobil assessment that 12 % of the fuel in 2040 year will be gas. LNG Sulphur content is well below the limit, and has clean burning properties. LNG is mostly methane, and is powerful greenhouse gas. Gas leakages, which cannot be avoided in operation are serious environmental concern, and burning LNG carbon dioxide release in atmosphere is very high. For management and operating ship's machinery and system with LNG fuel is required very well-trained ship staff, modern equipment and calibrators to control bunkering, storage and burning processes. Due to cost of manufacture, transport, and storage regulation number of LNG ships are around 200, but expected to grow in new builds.

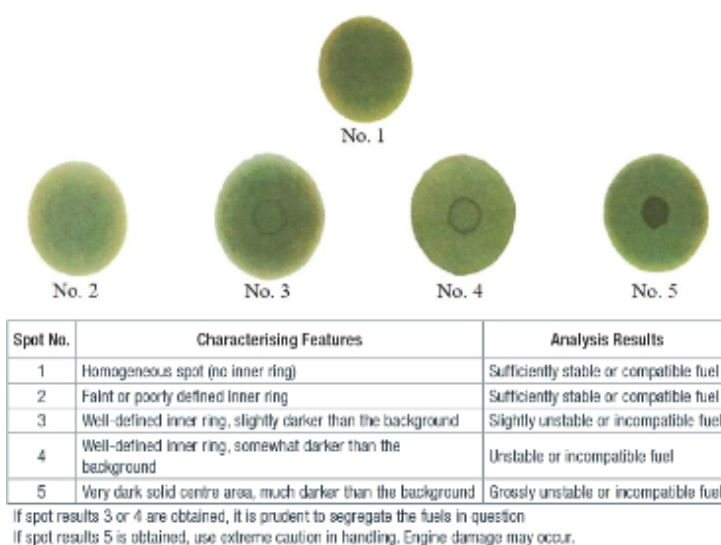
General difficulties with new fuel oils [8]: Instability – storage onboard, sometime for few months, due to specific ship operation is required stable fuel oils. It is related to blended fuel oils especially. The fuel is considered stable if it tends to retain its material properties over time. Unstable fuels suffer chemical changes in the short term that can cause severe operational problems: unstable distillates, unsaturated hydrocarbons become oxidized, producing resins, gums, and varnishes. Sludge accumulation in the storage tanks, piping systems or centrifuges and filters causes purifier, filter, heaters, and pipes chokes.



In unstable residual fuels, asphaltenes, polar, hydrocarbon molecules tend to clump together, forming sludges. These sludges are sticky and highly viscous. Ship's engines consuming unstable fuels can suffer risk of damage pistons, piston rings, cylinder liners due to problems with combustion. For the residual fuels, blending was principally in terms of viscosity control but then, with the greater availability of high-density refinery products, density also became a blending factor. The restrictions on marine fuel sulphur content, defined by MARPOL Annex VI, Regulation 14.1.3, have changed the blend target from viscosity and density to sulphur, fuels shall be sulphur compliant in accordance to statutory requirements.

The stability of a residual fuel - its resistance to precipitate asphaltenic sludge despite thermal and ageing stresses, while handled and stored under normal operating conditions. ISO 8217 specifies that fuels must be stable. The thermal and mechanical stresses likely to be faced during storage, handling and through centrifugal treatment onboard. Extended storage time can degrade the fuel to eventually break up, become unstable and deposit asphaltenic sludge. There is no definitive way of assessing how long a fuel will remain homogenous and stable during storage, handling or treatment on board, it is recommended to apply "first-in first-out" principle on the use of fuel batches, and advice has suggested to use fuels within 6 months, however, with the introduction of VLSFOs this period might need to be reduced.

Incompatibility. Nevertheless, two or more fuels may be stable, but mixing them together can produce an unstable blend. This is called incompatibility of fuels. On board received bunker have to send for detail analysis to shore laboratory, and only in unavoidable situation start consumption newly received fuel oil, but at least simple compatibility check to mix new and previous fuels should be completed. Regularly cleaning bunker tanks to be included in ship's planned maintenance plan for crew or using opportunity dry dock repair. We can expect that fuels incompatibility to grow problems for the ship's engines since 2020-year new fuels appeared onto bunker market.



Formation of flocculation or separation of asphaltenes, precipitating sludge, blocked filters and separators. On the engines increased wear and tear, higher black carbon emissions and even fires in engines were observed. To solve abovementioned problems is necessary to homogenize the VLSFO.

Another attention [4, 5, 6, 8]:

Temperature – Fuels have various viscosities, and as result different temperatures in engine booster fuel oil systems. Change over fuel oil procedures have to be under special attentions ship's engineers in order to avoid thermal stress of the fuel oil precision parts such as fuel pump and injectors. Also, avoidance risk of fire due to fuel flash point temperature is important.

Cylinder oil – Lubrication of 2-stroke engines to be under special attention. Adjustment cylinder oil consumption to be carried out depend of fuel oil and maker or owner recommendation, then regularly inspection cylinder liner, piston, piston

rings condition required in order to correct dozing cylinder oil. Correct TBN of lubricating oil is necessity aspect to protect engine wearing.

Cat fines – VLSFO can have can fines in fuel high level. As per Fuel Standard ISO 8217 content of Aluminium plus silicon limit 60 mg/kg of RMG and RMK fuels. Removing sulphur from fuel requires catalysts, which leave behind small, hard particles that can damage engines and fuel equipment. Proper purification and then filtration by modern cleaning fuel oil system is required. Level of aluminium plus silicon (cat fines) below 15 mg/kg of cleaned fuel oil is acceptable for engine consumption without risky of excessive wearing engine parts.

Water and microbial contamination – Water can accumulate in fuel due to bunker may contain up to 0.5 % water in fuel volume and some fuels attract water. New purifier can remove water from fuel or required to operate two purifiers, one for purification and one for clarification. Remove water required to avoid corrosion of engine components. Microbial contamination can be reason blockages and corrosion.

Conclusions of the article

Additional training and proper awareness for ships engineers required. Since beginning 2020 year started new phase of the marine engine fuel oil consumption, and situation will change so fast in this transition period. Ships engineers, who finally carry out management of bunkering, storage, preparation of fuel oil such as cleaning, filtering, adjustment and maintenance engine fuel system components should be very well aware with all aspects new fuel oils.

Responsibility of ships companies' principals, technical management of ship owner in cooperation bunker suppliers, refiner industrials, shipyards, engine and marine machinery makers to provide ships engineer information regarding new fuel oils which supplied vessels for safety marine operation.

Additional training, refreshment knowledge, proper briefing of marine fuel management may need for newly in rank engineer or if expected new type engine and equipment onboard. Importance of correct recording and reporting all procedures of operating compliant fuels.

All above are essential for successfully operation of marine industry.

References:

1. MARPOL, Annex VI- Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships, Chapter 3 – Requirements for control of emissions from ships, Regulation 14 - Sulphur oxides (SOx), [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pollution Prevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-\(SOx\)-%E2%80%93-Regulation 14.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pollution%20Prevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-(SOx)-%E2%80%93-Regulation%2014.aspx)
2. The Standard Club, Blending of fuel on ship for achieving compliance with IMO 2020 regulation, <https://www.hellenicshippingnews.com/blending-of-fuel-on-ship-for-achieving-compliance-with-imo-2020-regulation/>
3. Maritime and Port Authority of Singapore, IMO 2020 Fuel Oil Sulphur Limit, <https://www.mpa.gov.sg/web/portal/home/singapore-registry-of-ships/about-srs-and-what-new/IMO-2020-Fuel-Oil-Sulphur-Limit>;
4. Petroleum Economist, Independent Analysis for Energy Leaders, IMO 2020 promises widespread disruption, <https://www.petroleum-economist.com/articles/midstream-downstream/tankers/2020/imo-2020-promises-widespread-disruption>.
5. Reuters, Factbox: IMO 2020 - a major shake-up for oil and shipping, <https://www.reuters.com/article/us-imo-shipping-factbox/factbox-imo-2020-a-major-shake-up-for-oil-and-shipping-idUSKBN1YH1PU>;
6. IEA, Oil 2020, <https://www.iea.org/reports/oil-2020>.
7. EGCSA, MARPOL Annex VI – Compliance by ECGS, <https://www.egcsa.com/regulatory/regulatory-2/>
8. ALFA LAVAL, Optimizing the entire fuel line to address 2020 fuel challenges, <https://www.alfalaval.com/industries/marine-transportation/marine/marine-news/near-newsletter/optimizing-the-entire-fuel-line-to-address-2020-fuel-challenges/>

ГІБРИДНІ СИСТЕМИ НА БАЗІ СУДНОВИХ ДВЗ: ПОЄДНАННЯ ТРАДИЦІЙНИХ І НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ

Дрозд О. В.

канд. техн. наук, доцент

Алтухов Є. П., Бондаренко А. О., Вігулярний С. С.

магістранти, група 6220м

Херсонський навчально-науковий інститут

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Херсон, Україна

Сучасна судноплавна індустрія стикається з безпрецедентними викликами, спричиненими необхідністю знижувати вплив на навколишнє середовище та одночасно підвищувати ефективність суднових енергетичних систем. На фоні глобальних зусиль щодо декарбонізації, поєднання традиційних двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) з електричними системами, тобто гібридизація, відкриває нові горизонти в суднобудуванні та експлуатації морських суден.

Традиційні суднові ДВЗ залишаються основним джерелом енергії для більшості комерційних суден, однак вони виявляються екологічно неефективними через значні викиди вуглекислого газу (CO₂), оксидів сірки (SOx) та оксидів азоту (NOx). Ці викиди не лише впливають на глобальні зміни клімату, але й наводять до суворіших регуляторних норм, таких як MARPOL Annex VI, які вимагають поступового зниження викидів від суден. Це створює термінову потребу у впровадженні технологій, які могли б зменшити залежність від викопного палива і знизити загальний екологічний вплив.

Гібридні енергетичні системи, що поєднують роботу ДВЗ з електродвигунами та акумуляторами, є перспективним напрямком розвитку. Вони здатні не тільки підвищити паливну ефективність, але й забезпечити гнучкість роботи суден в умовах змінного навантаження.

Гібридні суднові енергетичні системи можуть мати кілька варіантів архітектури, в залежності від конкретних завдань судна. Найпоширенішими є такі схеми:

- серійна гібридна система: ДВЗ використовуються для генерування електроенергії, яка передається на електричні двигуни. Така схема дозволяє використовувати ДВЗ в оптимальних режимах, незалежно від поточного навантаження на судно.

- паралельна гібридна система: і ДВЗ, і електричні двигуни можуть одночасно приводити в рух судно, розподіляючи навантаження між собою. Це дозволяє використовувати електродвигуни для маневрування або під час роботи на низьких швидкостях, а ДВЗ – на високих швидкостях або при підвищеній потребі в потужності.

- комбінована система: деякі сучасні судна використовують комбіновані гібридні установки, де є можливість гнучко перемикатися між серійним і паралельним режимами роботи, що дає максимальну ефективність залежно від експлуатаційних умов.

Застосування потужних літій-іонних акумуляторних систем є ключовою складовою сучасних гібридних установок. Вони дозволяють накопичувати надлишкову енергію, зокрема з відновлювальних джерел (сонячних панелей чи вітрогенераторів), та використовувати її в моменти пікових навантажень або при роботі на низьких швидкостях. Дослідження показують, що впровадження акумуляторів дозволяє знизити витрати палива до 20 % залежно від умов експлуатації.

Гібридні суднові системи на основі ДВЗ з електричними компонентами дозволяють значно підвищити енергоефективність за рахунок оптимізації режимів роботи. Традиційні суднові ДВЗ часто працюють на невеликих обертах і при низькому навантаженні, що суттєво знижує їхній коефіцієнт корисної дії (ККД). За таких умов двигун витрачає більше палива для вироблення необхідної кількості енергії, ніж це необхідно. У гібридних системах, електродвигуни можуть брати на себе частину роботи, особливо в умовах, коли не потрібна максимальна потужність.

Наприклад, під час маневрування в порту або при русі на низьких швидкостях, електродвигуни можуть забезпечити необхідну тягу, в той час як ДВЗ працюють або на мінімальних обертах, або взагалі вимикаються, що дозволяє суттєво економити паливо. Крім того, у серійній гібридній архітектурі, ДВЗ може працювати в найбільш оптимальному діапазоні обертів, незалежно від швидкості судна, оскільки електродвигуни перетворюють його механічну енергію на електричну, а вона вже використовується для руху судна.

Дослідження показують, що за рахунок оптимального розподілу навантаження між ДВЗ та електричними компонентами, економія палива може сягати 15...30 %. Крім того, система рекуперації енергії дозволяє збирати і використовувати відпрацьовану теплову енергію або кінетичну енергію гальмування для заряджання акумуляторів, що додатково підвищує ефективність судна.

Гібридні системи сприяють значному зниженню викидів шкідливих речовин, зокрема вуглекислого газу (CO_2), оксидів азоту (NO_x) та оксидів сірки (SO_x). Це досягається завдяки меншій частоті роботи ДВЗ на малоефективних режимах та частковому переходу на електричну тягу.

Уявімо стандартний режим роботи судна на традиційних ДВЗ. Під час стоянки в порту або при невеликих швидкостях судно часто продовжує спалювати дизельне паливо, що генерує значну кількість шкідливих викидів. При використанні гібридної системи, електродвигуни або акумулятори можуть забезпечити рух і живлення на стоянці, зменшуючи або повністю виключаючи роботу ДВЗ.

Зниження викидів шкідливих речовин особливо важливо для суден, що експлуатуються в зонах контролю викидів (Emission Control Areas, ECA), таких як Північне море або Балтійське море, де діють жорсткі обмеження на викиди оксидів сірки та азоту. Використання гібридних систем дозволяє суднам відповідати цим вимогам і зменшувати негативний вплив на навколишнє середовище.

Окрім того, системи управління гібридною установкою можуть забезпечувати точне регулювання режимів роботи ДВЗ, що дозволяє мінімізувати утворення незгорілих залишків і покращити процес згоряння палива, знижуючи викиди твердих часток і диму.

Гібридні системи виступають як місток до повної електрифікації суднової індустрії. Вже сьогодні, зростає кількість суден, які використовують електричні двигуни в якості основного джерела тяги, а гібридні системи сприяють цьому переходу, поєднуючи традиційні ДВЗ з новітніми акумуляторними системами.

Завдяки постійному розвитку технологій зберігання енергії, таких як літій-іонні батареї та перспективні водневі паливні елементи, судна зможуть працювати повністю на електричній тязі без використання ДВЗ на коротких маршрутах, або у прибережних водах, де важливо уникати забруднення. Водневі технології, зокрема, можуть стати довгостроковим рішенням для великих суден, оскільки водень є перспективним паливом з нульовими викидами CO_2 при спалюванні або в процесі конверсії у паливних елементах.

У довгостроковій перспективі, електрифікація судноплавства буде значною мірою залежати від розвитку інфраструктури для заряджання або заправки суден відновлюваними джерелами енергії. У цьому контексті, гібридні

судна відіграють важливу роль у забезпеченні гнучкості і переході до більш чистих форм енергії, що відповідають екологічним нормам і глобальним вимогам декарбонізації морських перевезень.

Таким чином, гібридні системи є важливою перехідною технологією, яка дозволяє не тільки знизити викиди і підвищити ефективність суднових ДВЗ, але й сприяти поступовому переходу до повної електрифікації судноплавства.

Одним із ключових викликів є висока вартість впровадження гібридних систем, зокрема акумуляторних технологій і систем керування. Також необхідна подальша оптимізація інтеграції ДВЗ з електричними системами для забезпечення максимального ККД.

Індустрія морських перевезень потребує активної підтримки з боку урядів і міжнародних організацій у вигляді регуляторних стимулів, які б сприяли широкому впровадженню гібридних систем. Регуляції щодо зниження викидів вимагають адаптації до нових стандартів, зокрема ІМО (Міжнародної морської організації).

Висновок. Гібридні суднові системи, що поєднують двигуни внутрішнього згоряння та електричні приводи, представляють собою перспективний шлях до підвищення енергоефективності суден та зменшення їх екологічного впливу. Завдяки можливості адаптації до різних режимів експлуатації та використанню акумуляторних технологій, вони здатні значно знизити витрати палива і шкідливі викиди. Водночас, впровадження таких систем потребує подолання технологічних і регуляторних викликів, що вимагає тісної співпраці між суднобудівниками, операторами суден та міжнародними органами.

Література:

1. Carlton, J. S. (2019). Marine Propellers and Propulsion (4th ed.). Butterworth-Heinemann.
2. Baldi, F., Ahlgren, F., Nguyen, T.-V., & Andersson, K. (2018). Energy and Exergy Analysis of a Cruise Ship – A Case Study of a Combined Diesel Electric and Steam Turbine Propulsion System with Energy Storage. *Energy Conversion and Management*, 174, pp. 356-374.
3. International Maritime Organization (IMO) (2020). Fourth IMO Greenhouse Gas Study. London: IMO.

ЕКОЛОГІЧНІ ВИКЛИКИ ТА ШЛЯХИ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ СУДНОВИХ ДВЗ: ПОГЛЯД НА МАЙБУТНЄ

Нікіфоров Р. А., Павловський М. В

магістранти, група 6220м

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

Колесников О. В.

Морський Суперінтендант та Портовий Капітан,
FANTASEA Ship Management, Морська компанія

Судноплавна галузь відіграє важливу роль у світовій економіці, забезпечуючи понад 80 % міжнародних товарних перевезень. Однак, вона також є значним джерелом забруднення навколишнього середовища. За даними Міжнародної морської організації (ІМО), судноплавство генерує близько 2...3 % світових викидів вуглекислого газу (CO_2), а також значну частину викидів оксидів азоту (NO_x) та сірки (SO_x), що сприяє кислотним дощам і глобальному потеплінню. Традиційні суднові двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) використовують важке паливо, яке є високовуглецевим та містить велику кількість сірки. Це викликає значне занепокоєння щодо впливу судноплавства на зміну клімату.

У зв'язку з посиленням екологічних стандартів, зокрема Паризькою угодою та ініціативами ІМО щодо скорочення викидів парникових газів на 50 % до 2050 року, виникає необхідність розробки нових підходів до декарбонізації судноплавства. Вирішення цих екологічних викликів потребує впровадження інноваційних технологій, які дозволять суттєво знизити викиди вуглецю та покращити екологічну ефективність суднових ДВЗ. Ця доповідь спрямована на аналіз основних екологічних проблем, пов'язаних з експлуатацією суднових ДВЗ, а також на розгляд перспективних шляхів декарбонізації, які можуть забезпечити сталий розвиток судноплавства в майбутньому.

Викладення основного матеріалу.

1. Екологічні виклики в суднопластві

1.1 Вплив викидів ДВЗ на навколишнє середовище

Основними джерелами забруднення від суднових ДВЗ є викиди CO_2 , NO_x та SO_x . Ці речовини мають значний негативний вплив на атмосферу та океани:

- викиди CO_2 сприяють глобальному потеплінню, підвищуючи температуру Землі та викликаючи зміну клімату.
- оксиди азоту (NO_x) є причиною утворення смогу та кислотних дощів, що шкодить екосистемам та здоров'ю людей.
- оксиди сірки (SO_x), що містяться у важкому судновому паливі, спричиняють утворення дрібнодисперсних частинок, які впливають на якість повітря та сприяють розвитку респіраторних захворювань.

1.2 Стандарти та регулювання

Міжнародна морська організація (ІМО) запровадила ряд нормативних актів, спрямованих на скорочення викидів. Наприклад, ІМО 2020 обмежила вміст сірки в судновому паливі до 0,5 % (з попереднього рівня 3,5 %), що призвело до необхідності переходу на більш чисті види палива або встановлення систем очищення вихлопних газів (скрубєрів). Також, згідно з ІМО 2050, галузь має скоротити викиди CO_2 на 70 % на одиницю транспортної роботи до 2050 року порівняно з рівнем 2008 року.

2. Шляхи декарбонізації суднових ДВЗ

2.1 Використання альтернативних видів палива

Одним із найбільш перспективних напрямів декарбонізації є впровадження альтернативних видів палива:

- зріджений природний газ (LNG): має нижчий вміст вуглецю та сірки порівняно з традиційним паливом, що дозволяє знизити викиди CO₂ на 20...25 % та повністю усунути викиди SO_x.
- метанол: забезпечує скорочення викидів CO₂ на 10...15 % і може використовуватися в існуючих ДВЗ з мінімальними модифікаціями.
- водень: є повністю безвуглецевим паливом, яке під час спалювання утворює лише водяну пару. Водневі паливні елементи можуть забезпечити нульові викиди, але потребують значних інвестицій у нову інфраструктуру.

2.2 Гібридизація та електрифікація

- гібридні системи поєднують традиційні ДВЗ з електричними двигунами, що дозволяє оптимізувати витрати палива та зменшити викиди. Наприклад, система «Diesel-Electric» дозволяє використовувати електродвигун для руху судна на низьких швидкостях, знижуючи витрати палива до 20 %.
- повна електрифікація поки що є обмеженою через високі вимоги до енергомісткості акумуляторів, але перспективи розвитку технологій зберігання енергії можуть зробити цей підхід реалістичним у майбутньому.

2.3 Цифрові технології та штучний інтелект

Використання цифрових технологій та штучного інтелекту (ШІ) є ще одним ефективним способом підвищення екологічної ефективності суднових ДВЗ:

- системи управління енергією можуть оптимізувати роботу двигуна, знижуючи витрати палива та викиди CO₂.
- прогнозування технічного стану (Predictive Maintenance) дозволяє вчасно виявляти несправності та оптимізувати графік технічного обслуговування, що сприяє зменшенню викидів за рахунок більш ефективної роботи двигунів.
- цифрові двійники (Digital Twins) дозволяють моделювати роботу судна в різних умовах і прогнозувати його енергоспоживання, що сприяє підвищенню ефективності використання палива.

2.4 Поліпшення аеродинаміки та гідродинаміки суден

Оптимізація форми корпусу та впровадження інноваційних матеріалів для зниження опору води дозволяє значно скоротити витрати палива. Наприклад, використання повітряних подушок або обдувальних систем може зменшити опір до 10 %, що безпосередньо впливає на ефективність суднових ДВЗ.

3. Інвестиції в наукові дослідження та інновації

Розвиток судноплавства у напрямку декарбонізації потребує значних інвестицій у дослідження та впровадження нових технологій. Це включає створення партнерств між державами, приватним сектором та науковими установами для розробки екологічно чистих технологій та альтернативних джерел енергії.

Висновки. Судноплавна галузь стикається з низкою екологічних викликів, які потребують термінових заходів для зниження викидів шкідливих речовин. Використання альтернативних видів палива, цифрових технологій, гібридних систем та вдосконалення аеродинаміки суден є ключовими напрямками для досягнення цілей декарбонізації. Інтеграція інноваційних технологій дозволить не лише зменшити негативний вплив на довкілля, але й забезпечити сталий розвиток судноплавства у довгостроковій перспективі.

Література:

1. IMO Marine Environment Protection Committee. Reduction of GHG Emissions from Ships. International Maritime Organization, 2021.
2. Sustainable Marine Fuels, DNV GL, 2022.
3. Digitalization in Shipping: A Path to Decarbonization, Maersk Line Whitepaper, 2023.
4. Alternative Fuels in Maritime Transport, European Maritime Safety Agency, 2022.
5. Hydrogen as a Future Marine Fuel, Lloyd's Register, 2023.

ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ СУДНОВИХ ДВЗ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ВОДНЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Герус Є. С., Єложенко О. О., Єременко І. І.

магістранти, група 6220м

Херсонський навчально-науковий інститут

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Херсон, Україна

Колесников О. В.

морський Суперінтендант та Портовий Капітан,

FANTASEA Ship Management, Морська компанія.

Ефективність роботи суднових двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) є одним із ключових факторів, що впливають на економічність та екологічність морських перевезень. У сучасних умовах глобального потепління та посилення міжнародних норм щодо викидів шкідливих речовин, таких як IMO (International Maritime Organization), оптимізація роботи суднових ДВЗ стає критично важливою задачею. Традиційні суднові палива, такі як мазут і дизельне паливо,

характеризуються високим вмістом сірки і значними обсягами викидів CO_2 , NO_x та SO_x , що негативно впливає на навколишнє середовище.

Крім того, сучасні тенденції свідчать про зростаючий інтерес до використання альтернативних видів палива, зокрема водневих технологій, які здатні забезпечити підвищення ефективності згоряння та зниження шкідливих викидів. Водень, як екологічно чисте джерело енергії, може відігравати важливу роль у переході до більш сталого судноплавства. Проте, інтеграція водневих технологій у суднові ДВЗ супроводжується численними технічними викликами, які потребують детального аналізу та оптимізації.

У зв'язку з цим метою даної доповіді є дослідження можливостей оптимізації роботи суднових ДВЗ шляхом впровадження водневих технологій, аналіз їх впливу на паливну економічність, продуктивність і зменшення викидів шкідливих речовин.

Технічні особливості використання водню в суднових ДВЗ. Впровадження водневих технологій в судноплавство відкриває широкі можливості для зниження викидів і підвищення ефективності двигунів. Водень має високу теплоутворюючу здатність (120 МДж/кг), що майже втричі перевищує аналогічний показник для дизельного палива. Це означає, що водень може забезпечити більшу енергетичну потужність при меншій кількості спожитого палива.

Проте використання водню в суднових ДВЗ вимагає певних модифікацій. Серед основних технічних викликів варто виділити:

- потребу у спеціальних системах зберігання водню під високим тиском або в рідкому стані при наднизьких температурах (-253°C).

- необхідність зміни конструкції камери згоряння для покращення змішування водню з повітрям, що забезпечує рівномірне згоряння.

- оптимізація системи впорскування водню, щоб уникнути детонації та досягти стабільного згоряння.

Вплив водню на ефективність роботи суднових ДВЗ. Дослідження показують, що додавання водню до традиційного дизельного палива у вигляді водневих сумішей може суттєво покращити процеси згоряння. Це призводить до збільшення теплового коефіцієнта корисної дії (ККД) двигуна та зменшення специфічної витрати палива. Вплив водневих добавок на параметри двигуна можна описати математичною моделлю:

Дослідження вказують, що додавання 5...10 % водню до дизельного палива може підвищити ефективність двигуна на 10...15 %, а також знизити викиди CO_2 на 20...25 %.

Екологічні переваги впровадження водневих технологій. Впровадження водневих технологій у судноплавстві є одним із найперспективніших шляхів досягнення екологічної сталості в морському транспорті. Традиційні суднові палива, такі як мазут і дизель, містять значну кількість сірки та інших шкідливих компонентів, що призводить до викидів CO_2 , NO_x (оксидів азоту) та SO_x (оксидів сірки). Ці викиди мають значний вплив на глобальне потепління, підвищення кислотності океанів та погіршення якості повітря у прибережних районах. У зв'язку з цим, міжнародне морське співтовариство, зокрема Міжнародна морська організація (ІМО), постійно посилює вимоги до екологічності суден.

Водень як паливо є екологічно чистою альтернативою, оскільки під час його згоряння утворюється лише вода (H_2O), що не спричиняє шкідливих викидів. Використання водню може суттєво знизити викиди парникових газів, які є основною причиною зміни клімату. Наприклад, дослідження показують, що використання водневих технологій на борту суден дозволяє зменшити викиди CO_2 на 30...40 %. Це досягається завдяки вищій теплотворній здатності водню, що сприяє більш ефективному процесу згоряння та зниженню витрат традиційного палива.

Оксиди азоту (NO_x) утворюються при високотемпературному згорянні палива в присутності азоту, що міститься в повітрі. Ці викиди спричиняють утворення озону в нижніх шарах атмосфери та є однією з причин утворення смогу. Водень, через відсутність у його складі атомів вуглецю, згоряє при нижчих температурах, що зменшує кількість утворюваних NO_x на 50 %. Це особливо важливо для прибережних зон, де концентрація NO_x може призвести до серйозних екологічних проблем і проблем зі здоров'ям людей.

Щодо оксидів сірки (SO_x), то вони утворюються внаслідок спалювання палива, що містить сірку, і є основним джерелом кислотних дощів. ІМО 2020 ввела нові стандарти, що обмежують вміст сірки в судновому паливі до 0,5 %, що спонукало судновласників шукати альтернативи. Використання водню вирішує цю проблему, оскільки він не містить сірки, що призводить до практично повного усунення викидів SO_x .

Крім того, перехід на водень може сприяти зменшенню утворення твердих частинок, які є ще одним джерелом забруднення повітря. Тверді частинки, що утворюються при згорянні дизельного палива, є небезпечними для здоров'я людини, оскільки вони можуть проникати глибоко в легені і навіть в кровообіг, викликаючи респіраторні та серцево-судинні захворювання.

На додаток до зниження шкідливих викидів, впровадження водневих технологій сприяє досягненню цілей сталого розвитку, встановлених ООН, зокрема щодо боротьби зі зміною клімату (Ціль 13), збереження морських екосистем (Ціль 14) та забезпечення доступу до чистої енергії (Ціль 7). Водневі паливні елементи та гібридні системи стають все більш популярними серед судновласників, що прагнуть знизити свій вуглецевий слід і відповідати міжнародним нормам.

Таким чином, водневі технології є не лише інструментом для зниження екологічного впливу судноплавства, але й конкурентною перевагою для компаній, що прагнуть зайняти лідируючі позиції на ринку «зелених» перевезень.

Перспективи використання водню включають не лише зменшення викидів, але й потенціал для створення нових технологій зберігання та транспортування водню, що може суттєво вплинути на всю індустрію морського транспорту.

У підсумку, перехід до водневих технологій може забезпечити значні екологічні та економічні вигоди для судноплавства, що підтверджується успішними прикладами використання водню на практиці, а також активною підтримкою з боку міжнародних організацій та урядів.

Практичні приклади впровадження водневих технологій у судноплавстві. На сьогодні водневі технології вже знаходять своє застосування у судноплавстві. Наприклад, норвезька компанія Wilhelmsen активно розробляє водневі паливні елементи для застосування на пасажирських і вантажних судах. Також, японські компанії Kawasaki Heavy Industries і Mitsui O.S.K. Lines запустили проект Suiso Frontier – перше судно для транспортування рідкого водню.

Перспективи впровадження водневих технологій. Впровадження водневих технологій у судноплавстві має великі перспективи, особливо з урахуванням зростання цін на нафту та підвищення екологічних стандартів. Сучасні дослідження направлені на розробку гібридних систем, що поєднують водень та традиційне паливо, а також на використання паливних елементів для автономного живлення суден.

Висновок. Оптимізація роботи судових ДВЗ шляхом впровадження водневих технологій є перспективним напрямом розвитку сучасного судноплавства. Використання водню як доповнення до традиційного палива дозволяє суттєво підвищити ефективність роботи двигунів, знизити витрати на паливо та мінімізувати вплив на навколишнє середовище. Проте для повноцінного впровадження водневих технологій необхідні додаткові дослідження та розробка нових технічних рішень.

Література:

1. Balcombe, P., Brierley, J., Lewis, C., et al. (2019). How to decarbonise international shipping: Options for fuels, technologies and policies. *Energy Conversion and Management*, 182, 72-88.
2. Kumar, S. S., & Himabindu, V. (2019). Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review. *Materials Science for Energy Technologies*, 2(3), 442-454.
3. IMO (International Maritime Organization). (2020). IMO 2020 Sulphur limit. [Online] Available at: <https://www.imo.org>
4. Wilhelmsen Group. (2021). Hydrogen for maritime applications. [Online] Available at: <https://www.wilhelmsen.com>
5. Kawasaki Heavy Industries, Ltd. (2021). Suiso Frontier: World's first liquefied hydrogen carrier. [Online] Available at: <https://global.kawasaki.com>

ОСНОВНІ НАПРЯМИ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ГОЛОВНИМ СУДОВИМ ДВИГУНОМ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Шалапко Д. О.

канд. техн. наук, доцент кафедри судового машинобудування та енергетики

Кухаренко О. О., Ратушний С. І.

Магістранти, група 6227м

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

Судноплавна індустрія відіграє важливу роль у глобальній економіці, забезпечуючи транспортування товарів та сировини між континентами. Однак, сучасне судноплавство стикається з численними викликами, серед яких підвищення ефективності використання палива, зниження викидів шкідливих речовин та забезпечення безпечної експлуатації суден. Використання штучного інтелекту (ШІ) у системах керування головними судовими двигунами є одним із перспективних напрямів розвитку галузі, що дозволяє автоматизувати процеси, покращувати точність прогнозів та оптимізувати роботу двигунів. У цій науковій доповіді розглянуто основні напрями вдосконалення систем керування головними судовими двигунами за допомогою ШІ з фокусом на їх експлуатацію.

Одним із ключових напрямів вдосконалення систем керування головними судовими двигунами за допомогою ШІ є автоматизація процесів та моніторинг стану обладнання. Інтеграція сенсорів та використання алгоритмів машинного навчання дозволяють у режимі реального часу відстежувати параметри роботи двигунів, такі як температура, тиск, витрата палива, вібрації та інші критично важливі показники. Ця технологія дозволяє не лише контролювати поточний стан обладнання, але й прогнозувати можливі несправності, запобігаючи раптовим поломкам та знижуючи витрати на ремонт. Система моніторингу, що базується на ШІ, може аналізувати історичні дані та порівнювати їх з поточними показниками, щоб виявляти аномалії та забезпечувати своєчасне технічне обслуговування.

Прогнозне обслуговування є ще одним важливим напрямом вдосконалення систем керування судовими двигунами. Завдяки ШІ можна створювати системи, які на основі аналізу великих обсягів даних з різних сенсорів здатні прогнозувати ймовірність виникнення несправностей та визначати оптимальні строки для проведення технічного обслуговування. Це дозволяє зменшити кількість аварійних ремонтів, підвищити надійність експлуатації суден та знизити витрати на технічне обслуговування. Прогнозне обслуговування забезпечує більш ефективне використання ресурсів та зменшує експлуатаційні витрати, що є надзвичайно важливим у умовах зростаючої конкуренції та вимог до екологічної відповідальності.

Оптимізація процесів спалювання палива є ще одним важливим аспектом вдосконалення систем керування судновими двигунами. ШІ може використовуватися для аналізу вихлопних газів та налаштування параметрів спалювання палива, що дозволяє досягати більш ефективного використання палива та зменшувати викиди шкідливих речовин. Це не лише сприяє економії витрат, але й допомагає дотримуватися міжнародних екологічних стандартів. Використання глибоких нейронних мереж дозволяє здійснювати більш точний аналіз вихлопних газів та регулювати процес спалювання у режимі реального часу, забезпечуючи оптимальні умови для ефективної роботи двигуна.

Інтеграція гібридних систем керування, що поєднують можливості ШІ з традиційними технологіями автоматизації, також є перспективним напрямом розвитку. Гібридні системи керування дозволяють використовувати дані з різних джерел для прийняття оптимальних рішень у режимі реального часу. Це сприяє підвищенню загальної продуктивності суден та забезпечує більш високу ефективність і надійність роботи судових двигунів. Гібридні системи можуть включати компоненти машинного навчання для аналізу даних та традиційні методи автоматизації для безпосереднього управління процесами. Такий підхід дозволяє комбінувати переваги різних технологій, досягаючи максимальної ефективності та надійності.

Одним із найбільш значущих напрямів впровадження ШІ у судноплавстві є розробка та впровадження автоматизованих систем керування енергоспоживанням. Ці системи дозволяють оптимізувати витрати енергії, що є критично важливим у сучасних умовах підвищених вимог до екологічної ефективності. ШІ може аналізувати дані про споживання енергії на борту судна та налаштовувати роботу обладнання так, щоб забезпечити мінімальні витрати енергії без втрати продуктивності. Це дозволяє зменшити витрати на паливо та знизити викиди парникових газів, сприяючи досягненню цілей сталого розвитку.

Крім того, використання ШІ у судноплавстві включає впровадження технологій дистанційного керування та автономних суден. Автономні судна, які керуються системами на основі ШІ, можуть виконувати складні операції без участі людини, що підвищує безпеку та знижує витрати на експлуатацію. ШІ дозволяє таким суднам аналізувати дані з численних сенсорів та приймати оптимальні рішення у режимі реального часу, що забезпечує високу точність та надійність операцій. Впровадження автономних суден відкриває нові можливості для розвитку судноплавства та створює умови для значного підвищення ефективності галузі.

Важливим аспектом використання ШІ у судноплавстві є забезпечення кібербезпеки. Системи на основі ШІ можуть стати об'єктами кібер-атак, що ставить під загрозу безпеку судноплавства. Тому розробка захищених від зламів алгоритмів та впровадження сучасних методів кібербезпеки є необхідними заходами для забезпечення надійності і безпеки цих систем. Впровадження засобів кібербезпеки, таких як шифрування даних, багаторівнева автентифікація та постійний моніторинг мережевої активності, дозволяє знизити ризик кіберзагроз та забезпечити безперебійну роботу судових систем.

Розробка адаптивних систем керування, що базуються на принципах ШІ, є ще одним важливим напрямом вдосконалення судових двигунів. Адаптивні системи керування здатні змінювати свої параметри в залежності від умов експлуатації та характеристик зовнішнього середовища. Це дозволяє досягти більш ефективного використання палива та підвищити надійність роботи двигунів. Такі системи можуть автоматично підлаштовуватися під змінні умови експлуатації, забезпечуючи оптимальні режими роботи двигунів у різних ситуаціях.

Одним із ключових аспектів використання ШІ у судових двигунах є зменшення викидів шкідливих речовин та забезпечення екологічної стійкості судноплавства. Використання ШІ дозволяє більш точно контролювати процеси спалювання палива та зменшувати викиди окису азоту, окису сірки та інших шкідливих речовин. Це не лише сприяє дотриманню міжнародних екологічних стандартів, але й зменшує негативний вплив судноплавства на навколишнє середовище. Використання алгоритмів машинного навчання для аналізу даних про викиди дозволяє забезпечити високу точність контролю та регулювання процесів спалювання, тим самим підтримуючи екологічну стійкість і сприяючи сталому розвитку галузі.

Висновок. Використання штучного інтелекту у системах керування головними судовими двигунами відкриває нові можливості для підвищення ефективності, надійності та екологічності судноплавства. Інтеграція сенсорів, автоматизація процесів, прогнозне обслуговування та оптимізація спалювання палива є основними напрямками вдосконалення систем керування судовими двигунами за допомогою ШІ. Розвиток гібридних систем керування забезпечує ще більшу ефективність, створюючи нові стандарти для галузі. Успішне впровадження цих технологій сприятиме економічному зростанню та підвищенню екологічної стійкості судноплавної індустрії.

Література:

1. Fossen, T. I. Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control / T. I. Fossen. – New York: Wiley, 2011. – 736 p.
2. Stopford, M. Maritime Economics / M. Stopford. – 3rd ed. – London: Routledge, 2009. – 840 p.
3. Söding, H., Bertram, V. Advances in Marine Navigation and Safety of Sea Transportation / H. Söding, V. Bertram. – London: CRC Press, 2013. – 320 p.
4. Ross, J. M. Smart Ships: Combining Artificial Intelligence and Maritime Engineering / J. M. Ross. – London: Springer, 2018. – 288 p.
5. Calder, N. Marine Diesel Engines: Maintenance, Troubleshooting, and Repair / N. Calder. – 4th ed. – New York: McGraw-Hill Education, 2017. – 608 p.
6. Hunt, E. C. Modern Marine Engineer's Manual / E. C. Hunt. – New York: Cornell Maritime Press, 2020. – 600 p.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВИХ ДВЗ ЗА ДОПОМОГОЮ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Дрозд О. В.

канд. техн. наук, доцент

Іванько О. І., Крамар Р. Г.

магістранти

Херсонський навчально-науковий інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Херсон, Україна

У сучасному судноплаванні підвищення ефективності двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) є однією з ключових задач, що впливають на економічні показники та екологічну стійкість галузі. Традиційні методи експлуатації суднових ДВЗ, які базуються на статичних режимах роботи, вже не відповідають вимогам сучасних стандартів ефективності та екологічності. Висока витрата палива, значні викиди шкідливих речовин (CO_2 , NO_x , SO_x), а також підвищені витрати на технічне обслуговування є типовими проблемами для більшості суднових двигунів.

Згідно з даними Міжнародної морської організації (ІМО), морський транспорт відповідальний приблизно за 2...3 % глобальних викидів парникових газів. Це спонукає до пошуку нових технологій, які здатні підвищити ефективність суднових ДВЗ і знизити їх вплив на довкілля. Останніми роками цифрові технології та штучний інтелект (ШІ) стали важливими інструментами для вирішення цих задач. Вони дозволяють оптимізувати роботу ДВЗ у реальному часі, зменшувати витрати палива, підвищувати надійність обладнання та скорочувати викиди шкідливих речовин.

Метою даної доповіді є аналіз можливостей підвищення ефективності суднових ДВЗ шляхом впровадження цифрових технологій і ШІ, а також оцінка впливу цих технологій на економічні та екологічні показники морських перевезень.

Цифрові технології в судноплаванні: огляд можливостей. Цифровізація судноплавства передбачає використання інформаційних технологій для збору, аналізу та управління даними, що стосуються роботи суден та їх обладнання. Однією з ключових областей застосування цифрових технологій є управління судновими ДВЗ. Ці технології включають:

- системи моніторингу в реальному часі (Real-Time Monitoring Systems): забезпечують безперервний контроль параметрів роботи двигунів, таких як температура, тиск, витрата палива та інші показники. Збір даних у реальному часі дозволяє виявляти відхилення від нормальних режимів роботи, що сприяє своєчасному технічному обслуговуванню.

- Big Data та аналітика: використання великих обсягів даних, зібраних із сенсорів та інших джерел, для аналізу тенденцій та прогнозування технічного стану двигунів. Big Data дозволяє виявити закономірності, які важко побачити за допомогою традиційних методів аналізу.

- IoT (Інтернет речей): інтеграція суднових систем із сенсорами та підключення їх до єдиної мережі, що дозволяє здійснювати віддалений моніторинг та управління. Наприклад, системи IoT можуть автоматично коригувати режими роботи двигуна залежно від умов навколишнього середовища.

Використання штучного інтелекту для оптимізації роботи суднових ДВЗ. Штучний інтелект відіграє важливу роль у підвищенні ефективності суднових ДВЗ, оскільки він здатен здійснювати глибокий аналіз даних і приймати рішення на основі отриманої інформації. Основні напрями застосування ШІ включають:

- прогнозування поломок (Predictive Maintenance): ШІ аналізує дані з датчиків для прогнозування можливих відмов у роботі двигунів. Це дозволяє запобігти несподіваним поломкам, що можуть призвести до значних фінансових втрат.

- оптимізація витрат палива: на основі аналізу даних про роботу двигуна та умов експлуатації, ШІ може рекомендувати зміни в режимі роботи для досягнення оптимальної паливної ефективності. Це може включати автоматичне коригування параметрів впорскування палива, тиску у камерах згоряння та інших характеристик.

- автоматичне управління (Autonomous Control Systems): інтеграція систем на основі ШІ, які здатні самостійно регулювати роботу двигуна в залежності від зовнішніх факторів, таких як хвильова активність, напрямок вітру, завантаженість судна тощо.

Переваги застосування цифрових технологій і ШІ для суднових ДВЗ. Використання цифрових технологій дозволяє досягти значної економії палива за рахунок оптимізації режимів роботи двигунів. Наприклад, дослідження показують, що впровадження системи прогнозування витрат палива може знизити споживання палива на 5...10 %. Крім того, використання ШІ для прогнозування технічного обслуговування дозволяє зменшити час простою суден, що сприяє підвищенню їхньої економічної ефективності.

Цифрові технології та ШІ сприяють зменшенню викидів шкідливих речовин завдяки оптимізації процесів згоряння палива та управлінню витратами енергії. Наприклад, автоматичне регулювання складу паливно-повітряної суміші може зменшити викиди NO_x на 15...20 %. Це відповідає вимогам ІМО щодо скорочення викидів шкідливих речовин у міжнародних водах.

Цифрові системи діагностики дозволяють виявляти потенційні несправності на ранніх етапах, що знижує ризик аварійних ситуацій на борту. Наприклад, система моніторингу стану підшипників або циліндрів може запобігти серйозним поломкам, що призводять до дорогого ремонту.

Приклади впровадження цифрових технологій і ШІ у судноплаванні.

На сьогоднішній день багато судноплавних компаній вже успішно впровадили цифрові технології та ШІ для підвищення ефективності своїх суден:

- Rolls-Royce розробила систему дистанційного моніторингу та управління судновими ДВЗ на основі ШІ, що дозволяє оптимізувати роботу двигунів у реальному часі.
- Maersk Line, один із найбільших контейнерних перевізників, активно використовує Big Data та аналітику для прогнозування витрат палива та оптимізації маршрутів.
- Norwegian Cruise Line впровадила систему, яка використовує IoT для моніторингу енерговитрат на борту та автоматичного управління електроспоживанням.

Майбутні дослідження спрямовані на вдосконалення цифрових систем та інтеграцію їх із новими джерелами енергії, такими як водень і аміак. Очікується, що подальший розвиток ШІ дозволить створювати автономні судна, які зможуть самостійно аналізувати навколишнє середовище і приймати рішення щодо оптимального маршруту, швидкості та режиму роботи ДВЗ.

Висновок. Цифрові технології та штучний інтелект мають великий потенціал для підвищення ефективності суднових ДВЗ. Їх використання дозволяє знизити витрати палива, скоротити викиди шкідливих речовин і підвищити надійність обладнання. У зв'язку зі зростанням вимог до екологічності та ефективності судноплавства, впровадження цих технологій є не лише конкурентною перевагою, але й необхідною умовою для забезпечення сталого розвитку галузі.

Література:

1. IMO Marine Environment Protection Committee. Reduction of GHG Emissions from Ships. International Maritime Organization, 2020.
2. Rolls-Royce Marine Innovation: Smart Engine Technology. Rolls-Royce, 2022.
3. Big Data in Maritime Industry, Maersk Line Whitepaper, 2023.
4. Digital Transformation in Shipping, DNV GL Report, 2021.
5. Artificial Intelligence for Autonomous Vessels, Norwegian Maritime Authority, 2023.

РОЛЬ СИСТЕМИ РЕКУПЕРАЦІЇ ЕНЕРГІЇ В ПІДВИЩЕННІ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВИХ ДВЗ

Плахотник Ю. О., Мишако Є. Є.

магістранти

Шалапко Д. О.

канд. техн. наук, доцент кафедри суднового машинобудування та енергетики

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

Судноплавна галузь є ключовим елементом глобальної економіки, забезпечуючи понад 80 % міжнародних товарних перевезень. Водночас суднові двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) споживають великі обсяги палива, що призводить до значних викидів вуглекислого газу (CO_2), оксидів азоту (NO_x) та сірки (SO_x). Ці викиди негативно впливають на довкілля, сприяючи зміні клімату, забрудненню повітря та кислотним дощам.

З огляду на посилення екологічних стандартів, зокрема ініціативи Міжнародної морської організації (ІМО) щодо скорочення викидів парникових газів, виникає нагальна потреба у впровадженні інноваційних технологій, які підвищують паливну ефективність суднових ДВЗ. Одним із таких рішень є використання систем рекуперації енергії, що дозволяють знизити витрати палива та зменшити шкідливі викиди. Ця доповідь спрямована на аналіз ролі систем рекуперації енергії у підвищенні ефективності суднових ДВЗ, а також на розгляд їх потенціалу для сталого розвитку судноплавства.

Принципи роботи систем рекуперації енергії:

Системи рекуперації енергії – це технології, які дозволяють відновлювати частину енергії, що зазвичай втрачається у вигляді тепла або вібрацій під час роботи двигунів внутрішнього згоряння. Ці системи можуть перетворювати відновлену енергію на електричну або механічну, що використовується для живлення різних суднових систем.

Основні типи систем рекуперації.

Існує кілька типів технологій рекуперації енергії, що можуть використовуватися на судах:

- теплообмінники: дозволяють використовувати тепло від вихлопних газів для підігріву води або виробництва пари, що може живити допоміжні турбіни.
- турбокомпаундування: передбачає використання додаткової турбіни, яка використовує енергію відпрацьованих газів для підвищення ефективності головного двигуна.
- системи рекуперації електроенергії: наприклад, генератори, що працюють від потоку вихлопних газів або використання енергії від гальмування для зарядки акумуляторів.
- використання термоелектричних матеріалів: конвертують тепло від двигуна в електричну енергію.

Використання систем рекуперації дозволяє знизити витрати палива на 5...10 %, що має значний економічний ефект при експлуатації суден на далекі відстані. Наприклад, турбокомпаундування може підвищити ККД двигуна на 3...5 %, використовуючи енергію вихлопних газів.

Системи рекуперації енергії також сприяють зменшенню викидів парникових газів. За рахунок підвищення ефективності використання палива можна скоротити викиди CO₂ на 5...7 %, що сприяє виконанню вимог ІМО щодо скорочення викидів. Крім того, зменшення навантаження на головний двигун допомагає знизити рівень викидів NOX і SOX.

Економія палива, яка досягається завдяки рекуперації, призводить до зниження операційних витрат, що є важливим фактором для судноплавних компаній. Крім цього, зниження навантаження на головний двигун сприяє подовженню терміну його експлуатації, зменшуючи витрати на технічне обслуговування.

Багато провідних судноплавних компаній вже впроваджують системи рекуперації енергії. Наприклад, Maersk встановлює системи теплообміну на своїх контейнеровозах, що дозволяє зменшити витрати палива на 10 %. Rolls-Royce пропонує інноваційні турбокомпаундні рішення для своїх суднових двигунів, що забезпечує підвищення ККД на 6...7 %.

Завдяки швидкому розвитку технологій термоелектричних матеріалів та інтелектуальних систем управління, очікується, що системи рекуперації стануть ще більш ефективними. Зокрема, дослідження в галузі нанотехнологій відкривають можливості для створення більш продуктивних та компактних рекупераційних установок. Попри численні переваги, впровадження систем рекуперації енергії має певні виклики. Висока вартість обладнання та необхідність модернізації існуючих суден є суттєвими перешкодами для багатьох судноплавних компаній. Крім того, обслуговування цих систем вимагає додаткових ресурсів та кваліфікованого персоналу. Для ефективного використання систем рекуперації на міжнародному рівні необхідно розробити стандарти та нормативні акти, які б регулювали їх використання та забезпечували сумісність різних технологічних рішень.

Висновки. Системи рекуперації енергії мають великий потенціал для підвищення ефективності суднових ДВЗ, знижуючи витрати палива та викиди шкідливих речовин. Впровадження цих технологій дозволяє не лише покращити екологічні показники судноплавства, але й забезпечити економічні переваги для судновласників. Однак для реалізації цього потенціалу необхідні значні інвестиції, а також створення сприятливих умов для впровадження інновацій.

Література:

1. Waste Heat Recovery Systems in Maritime, DNV GL Report, 2022.
2. Energy Efficiency in Shipping, Maersk Line Whitepaper, 2023.
3. The Future of Marine Diesel Engines, Rolls-Royce Marine, 2021.
4. Innovations in Ship Energy Management Systems, Lloyd's Register, 2022.

АНАЛІЗ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ ПОДАЧІ ЗАПАЛЬНОГО ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА ГАЗОДИЗЕЛЯ

Доценко С. М.

канд. техн. наук, доцент кафедри енергетичного машинобудування

Свідерський А. А., Самарін М. Л., Рідош Я. В.

магістранти кафедри енергетичного машинобудування

Первомайський навчально-науковий інститут

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Первомайськ, Україна

Подальшим розвитком двигунобудування є переобладнання двигунів працюючих на дорогому дизельному паливі на двигуни, які працюватимуть на більш дешевшому паливі – супутньому газі, звалищному газі та біогазі. Найбільш перспективним у сучасних умовах для України є конвертація дизельних двигунів, які знаходяться в експлуатації, на газові або газодизельні [1-2]. Для суднової енергетичної установки доцільним є використання газодизельних двигунів. Це пояснюється такими факторами, як більш високий ККД, у порівнянні з газовими двигунами, можливість конвертації дизельних двигунів на газодизельні, збільшений моторесурс газодизеля в порівнянні з дизелем. Так, моторесурс циліндро-поршневої групи у газодизеля більший на 50 % порівняно з дизелем [3-5].

При конвертації дизелів для роботи в газодизельному процесі найбільш змінюється система регулювання та керування [6]. Прикладом найбільш простої схеми може служити система газодизельного двигуна 12ГЧН 18/20 (ГД-700) із зовнішнім сумішоутворенням (рис. 1).

Газ через редуктора 1, 2 поступає у сумішоутворювач 4 і потім у турбокомпресор 5, де перемішується з повітрям і утворює практично гомогенну суміш. Далі по патрубках 7 та 9 суміш подається в циліндри двигуна. Для забезпечення подачі запальної дози палива штатні паливні насоси обладнані спеціальними нагнітальними клапанами. Дані зміни в конструкції ПНВТ забезпечують витрату запальної дози палива 10...12 % при номінальній потужності 510 кВт.

На практиці газодизельні двигуни колишнього радянського виробництва (12ГЖЧ 15/18, 6ГЖЧН 31,8/33) мали різноманітні схеми подачі та регулювання кількості палива, але досягти величини запальної дози рідкого палива, менше ніж 10 % на номінальному режимі, вони не були здатні.

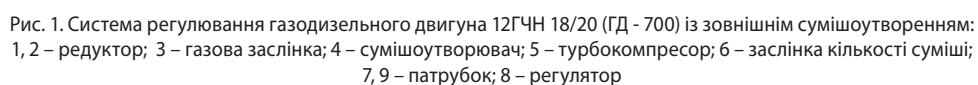
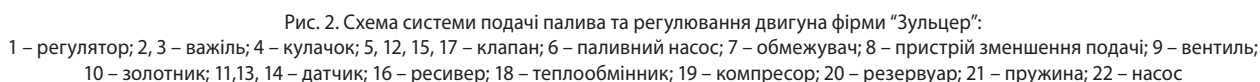


Схема дозволяє автоматично змінювати співвідношення між кількістю газоподібного палива та рідкого при зміні кількості газу. Регулятор 1 з'єднаний через двоплечий важіль 2 з важелем 3, який одним кінцем з'єднаний з рейкою паливного насоса 6, а другим – з насосом 22 системи газу приводу газових клапанів. Пружина 21 прагне передвинути рейку насоса в положення нульової подачі. Верхній кінець важеля 3 переміщує рейку паливного насоса вправо, збільшуючи подачу рідкого палива. Якщо тиск газу збільшується, то датчик 14 подає відповідний сигнал на пристрій 8, який зменшує подачу рідкого палива. Система дозволяє здійснювати запуск двигуна тільки на рідкому паливі. На номінальному режимі доза запального рідкого палива складає 5 % від циклової подачі. Так як двигун судновий та реверсивний, то при реверсі він автоматично переходить на рідке паливо.



Подібну схему для переключення працюючого двигуна з одного виду палива на інше використовує фірма "MAN" для газодизельного двигуна 8L 52/55ADG. Головний елемент схеми - це важільний механізм переключення, який працює за принципом рівноплечого коромисла.

Всі приведені схеми мають загальні особливості: це рівноплече коромисло, яке узгоджує подачу газоподібного та дизельного палива; переключення з одного виду палива на інше відбувається вручну або автоматично; запуск двигуна, зупинка та реверс здійснюється тільки на рідкому паливі; при відсутності газоподібного палива двигун працює на дизельному паливі.

Висновки. Використання газоподібного палива в СЕУ економічно вигідно. Використання газоподібного палива дозволить збільшити моторесурс СЕУ за рахунок зменшення зносу циліндро-поршневої групи та збільшення строку служби масла. Важливий екологічний ефект забезпечують власні характеристики природного газу, а саме: відсутність оксидів сірки, незначна кількість NOX і понижене виділення CO при згорянні [7].

Література:

1. Доценко С., Ченчик Д., Чебаненко В. Альтернативні палива для дизельних двигунів з відновлювальних джерел енергії. VII Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасний стан та проблеми двигунобудування». – Миколаїв, НУК, 2022. – С. 16-17.
2. Доценко С. Конвертація дизельних двигунів сільськогосподарської техніки для роботи на метиловому ефірі ріпакової олії. Збірник наукових праць КНТУ. – Кіровоград : КНТУ, Вип. № 37. 2007.
3. Григурко І. О., Брендуля М. Ф., Доценко С. М. Технологія обробки типових деталей (курсове проектування). – «Новий світ – 2000», Львів, 2006. – 576 с.
4. Григурко І. О., Анастасенко С. М., Доценко С. М. Проектування технологічних процесів в судновому машинобудуванні (Практикум). «Новий світ – 2000», Львів, 2017. – 348 с.
5. Грабовенко А. И., Доценко С. М., Иодловский В. И., Повышение надежности и моторесурса когенерационной установки с газовым двигателем 6ГЧН 25/34. «Транспорт, экология, устойчивое развитие» // Варна. Болгария. Международный журнал №1 2017, – С. 17-24.
6. Литвин С. Н. Доценко С. М., Григорьев А. Л., Врублевский А. Н. Новый способ модернизации топливной аппаратуры при конвертировании дизель – генератора с жидкого топлива на газ. Авіаційно-космічна техніка і технологія // Збірник наукових праць ХАІ, Харків, 2000. Випуск №19. – С. 64-69.
7. Доценко С. М., Тягнирядно Д. О., Фока Б. О. Утилізація тепла когенераційними установками з газовими поршневими двигунами. Збірник тез доповідей міжнародної конференції «Енергетичні установки та альтернативні джерела енергії» 11–12.03. 2024 р. – Харків, ХНАДУ. – С. 297-299.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕКОНОМІЇ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ КАТЕГОРІЇ N3 У РЕЖИМІ ПРОСТОЮ ТА ХОЛОСТОГО ХОДУ

Шаповалов Ю. О.

канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики

Семенов М. М.

доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики

Смірнова О. О., Степанок М. Ф.

здобувачі освіти

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова м. Миколаїв, Україна

Нині автомобільний парк в Україні має приблизно 14 млн одиниць транспортних засобів, вік яких становить від 12 до 18 років, тому сучасна система енергозбереження вже не відповідає вимогам. Достатньо багато уваги в практиці експлуатації вантажних транспортних засобів в Україні приділяється визначенню і отриманню параметрів витрати палива, технічного стану та швидкості руху транспортних засобів. Практика експлуатації транспортного засобу вимагає забезпечення раціональної витрати палива та параметрів стану транспортного засобу з урахуванням відповідних умов експлуатації [1].

Особливості експлуатації вантажних автомобільних транспортних засобів як на міжнародних маршрутах, так і в містах та промислових районах пов'язані зі складністю врахування великої кількості факторів впливу на експлуатаційні показники.

Аналіз наукових праць вітчизняних та закордонних авторів показав, що питанням покращення експлуатаційних властивостей займалися такі вчені, як М. Я. Говорущенко [2], В. П. Волков [3], В. П. Сахно [4], А. А. Токарев [5], І. В. Грицук [6] та інші. Однією з найважливіших проблем автомобільного транспорту, що експлуатується при здійсненні вантажних перевезень є невідповідність технічного рівня перспективним вимогам енергозбереження, особливо у режимі простою та холостого ходу.

Оцінка теплових характеристик кабіни вантажного автомобіля для зниження споживання теплової та електричної енергії в умовах простою та холостого ходу. Розробка рекомендацій щодо зниження використання енергії.

Поліпшення теплових характеристик кабіни має найбільший потенціал зниження навантаження на холостому ході. Теплові характеристики кабіни відносяться до її здатності контролювати теплообмін між зовнішнім повітрям і пові-

трям в кабіні. Високоєфективна конструкція кабіни зменшить необхідність запуску системи клімат-контролю. Під час холостого ходу головний двигун працює для живлення системи опалення, вентиляції і кондиціювання повітря (ОВІК) вантажівки. Поліпшення теплових характеристик зменшить електричне навантаження ОВІК для підтримки постійної температури, тим самим підвищуючи ефективність холостого ходу [7].

У першому дослідженні вивчався вплив орієнтації вантажівки на поглинання сонячної радіації кабіною. Для результатів моделювання теплового поглинання використовувалася середньозважена температура повітря в зоні сну та зоні кабіни для розрахунку кумулятивних градусо-днів охолодження та нагріву. Підсумкова метрика градусів була отримана шляхом інтегрування різниці середньозваженої температури повітря від опорної температури за кожен день. Для розрахунку використовувалися контрольні температури 25 °C та 20 °C. Результати показують, що спостерігається зниження середньої сукупної річної кількості градусів-днів охолодження на 13,3 % при переході з південної сторони на північну. Це зниження пов'язане зі зменшенням кількості енергії, необхідної для охолодження кабіни вантажівки. Реалізація цієї стратегії зниження навантаження на холостому ходу не вимагатиме витрат для автопарку або власника автівки, якщо доступне паркування з видом на північ. Орієнтація кабіни у північному напрямку збільшує середньорічну кількість градусів опалення на 4,1 % порівняно з градусами опалення з південної сторони. Збільшення є результатом вибраних технологій зниження навантаження на холостому ході, що знижують поглинання сонячного випромінювання кабіною. Причина більшого зниження навантаження при охолодженні порівняно з умовами нагрівання полягає в результаті взаємодії сонячного випромінювання та технологій зниження навантаження. Більшість днів із охолодженням припадає на літній період. Застосування удосконалених штор знижує пропускання сонячного випромінювання через скління кабіни. Біла фарба також відображає більшу частину денного сонячного випромінювання, а покращення ізоляції знижує теплопровідність між навколишнім та внутрішнім повітрям кабіни. Поєднання ефектів значно знижує поглинену теплову енергію кабіною. У зимові та нічні періоди, коли виникають умови нагрівання, температура навколишнього повітря надає сильніший вплив на нагрівальні навантаження, ніж сонячне випромінювання. У той час як ізоляція знижує нагрівальні навантаження, перешкоджаючи теплопровідності між повітрям кабіни та навколишнім повітрям, фарба та штори не дозволяють сонячному випромінюванню додавати енергію, яка могла б допомогти нагріти кабіну.

Підрахунки показали, що система акумуляторів для ОВІК на 10 кВт год може задовольнити річну потребу в електроенергії для охолодження. Транспортні засоби з еквівалентною акумуляторною системою можуть живити систему змінного струму без необхідності запуску двигуна. Оскільки сучасні акумуляторні системи HVAC зазвичай використовують акумулятор ємністю 800 Ач (9,6 кВт год), єдиними витратами для власника будуть встановлення вдосконаленої системи в кабіну. Якщо прогнози вірні і власники транспорту реалізують запропоновані технології зниження холостого ходу, холостий хід для охолодження кабіни може допомогти скоротити витрати пального, що споживається щорічно. Це можна бачити з досвіду застосування компанією Kuehne+Nagel. Вона в експериментальному порядку встановила сонячні батареї на дистрибуторських вантажівках, що працюють в Нідерландах. За даними корпорації, щорічна економія палива становить близько 1200 літрів. Панель на вантажівці живить електроенергією такі споживачі, як підйомник, повітряний компресор та кондиціонер, тим самим знижуючи навантаження на альтернатор, що приводиться в дію двигуном вантажівки. Енергія, отримана таким чином, надходить прямо в основні акумулятори вантажівки. Панель також заощаджує 3,8 тони викидів CO₂. Безумовно, експлуатаційні характеристики сонячних панелей у різних кліматичних умовах України показують, що географічні та екологічні фактори мають бути ретельно враховані при проектуванні системи для забезпечення ефективності та надійності. Це розуміння підтримує використання систем на сонячних панелях у вантажівках, потенційно знижуючи потребу споживання традиційного палива в періоди простою [8].



Рис. 1. Автомобілі компанії Kuehne+Nagel з сонячними панелями на даху

Подібне рішення пропонує також британська компанія Trilar, яка продає панелі різних розмірів для фургонів, смітєвозів, автобусів та напівпричепів потужністю до 3,5 кВт. Компанія повідомляє, що повернення інвестицій може

бути досягнуто протягом 1...3 років. Товщина панелей складає 3 мм, а вага – майже 20 кг. Установка триває чотири години [8].

Висновок. У роботі було оцінено вплив різних факторів на споживання електроенергії, включаючи забарвлення кабіни, удосконалені штори та теплоізоляцію, зниження споживання електроенергії порівняно зі стандартними умовами. Застосування удосконалених штор знижує пропускання сонячного випромінювання через скління кабіни. Біла фарба також відображає більшу частину денного сонячного випромінювання, а ізоляція знижує теплопровідність між навколишнім та внутрішнім повітрям кабіни. Спостерігається зниження середньої сукупної річної кількості градусоднів охолодження на 13,3 % під час переходу вантажівок з південної сторони на північну. Застосування вдосконаленої комбінації може знизити теплові потреби до 10 кВт-год на день, що може задовольнити річну потребу електроенергії для охолодження. Транспортні засоби з еквівалентною акумуляторною системою можуть живити систему змінного струму без необхідності запуску двигуна.

Література:

1. Підвищення паливної економічності транспортних засобів категорії N3 : монографія / І. В. Грицук, Є. О. Український, І. В. Худяков, Д. С. Погорлицький, В. В. Кальченко. – Чернівці : НУ «Чернівецька політехніка», 2024. – 168 с.
2. Говорушенко М. Я., Туренко О. М. Системотехніка транспорту (на прикладі автомобільного транспорту) : у 2 т. Харків : РІО ХДАДТУ, 1998. Т. 1. 255 с.; Т. 2. 219 с.
3. Волков В. П. Дистанційний контроль технічного стану автомобілів. Технічний сервіс агропромислового лісового та транспортного комплексів. Харків, 2020. № 22. С. 98-108.
4. Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів : у 3 ч. Ч. 1. Динамічність та паливна економічність автотранспортних засобів : навчальний посібник / В. П. Сахно та ін. Донецьк: Ноулідж, 2014. 444 с.
5. Особливості формування та аналізу інформаційних структур системи моніторингу параметрів технічного стану транспортних засобів у взаємодії з тахографом/ І. В. Худяков, Р. В. Симоненко, В. С. Манжелей, В. В. Черненко. Системи і засоби транспорту. Проблеми експлуатації і діагностики : монографія / за наук. ред. проф. Грицука Ігоря. – Херсон : ХДМА, 2019. – С. 250-259.
6. Грицук І. В. Концепція забезпечення оптимального температурного стану двигунів і транспортних засобів в умовах експлуатації : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.20. Харків, 2016. 552 с.
7. J., Chaney, L., Lustbader, J., and Meyer, J. (2007) "Reduction in Vehicle Temperatures and Fuel Use from Cabin Ventilation, Solar-Reflective Paint, and a New Solar-Reflective Glazing," SAE Technical Paper 2007-01-1194, 2007. SAE International. Available at <https://doi.org/10.4271/2007-01-1194>. Accessed 10 August 2024.
8. <https://trans.info/ru/solnechnye-batarei-na-gruzovikah-302497>

ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСНИХ ПОКАЗНИКІВ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА ПРИ ЗМІНІ ВМІСТУ СІРКИ В ПАЛИВІ

Калініченко І. В.

канд. техн. наук, доцент кафедри теплотехніки

Степаненко Ю. О.

здобувач вищої освіти (магістр)

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

Морські судна, на яких встановлені силові установками, є значними споживачами паливоенергетичних ресурсів. Одним із способів зниження експлуатаційних витрат судових енергетичних установок є використання важких палив, що мають більш низьку вартість по відношенню до дизельного палива. В даний час використання палив з підвищеною в'язкістю характерно не тільки для малооборотних дизелів (які традиційно експлуатуються на пальному подібної якості) і сучасних високофорсованих середньооборотних дизелів (СОД), паливні системи і паливна апаратура яких спроектовані на роботу з важкими паливами, але і СОД попереднього покоління, раніше експлуатувалися виключно на дизельному паливі.

На викиди токсичних та шкідливих речовин від спалювання судових палив існують обмеження відповідно до міжнародних програм захисту атмосфери і вимог Міжнародної морської організації (International Maritime Organization - IMO). У липні 2010 року вступила в силу нова редакція Додатку VI Міжнародної конвенції по запобіганню забруднення (MARPOL 73/78. Convention Annex VI), що передбачає більш жорсткі вимоги до суден. Вимоги стосуються практично всіх груп токсичних і шкідливих викидів, включаючи і NOx [1].

Разом з тим, застосування в СОД важких дешевих сортів палива знижує показники надійності дизеля в цілому і паливної апаратури зокрема, а також погіршує його технічний стан, перш за все деталей циліндропоршневої групи і прецизійних пар паливних насосів високого тиску (ПНВТ) і форсунок.

Тому, однією з найважливіших проблем, що виникають при експлуатації судових енергетичних установок, є підвищення надійності і довговічності двигунів внутрішнього згоряння, кількість і модельний ряд яких постійно збільшується.

Мета роботи – є підвищення економічної ефективності та зменшення зносу деталей паливної системи дизель-генератора з урахуванням масового вмісту сірки палива

Сірка в паливі знаходиться в складі неорганічних сполук. Вміст сірки в паливі може досягати 3,5 %. Сірчисті сполуки, що входять до складу палива, прийнято поділяти на активні і неактивні. Активні сірчані з'єднання (вільна сірка, сірководень, меркаптани) при контакті з металом викликають корозію. Неактивні сірчисті з'єднання (сульфіди, дисульфід та ін.) при звичайних умовах не викликають корозії металів.

Однак, дія як активних, так і неактивних сірчистих сполук в умовах протікання робочого процесу в камері згоряння ДВЗ змінюється. Обидві категорії домішок переходять в розряд активних компонентів. Це відбувається в наслідку того, що при згорянні сірки утворюється сірчистий газ SO_2 і сірчаній ангідрид SO_3 , які, вступаючи в реакцію з сконденсованою водою. Утворюють сірчисту H_2SO_3 і сірчану H_2SO_4 кислоти. Ці кислоти викликають сильну корозію деталей циліндропоршневої групи дизеля. Крім цього, внаслідок низької теплоти згорання присутність сірки зменшує теплоту згоряння палива. Експерименти виконувалися на трьох однотипних суднових СОД фірми MAN B&W марки 5L23/30H Mk2, що мають автономну паливну систему. Це дозволяло проводити паралельні дослідження для різних сортів палива. Під час експерименту дизеля мали однаковий технічний стан і експлуатувалися при однакових навантаженнях.

Як експлуатаційні характеристики визначалися температура газів перед газотурбонагнітачем (ГТН) і максимальний тиск згоряння, які вимірювалися за допомогою штатних засобів діагностики. Ці параметри відносяться до основних, за якими відбувається регулювання робочого процесу дизеля і визначення неузгодженості навантаження по циліндрах.

За економічну характеристику приймався питома ефективна витрата палива.

Дослідження проводилися для різних сортів суднового палива:

– малов'язкого MDO, середньов'язкого HFO180 і HFO180-LS, важкого HFO 380 і HFO380-LS.

При використанні палив з підвищеним вмістом сірки в його структурному складі зростає температура газів перед ГТН, а разом з нею і теплові навантаження на весь дизель.

До складу суднової енергетичної установки входили два подібних дизеля. Двигуни мали розділену один щодо одного систему подачі палива, що допускало експлуатацію кожного дизеля на «своєму» сорті палива. З огляду на цю можливість, один з дизелів експлуатувався на паливі, що містить 1,3 % сірки, а другий - 0,8 % сірки. Умови експлуатації дозволяли перед початком експерименту провести повну заміну втулок, поршнів, поршневих кілець, а також основних елементів паливної апаратури (плунжерів паливних насосів високого тиску і форсунок) на обох дизелях. Час роботи дизелів під час експерименту, а також середньостатистичні навантаження на дизелі не перевищували 4 % [2, 3].

Після закінчення певного часу роботи, що визначається як показниками середньостатистичного напрацювання на знос, так і можливістю тимчасового виведення дизелів з експлуатації, вироблялося визначення зносу циліндричної втулки і верхнього поршневого кільця дизеля.

Знос поршневих кілець виконувався за допомогою зважування на електронних вагах. Вимірювання зносу проводилося для двох крайніх циліндрів, які, як відомо, більш ніж інші (центральні циліндри) схильні до цього явища. Отримані при цьому значення усереднювалися. Крім того, дослідження тільки двох циліндрів істотно скорочувало час монтажних робіт, яке обмежувалося умовами експлуатації. З цих же причин дослідження виконувалися після 190, 420, 560, 780 та 1020 годин роботи двигунів. Результати вимірювання зносу циліндрових втулок і поршневих кілець наведені на рис. 1 і 2.

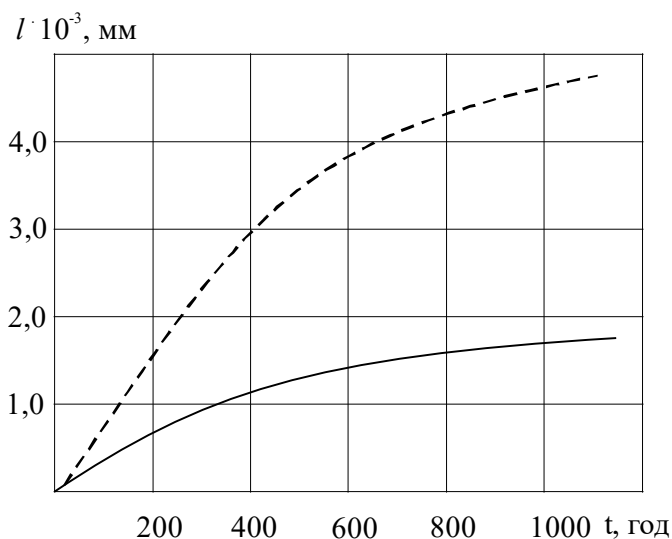


Рис. 1. Вплив вмісту сірки в паливі на знос циліндрових втулок ДГ

— I_1 – вміст сірки в паливі 0,5 %;
- - - I_2 – вміст сірки в паливі 1,6 %

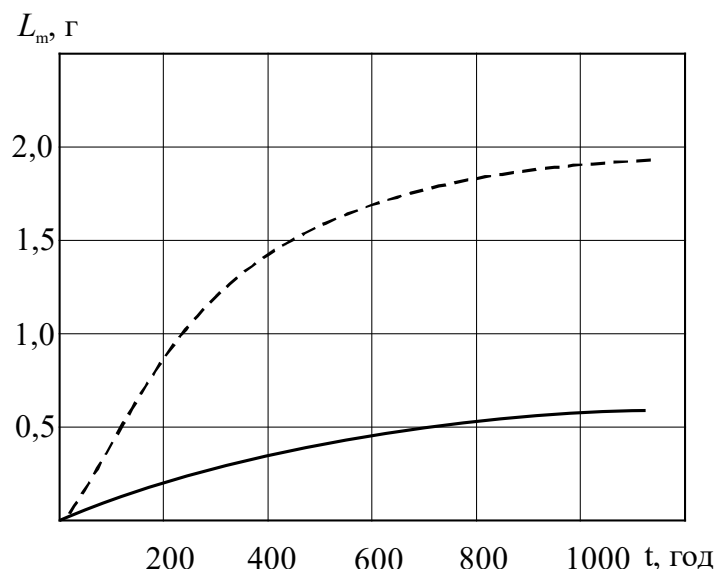


Рис. 2. Вплив вмісту сірки в паливі на знос поршневих кілець ДГ

— L_{m1} – вміст сірки в паливі 0,5 %;
 --- L_{m2} – вміст сірки в паливі 1,6 %

Аналіз наведених даних дозволяє однозначно стверджувати про принципове зниження зносу як циліндрових втулок, так і поршневих кілець при використанні палива з меншим вмістом сірки в своєму структурному складі. Також, для палива з меншим вмістом сірки, необхідно відзначити більш швидкий час досягнення значень постійного зносу, яке, як відомо, носить експонентний характер. Крім того, використання палива, що пройшло додаткову ультразвукову обробку сприяє поліпшенню технічного стану деталей циліндропоршневої групи двигуна і його газопускної системи.

Висновок. Наведені результати дослідження свідчать про те, що прагнення забезпечити експлуатацію суднових СОД на відносно дешевих сортах палива, що характеризуються підвищеними в'язкістю і вмістом сірки, призводить до погіршення експлуатаційних параметрів роботи дизеля і технічного стану його елементів, зокрема плунжерів ПНВТ при вмісті сірки більше 1 %.

Література:

1. Дяченко В. Г. Двигуни внутрішнього згоряння. Теорія: Підручник / В. Г. Дяченко; За ред. А. П. Марченка. – Харків: НТУ "ХПІ", 2008. – 488 с.
2. Radchenko, M., Radchenko, A., Mikielwicz, D., Kosowski, K., Kantor, S., Kalinichenko I. (2021). Gas turbine intake air hybrid cooling systems and their rational designing. Modern Power Systems and Units. V International Scientific and Technical Conference. Kraków, Poland, Edited by Rerak, M.; Majdak, M.; E3S Web of Conferences. 323. id.00030. 5 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132300030>.
3. Radchenko R., Kornienko V., Radchenko M., Mikielwicz D., Andreev. A. Kalinichenko I. (2021). Cooling intake air of marine engine with water-fuel emulsion combustion by ejector chiller. Modern Power Systems and Units. V International Scientific and Technical Conference. Kraków, Poland, Edited by Rerak, M.; Majdak, M.; E3S Web of Conferences. 323. id.00031. 5 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132300031>.

АНАЛІЗ СХЕМИ РАЦІОНАЛЬНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ПРИПЛИВНОГО ПОВІТРЯ ДЛЯ ГАЗОВОГО ДВИГУНА АВТОНОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Грич А. В.

канд. техн. наук, доцент кафедри кондиціонування і рефрижерації
 Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
 м. Миколаїв, Україна

Виконано аналіз ефективності стандартної системи кондиціонування повітря машинного відділення газових двигунів автономної теплоелектростанції. Розглянута двоступенева система охолодження повітря з використанням холодоносія з температурою 7 та 4 °C. За результатами аналізу запропоновано спосіб обробки припливного повітря машинного відділення, що забезпечує його глибоке охолодження.

Машинні відділення автономних теплоелектростанцій на базі газових двигунів (ГД) відрізняються інтенсивними тепловиділеннями – від електрогенераторів, встановлених на них теплообмінників, від корпусу самого двигуна, щитів управління і т.ін., а також від теплоприпливів в машинному відділенні (МВ) ззовні, що призводить до підвищення температури повітря в МВ. Відповідно, повітря на вхід турбокомпресора (ТК) ГД надходить з об'єму МВ уже нагрітим, пройшовши тепло-волого асиміляцію, що призводить до зростання питомої витрати палива, зменшення паливної ефективності двигуна. Тому припливне повітря МВ необхідно охолоджувати.

На рис. 1 показана принципова схема стандартної системи кондиціонування МВ ГД. У стандартних системах кондиціонування МВ передбачено охолодження всього припливного повітря в центральних кондиціонерах (ЦК) з холодоносієм від абсорбційних холодильних машин, що утилізують скидну теплоту ГД. Значні витрати повітря через ЦК $G_{зп} = 60000 \text{ м}^3/\text{год}$, обумовлені теплоприпливами МВ та необхідністю подачі повітря для роботи ГД ($G_{п.ГД} = 6000 \text{ м}^3/\text{год}$).

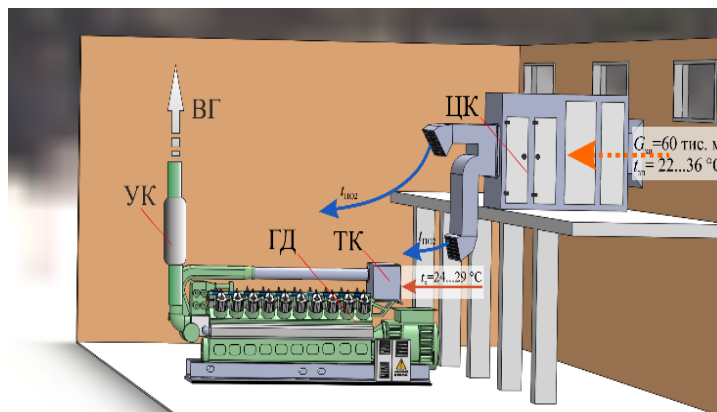


Рис. 1. Схема стандартної системи кондиціонування машинного відділення автономної теплоелектростанції з тепловикористовуючим центральним кондиціонером: ГД – газовий двигун; ЦК – центральний кондиціонер; ТК – турбокомпресор; УК – утилізаційний котел; ЗП – зовнішнє повітря; ВГ – відхідні гази.

На рис. 2 представлено графіки моніторингу добової зміни температури МВ та холодопродуктивності ЦК.

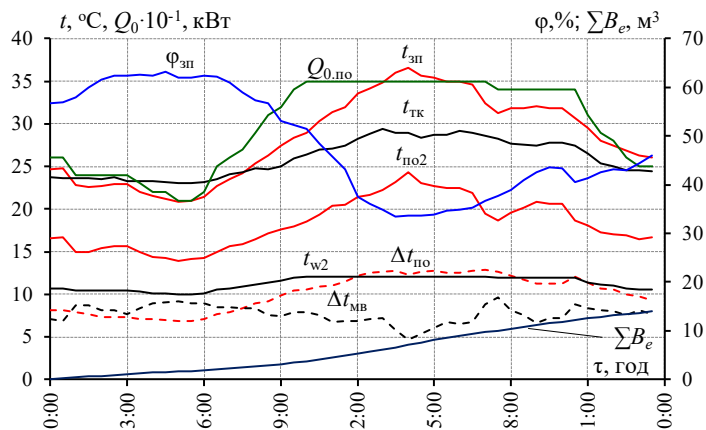


Рис. 2. Зміна температури зовнішнього повітря $t_{зп}$, повітря на вході ТК ГД $t_{тк}$, на виході з ПО $t_{по2}$, температури холодоносія (води) на виході з ПО t_{w2} , а також зниження температур повітря в ПО $\Delta t_{по} = t_{зп} - t_{по2}$, нагрівання повітря в МВ $\Delta t_{мв} = t_{тк} - t_{по2}$, зміна холодопродуктивності ПО $Q_{0,по}$ та відносної вологості $\phi_{зп}$ протягом доби при витраті повітря $G_{п} = 60000 \text{ м}^3/\text{год}$; ΣB_e – повна добова економія природного газу за рахунок охолодження повітря МВ, м^3 .

Як видно із графіку, кондиціонування великих об'ємів припливного повітря супроводжується значними витратами холоду $Q_0 = 220 \dots 350 \text{ кВт}$, що становить близько 30 % холодопродуктивності АБХМ при трансформації скидної теплоти від одного ГД. Однак при підвищених температурах зовнішнього повітря (з 9:00 до 18:00 год.) стандартна система кондиціонування не в змозі забезпечити необхідну температуру повітря на вході ГД через значні теплоприпливи МВ. Крім того, глибина охолодження припливного повітря $\Delta t_{по} = t_{зп} - t_{по2} = 7 \dots 13 \text{ }^\circ\text{C}$ обмежена температурою холодоносія (холодної води від АБХМ) $t_{w1} = 7 \text{ }^\circ\text{C}$. Як наслідок, температура повітря на вході в ТК ГД складає $t_{тк} = 24 \dots 29 \text{ }^\circ\text{C}$, що не достатньо для оптимального режиму роботи ГД.

Попри суттєві витрати холоду, ефективність стандартної системи кондиціонування незначна і дозволяє знизити добову витрату палива ГД лише на $\Sigma B_e = 15 \text{ м}^3$ в порівнянні з подачею в МВ зовнішнього повітря без обробки. В разі дефіциту холоду на технологічний процес можливі скорочення подачі холодоносія на ЦК, навіть до повного відключення, що може призводити до переходу двигуна в режимі часткового навантаження.

З метою підвищення паливної ефективності ГД та скорочення витрат холоду, була розроблена окрема система двоступеневого кондиціонування з прямою подачею повітря на вхід ТК ГД. Зовнішнє повітря подається окремим ізолюваним повітропроводом спочатку на повітроохолоджувач високотемпературного ступеня ПОВТ, який використовує холодоносії з температурою $7 \text{ }^\circ\text{C}$ від АБХМ, а потім охолоджене в ПОВТ повітря надходить в повітроохолоджувач низькотемпературного ступеня ПОНТ, в який надходить холодоносії з температурою $4 \text{ }^\circ\text{C}$. Охолоджене повітря після ПОНТ подається безпосередньо на вхід в ТК ГД. Таким чином, розроблена система кондиціонування дозволяє обробляти

лише циклове повітря ГД з витратою $G_p = 6000 \text{ м}^3/\text{год}$ (2 кг/с), а пряма подача на вхід ТК ГД дозволяє мінімізувати вплив теплоприпливів МВ на охолоджене повітря і зменшити різницю температур $\Delta t_{mv} = t_{тк} - t_{по2}$ практично до нуля, що додатково дозволяє подавати зовнішнє повітря без обробки, коли його температура знижується нижче 15°C .

На рис. 3 показані зміни температур повітря при охолодженні циклового повітря ГД в двоступеневому повітроохолоджувачі з прямою подачею на ТК двигуна при витраті $6000 \text{ м}^3/\text{год}$ (2 кг/с). Розрахунки проводились з урахуванням даних моніторингу параметрів роботи автономної теплоелектростанції та параметрів зовнішнього повітря за добу 19.06.2011. Як видно з графіку, глибина охолодження повітря в найбільш жаркий час доби збільшилась $\Delta t_{ПО} = 25^\circ\text{C}$ в порівнянні з охолодженням в стандартній системі охолодження МВ $\Delta t_{ПО} = 13^\circ\text{C}$. При цьому температура повітря на вході в ТК ГД не перевищує 11°C , що сприяє більш ефективній роботі ГД та скороченню питомої витрати палива.

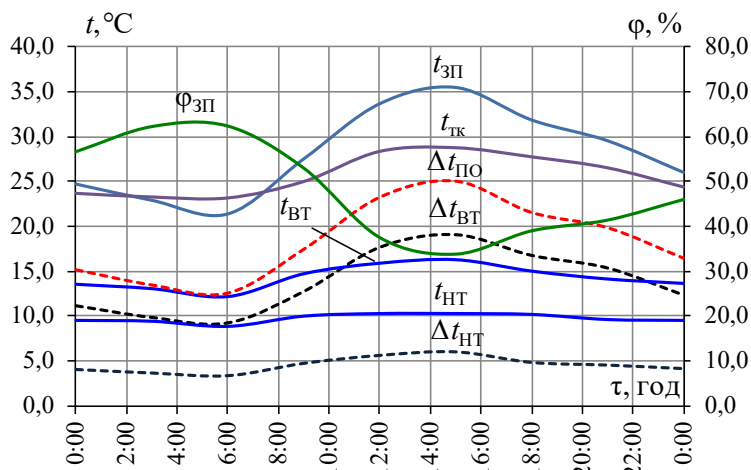


Рис. 3. Зміна температури зовнішнього повітря $t_{зп}$, повітря на вході ТК ГД $t_{тк}$, на виході з ПО високотемпературного ступеня $t_{вт}$, на виході з ПО низькотемпературного ступеня $t_{нт}$, глибини охолодження в ПО $\Delta t_{по}$, $\Delta t_{вт}$, глибини охолодження в ПО $\Delta t_{нт}$ повної глибини охолодження в ПО $\Delta t_{по}$ та зміна відносної вологості повітря $\phi_{зп}$ протягом доби з витратою повітря $6000 \text{ м}^3/\text{год}$ (2 кг/с)

Висновки. Розроблена система кондиціювання з двоступеневим охолодженням повітря та прямою подачею його на вхід турбокомпресора газового двигуна автономної теплоелектростанції дозволяє: збільшити глибину охолодження повітря до 10°C в порівнянні з базовою системою кондиціювання, скоротити витрати холоду на 75 %, знизити питому витрату палива на $0,5 \dots 1,3 \text{ г/(кВт·год)}$.

Література:

1. Трушляков Є. І. Підвищення ефективності систем кондиціювання повітря шляхом розподілу теплового навантаження за ступеневим принципом / Є. І. Трушляков, М. І. Радченко, А. М. Радченко, С. Г. Фордуй, С. А. Кантор, В. С. Ткаченко, Б. С. Портной // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2019. – № 8 (160). – С. 49. doi.org/10.32620/aktt.2019.8.07
2. Trushliakov E., Radchenko A., Forduy S., Zubarev A., Hrych A. Increasing the Operation Efficiency of Air Conditioning System for Integrated Power Plant on the Base of Its Monitoring. In: Nechyporuk M., Pavlikov V., Kritskiy D. (eds) *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1113. Springer, Cham (2020), pp. 351-360
3. Радченко А. М., Грич А. В. Охолодження приточного повітря машинного відділення газових двигунів тригенераційної установки / А. М. Радченко, А. В. Грич // *Холодильна техніка та технологія*. – 2014. – № 6. – С. 20-25.

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА СИСТЕМА КОНДИЦІЮВАННЯ ПОВІТРЯ ГАЗОВИХ ДВИГУНІВ В СКЛАДІ АВТОНОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ КАСКАДНОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ

Грич А. В.

канд. техн. наук, доцент кафедри кондиціювання і рефрижерації
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Паливна ефективність газових двигунів (ГД) залежить від температури наддувного повітря і знижується з її зростанням. Тому в теплу пору року температура повітря в машинному відділенні (МВ) автономних теплоелектростанцій, де знаходяться газові двигуни, має підтримуватися якомога нижчою. Зазвичай охолодження машинного відділення підтримується вентиляцією, або за допомогою повітроохолоджувача системи кондиціювання. Охолодження повітря МВ потребує значних енергетичних затрат (в зв'язку з його об'ємом та насиченням джерелами тепла), тому часто для роботи системи кондиціювання МВ використовують трансформацію скидної теплоти ГД в холод за допомогою абсорбційної бром-літєвої холодильної машини (АБХМ). Але центральної системи кондиціювання МВ з АБХМ не достатньо для створення оптимальних температурних умов роботи ГД, особливо при суттєвому зростанні температури зовнішнього повітря та потреби в холоді в літній період (наприклад, на технологічні потреби). Тому розробка енергоефективних схем системи кондиціювання повітря МВ є досить важливим завданням, особливо в умовах дефіциту енергосистеми.

З метою підвищення паливної ефективності ГД та скорочення витрат холоду, була розроблена окрема система двоступеневого кондиціювання з прямою подачею повітря на вхід ТК ГД. На рис. 1 представлена Схема системи кондиціювання повітря з двоступеневим повітроохолодженням та прямою подачею охолодженого повітря на вхід в ТК ГД.

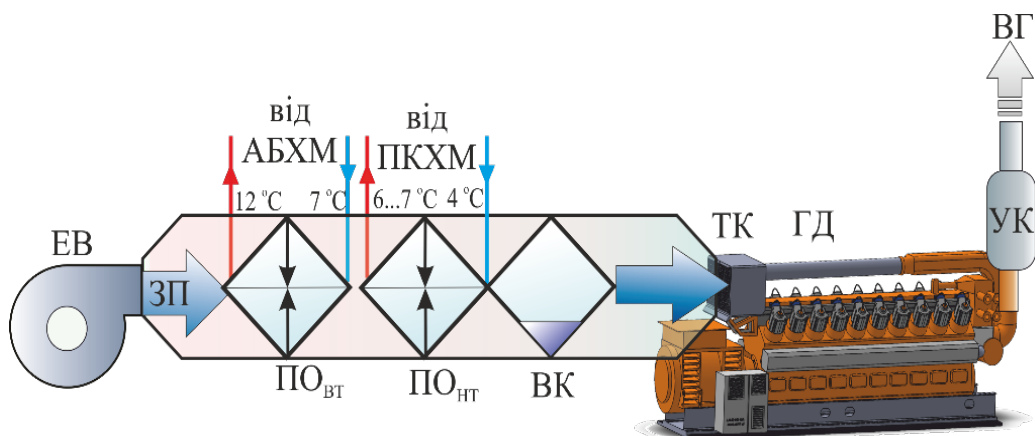


Рис. 1. Схема системи кондиціювання повітря з двоступеневим повітроохолодженням та прямою подачею охолодженого повітря на вхід в ТК ГД: ГД – газопоступальний двигун; АБХМ – абсорбційна бром-літєва холодильна машина; ПКХМ – пароконденсаторна холодильна машина; ПО_{ВТ} – повітроохолоджувач високотемпературного ступеня; ПО_{НТ} – повітроохолоджувач низькотемпературного ступеня; ЕВ – електровентилятор; ВК – відділювач конденсату; ТК – турбокомпресор; УК – утилізаційний котел; ЗП – зовнішнє повітря; ВГ – вихідні гази

Зовнішнє повітря подається окремим ізолюваним повітропроводом спочатку на повітроохолоджувач високотемпературного ступеня ПО_{ВТ}, який використовує холодоносій з температурою 7 °С від АБХМ, а потім охолоджене в ПО_{ВТ} повітря надходить в повітроохолоджувач низькотемпературного ступеня ПО_{НТ}, в який надходить холодоносій від ПКХМ з температурою 4 °С. Охолоджене повітря після ПО_{НТ} подається безпосередньо на вхід в ТК ГД. Таким чином, розроблена система кондиціювання дозволяє обробляти лише циклове повітря ГД з витратою $G_n = 6000 \text{ м}^3/\text{год}$ (2 кг/с), а пряма подача на вхід ТК ГД дозволяє мінімізувати вплив теплоприпливів МВ на охолоджене повітря і зменшити різницю температур $\Delta t_{\text{мв}} = t_{\text{тк}} - t_{\text{по2}}$ практично до нуля, що додатково дозволяє подавати зовнішнє повітря без обробки, коли його температура знижується нижче 15 °С.

На рис. 2 показані зміни температур повітря при охолодженні циклового повітря ГД в двоступеневому повітроохолоджувачі з прямою подачею на ТК двигуна при витраті 6000 м³/год (2 кг/с). Розрахунки проводились з урахуванням даних моніторингу параметрів роботи автономної теплоелектростанції та параметрів зовнішнього повітря за добу 19.06.2011. Як видно з графіку, глибина охолодження повітря в найбільш жаркий час доби збільшилась $\Delta t_{\text{по}} = 25 \text{ °С}$ в порівнянні з охолодженням в стандартній системі охолодження МВ $\Delta t_{\text{по}} = 13 \text{ °С}$. При цьому температура повітря на вході в ТК ГД не перевищує 11°С, що сприяє більш ефективній роботі ГД та скороченню питомої витрати палива.

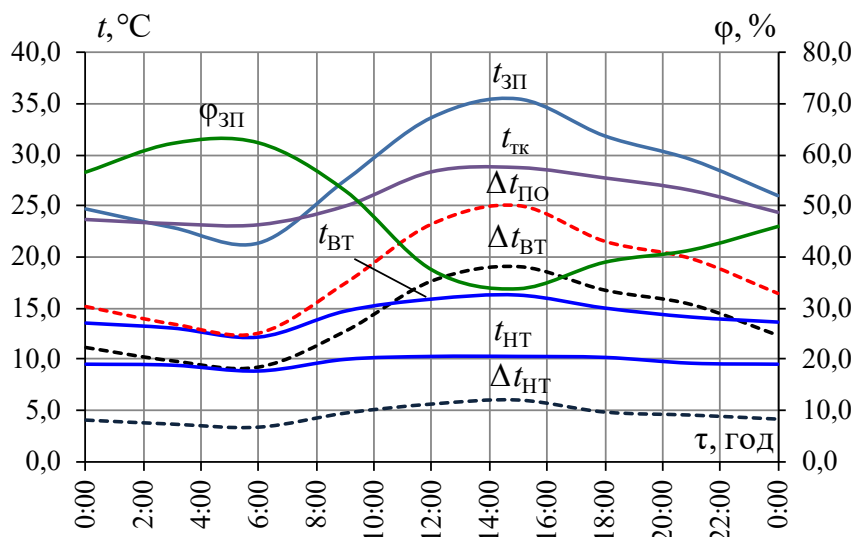


Рис. 2. Зміна температури зовнішнього повітря $t_{\text{ЗП}}$, повітря на вході ТК ГД $t_{\text{ТК}}$, на виході з ПО високотемпературного ступеня $t_{\text{ВТ}}$, на виході з ПО низькотемпературного ступеня $t_{\text{НТ}}$, глибини охолодження в ПО_{ВТ} $\Delta t_{\text{ВТ}}$, глибини охолодження в ПО_{НТ} $\Delta t_{\text{НТ}}$, повної глибини охолодження в ПО_{ВТ} $\Delta t_{\text{по}}$ та змінна відносна вологість повітря $\phi_{\text{ЗП}}$ протягом доби з витратою повітря 6000 м³/год (2 кг/с)

На рис. 3 представлені розрахункові значення скорочення питомої витрати палива з використання системи кондиціонування з двоступеневим охолодженням повітря та його прямою подачею на ТК ГД. Розрахунки показують, що більш глибоке охолодження повітря за рахунок використання двоступеневого ПО дозволяє скоротити питому витрату палива ГД до $\Delta b_e = 0,5 \dots 1,2$ г/(кВт·год). Враховуючи загальну потужність двигуна та скорочення питомої витрати палива, було розраховано добове скорочення витрати палива на ГД. Як видно із графіка, добова економія палива за допомогою двоступеневої системи кондиціонування складає $\Sigma \Delta B_e = 24$ м³ в порівнянні з базовим варіантом $\Sigma \Delta B_e = 15$ м³. Крім того, використання прямої подачі охолодженого повітря на ТК ГД дозволяє охолоджувати лише циклове повітря ГД, а надлишок теплоти з МВ відводити за допомогою системи вентиляції, зменшуючи, при цьому, витрату холоду. Зменшення на 90 % об'єму охолоджуваного повітря дозволяє скоротити витрати холоду до $\Delta Q_{0,ПО} = 276$ кВт в найбільш жарку пору доби, що є принципово важливим для безперебійного забезпечення холодом технологічного процесу підприємства.

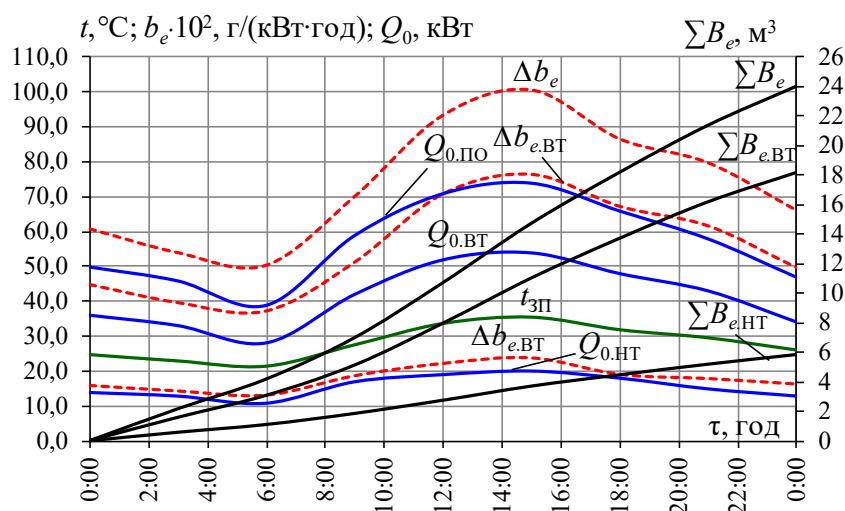


Рис. 3. Зміна температури зовнішнього повітря $t_{зп}$, холодопродуктивності високотемпературного ступеня ПО $Q_{0,ПО}$, низькотемпературного ступеня ПО $Q_{0,НТ}$, загальної холодопродуктивності ПО $Q_{0,ПО}$, кВт; $\Delta b_{e,ВТ}$ – скорочення питомої витрати палива за рахунок ПО_{ВТ}, $\Delta b_{e,НТ}$ – скорочення питомої витрати палива за рахунок ПО_{НТ}, Δb_e – загальне скорочення питомої витрати палива, г/(кВт · год), $\Sigma \Delta B_{e,ВТ}$ – добова економія палива за допомогою ПО_{ВТ}, $\Sigma \Delta B_{e,НТ}$ – добова економія палива за допомогою ПО_{НТ}, $\Sigma \Delta B_e$ – повна добова економія природного газу, м³.

Висновки: Розроблена система кондиціонування з двоступеневим охолодженням повітря та прямою подачею його на вхід турбокомпресора газового двигуна автономної теплоелектростанції дозволяє: збільшити глибину охолодження повітря до 10 °С в порівнянні з базовою системою кондиціонування, скоротити витрати холоду на 75 %, знизити питому витрату палива на 0,5...1,3 г/(кВт·год), зменшити добову витрату газу двигуном на 24 м³.

Література:

1. Трушляков Є. І. Підвищення ефективності систем кондиціонування повітря шляхом розподілу теплового навантаження за ступеневим принципом / Є. І. Трушляков, М. І. Радченко, А. М. Радченко, С. Г. Фордуй, С. А. Кантор, В. С. Ткаченко, Б. С. Портной // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2019. – № 8 (160). – С. 49. doi.org/10.32620/aktt.2019.8.07
2. Trushliakov E., Radchenko A., Forduy S., Zubarev A., Hrych A. Increasing the Operation Efficiency of Air Conditioning System for Integrated Power Plant on the Base of Its Monitoring. In: Nechyporuk M., Pavlikov V., Kritskiy D. (eds) *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1113. Springer, Cham (2020), pp. 351-360.
3. Радченко А. М., Грич А. В. Охолодження приточного повітря машинного відділення газових двигунів тригенераційної установи / А. М. Радченко, А. В. Грич // *Холодильна техніка та технологія*. – 2014. – № 6. – С. 20-25.
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.

ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СЕУ

Гудима А. О.

магістрант освітньої програми «Суднові енергетичні установки та устаткування»
 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

Важливою складовою безпеки судноплавства є безпека експлуатації суднової енергетичної установки (СЕУ). Основною складовою фактору безпеки є інформація. Достовірність, об'єктивність і конфіденційність інформації щодо

параметрів і характеристик обладнання СЕУ, оцінка й прогнозування технічного стану машин і механізмів, кваліфіковані дії екіпажу в оцінці ситуаційних моментів впливають на правильність прийняття рішень.

Значна кількість аварій виникає внаслідок впливу дій членів екіпажів, викликаними недостатньою кваліфікацією, порушенням правил та інструкцій, порушеннями трудової дисципліни тощо. Інформація стосовно технічного стану обладнання залежить від наявності і ефективності відповідних систем і засобів контролю процесів, які відбуваються в СЕУ.

Забезпечення безпеки мореплавання, виконання аналізу доцільності заміни окремих вузлів СЕУ, обґрунтування обсягів ремонту, допуску СЕУ судна до подальшої експлуатації можливо тільки із застосуванням сучасних засобів оцінки технічного стану та використання сучасних математичних моделей, що враховують особливості конструкції енергетичної установки судна і дозволяють завчасно провести оцінку надійності СЕУ і дати прогноз рівня її безпеки на заданий період експлуатації.

З метою створення єдиної структурованої і систематизованої методики підвищення безпеки мореплавання суден, експлуатації морських стаціонарних платформ різного призначення, для захисту людського життя на морі, здоров'я, екологічної безпеки морського середовища і власності шляхом використання оцінок ризиків для вибору найбільш ефективних і економічних засобів підвищення безпеки Міжнародної Морської організацією (IMO) в 1996 році була створена спеціальна робоча група. За результатами її роботи було прийнято «Керівництво по формалізованій оцінці безпеки (ФОБ) для використання в процесі нормотворення IMO» (MSC Circ.1023 / MEPC Circ.392).

Інструмент ФОБ заснований на завчасних діях і являє собою структурований метод, що дозволяє визначити потенційно небезпечні ситуації заздалегідь, до виникнення аварії з тим, щоб після цього оцінити величину ризику, провести оцінку витрат і вигоди, пов'язаних із застосуванням можливих варіантів управління ризиками і, на підставі систематизованого аналізу, прийняти обґрунтовані рішення щодо зниження величини ризику.

Для досягнення поставленої мети необхідно розробити модель, що дозволяє оцінювати можливість подальшої експлуатації СЕУ, що мають напрацювання з визначенням залишкового ресурсу механізмів і можливістю вибору найбільш ефективних і економічних шляхів для його підвищення в процесі ремонту і модернізації з використанням методу формалізованої оцінки безпеки.

У процесі досягнення поставленої мети потрібно вирішити низку важливих завдань. З урахуванням наведених в роботах [1-4] міркувань і рекомендацій, сформулюємо наступні завдання, необхідні для формалізованої оцінки безпеки СЕУ:

- проаналізувати метод ФОБ з метою оцінки можливості і раціональності його застосування в процесі прийняття рішень про рівень безпеки та допустимості подальшої експлуатації СЕУ;
- виконати аналіз відмов основних елементів СЕУ;
- розробити структурну модель, що описує склад елементів СЕУ, технічний стан яких істотно впливає на рівень надійності установки;
- створити математичні моделі відмов елементів СЕУ;
- реалізувати розроблені моделі в єдиному програмно-інформаційному комплексі;
- оцінити адекватність розроблених моделей, перевірити ефективність застосування розробленого комплексу;
- розробити методику прийняття технічних рішень, спрямованих на обґрунтоване збільшення терміну експлуатації елементів СЕУ.

В процесі прийняття рішень стосовно підвищення безпеки експлуатації СЕУ необхідно враховувати низку факторів, серед яких важливу роль відіграють:

- рівень організації технічного обслуговування і ремонту обладнання.
- ефективність системи обліку, розслідування аварій, збору даних стосовно аварійності суднового обладнання;
- наявність заходів по запобіганню аварій, в тому числі обов'язкові тренування екіпажів, виконання вимог інструкцій заводів-виробників енергетичного обладнання.

Висновки. Виконаний аналіз, узагальнення і оцінювання основних завдань процесу створення ФОБ елементів СЕУ дає можливість спеціалістам в галузях проектування і експлуатації суднового енергетичного обладнання використовувати цю інформацію для розробки ефективних технічних рішень.

Література:

1. Вільський Г., Надич М. Моделювання інформаційної безпеки судна. Вісник Вінницького політехнічного інституту. Вінниця, 2011. № 4. С. 36-42.
2. Кісетов Ю. В. Питання зменшення аварій суднового обладнання. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці : XIV Міжнародна науковотехнічна конференція : матеріали. – Миколаїв : НУК, 2023. – С. 132-134
3. Кісетов Ю., Довженко О. Перспективні напрямки підвищення безпеки експлуатації суднових енергетичних установок. Судно-ва енергетика: стан та проблеми: матеріали IX Міжнар. наук.-техн. конф. Миколаїв, 2019. С. 66-69.
4. Могар О. Ю., Надіївський С. Д., Кісетов Ю. В. Напрямки підвищення безпеки експлуатації СЕУ. Матеріали X Всеукраїнської студентської наукової конференції [Сучасні проблеми морського транспорту та безпека мореплавства]. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2020. – С. 193-195.

ОСОБЛИВОСТІ ПРИВОДУ ЯКІРНО-ШВАРТОВНИХ МЕХАНІЗМІВ

Матвієнко В. В.

студент групи 3351

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

Розвиток технологій призвело до значних змін у конструкції та типах приводів, які використовуються у якірно-швартовних пристроях. У цій роботі розглядаються особливості та переваги сучасних приводів, а також їх роль у підвищенні безпеки та ефективності роботи.

На сучасних суднах використовуються різні типи приводів якірно-швартовних пристроїв, серед яких найпоширеніші електричні та гідравлічні. Кожен з них має свої особливості, переваги та недоліки. В останні роки спостерігається активне вдосконалення приводів якірно-швартовних пристроїв, що зумовлено потребами у підвищенні їх ефективності, надійності та безпеки, а також вимогами до зниження впливу на довкілля [1-6].

Електропривід. Електричні приводи стають все більш популярними завдяки їхній енергоефективності, легкості управління та меншому впливу на навколишнє середовище. Такі приводи не вимагають наявності складних гідравлічних систем, що знижує ризик витоків мастила та забруднення акваторії. Електричні приводи також можуть бути інтегровані у загальну систему автоматизації судна, що дозволяє реалізовувати дистанційне керування та контроль за станом обладнання. Недоліками електричного приводу є вищі початкові витрати на обладнання та необхідність наявності надійного джерела живлення.

Гідравлічний привід. Гідравлічні приводи залишаються затребуваними завдяки своїй високій потужності та здатності працювати у важких умовах. Вони забезпечують значні зусилля при підйомі та натягу ланцюгів та канатів, що особливо важливо для великих суден. Основними недоліками гідравлічного приводу є складність конструкції, необхідність регулярного технічного обслуговування та ризик витоків гідравлічної рідини, що потребує дотримання суворих екологічних стандартів. Однак для багатьох типів суден, особливо великих танкерів і контейнеровозів, гідравлічні приводи залишаються кращими завдяки їх витривалості та надійності.

Серед основних виробників якірно-швартових механізмів розглянемо Tytan Marine, Westec, PilotFits Engineering Co та Appleton Marine. Нижче наведено приклади продукції цих компаній (рис. 1-4).



Рис. 1. Брашпіль компанії Tytan Marine



Рис. 2. Подвійний якірний брашпіль компанії Westec

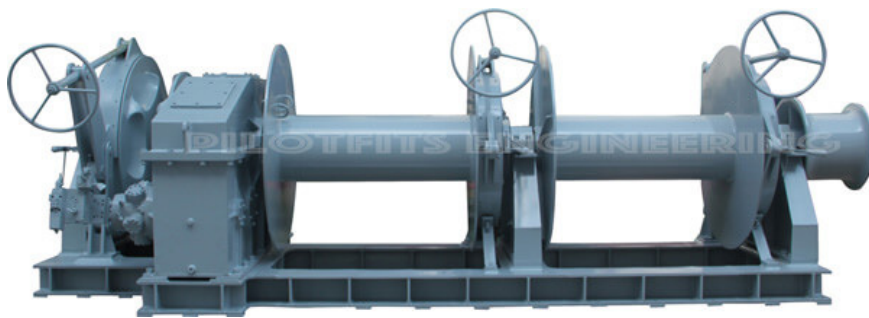


Рис. 3. Гідравлічний брашпіль компанії PilotFits Engineering



Рис. 4. Комбінований брашпіль від компанії Appleton Marine

Всі ці брашпили кардинально відрізняються один від одного в залежності від потреб судна, умов експлуатації його експлуатації. Як приклад у брашпіль компанії Tytan Marine (див. рис. 1) робоче навантаження 92 kN, в той час як у гідравлічного брашпілю від компанії PilotFits Engineering (див. рис. 3) навантаження досягає від 15,3 kN до 226,5 kN. На рисунках було наведено різні типи якірних систем а саме: одиночний, подвійний, гідравлічний та комбінований брашпили.

У сучасних якірно-швартовних пристроях активно впроваджуються системи автоматизації та дистанційного керування. Це дозволяє екіпажу більш ефективно контролювати операції, мінімізувати час, що витрачається на швартування, та підвищувати загальну безпеку. Такі системи оснащені датчиками, які відстежують натяг канатів, стан якірного механізму та інші важливі параметри. Наприклад, автоматизовані системи можуть попереджати екіпаж про перевищення допустимих навантажень, що знижує ризик аварій та поломок.

Крім того, на судах нового покоління часто встановлюються гібридні системи приводу, які можуть працювати як на електриці, так і на гідравліці, залежно від умов. Це дозволяє економити паливо та знижувати зношування обладнання при стандартних операціях, а також збільшувати потужність приводу при необхідності. Гібридні приводи дозволяють судну адаптуватися до умов експлуатації, що забезпечує оптимальне співвідношення між потужністю та витратою палива. Електричні приводи, як правило, менш шкідливі для навколишнього середовища порівняно з гідравлічними, оскільки виключають можливість витоків мастила та знижують викиди CO₂ при використанні екологічно чистої електроенергії.

Сучасні приводи якірно-швартовних пристроїв на морських судах стають все більш технологічними та ефективними. Використання електричних приводів з можливістю частотного регулювання та рекуперації енергії, а також надійних гідравлічних систем дозволяє забезпечувати безпеку та зручність керування судном. Також сучасні тенденції включають використання інтелектуальних систем управління, які дозволяють автоматизувати процеси постановки та знімання якоря. Дистанційне керування та інтеграція в загальні суднові системи керування підвищують безпеку, оскільки оператори можуть керувати пристроями із захищених зон.

Література:

1. [Електронний ресурс] / Режим доступу до ресурсу: https://priliv-new.com.ua/ua/a465992-cho-takoe-shvartovnoe.html?srsltid=AfmBOorNOQgan29O3X0kknxQ1fQ9dzFx_JH-gX57NKhsWBullJcRYiw9/
2. [Електронний ресурс] / Режим доступу до ресурсу: <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/anchor-windlass-understanding-design-and-operation/>
3. [Електронний ресурс] / Режим доступу до ресурсу: <https://www.tytanmarine.com/products/windlasses/electric-windlass>
4. [Електронний ресурс] / Режим доступу до ресурсу: <https://www.westecequipment.com/anchor-winch--windlasses>
5. [Електронний ресурс] / Режим доступу до ресурсу: <https://pilotfits.com/products/anchor-windlass/>
6. [Електронний ресурс] / Режим доступу до ресурсу: <https://www.appletonmarine.com/products/windlass/combination/>

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE DESIGN OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Maksym Poshyvai, Nataliia Benedychuk, Vadym Voloshchuk

students of higher education at the Marine Engineering
and Power Engineering Department

scientific supervisor – **Roman Avdiunin**, lecturer of Marine Engineering
and Power Engineering Department

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

Nowadays, the applications of Artificial Intelligence (AI) are noticeably extending in the wide range of research and industries. It seems that industrial products are competing in equipping themselves with artificial intelligence. Engines also use this concept to improve their performance, usability, and viability in this competition [1, 2].

It could be asserted that the world is experiencing the midst of a new wave of artificial intelligence algorithm development. Besides the conventional ways to improve engine performance, its numerous challenges and the competition between the producers lead the researchers to develop artificial intelligence algorithm and apply them in the engine industry. Using conventional methods to regulate, anticipate, and optimize the hardly nonlinear and complex events of an ICE such as 2D and 3D mapping of the engine characteristics, large number of nonlinear combustion chemical reactions, pressure and temperature gradients, multi-phase flow interactions, and formation of particulate matters is a challenging issue. So, the models based on AI could estimate the engine performance ignoring such hard phenomena and just based on the experimental data.

Furthermore, there are some ignored issues in conventional ICE management systems such as regulating stochastic cyclic variability that brings poor performance for the engine management systems. More powerful and efficient control models are provided using artificial intelligent algorithms in various ICE combustion modes such as homogeneous charge compression ignition or reactivity-regulated compression ignition. The rapid rise of employing and applying big data, make us able to provide ever-more sufficient and smart management system using a large amount of details and countless information from the engine such as speed, load, indicated torque, temperature, pressure, fuel injection, fuel consumption, etc. It is obvious that such an enormous amount of data needs a powerful analyzing tool and artificial intelligence algorithms are the best choice considering efficiency, time consumption, errors, and cost for engine management. In addition, AI technology using the data adopted from noticeable comparable ICEs connected to a network could provide a real-time smart engine management system [3].

The ever-increasing growth of human societies, continuous change of customer desirers and the mechanization of traditional common methods besides fossil fuel resource limitations, environmental pollutants concerns, and design considerations lead researchers to have non-stop efforts developing the performance of internal combustion engines. Extended works have been carried out by researchers to have more efficient and cleaner engines [4] These efforts contain a vast variety of approaches from engine design to fuel development and combustion control [5,6].

Among these extended subjects, applying AI to internal combustion engines is a new approach on which researchers are working. Although the most of efforts have been devoted to the control approaches [7], the range of employing AI in engine performance development is still wide from the optimized redesign to fuel/charge mixture and combustion characteristics.

Furthermore, due to the strong research background in this field, it can be asserted that AI technology is simultaneously applied to all known combustion modes, from spark ignition engines to diesel and low-temperature combustion ones.

Most of the efforts are based on the Artificial Neural Network to simulate the engine performance and then use such a model for control approaches or optimization. Indeed, engine general performance such as power, torque, and emission based on its operating conditions and input parameters such as valve timing, ambient pressure/temperature, and equivalence ratio could be estimated using machine learning and deep learning techniques. In such models, based on the engine data set, some predictive correlations will be produced and used to estimate the target values based on the input ones.

Conclusion. Looking at more details on the engine control unit, we are able to find some primary levels of intelligence. There are lots of calibration tables for operating ranges of the engine that the engine control unit uses to calculate the needed, for example, fuel to be injected based on the working condition and driver request. Based on the data adopted from the sensors (engine speed, manifold pressure and temperature, the angle of throttle, etc.) the coefficients of fuel mass flow rate correlation is found from the related calibration tables, and after applying the modification coefficients (liquid film loss) the demanded fuel mass flow rate to be injected and will be calculated. There are some other correlations and modifications based on the voltage of the battery to convert the demanded mass flow rate to the millisecond needed to open the injector. Finally, the feedback of such a process can be achieved using oxygen sensor by calculating the equivalence ratio.

References:

1. Koten H. (Ed.). (2024). Diesel Engines – Current Challenges and Future Perspectives. IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.110936
2. Chowdhary K. R. Fundamentals of Artificial Intelligence. New Delhi: Springer India; 2020. pp. 603-649.
3. Makridakis S. The forthcoming artificial intelligence (AI) revolution: Its impact on society and firms. Futures. 2017; pp. 46-60.
4. Khan M. Y., Giordano M., Gutierrez J., Welch W. A., Asa-Awuku A., Miller J. W., et al. Benefits of two mitigation strategies for container vessels: Cleaner engines and cleaner fuels. Environmental Science & Technology. 2012;46(9):5049-5056.

5. Namar M. M., Jahanian O. A simple algebraic model for predicting HCCI auto-ignition timing according to control oriented models requirements. Energy Conversion and Management. 2017; 154: pp. 38-45.
6. Yilmaz M., Köten H., Gul M. Z. Effects of the injection parameters and compression ratio on the emissions of a heavy-duty diesel engine. International Journal of Vehicle Design. 2012;59(2/3): pp. 147-163.
7. Namar M. M., Jahanian O., Shafaghat R., Nikzadfar K. Engine downsizing; global approach to reduce emissions: A world-wide review. HighTech and Innovation Journal. 2021;2(4): p. 384-399.

АНАЛІЗ СИСТЕМ ВОДОПІДГОТОВКИ ДЛЯ ПЕРЕСУВНОЇ ГАЗОТУРБІННОЇ УСТАНОВКИ

Шаповалов Ю. О.

канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики

Семенов М. М.

доцент НУК кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики

Богдан А. П., Міхай Г. М.

здобувачі освіти

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

Українська енергетика залишається однією з ключових цілей ворога, що атакує об'єкти генерації, розподілу електроенергії та газової інфраструктури. Одним зі способів зменшення енергетичного дефіциту енергії є впровадження пересувних автоматизованих електростанцій (ПГЕС) на базі ГТУ, які будуть забезпечувати електричною і тепловою енергією комунальні та промислові об'єкти.

Пересувні ГТУ призначені для виробництва електроенергії для промислових і побутових потреб в умовах відсутності електромагістралі й при паралельній роботі з нею, а також для роботи як резервне джерело електроживлення при виникненні пікових навантажень. Пересувна автоматизована електростанція з обладнанням, розташована в спеціальному двоосному напівпричепі, що є дуже зручним у доставці і транспортуванні з одного місця, у разі потреби, до іншого [1, 2]. Проте серйозну проблему для застосування ПГЕС створює система водопідготовки, що в установках працюючих по складних циклах має істотне значення для подачі її в котел або в ГТД у спеціальних водопідготовчих установках (ВПУ), у яких з води тим чи іншим способом віддаляються розчинені в ній речовини.

Метою роботи є вибір найбільш прийняттого варіанту підготовки води для підживлення теплової мережі котла і для упорскування до камери згоряння ГТД. Відповідно до Дослідження виконувалися та підтверджені акредитованою Лабораторією іонного обміну та адсорбції ХТФ НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського». Дані порівнюються з нормативами – ДСанПіН 2.2.4-171-10 та ДСанПіН №683-22. Ми бачимо погіршення якості у регіонах України табл. 1. Тому система водопідготовки для ПГЕС, потребує модернізації [3].

Таблиця 1.

Населений пункт, область	Період	Мутність, мг/л	Кольоровість, град	Сухий залишок, мг/л	Залізо, мг/л	Марганець, мг/л	Окислюваність, мг/л
Нормативні значення		0,58	20	1 000	0,2	0,05	5
		2,03	35	1 500	1	0,5	5
Київ	2021 рік	0,79	23,9	330	0,20	0,02	4,3
	2023 рік	0,85	35,7	280	0,25	0,02	6,3
Кропивницький	2021 рік	0,43	14,7	660	0,09	0,01	3,8
	2023 рік	1,82	47,8	366	0,36	0,02	7,1
Дніпро	2021 рік	1,01	20,4	268	0,14	0,01	6,6
	2023 рік	1,31	35,4	304	0,25	0,01	8,9
Харків	2021 рік	1,41	18,4	694	0,29	0,02	5,6
	2023 рік	2,09	21,0	654	0,37	0,01	4,2
Чернівці	2021 рік	0,27	6,7	384	0,04	0,01	0,9
	2023 рік	0,20	5,7	346	0,06	0,02	0,7
Миколаїв	2021 рік	0,35	14,9	442	0,07	0,01	5,5
	2023 рік	3,06	27,6	3 786	0,98	0,15	7,5
Львів	2021 рік	0,61	5,7	410	0,11	0,05	0,8
	2023 рік	0,25	7,5	344	0,12	0,01	0,6
Одеса	2021 рік	0,79	11,2	370	0,07	0,01	2,3
	2023 рік	0,83	12,5	332	0,07	0,01	2,2
Полтава	2021 рік	0,86	11,0	1 174	0,06	0,01	1,2
	2023 рік	0,20	6,8	1081	0,09	0,01	0,8
Запоріжжя	2021 рік	0,70	16,2	506	0,17	0,04	5,1
	2023 рік	1,0	41,0	286	0,21	0,06	5,6
Житомир	2021 рік	2,5	19,3	554	0,62	0,02	6,2
	2023 рік	2,7	23,0	482	0,72	0,05	8,1

Норматив ДСанПіН 2.2.4-171-10
Норматив ДСанПіН №683-22

Було проведено аналіз та розрахунок різних систем водопідготовки.

Зі способів підготовки води були обрані пом'якшення води з використанням іонообмінних фільтрів та очищення води за допомогою зворотноосмотичних мембран. В процесі проведеної роботи було виявлене наступне: установки пом'якшення води мають переваги перед установками зворотного осмосу, у тому що при однаковій продуктивності мають приблизно в 7...8 разів меншу вартість та в 3...4 рази менші витрати на видаткові матеріали. При підвищеній жорсткості (більше 10 мг-екв/л) вихідної води установку пом'якшення необхідно комплектувати з двох послідовно встановлених блоків. При цьому її вартість і витрати на видаткові матеріали збільшуються в 2 рази. Установки пом'якшення більш прості та легкі в обслуговуванні. Слід зазначити, що водопідготовка способом пом'якшення не зможе забезпечити необхідні параметри води для подачі у ГТД. У цьому випадку рекомендується застосувати установку зворотного осмосу, здатну очистити воду до 99,9 %. Аналіз ринку ВПУ показує, що на даний час установки зворотного осмосу широко застосовуються в промисловості, хоча основна їхня кількість використовується для одержання води для харчової та хімічної промисловості. Вартість тони очищеної води з урахуванням вартості життєвого циклу установки пом'якшення 0,17 дол./т (для одноступінчастої установки) і 0,34 дол./т (для двоступінчастої установки), а установки зворотного осмосу 0,68 дол./т.

Проаналізовано роботи пом'якшувальної ВПУ та ВПУ, що працює на зворотному осмосі, встановлено, що для фільтрації води, яка подається на установку зворотного осмосу використовують мультимедійні фільтри. У той же час у пом'якшувальній ВПУ також використовуються фільтри, в яких із води видаляються механічні домішки. Виходячи з цього стає можливим розробити комбіновану схему ВПУ, в якій в якості першого ступеня для очищення води від механічних домішок перед установкою зворотного осмосу буде використовуватись пом'якшувальна ВПУ. Частина води після першого ступеня (3,4 т/г) подаватиметься до теплової мережі, а решта (1,6 т/г) – до другого ступеня (установку зворотного осмосу), в якому буде очищатись до якості, потрібної для подачу у камеру згоряння ГТД (рис. 1).

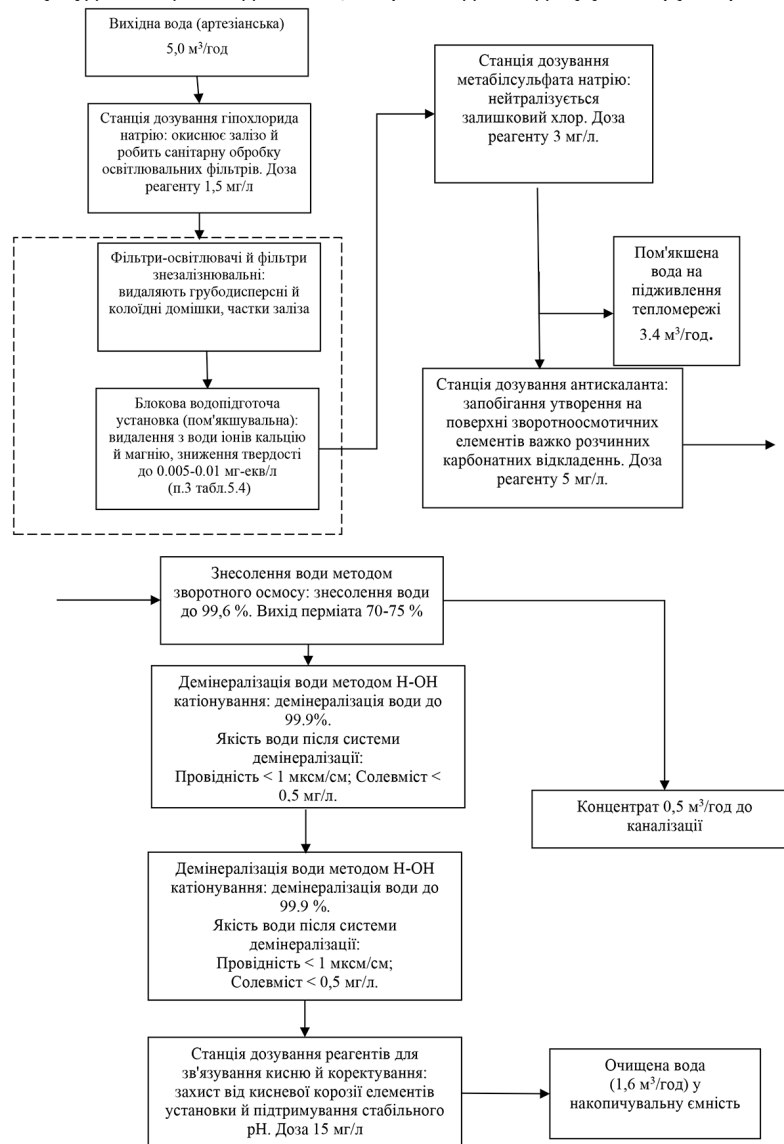


Рис. 1. Схема роботи комбінованої ВПУ

Висновок: Таким чином, запропонований варіант ВПУ характеризується меншими капітальними (у 2,2 рази) і експлуатаційними (у 2,04 рази) витратами, ніж у варіанті з іонообмінними фільтрами та меншою кількістю обладнання ніж у варіанті з зворотньоосмотичними мембранами.

Література:

1. Боцула О. Л. Удосконалення структури енергогенеруючих потужностей з використанням високо маневрених газотурбінних блочно-комплексних електростанцій. Суднове та енергетичне газотурбобудування. Науково-технічна збірка. 2 томи. – Миколаїв: НВКГ «Зоря» – «Машпроект», ПЗ ІАУ, 2004. – С. 403-414.
2. Миколаївські газотурбінні двигуни та установки / під. заг. ред. д.т.н. В. І. Романова / ДП НПКГ «Зоря» – «Машпроект». – Миколаїв: уз. «Південь»-«Інформ», 2005. – 304 с.
3. Стан водних ресурсів у воєнний період / <https://h2o-water.com.ua/blog/karta-kachestva-vody--izmeneniya-v-usloviyah-voyny/>

ПОЛІПШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРОРОЗРЯДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Поліщук Д. В.

канд. техн. наук, доцент кафедри автомобільного транспорту та транспортних технологій
Філія Класичного приватного університету
м. Кременчук, Україна

Широке застосування двигунів внутрішнього згоряння у різних сферах діяльності людини спричиняє низку негативних наслідків, зокрема забруднення довкілля токсичними складовими відпрацьованих газів. Сучасні дослідження, спрямовані на створення малотоксичних дизельних двигунів, свідчать, що ефективне зниження димності вихлопних газів можливе шляхом додаткового очищення від твердих частинок за допомогою спеціальних пристроїв, інтегрованих у систему випуску. Такі методи доповнюють робочий процес двигуна, однак самі по собі не гарантують досягнення екологічних показників, що відповідають сучасним стандартам.

До засобів додаткового очищення вихлопних газів належать механічні фільтри, каталітичні сажоокислювачі, терморектори, барботажні системи тощо. Серед них найбільш розробленими є керамічні сажові фільтри, фільтри з металевим окалиною або волоконними наповнювачами. Однак ці пристрої мають суттєві недоліки, зокрема: низьку сажомісткість, необхідність регулярного очищення або заміни, збільшення газодинамічного опору, що негативно впливає на роботу двигуна і підвищує витрату палива та димність вихлопу.

З огляду на ці недоліки актуальним стає пошук альтернативних методів очищення вихлопних газів від твердих частинок і відповідних конструкцій. Одним із перспективних напрямків є використання електророзрядних технологій. Такі системи газоочищення мають ряд переваг: високий ступінь очищення (99 % і більше), низькі питомі енерговитрати, мінімальний газодинамічний опір, який не залежить від кількості накопичених частинок, а також можливість одночасного очищення газового потоку від твердих частинок і токсичних газоподібних компонентів.

Сучасні конструкції електророзрядних систем поділяються на дві основні групи: електрофільтри та плазмохімічні очищувачі. Хоча електрофільтри добре зарекомендували себе в промисловості, вони непридатні для очищення вихлопних газів дизельних двигунів від сажі з кількох причин. По-перше, для мобільної техніки потрібні компактні пристрої, які забезпечують ефективне очищення при високій швидкості проходження газів, що недосяжно для електрофільтрів. По-друге, електропровідна природа дизельної сажі сприяє швидкому виходу з ладу високовольтних ізоляторів або припиненню очищення через короткі замикання. По-третє, висока температура газів (100...650 °C) і її значні коливання, а також агресивне хімічне середовище створюють підвищені вимоги до матеріалів і конструкції пристроїв [1].

Плазмохімічні системи, хоча й демонструють успішні результати в очищенні газових потоків від оксидів азоту (до 90 % ефективності), також не підходять для дизельних двигунів. Вони чутливі до наявності електропровідної сажі та не призначені для очищення газів із твердими частинками [2].

Електрофільтр-допалювач є альтернативним рішенням, яке дозволяє осаджувати сажу на електродах із подальшим допалюванням між ними. Розроблено та випробувано дві конструкції таких пристроїв для дизеля Д-243 (70 кВт) із компактними розмірами (0,15 м³) і швидкістю газового потоку в діапазоні 0,7...1,55 м/с. У нашій першій системі робоча напруга становить 5...7 кВ, що забезпечує стабільну роботу ізолятора, але вона має недостатню жорсткість конструкції. Через коливання температури вихлопних газів може відбуватися деформація геометрії пристрою, що призводить до пробіїв міжелектродного проміжку.

Для номінального режиму роботи двигуна та системи коронуючих електродів типу «коаксіальні циліндри» збільшення напруги з 3 кВ до 18 кВ забезпечує зниження димності вихлопних газів у 8,5 раза. У випадку системи коронуючих електродів «ряд проводів між коаксіальними циліндрами» підвищення напруги з 3 кВ до 10 кВ знижує димність у 95 разів.



Рис. 1. Загальний вигляд повнопоточного плазмохімічного реактора

Плазмохімічний реактор (див. рис. 1) є багатоструменевою електророзрядною системою. У плазмі стаціонарного коронного розряду повнопоточного плазмореактора процес зниження димності вихлопних газів дизельного двигуна Д-243 розпочинається при напрузі 6,5...8 кВ, яка відповідає порогу запалення корони. Коли напруга досягає 14...15 кВ, реактор переходить у режим насичення. Подальше збільшення напруги недоцільне, оскільки воно призводить до значного зростання питомих енерговитрат без суттєвого покращення ступеня очищення.

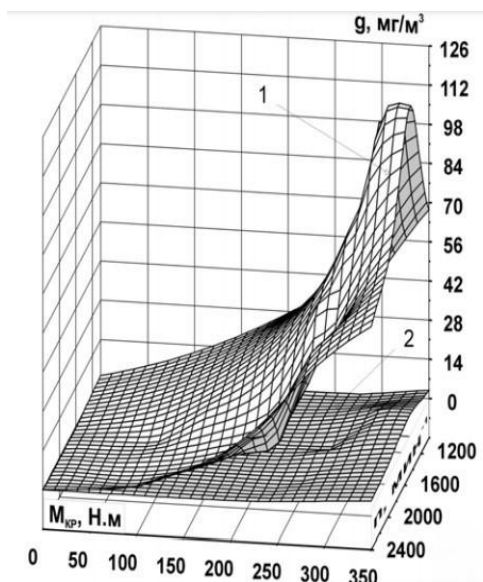


Рис. 2. Питомий вміст частинок у газах, що відпрацювали, дизеля Д-243

На рис. 2 представлено залежність питомого вмісту твердих частинок від частоти обертання колінчастого валу та навантаження для різних режимів роботи двигуна. Поверхня 1 ілюструє показники без системи очищення, тоді як поверхня 2 демонструє результати з використанням плазмохімічного реактора. Дані свідчать, що реактор ефективно очищує вихлопні гази від сажі в усіх швидкісних і навантажувальних режимах. На найбільш навантажених режимах, які відповідають максимальному крутному моменту, максимальна димність очищених газів становить 2,3 % або 0,041 г/(кВт·год). Це в 2,44 рази нижче вимог стандарту EURO-3 і в 1,94 рази нижче рівня EURO-5.

Аналіз ефективності існуючих систем очищення вихлопних газів дизельних двигунів від твердих частинок показує потребу у створенні універсальної електророзрядної системи, яка б усунула недоліки, притаманні електрофільтрам і плазмореакторам.

Література:

1. Островерхов М. Я. Методи дослідження електротехнічних систем і комплексів: монографія / М. Я. Островерхов, А. М. Сільвестров, К. Х. Зеленський. – Київ: ТАЛКОМ, 2019. – 300 с.
2. Бржезицький В. О., Ісакова А. В., Рудаков В. В. та ін. Техніка і електрофізика високих напруг: Навч. посібник / За ред. В. О. Бржезицького та В. М. Михайлова. – Харків: НТУ «ХПІ» – Торнадо, 2005. – 930 с.

ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ В УКРАЇНІ В ЕНЕРГЕТИЦІ ТА НАЗЕМНОМУ ТРАНСПОРТІ

Лісовал А. А.

д-р техн. наук, професор кафедри двигунів і теплотехніки
Національний транспортний університет
м. Київ, Україна

У доповіді на підставі світових тенденцій обґрунтовано місце водню і водневих технологій в подальших процесах декарбонізації енергетики і автомобільного транспорту України.

Різноманітність способів виробництва, транспортування та зберігання, використання водню різної чистоти вимагають складних компромісних рішень між вартістю технології і кількістю можливих викидів шкідливих речовин у довкілля на всіх супутніх етапах застосування цих технологій.

В промисловості на шляху до декарбонізації стоїть дві проблеми:

- в розвинених країнах вже впроваджені передові енергозберігаючі технології, які максимально скоротили використання викопного палива;
- ризики інвестування в новітнє технологічне обладнання, без гарантій його досконалості та довговічності.

Більш сприятлива ситуація до продовження процесів декарбонізації в енергетиці та на транспорті.

Водневе паливо і водневі технології слід позиціонувати як один із напрямів енергетичного переходу галузей економіки на рейки декарбонізації, що приведе до створення кліматично нейтральних циркуляційних технологій.

Традиційні поршневі двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) можна модернізувати для роботи на суто водневому паливі, але це потребує застосування нових матеріалів через високу питому енергоємність водню. На шляху спалювання водню в камерах згоряння ДВЗ стоять обмеження на викиди оксидів азоту (NOx). Можливий варіант використання суміші водню з природним газом або модернізація двопаливних ДВЗ. Це найбільш реалістичний варіант на поточний час для України.

Структура основної частини доповіді:

- технології виробництва водню;
- зберігання та транспортування водню;
- застосування водню для виробництва тепла і електроенергії;
- використання водню для автомобілів і автобусів.

В світлі процесів декарбонізації, головною перевагою паливних елементів (ПЕ) є відсутність згоряння вуглеводнів і відповідно можливість зменшити забруднення атмосферного повітря парниковим газом CO₂. Існуючі ПЕ можуть працювати не лише на водні, а і на природному газі.

В енергетиці водневі технології конкурують не з традиційними способами отримання тепла та електричної енергії, а з біоенергетикою, з тепловими насосами, з технологіями уловлювання та зберігання вуглецю та його оксидів. В автомобільній галузі водневі технології конкурують з рідкими і газоподібними біопаливами, електромобілями та гібридами з ДВЗ і акумуляторами.

Потенціальні можливості застосування водневих технологій для процесів декарбонізації розкриються тільки після створення ринку продажу водню та відповідної інфраструктури.

На сегмент і ціну застосування водневих технологій впливає спосіб вибраного процесу виробництва, складових інфраструктури, які включають зберігання, транспортування і заправні станції.

Безпечна експлуатація і впровадження водневих технологій в Україні потребує кваліфікованих інженерних кадрів. Підготовку таких спеціалістів для енергетики і транспорту можуть взяти на себе університети за спеціальністю 142 – енергетичне машинобудування.

Література:

1. Лісовал А. А. Передумови використання водню в Україні в енергетичній та автомобільній галузях // Двигуни внутрішнього згоряння. – 2023. – №1 – С. 11-17. DOI: 10.20998/0419-8719.2023.1.02.

HERMETIC COMPRESSORS FOR AUTONOMOUS AIR CONDITIONERS OF AMPHIBIOUS VESSELS

Olena V. Lytosh

Ph. D., associate professor
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine

Amphibious hovercraft vessels (ACVs) have gained widespread recognition. Years of operational experience have shown that they are convenient, reliable, and cost-effective for transporting passengers and cargo on rivers, coastal areas, and short sea routes. Amphibious hovercraft ships and boats have also found extensive use for military purposes.

The operation of these vessels in the southern regions of Ukraine, as well as their sale to countries with tropical climates, requires the implementation of systems that provide air conditioning (ACS) in passenger cabins and the wheelhouse. Additionally, the saturation of modern ships with radar and radio navigation equipment, automatic control and monitoring

devices, and electric drives leads to intense heat generation. Therefore, intensive cooling is required for the reliable and safe operation of the equipment.

The main difference between ACS systems for amphibious vessels and similar installations for displacement vessels is that during movement, heat removal from them can only be carried out to the outside air. Therefore, under such operating conditions, the use of autonomous air conditioners (ACs) with a vapor-compression refrigeration machine is justified, where the compressor is a hermetic piston type, air cooling occurs in a surface air cooler, and condenser cooling is air-based. This increases reliability and better meets individual requirements for maintaining air parameters in the premises [1-3].

To reduce the mass of the power plant and systems on ACVs, high-frequency power supply (400 Hz) has become widespread. One of the most challenging problems when implementing ACs for ACVs is ensuring the drive of the refrigeration compressor.

For the first time, a high-speed hermetic compressor KHGV-14.0 for ship ACs powered from a 400 Hz network was created by the Central Scientific Research and Design Institute "Typhoon" in 1974 and has since been produced in small batches. A synchronous rotational speed of 66.7 s^{-1} was adopted because at a lower frequency (50 s^{-1}), the characteristics of the built-in electric motor deteriorated, leading to decreased performance and increased temperature levels of the compressor as a whole [1-3].

The KHGV-14.0 compressor is two-cylinder, with cylinders arranged at an angle (90°), which allowed for connecting rods with a non-split lower head and an eccentric shaft with a single crankpin. Such compressors are easier to master in small-batch production. The valves are ring-type, with a discharge valve lift of 1 mm and a suction valve lift of 2 mm. A feature of the rotor design of the electric motor is the presence of a cylindrical recess, which reduced the length of the cantilever part of the shaft, the load on the upper bearing, and the overall height of the compressor. As a result of using internal vibration isolation (conical spring vibration isolators), the vibration level decreased by 8...10 dB compared to a compressor with rigid mounting. To organize the flow of refrigerant to ensure intensive cooling of the compressor's electric motor and to reduce suction noise, a special muffler is installed above the electric motor.

In 1983–1984, the institute developed a new series of high-speed compressors of the HGV type powered from a 50 Hz network. The new series compressors have a rotational speed of 50 s^{-1} , cover a wide range of required cooling capacities (from 3 to 33 kW), and allow for the complete replacement of outdated compressors. By the end of the 1980s, the new compressors were mastered and launched into serial production.

An essential condition for improving the technical level and reliability of the KHGV-14.0 compressor was its unification with the HGV-type compressor. This made it possible to use practically all the equipment and technology developed during the mastering of the new series of compressors in its manufacture.

As the base model for unification, the HGV-14.0 compressor was adopted, which is closest in technical characteristics to the KHGV-14.0 compressor. They have approximately the same design (vertical shaft, horizontal cylinder arrangement, internal elastic suspension, and external discharge muffler).

In creating the unified compressor HGV-14.0-V, the units and parts of the HGV-14.0 compressor already mastered in production were used to the maximum extent (achieving an application coefficient of 0.91). Recommendations obtained during the indication of KHGV-14.0, the study of the gas-dynamic characteristics of its elements, and the experience gained in developing the new series of high-speed compressors were maximally utilized.

Due attention was paid to improving the valve mechanism, with the main goal being to enhance its reliability. Considering the possibility of obtaining a significant gain in valve reliability by reducing their lift, the final design adopted: a discharge valve lift of 0.7 mm and a suction valve lift of 1.8 mm.

The results of previous bench tests of high-speed compressors, as well as recommendations from other researchers, allowed for changes in the valve design, ensuring their fixation against rotation in the cage during operation. Valves fixed against rotation wear several times less, which contributes to increasing the overall reliability of the compressor.

The design of the unified compressor HGV-14.0-V differs from KHGV-14.0 by having a more advanced flow path, which favorably affected the reduction of losses in the suction and discharge paths. The reduction of gas-dynamic resistance was achieved by decreasing the gas velocity in pipelines, improving the characteristics of the flow part of the valve mechanism, and reducing pressure pulsations in the cylinder heads. The latter is a result of combining the suction and discharge cavities for two cylinders in the cylinder heads. As a result, during the suction and discharge processes, the pressure in the cavities changes insignificantly.

An increase in the reliability of the unified compressor HGV-14.0-V is also expected due to significant improvements in the lubrication conditions of friction pairs, thanks to multistage oil purification from external contaminants and products of natural wear, the use of a more advanced valve mechanism, and the manufacturing of the compressor using technological processes that have been refined and mastered in serial production.

The coefficient of performance (COP) of the HGV-14.0-V compressor increased by 5...6 % compared to the KHGV-14.0, confirming its superior energy characteristics. The vibration and noise characteristics of the compressor have also been improved.

The unified high-speed hermetic compressors HGV-14.0-V passed qualification tests in accordance with the program and have been in production since 2000 at JSC "Equator Plant."

Compressors HGV-14.0-V are built into autonomous air conditioners AK 18/6-V-2, installed and operated on amphibious hovercraft landing ships.

References:

1. Dorosh V. S., Gidulyan V. I., Zaharov V. Yu., Kolomiec Yu. K. (1983) Novyy ryad vysokoskorotnykh germetichnykh holodilnykh kompressorov dlya sudovykh avtonomnykh kondicionerov [A new range of high-speed hermetic refrigeration compressors for marine autonomous air conditioners]. *Holodilnaya tekhnika*. (5), pp. 19-23.
2. Dorosh V. S. (2008) Tendencii v razvitii holodilnykh germetichnykh kompressorov sudovykh sistem kondicionirovaniya i refrizheracii [Trends in the development of refrigerated hermetic compressors of marine air conditioning and refrigeration systems]. *Materiali I Mizhnar. n.-t. konf. "Holod v energetici i na transporti"*, pp. 132-144 [in Ukrainian].
3. Zaharov Yu. V., Dorosh V. S. (2000) Osnovnye napravleniya sozdaniya i sovershenstvovaniya germetichnykh porshnevnykh kompressorov sudovykh sistem kondicionirovaniya i refrizheracii [The main directions of creation and improvement of hermetic piston compressors for ship air conditioning and refrigeration systems]. *Collection of scientific Paper of UDMTU*, 4 (370), pp. 43-53 [in Ukrainian].

HERMETIC REFRIGERATION MACHINES FOR PROVISION STORAGE ROOMS

Olena V. Lytosh

Ph. D., associate professor
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine

In recent years, monoblock refrigeration machines have been used abroad for cooling provision storage rooms by companies such as Fata, Zanotti, Corema (Italy); Thermo King (UK); Daikin, Hitachi (Japan); York (USA); Viessmann (Germany), and others. These machines are designed as a single unit that serves one chamber and is installed on it. The advantages of such refrigeration machines – high reliability, long service life, and environmental safety – are achieved through complete factory assembly, high-quality components, and minimal on-site installation work compared to split refrigeration systems. These benefits have contributed to their use in shipbuilding, trade enterprises, catering, agriculture, and more. However, until recently, monoblock refrigeration machines, particularly for ship provision storage rooms, were not manufactured in Ukraine.

Previously, to meet the prospective needs for modern refrigeration equipment, JSC Central Scientific Research and Design Institute "Typhoon," leveraging many years of experience in creating comfort and technical air conditioning equipment for ships and defense facilities, developed three sizes of compact hermetic monoblock refrigeration machines for provision storage rooms of the HMP type. Their applications are as follows: HMP-1.0 for storing meat and fish, HMP-1.5 for storing fats, and HMP-2.0 for storing fruits, vegetables, and dry provisions. The machines operate on refrigerant, are fully automated, and are equipped with hermetic piston compressors of their own design.

The development of the HMP was preceded by theoretical and experimental studies aimed at creating and improving individual units (hermetic compressor, air cooler-evaporator, etc.) and the refrigeration machine as a whole [1-3].

The refrigeration machines are based on hermetic compressors of the HGN type (the HMP-1.0 refrigeration machine is based on the HGN-1.4, while the HMP-1.5 and HMP-2.0 machines are based on the HGN-0.7 compressor). The technical characteristics of HGN compressors are provided in [1].

The HMP is a monoblock frame-type construction with ceiling mounting and additional sealing along the perimeter of the wall opening of the serviced chamber, enclosed by sheet material covers.

Structurally, the machine consists of three blocks:

1. **Evaporator-Fan Block:** Contains axial electric fans, the evaporator (air cooler), and the throttling device (capillary tube).
2. **Compressor-Condenser Block:** Includes a hermetic compressor, water-cooled condenser, liquid separator, regenerative heat exchanger, filter-drier, and control unit.
3. **Insulation Block:** Separates the evaporator-fan and compressor-condenser blocks.

All three sizes of refrigeration machines share a common L-shaped layout, allowing the evaporator-fan block to be placed inside the serviced chamber while the compressor-condenser block remains outside (the evaporator-fan block is inserted into the storage room through a wall opening, and the compressor-condenser block, with a depth of 350 mm, is located on the outer wall of the storage room).

The HMP control unit provides:

1. Automatic maintenance of the temperature regime in the storage rooms with an accuracy of $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ and automatic defrosting of the evaporator.
2. Protection of compressor and fan electric motors from overloads and protection of the machine from unacceptable increases and decreases in refrigerant pressure.
3. The ability to change the duration of compressor operation cycles and evaporator defrosting.

The machines operate reliably at ambient air temperatures from 0 to 45°C and relative humidity up to 95 %, cooling seawater temperatures from minus 2 to plus 32°C , and freshwater from 0 to 36°C , during rolling and pitching, prolonged heel, and trim.

The hermetic design of the refrigerant circuit and compressor eliminates the need to recharge the machine with refrigerant and oil throughout its service life.

The high degree of automation of the HMP does not require constant maintenance and monitoring during operation. Maintenance is limited to periodic removal of contaminants from the air cooler and condenser.

Main Technical Characteristics of the Refrigeration Machines

Characteristics	Product type		
	HMP-1.0	HMP-1.5	HMP-2.0
Cooling capacity, kW	1.0	1.7	2.4
Maintained air temperature in storage rooms, °C	–25	–4	+2 to +10
Air flow rate, m ³ /h	800	1800	1600
Water consumption for condenser cooling, m ³ /h*	1,5	0,8	1,0
Power consumption, kW	1,5	1,4	1,5
Dimensions (L × W × H), mm	600×1300×1200	800×1200×900	800×1200×700
Weight, kg	240	235	230

*Supply with an air-cooled condenser is possible.

The main consumers of these machines are enterprises in the maritime and river fleets, the agro-industrial complex, trade, catering, and others. The refrigeration machines can be supplied with water-cooled or air-cooled condensers. Modernization to meet customer requirements is possible.

References:

1. Dorosh V.S., Kolomic Yu.K., Nazarenko I.A. (2001) Nizkotemperaturnye germetichnye kompressory dlya sudovyh i agropromyshlennyh holodil'nyh sistem [Low temperature hermetic compressors for marine and agro-industrial refrigeration systems]. Dodatok do zhurnalu Holodil'na tekhnika i tekhnologiya – Addendum to the magazine Refrigeration equipment and technology, pp. 76-78 [in Ukrainian].
2. Zaharov Yu. V., Lytosh E. V. (2001) Teploobmen pri kipenii R22 v gorizonta'noj trube pri nizkih temperaturah [Heat transfer during boiling of R22 in a horizontal pipe at low temperatures]. Dodatok do zhurnalu Holodil'na tekhnika i tekhnologiya – Addendum to the magazine Refrigeration equipment and technology, pp. 29-31 [in Ukrainian].
3. Zaharov Yu. V., Lytosh E. V. (2004) Eksperimental'noe issledovanie teploobmena na naruzhnoj poverhnosti sudovogo nizkotemperaturnogo vozduhoohladitelya [Experimental study of heat transfer on the outer surface of a ship's low-temperature air cooler]. Holodil'na tekhnika i tekhnologiya – Refrigeration equipment and technology, 2 (88), pp. 41-45 [in Ukrainian].

HEATING, VENTILATION AND AIR CONDITIONING SYSTEMS OPTIMIZATION AND AUTOMATION

Olena V. Lytosh

Ph. D., associate professor

Anatolii Prylutskyi

PhD student

Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine

Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC) systems are essential for maintaining indoor comfort but are significant contributors to energy consumption in buildings. This paper explores recent advancements in optimizing and automating HVAC systems to enhance energy efficiency while maintaining user comfort. We discuss optimization strategies such as Transactive Energy Systems, Bayesian Optimization, and Evolutionary Programming. Additionally, we examine automation techniques involving the Internet of Things (IoT) and Deep Reinforcement Learning (DRL). The paper also addresses challenges in scalability, data requirements, and user comfort, providing insights into future directions for effective implementation on a large scale.

HVAC systems account for a substantial portion of energy usage in buildings, often reaching up to 40 % of total consumption. With growing concerns about energy efficiency and environmental sustainability, optimizing HVAC operations has become a critical focus area. Advances in computational algorithms and automation technologies offer promising solutions to reduce energy consumption without compromising occupant comfort.

Transactive Energy Systems enable automated and flexible scheduling of HVAC operations based on real-time electricity prices and customer demand. By employing Markov Decision Processes (MDP) and Deep Deterministic Policy Gradients (DDPG), these systems optimize the balance between energy costs and user comfort. Studies indicate significant reductions in energy costs when HVAC systems adapt to dynamic pricing models, promoting grid stability and efficient energy use.

Bayesian Optimization offers a probabilistic framework for achieving near-optimal HVAC control with high efficiency and stability. By modeling HVAC control problems as Bayesian optimization tasks and utilizing Gaussian Process Regression, this method efficiently explores the control space. Implementations have demonstrated over a 10 % increase in energy efficiency, making it a valuable tool for complex HVAC systems where traditional optimization methods are inadequate.

Evolutionary Programming leverages simulation-optimization approaches to manage the intricate interrelationships within HVAC systems. By mimicking natural selection processes, this method identifies optimal settings for various operational conditions. Real-world applications have achieved approximately 7 % energy savings without additional costs, highlighting its practicality for existing HVAC infrastructures.

The integration of IoT devices transforms centralized HVAC control systems into scalable and intelligent decentralized networks. Implementing algorithms like the Smart-Token Based Scheduling Algorithm (Smart-TBSA) via IoT can result in up to 20 % energy savings. IoT enhances system adaptability by enabling real-time data collection and decentralized decision-making, leading to more responsive and efficient HVAC operations.

DRL methods, particularly model-free approaches like DDPG, optimize multi-zone residential HVAC systems by learning optimal control strategies through interaction with simulated environments. These methods handle continuous action spaces and complex system dynamics. Implementations have shown a 15 % reduction in energy consumption costs and a 79 % decrease in comfort violations compared to traditional control methods.

Long-term evaluations of model-predictive HVAC optimization systems in commercial buildings have yielded mixed results, with energy savings ranging from 0 % to 9 %. The variability in effectiveness is influenced by factors such as the existing condition of HVAC equipment and the implementation quality of best practice sequences. These findings underscore the importance of tailored solutions and thorough system assessments before deployment.

Optimizing the in-building section of centralized HVAC systems can be achieved using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems (ANFIS) and modified genetic algorithms. This approach systematically improves system performance by considering cooling load variations and optimizing differential pressure setpoints. It offers a practical pathway to enhance energy efficiency without significant capital investments.

A major challenge lies in implementing scalable control algorithms on low-cost, resource-constrained hardware. Integrating new technologies with legacy HVAC systems without incurring substantial costs is crucial for widespread adoption. Developing open standards and modular components can facilitate smoother integration and scalability.

Machine learning approaches like model predictive controls and reinforcement learning necessitate large datasets for training. The acquisition and management of such data can be barriers to efficient and stable large-scale applications. Future research should focus on reducing data dependency through improved algorithms and leveraging synthetic data generated from simulations.

Balancing energy savings with user comfort remains a persistent challenge. Optimization strategies must ensure that thermal comfort levels are maintained while achieving energy efficiency. Incorporating occupant feedback mechanisms and adaptive comfort models can help align energy-saving measures with user preferences.

Optimizing and automating HVAC systems through advanced algorithms and IoT integration presents a viable pathway to significant energy savings and improved system performance. While challenges such as scalability, data requirements, and maintaining user comfort exist, addressing these issues through collaborative efforts between industry stakeholders and researchers can facilitate effective large-scale implementation. Continued innovation in this field holds the promise of enhancing building energy efficiency and contributing to environmental sustainability.

References:

1. Boming Liu, M. Akçakaya, T. Mcdermott (2020). Automated Control of Transactive HVACs in Energy Distribution Systems. Retrieved from: <https://www.techrxiv.org/doi/full/10.36227/techrxiv.12798086.v1>
2. D. Kwak, J. Luo, S. Ergun (2022). A Review of Reinforcement Learning Applications to Control of Heating, Ventilation and Air Conditioning Systems. Retrieved from: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/10/3526>
3. Xingbin Lin, Q. Guo, Deyu Yuan (2023). Bayesian Optimization Framework for HVAC System Control. Retrieved from: <https://www.mdpi.com/2075-5309/13/2/314>
4. A. Ahmad, R. Harrison, D. Brown (2019). An Internet of Things Upgrade for Smart and Scalable Heating, Ventilation and Air-Conditioning Control in Commercial Buildings. Retrieved from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261919302582>
5. J. Granderson, Guanjin Lin, Rupam Singla (2018). Field Evaluation of Performance of HVAC Optimization System in Commercial Buildings. Retrieved from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778818302305>
6. Zhengbo Zou, Xinran Yu, S. Ergun (2020). Towards Optimal Control of Air Handling Units Using Deep Reinforcement Learning and Recurrent Neural Network. Retrieved from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132319307474>

ПРОПУЛЬСИВНА УСТАНОВКА ТРАНСПОРТНИХ СУДЕН МАЙБУТНЬОГО

Личко Б. М.

канд. техн. наук, доцент, в.о. завідувача кафедри експлуатації
суднових енергетичних установок та теплоенергетики

Шостак В. П.

канд. техн. наук, професор кафедри експлуатації суднових
енергетичних установок та теплоенергетики

Кісаров-Дагнер О. Л.

студент групи 2291

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Як відомо, суднова енергетична установка, як і будь-яка інша технічна система, з моменту свого зародження до тепер зазнала значних змін. Її головний двигун, який забезпечує рух судна, пройшов значний еволюційний розвиток: від парової поршневої машини через парову турбіну до двигуна внутрішнього згоряння. Стосовно морських транспортних суден у якості останнього використовується переважно малообертові двигуни – сучасні двотактні крейцкопфні дизелі, які серед теплових двигунів мають найбільшу термодинамічну ефективність, що відповідає найменшій питомій витраті палива. Таким чином, на рух судна витрачається мінімальна кількість палива.

Витрати на паливо суттєво впливають на собівартість морських перевезень і залежать як від питомої витрати палива, так і від поточної ціни на нафтопродукти, або, узагальнюючи, на вуглеводні.

На рубежі 70...80-х років минулого століття малообертові двигуни були суттєво покращені в аспекті їх коефіцієнта корисної дії (ККД); відбувся майже скачок (тобто значний еволюційний розвиток протягом незначного часу) ККД від 40 до 50 %. І за останні 30...40 років питома витрата палива майже не змінюється.

Що ж стосується вуглеводнів, то їх ціна на світовому ринку коливається у широких межах. Зокрема, за останні вказані роки ціна на сиру нафту змінювалась приблизно від 50 до 100 і більше доларів США за барель. Зазначимо, що собівартість видобутку нафти набагато, в окремих випадках в рази, менша вказаної ціни, яка аж ні як не обумовлюється собівартістю. Вона залежить від сьогоденних політичних обставин, від примхів перших осіб провідних країн світу та країн-видобувачів нафти.

Отже виникає нагальне питання стосовно змін у судновій енергетичній установці: «Ціна палива, чи інші чинники?». Перш за все, підвищення енергетичної ефективності пропульсивної установки лежить через зменшення витрати палива на рух судна і, як наслідок, зменшення шкідливих токсичних викидів у морське довкілля – в основному оксидів азоту й сірки та вуглекислого газу. З іншого боку, менші витрати палива – менші розміри малообертового двигуна. І головне при цьому менша його довжина, яка, в основному, визначає довжину машинного відділення. А це вже позитивні наслідки: зростає провозоздатність судна, або ж зменшується його довжина і маємо падіння опору руху.

Тому з плином часу енергоефективність пропульсивної установки зростатиме незважаючи на ціну чи то важкого палива, чи дизельного, чи метанолу тощо.

Починаючи з 60-х років минулого століття до тепер ми спостерігаємо низку публікацій, зокрема [1-4], які містять інформацію про зменшення витрат палива на пропульсію транспортного судна не тільки за рахунок поліпшення ККД малообертових двигунів, а й в результаті застосування додаткового обладнання. Наприклад, утилізаційних гребних турбозубчастих агрегатів, високоавтоматизованих повітряних кайтів тощо. Поряд з цим надбано позитивного досвіду застосування валогенераторів, які забезпечують повністю або частково судно електроенергією в ходових режимах. І це вигідно, оскільки ККД головного двигуна вищий, ніж допоміжних двигунів.

Аналіз прогресивних пропозицій з літературних джерел формує реалістичний варіант пропульсивної установки для транспортних суден ближньої перспективи (рис. 1). В такій установці традиційно застосовується у якості головного двигуна (ГД) малообертовий дизель (МОД) з високим ККД (50 % і більше), недосяжним для інших теплових двигунів. Утилізаційний гребний турбозубчастий агрегат (УГТЗА) живиться парою від утилізаційної системи, основними елементами якої є утилізаційний котел (УК) і охолодник наддувного повітря (ОНП). В ній за рахунок теплоти відхідних газів і стисненого наддувного повітря генерується водяна перегріта пара високого (~10 бар), середнього (~3 бара) і низького (~1 бар) тисків.

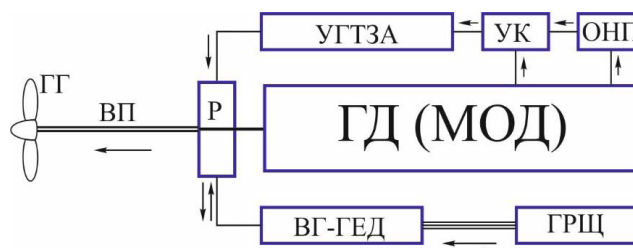


Рис. 1. Спрощена принципова схема майбутньої пропульсивної установки морського транспортного судна

Валогенератор, який може працювати у режимі гребного електродвигуна, (ВГ-ГЕД) на ходу судна, генерує трифазний струм і через головний розподільний щит (ГРЩ) забезпечує повністю (!) усі потреби судна в електроенергії. Коли виникає потреба забезпечити максимальну швидкість ходу судна, то він працює у режимі електродвигуна, споживаючи електроенергію, яку виробляють допоміжні дизельгенератори.

Головний двигун напряму через валопровід (ВП) передає механічну енергію на гребний гвинт (ГГ), а механічна енергія від УГТЗА і, при необхідності, від ВГ-ГЕД передається через редуктор (Р), під'єднаний до ВП. Зазначимо, що потужність УГТЗА сягає 10 % і більше від потужності ГД.

Практика показала, що додаткове утилізаційне обладнання та система з ВГ-ГЕД не змінюють розміри машинного відділення, а саме його довжини.

Описана установка не виключає застосування кайта або іншої силової вітроустановки.

Переваги зображеної установки полягають у наступному:

- мінімально можлива витрата палива на пропульсію судна;
- гнучке управління швидкістю ходу судна в залежності від параметрів рейса на переходах, особливо коли маємо сприятливий за напрямком і швидкістю вітер для роботи кайту, або іншої вітросистеми;
- мінімальний екологічний вплив на довкілля.

Основним недоліком такої установки є її ускладнення в управлінні та технічному обслуговуванні. На нашу думку, використання мікропроцесорної техніки в системах автоматичного регулювання та серійне виробництво додаткового блочного обладнання нівелюють вказаний недолік.

Висновок. Все реальне, що знижує екологічний вплив на морське довкілля, доречне в пропульсивній установці майбутніх транспортних суден: і глибока утилізація вторинних енергоресурсів, і додаткові вітросилові системи тощо. Потрібно лише відповідне рішення Міжнародної морської організації, підкріплене екологами. Маємо надію, що при цьому і собівартість морських перевезень знизиться.

Література:

1. Захаров Ю. В., Шостак В. П. (1972). Анализ экономической эффективности способов утилизации тепла отходящих газов судовых дизелей. Судостроение, № 8, С. 31-35.
2. MAN Diesel & Turbo. (2014). Waste Heat Recovery System (WHRS) for Reduction of Consumption, Emission and EEDI. Copenhagen, Denmark, 30.
3. Шостак В. П., Манзюк А. Ю. (2016). Глибока утилізація теплоти відхідних газів і стисненого повітря сучасного малооборотного двигуна. Віс. НУК, 3 (7), С. 21-28.
4. Шостак В. П., Личко Б. М. (2019). Передача механічної енергії від утилізаційної турбіни на гребний гвинт. Міжнародна науково-технічна конференція «Суднова енергетика: стан та проблеми», НУК, С. 35-37.

ПЕРЕВАГИ, ОБМЕЖЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ ІЗ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

Гогоренко О. А.

канд. техн. наук, доцент, в.о. завідувача кафедри двигунів внутрішнього згоряння, установок та технічної експлуатації

Козленок А. А.

аспірант кафедри двигунів внутрішнього згоряння, установок а технічної експлуатації
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Один із способів підвищення ефективності теплообмінних апаратів полягає у зменшенні витрат металу на їх виготовлення. Зниження металоємності можна досягти шляхом використання полімерних матеріалів, які демонструють унікальні властивості. Застосування полімерних теплообмінників зустрічається в різних галузях: від хімічної промисловості до енергетики. Вони активно використовуються для утилізації тепла, в системах кондиціонування, холодильних установках, а також у транспорті. Теплообмінники з полімерів мають низьку перевагу у порівнянні з традиційними металевими аналогами, але характеризуються певними технічними обмеженнями. Метою цієї роботи є розгляд ключових переваг, обмежень та перспектив застосування теплообмінників із полімерних матеріалів в галузі двигунобудування.

Крім малої маси, полімерні теплообмінники характеризуються високою технологічністю виробництва, низькою вартістю, стійкістю до забруднення, корозії та хімічно агресивних теплоносіїв. Використання полімерів дозволяє заощаджувати дефіцитні матеріали, а багато їх видів придатні для вторинного використання. Відомо, що коефіцієнт теплопровідності більшості полімерних матеріалів становить 0,15...0,45 Вт/(м·К). Проте це не є суттєвою перешкодою для їх застосування в конструкціях теплообмінників, оскільки у більшості випадків вплив коефіцієнту теплопровідності на коефіцієнт теплопередачі незначний. Якщо прийняти для водяного охолоджувача наддувного повітря коефіцієнт тепловіддачі зі сторони повітря, ap , і води, aw , на рівні 100 і 13000 Вт/(м²·К) відповідно, товщину стінки трубки $\delta = 0,5$ мм, і теплопровідність полімеру, $\lambda_{пл}$, та міді, $\lambda_{м}$, – 0,2 і 384 Вт/(м·К), то відповідно до рівняння

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_w}},$$

отримаємо значення коефіцієнтів теплопередачі для мідної поверхні теплообміну 99,2 Вт/(м²·К), а для полімерної – 79,5 Вт/(м²·К). Отже, коефіцієнт теплопередачі полімерного теплообмінника на 20 % нижчий, ніж мідного. Підвищення коефіцієнта теплопровідності полімеру та зменшення товщини теплопередаючої стінки суттєво впливають на коефіцієнт теплопередачі, наближаючи його значення до показників аналогічного теплообмінника з міді. В роботі [1] автори дослідили використання компактних теплообмінників з політетрафторетилену (PTFE) в системах опріснення води. Дослідження показує, що PTFE забезпечує значні переваги у виготовленні компактних теплообмінників для умов помірних температур (до 120 °С), включаючи зниження витрат на виготовлення. Полімерні теплообмінники стійкі до корозії, хімічних впливів та утворення накипу, що дозволяє проводити очистку кислотами та працювати при вищих температурах. Основні недоліки полімерних матеріалів включають низьку термічну стійкість, вимоги до спеціального проектування для компенсації теплового розширення, а також обмеження в робочих температурах і тисках.

В роботі [2] дослідження авторів демонструють можливість компенсації низької теплопровідності пластику шляхом оптимізації конвективного теплопереносу. Крім цього, автори зазначають, що використання пластику забезпечує зниження ваги теплообмінника і стійкість до корозії, що є вагомими перевагами в багатьох інженерних застосуваннях.

Попри значні переваги, теплообмінники з полімерних матеріалів мають і певні обмеження. Основною проблемою є низька теплопровідність більшості полімерів, що ускладнює їх використання у високоефективних системах теплопередачі. Ця проблема частково вирішується застосуванням композитів і спеціальних добавок, проте такі рішення часто підвищують собівартість продукції. Наповнення графітовими вкрапленнями (50 % об'єму) поліаміду (PP) та поліфеніленсульфіду (PPS) дає змогу значно покращити теплопровідність матеріалу. Такі трубки з поліаміду мають теплопровідність 6,5 Вт/(м·К), а з поліфеніленсульфіду – 4,5 Вт/(м·К) [3], що в десятки разів перевищує показники чистих полімерів.

Полімерні теплообмінники мають певні обмеження щодо максимально допустимих температур експлуатації. Зазвичай вони не можуть працювати при температурах, що перевищують 200 °С, що робить їх непридатними для роботи в умовах, де температура середовища перевищує цей поріг. Проте в високотемпературних системах охолодження «гарячого» контуру ДВЗ, де температура теплоносія зазвичай не перевищує 110...120 °С, полімерні теплообмінники можуть бути ефективним рішенням. Водночас у високотемпературних зонах, таких як охолодження наддувального повітря при високих ступенях стиску (температура якого може досягати 230...320 °С), використання полімерних матеріалів є обмеженим. Довготривала робоча температура звичайного поліаміду (PP) не перевищує 100 °С, поліаміду з вуглецевими волокнами (PA-CF) – 150 °С, поліаміду з скляними волокнами (PA-GF) – 130 °С. Таким чином, полімерні матеріали зі специфічними добавками можуть підвищити термостійкість теплообмінників, але залишаються обмеженими для застосувань у високотемпературних умовах.

Перспективи використання теплообмінників із полімерних матеріалів значно зростають завдяки розвитку нових композитних матеріалів і впровадженню нанотехнологій, що сприяють підвищенню їхньої теплопровідності та термостійкості. Додатковий імпульс цьому напрямку надає розвиток технологій 3D-друку, які відкривають можливості для створення теплообмінників складної геометрії [4], оптимізованих для ефективної теплопередачі, зниження матеріаломісткості та адаптації до специфічних умов експлуатації. Виробництво теплообмінників методом 3D-друку характеризується економічною ефективністю. Попри високі стартові витрати на обладнання та матеріали, 3D-друк має значний потенціал у вдосконаленні теплообмінників.

Таким чином, застосування теплообмінних апаратів із полімерних матеріалів в системах охолодження двигунів внутрішнього згоряння з використанням технології 3D-друку відкриває нові горизонти для інженерних рішень. Ці теплообмінники мають низку важливих переваг, серед яких відносно низька вартість, легкість конструкції, висока корозійна стійкість, довговічність та простота у виробництві. Водночас основними викликами залишаються низька теплопровідність полімерів і обмеження щодо максимально допустимих температур експлуатації. Коефіцієнт теплового розширення також є чинником, який впливає на ефективність полімерних теплообмінників, але в порівнянні з попередніми викликами його значущість є менш критичною. Для подолання цих обмежень необхідні подальші дослідження, спрямовані на визначення оптимальних характеристик матеріалів, оцінку їх поведінки в умовах високих температур, а також моделювання процесів теплопередачі для вдосконалення конструкції теплообмінних апаратів ДВЗ.

Література:

1. E1-Dessouky H. T., Ettouney H. M. Plastic/compact heat exchangers for single-effect desalination systems // Desalination. 1999. Vol. 122. pp. 271–289.
2. Hetsroni G., Mosyak A. Heat transfer and pressure drop in a plastic heat exchanger with triangular channels // Chemical Engineering and Processing. 1994. Vol. 33, №. 2. pp. 91–100.
3. Imholze J.-H., Glade H. Corrosion-Resistant Polymer Composite Tubes with Enhanced Thermal Conductivity for Heat Exchangers // Inventions. – 2024. – Vol. 9. – №. 111.
4. Dixit T., Kumar S., Jamal A. High performance, microarchitected, compact heat exchanger enabled by 3D printing // Applied Thermal Engineering. – 2022. – Vol. 118.

ПРОБЛЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ І ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ ПАЛИВНИХ ФОРСУНОК СУЧАСНИХ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ

Алтухов П. М.

ст. викладач кафедри автомобільного транспорту та транспортних технологій
Філія Класичного приватного університету
м. Кременчук, Україна

Автомобільний транспорт має багато переваг від інших видів транспорту, сама важлива – доставляти вантажі і пасажирів по принципу «від воріт до воріт». Це визначає його високу актуальність використання та розвитку конструкції в майбутньому.

Основним типом енергетичної установки вантажних та й легкових автомобілів є двигуні внутрішнього згоряння. Сучасні автомобільні двигуни дедалі частіше оснащуються складними паливними системами, серед яких особливе місце займають системи Common Rail з акумуляторними електрогідравлічними та п'єзоелектричними форсунками. Вони забезпечують високу точність впорскування палива, зменшують шкідливі викиди та покращують економічність двигуна. Точність та швидкість подачі залежить від стабільної роботи всіх компонентів форсунки. Однак через складність конструкції такі форсунки схильні до зношування і поломок, що робить питання ефективного ремонту актуальним.

Електрогідравлічні форсунки працюють під високим тиском, що досягає 2000 бар і більше. Тому збої у роботі можуть бути спричинені зносом розпилювачів, плунжерів, забрудненням паливних каналів, пошкодженням електромагнітних обмоток або відмовою електронного керування.

Найчастіше, проблеми виникають через погану якість палива, механічне зношення, корозію внутрішніх елементів або перегрів.

Для підвищення ефективності ремонту електрогідравлічних форсунок акумуляторних паливних систем автомобільних дизелів треба значною мірою удосконалити технологію і засоби ремонту, а також забезпечити високу точність і якість регулювальних і налаштовувальних робіт. Для того, щоб ремонт був ефективним, важливо дотримуватись технології діагностування.

Основні з них:

1. Для діагностування форсунок використовувати сучасні стенди які дозволяють виявити несправності та зношення компонентів без потреби у розбиранні.
2. При ремонті електрогідравлічних форсунок необхідно використовувати тільки високоякісні запасні частини, що відповідають заводським стандартам.
3. Для ретельного очищення при забрудненні внутрішніх елементів форсунки необхідно використовувати ультразвукові ванни, які дозволяють видалити найдрібніші частки забруднень без механічного втручання.
4. При заміні пошкоджених обмоток або їх перемотуванні необхідно використовувати якісні матеріали для ізоляції щоб уникнути перегріву і продовжити термін служби форсунок.
5. Після проведення ремонту форсунки необхідно калібрувати і налаштувати. Це робиться для того, щоб забезпечити оптимальний тиск і рівномірність подачі палива, а також для відновлення параметрів, які встановлені заводом-виробником.
6. Для зменшення людського фактору застосовувати автоматичні стенди та використання комп'ютерних систем для діагностування форсунок. Оновлення програмного забезпечення дозволяє поліпшити налаштування, підвищити точність впорскування і знизити рівень викидів.

Ефективність експлуатації автомобіля залежить від способів і методів підтримки і відновлення його технічного стану, що визначає час діагностики та ремонту, а це пов'язано з матеріальними витратами та простоем автомобілів. Методи та засоби для діагностики технічно складних паливних систем є дорогою та трудомісткою процедурою і вони поділяються на стендову діагностику зі зняттям паливної апаратури з автомобіля і без зняття, що проводиться за допомогою автомобільного сканера. За результатами отриманих даних приймають подальші дії. Тому вимагає нових знань, методів та рішень в даній області і залишається актуальним і потребує проводити дослідження спрямованих на зменшення трудомісткості та підвищення ефективності.

Література:

1. Автомобиль. Особенности конструкции / Складов В. Н., Волков В. П., Руденко И. Д., Сергиенко Н. Е., Харьков, Ч. П. Озеров. 2013. 927 с.
2. Гаркунов Д. Н. Автомобильный справочник Bosch. Первое издание. Перевод с англ. «За рулем», 2000, 896 с.

TWO-STROKE INTERNAL COMBUSTION ENGINE USING SPOOL VALVE DEVICE FOR GAS EXCHANGE CONTROL

Vasyl Nalyvaiko

professor of Internal Combustion Engines, Plants and Technical Maintenance Department
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine

Roman Avdiunin

lecturer of Marine Engineering and Power Engineering Department

Yevhenii Truslyo

student of higher education at the Marine Engineering and Power Engineering Department
Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Kherson, Ukraine

Analyzing the prospects for the development of engine engineering in Ukraine and abroad, we can say that one of the main directions in this industry is the eco-friendly nature of internal combustion engines, increasing specific power, fuel efficiency and durability [1].

To further increase the boost limits and reduce the heat stress of internal combustion engines, it is necessary to modernize the traditional gas distribution mechanism by developing an unconventional gas distribution mechanism containing an additional spool device (spool control) [2].

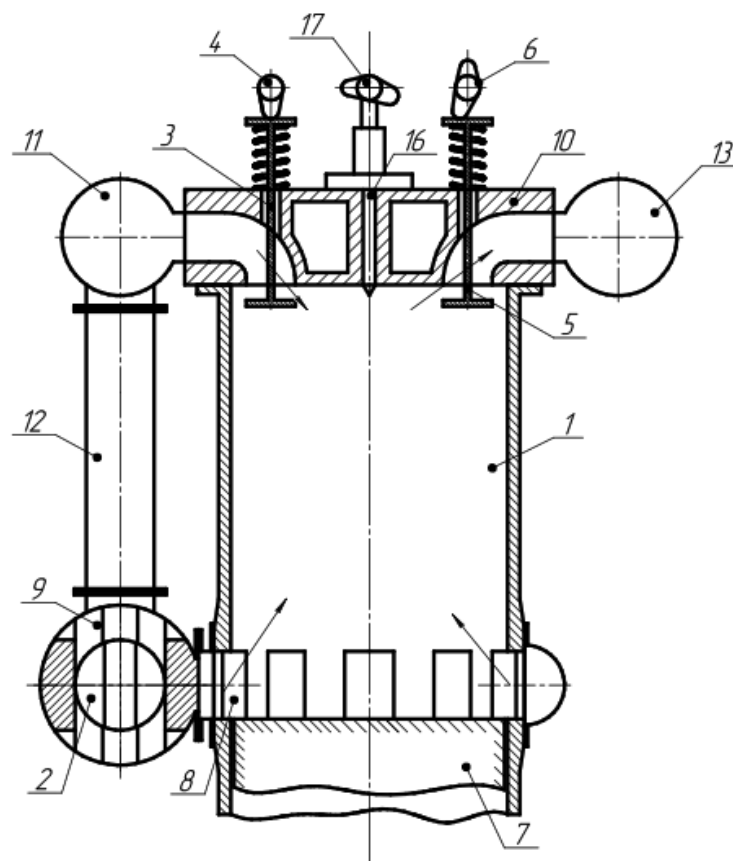


Fig. 1. General layout of the engine

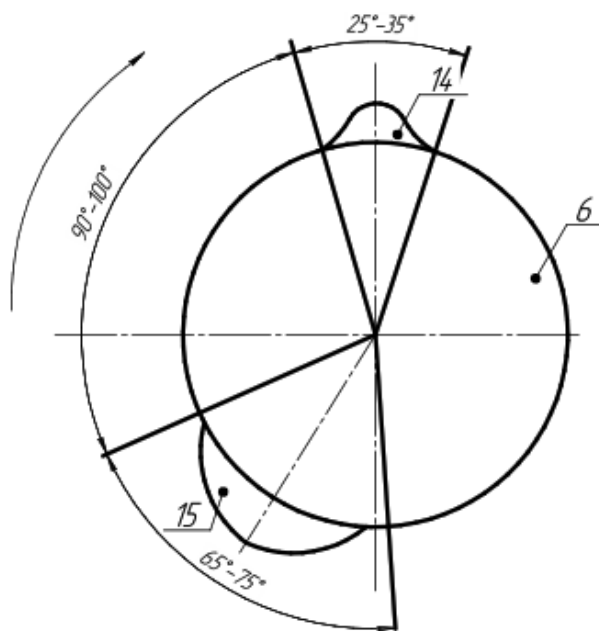


Fig. 2. Exhaust cam washer

The internal combustion engine (Fig. 1) contains cylinder 1, a valve timing mechanism containing a spool valve device 2, an inlet valve 3 connected to an inlet cam washer 4, and an outlet valve 5 connected to an outlet cam washer 6, and a piston 7 installed in the cylinder 1. The cylinder 1 is provided with purge ports 8 connected to a purge channel 9, in which the spool valve 2 is located. The inlet and outlet valves are installed in the cylinder cover 10. Spool valve 2 connects cylinder 1 with inlet manifold 11. The latter is connected by pipeline 12 with purge channel 9. Exhaust valve 5 connects cylinder 1 with exhaust manifold 13. Exhaust cam washer 6 is provided with two different profile cams 14 and 15 (Fig. 2), located at an angle of 90...110°. Cam 14 has a profile with an angle of 25...35°, and cam 15 with an angle of 65...75°. In cylinder cover 9, a pump-injector 16 is installed, controlled by cam washer 17, made similarly to exhaust cam washer 6, but with cams of the same profile.

Conclusion. 1. For every three revolutions of the crankshaft, two working strokes are performed, which provides an increase in power compared to a four-stroke engine, under the same operating conditions of individual cylinders. At the same time, there are complete intake and exhaust strokes, which periodically improves the gas exchange process compared to a two-stroke engine. 2. The proposed additional system with a spool valve should improve gas exchange and reduce the cylinder body tension.

References:

1. Наливайко В. С. Суднові двигуни внутрішнього згорання : Підручник / В. С. Наливайко, Б. Г. Тимошевський, С. Г. Ткаченко. – Миколаїв : видавець Торубара В. В., 2015. – 332 с.
2. Наливайко В. С. Основи комп'ютерного проектування ДВЗ : навчальний посібник / В. С. Наливайко, С. Г. Ткаченко, В. С. Хоменко, Р. Ю. Авдюнін. – Миколаїв : видавець Торубара В. В., 2017. – 138 с.

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПОВІТРЯНОГО ЗМАЩЕННЯ КОРПУСУ СУДНА ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ БАЛКЕРА «DIETRICH OLDENDORFF»

Дудар О. Ю.

студент групи 5211м

науковий керівник – **Коробко В. В.**, д-р техн. наук,
доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Системи повітряного змащення – це технологія, що забезпечує зменшення опору корпусу корабля за рахунок формування прошарку з повітряних бульбашок. Утворений на поверхні корпусу шар бульбашок знижує буксирний опір судна на 3...15 %, що сприяє підвищенню ефективності пропульсивного комплексу судна. За даними класифікаційного товариства DNV, Air Bubble Lubrication System (ALS) є перспективною технологією, яка дозволяє підвищити екологічні показники суден що експлуатуються.

Існує кілька варіантів реалізації таких систем, кожна з яких має особливий принцип функціонування і відповідно стикається з різними технічними викликами.

Системи мікропухирцевого мащення полягає у впорскуванні бульбашок повітря в прикордонний шар судна. На підставі експериментів показано, що подача бульбашок дає значне зниження опору тертя, але тільки на обмеженій довжині вниз за течією.

Системи зовнішньої повітряної порожнини створюють повітряні порожнини, як правило, займають частину днища судна. Ці системи вимагають відносно невеликої подачі повітря. Прикладом такої є ALS є рішення компанії Damen (DACS), показана на рис. 1.

Damen Air Cavity System [1] була розроблена у співпраці з Делфтським технологічним університетом. Технологія запатентована у всьому світі. DACS зменшує площу змочування судна. Це досягається шляхом створення стійких повітряних кишень, що відокремлюють корпус від води. Група Damen Shipyard вивела технологію на ринок, в співробітництві з науковими центрами MARIN та HSVA для оцінки в реальних умовах судна [1, 2].



Рис. 1. Damen Air Cavity System

В системі DACS повітряна порожнина створюється в результаті нагнітання повітря під судно за невеликим кавітатором, який відокремлює потік води від корпусу. Для локалізації порожнини встановлюються поздовжні скегі, які запобігають витоку повітря. Нагнітаючим компресорам потрібно лише подолати гідростатичний тиск, спричинений осадкою судна. Внаслідок цього метод повітряної порожнини вимагає значно меншої потужності компресора, ніж системи першого покоління.

Щоб максимізувати площу корпусу, що охоплюється системою, створюється ряд послідовних порожнин, розділених поперечними скегами, які забезпечують збереження морських якостей. Наявність ряду порожнин на місці має додаткову перевагу, що полягає в тому, що будь-яке повітря, що виходить з однієї порожнини, поглинається в наступній.

Silverstream ALS. В 2010 року компанія Silverstream [3] розробила та впровадила технологію повітряного мащення у морському секторі, що зробило систему Silverstream® основним вибором для судноплавної галузі.

З інженерної точки зору система Silverstream® проста в інтеграції в новий проект або модернізації існуючого судна. Модернізації зазвичай можуть бути завершені протягом шести місяців з моменту замовлення та встановлені під час запланованих сухих доків.



Рис. 2. Silverstream Technologies

Фахівці компанії виконують оцінку очікуваної економії та розроблять проект системи. На додаток до проектних креслень надаються докладні плани для виготовлення та постачання обладнання, а також супровід етапу встановлення системи та введення в експлуатацію судна.

Система ALS Silverstream використовує компресори для подачі повітря системою труб і клапанів до блоків випуску повітря (ARU), розташованим уздовж корпусу судна. ARU дозволяють повітрю попадати у воду, створюючи килим із бульбашок під корпусом судна.

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 є незначним [4].

Вагому роль в роботі ALS відіграють повітряні компресори, оскільки при роботі система витрачає значні об'єми стислого повітря. Чим більше осадка судна, тем вище тиск повітря, тим більше потужності потрібно для роботи системи. Енергоспоживання компресорів має бути враховане при проектуванні системи. Важливим, є використання саме «Oil Free», компресорів, які виключають присутності мастила в повітрі що видається під днище. Такі компресори для ALS пропонуються компанією «TCM Compressor» [5]. Слід зазначити, що все більше судновласників вдаються до модернізацій свого флоту, щоб відповідати екологічним нормам та лишатись на легальному ринку морських перевезень [6].

Висновок. Системи ALS можуть бути запропонована як для модернізації вже діючих суден так і для тих що проєктуються. Тож можна сказати, що напрямок подібних модернізацій є необхідним та перспективним.

Для балкера «DIETRICH OLDENDORFF» доцільним є використання системи повітряного змащення корпусу судна «Silverstream» з компресорною установкою фірми «TCM Compressor». Ця система має забезпечити економію палива на 5...10 % та зменшити об'єм шкідливих викидів СЕУ.

Література:

1. Електронний ресурс. Режим доступу – <https://www.damen.com>
2. Електронний ресурс. Режим доступу – <https://www.marin.nl/en/research/air-lubrication>
3. Електронний ресурс. Режим доступу – <https://www.silverstream>
4. Електронний ресурс. Режим доступу – <https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e473/e473041.pdf>
5. Електронний ресурс. Режим доступу – <https://www.tmc.com/>
6. Орлов М. В. Розробка системи повітряного змащення корпусу судна газозову «BW Tulip». Суднова енергетика: стан та проблеми : Матеріали XI МНТК. —Миколаїв : Видавець Торубара В. В., 2023. С. 69-72.

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕАКТИВНОГО ДЕТОНАЦІЙНОГО ДВИГУНА

Столярчук В. В.

інженер випробувач РКТ Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» імені М. К. Янгеля,
аспірант (PhD) кафедри двигунобудування фізико-технічного факультету

Золотько О. Є.

канд. техн. наук, доцент кафедри двигунобудування фізико-технічного факультету
Дніпровський національний університету імені Олеся Гончара
м. Дніпро, Україна

Підвищення енергетичних можливостей реактивних рухових установок усе ще залишаються актуальним питанням. Як відомо, реактивні двигуни, засновані на дефлаґмаційному принципі горіння, підійшли до своєї максимально можливої енергетичної межі. Можливий спосіб підвищення енергетичних характеристик реактивних двигунів передбачає перехід на інший принцип горіння заснований на ефекті – детонації. Теоретичні засади переваги ефекту детонації були визначені в працях Я. Б. Зельдовича і N. Hoffmann у середині минулого століття. Використання таких двигунів збільшує потужність установки за рахунок детонаційного горіння до 25...35 % [1], що доведено теоретично та практично.

Метою роботи є отримання результатів досліджень визначальних характеристик: розробка математичних моделей кінетики газодинамічних та теплових процесів у камері детонаційного горіння; оптимізація теоретичних впроваджень в практичну складову детонаційного реактивного двигуна. В роботі були висвітлені основні методи підвищення ефективності детонаційних реактивних двигунів ґрунтуючись на основі наукових матеріалів робіт [2-9]:

- вдосконалення конструкції камери згоряння сприяє підвищенню ефективності що включає оптимізацію форми камери, використання передових матеріалів, забезпечення рівномірного змішування палива;
- впровадження форсажної камери, що впорскує додаткове паливо у сопловий дифузор;
- впровадження двигунів зі змінним циклом дозволяє регулювати параметри роботи двигуна залежно від умов польоту, оптимізуючи продуктивність двигуна в широкому діапазоні висот та швидкостей, що призводить до підвищення ефективності;
- впровадження ефективної системи охолодження підвищить загальну ефективність;
- впровадження передових систем керування та алгоритмів оптимізує продуктивність двигуна на основі різних робочих умов.

На підставі результатів проведених теоретичних та експериментальних досліджень запропоновано інженерний метод розрахунку камер, запропоновані математичні моделі газодинамічних та теплових процесів у камері детонаційного горіння з аеродинамічним регулюванням, що враховують співвідношення витрат повітря та палива, дозволяють визначити властивості та склад продуктів згоряння. Отримані розрахункові рівняння для визначення частоти коливань

у камері детонаційного горіння, розроблено метод розрахунку кінетики газодинамічних та теплових процесів у камері детонаційного горіння залежно від коефіцієнта надлишку повітря. Було визначено що чим вищий тиск у керованій системі, тим швидша швидкість регулювання приводу, і тим більше регулювання потоку газу. Порівнюючи зміни положення фронту полум'я в умовах різних відстаней впорскування було визначено, що за тієї самої схеми впорскування, але різних конфігурацій порожнини, положення фронту полум'я має ту саму тенденцію, що й зміна в коефіцієнти еквівалентності, що пов'язано з потужністю розряду запальника та середовищем поля потоку всередині порожнини [10].

Розробки детонаційних реактивних двигунів, уже понад 20 років, ведуться на величезній і фундаментальній базі, розроблений для реактивних двигунів дефлажмаційного типу. Майбутній розвиток технічних пристроїв, детонаційного типу, можливий за нових наукових здобутках у теоретичних і практичних аспектах ракетного двигунобудування. Експериментальні дослідження характеристик детонаційних двигунів та їх впровадження в машинобудування є актуальним дослідженням двигунобудівників України.

Література:

1. Schwer D. Physics of heat-release in rotating detonation engines. D. Schwer and K. Kailasanath in 53rd AIAA Aerospace Sciences Meeting, Kissimmee, Florida, 2015.
2. Kailasanath K. Review of Propulsion Applications of Detonation Waves. AIAA JOURNAL Vol. 38, No. 9, September 2000
3. Bykovskii. F. A. Continuous detonation of a subsonic flow of a propellant. F. A. Bykovskii, E. F. Vedernikov. Combustion, Explosion and Shock Waves, vol. 39, no. 3, pp. 323–334, 2003.
4. Wolanski P. Detonative propulsion, P. Wolanski, Proceedings of the Combustion Institute, vol. 34, no. 1, pp. 125–158, 2013.
5. Zhou S. "Experimental study of a hydrogen-air rotating detonation combustor," S. Zhou, H. Ma, D. Liu, Y. Yan, S. Li, and C. Zhou, International Journal of Hydrogen Energy, vol. 42, no. 21, pp. 14741–14749, 2017.
6. Wang Yuhui. Combustion Characteristics in Rotating Detonation Engines. Yuhui Wang, Wenyou Qiao, Jialing Le. Hindawi. International Journal of Aerospace Engineering. Volume 2021, Article ID 8839967, 17 pages. <https://doi.org/10.1155/2021/8839967>
7. Xie Qiaofeng. Review on the rotating detonation engine and its typical problems. Qiaofeng Xie, Zifei Ji, haocheng Wen, Zhaoxin ren, piotr Wolanski, Bing Wang. transactions on aerospace research. 4(261) 2020, pp.107-163. DOI: 10.2478/tar-2020-0024. eISSN 2545-2835
8. Yokoo R. Experimental study of internal flow structures in cylindrical rotating detonation engines. R. Yokoo, K. Goto, J. Kasahara, V. Athmanathan, J. Braun, G. Paniagua, T. R. Meyer, A. Kawasaki, K. Matsuoka, A. Matsuo, and I. Funaki Proc. Combust. Inst. 38, 3759 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.proci.2020.08.001>
9. Wang L.-Q. "Detonation propagation limits in hydrogen-oxygen mixtures in a tube filled with repeated perforated plates," L.-Q Wang, H.-H. Ma, Int. J. Hydrogen Energy 47, 645 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.10.017>
10. Stoliarchuk V. V. "Validation of methods for increasing the efficiency of detonation jet engines". Aerospace Technic and Technology. 82-88, (2024). <https://doi.org/10.32620/aktt.2024.4sup1.12>

ВИКОРИСТАННЯ ГІБРИДНИХ ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧИХ СИСТЕМ У СКЛАДІ КОРАБЕЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Кузнецов Г. В.

аспірант

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
інженер-конструктор 3 категорії

ТОВ «Дослідно-проектний центр кораблебудування»
м. Миколаїв, Україна

Застосування теплоакumuлюючих систем (ТАС) в умовах роботи корабельної енергетичної установки (КЕУ) може забезпечити передпускову підготовку головних та допоміжних двигунів, а також загальнокорабельні потреби теплоти. Використання в складі ТАС теплових акумуляторів з фазовим переходом, що утилізують теплоту відпрацьованих газів, забезпечує тільки передпускову підготовку двигунів. Для розширення можливостей забезпечення теплотою інших споживачів можливо використання джерел теплоти – мастила та охолоджуючої рідини, що досягається використанням гібридних ТАС. Тому розробка таких гібридних ТАС з раціональним розподілом акумульованої теплоти за різними напрямками загальнокорабельних потреб є актуальним завданням.

Метою роботи є визначення умов використання гібридних ТАС на потреби головних і допоміжних двигунів, технічних систем корабля та екіпажу для корабельних енергетичних установок різних класів надводних кораблів в умовах експлуатації КЕУ.

Метод дослідження – математичне моделювання акумулювання теплоти робочих середовищ теплових джерел у гібридних ТАС з послідовним її використанням на передпускову підготовку двигунів, потреби технічних систем корабля та екіпажу.

Об'єктом дослідження є процеси утилізації, акумулювання і використання теплоти з визначенням ефективності гібридних ТАС КЕУ надводного корабля.

Предметом дослідження є показники ефективності використання гібридних ТАС та їх залежності від структури елементів системи та теплофізичних властивостей джерел теплоти.

Результати. Для класів кораблів корвет та фрегат досліджено наступні структури гібридних ТАС з комбінованим використанням: відпрацьованих газів та мастила; відпрацьованих газів, мастила та палива.

Для гібридних ТАС з комбінованим використанням відпрацьованих газів та мастила визначено, що їх потенціали утилізованої теплоти близькі за значенням. Останнє дозволяє за необхідністю проводити передпускову підготовку не одного, а двох головних двигунів з послідовним запуском та експлуатацією. При цьому використання акумульованої теплоти гібридної ТАС можливо за наступними варіантами. При запуску допоміжних і головних двигунів КЕУ:

- передпускова підготовка допоміжних та головних двигунів з забезпеченням потреб технічних систем корабля і екіпажу, запуск допоміжних двигунів, завершення передпускової підготовки головних двигунів та їх запуск;
- передпускова підготовка допоміжних та головних двигунів з забезпеченням потреб технічних систем корабля і екіпажу, запуск допоміжних двигунів, завершення передпускової підготовки головних двигунів та утилізація теплоти відпрацьованих газів ТАС, запуск головних двигунів;
- передпускова підготовка допоміжних та головних двигунів з забезпеченням потреб технічних систем корабля і екіпажу, запуск допоміжних двигунів, завершення передпускової підготовки головних двигунів та утилізація теплоти відпрацьованих газів ТАС, запуск головних двигунів та утилізація теплоти мастила ТАС.

Нижче наведено окремі результати для КЕУ з ТАС корвету до складу якої входить два дизельних двигуна CAT C280-12 [1], два газотурбінних двигуна [2], два допоміжних двигуна CAT C32 [3], а до складу ТАС по два глушника-утилізатора-теплогового акумулятора на головні дизельні двигуни та дизель-генератори з характеристиками наведеними у табл. 1, а також теплоізолювані витратні цистерни мастила та палива. Показники ефективності використання гібридних ТАС з теплоакумулюючим матеріалом гідроксид натрію наведені у табл. 2.

Таблиця 1. Характеристики теплових акумуляторів ТАС

Двигун	Джерело теплоти	Теплоакумулюючий матеріал	Потенціал акумульованої теплоти, кДж
CAT C280-12	Відпрацьовані гази	NaOH	$2,291 \cdot 10^5$
		$\text{NaCl}(7.8) - 6.4\text{Na}_2\text{CO}_3 - 85.5\text{NaOH}$	$1,842 \cdot 10^5$
		$\text{LiCl}(37) - 63\text{LiOH}$	$2,057 \cdot 10^5$
	Мастило	–	$2,653 \cdot 10^5$
	Паливо	–	$1,265 \cdot 10^6$
CAT C32	Відпрацьовані гази	NaOH	$8,647 \cdot 10^4$
		LiNO_3	$9,099 \cdot 10^4$
		$\text{LiCl}(37) - 63\text{LiOH}$	$7,765 \cdot 10^4$
	Мастило	–	$3,759 \cdot 10^4$
	Паливо	–	$1,035 \cdot 10^5$

Таблиця 2. Показники ефективності використання ТАС

Варіант джерела теплоти	Показники ефективності			
	показник ефективності використання гібридної ТАС, $\eta_{\text{ТАС}}$		Показник теплової ефективності гібридної ТАС, E_T	
	Головний двигун	Допоміжний двигун	Головний двигун	Допоміжний двигун
відпрацьовані гази	0,124	0,361	0,049	0,142
відпрацьовані гази та мастило	0,267	0,518	0,105	0,204
відпрацьовані гази та паливо	0,807	0,793	0,317	0,312
відпрацьовані гази, мастило та паливо	0,950	0,950	0,373	0,373

Висновки. 1. Використання в КЕУ гібридних ТАС за рахунок теплоти мастила та палива дозволило розширити функціональні можливості для забезпечення потреб енергетичних установок та загальнокорабельних систем, а також

підвищити показники ефективності використання ТАС для двигунів головних з 0,124 до 0,95 та допоміжних з 0,361 до 0,95. 2. Показник теплової ефективності ТАС, який характеризує загальну економію палива енергетичної установки для гібридної ТАС в залежності від джерел акумульованої теплоти збільшується з 0,049 до 0,373 для головних двигунів та з 0,142 до 0,373 для допоміжних.

Література:

1. C280-12 Marine propulsion: веб-сайт. URL: <https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/LEHM7106-01> (Дата звернення 25.11.2024).
2. ГП НПКГ "Зоря"-Машпроект/ за ред. Ю. М. Бондіна. Миколаїв: "Юг"-Інформ", 2004. 120 с.
3. Diesel Generator Sets C32: веб-сайт. URL: https://www.cat.com/en_US/products/new/power-systems/electric-power/diesel-generator-sets/1000028917.html (Дата звернення 25.11.2024).

ОЦІНКА ТЕПЛОГІДРАВЛІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛООБМІННИХ ЕЛЕМЕНТІВ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ПРИ ЗОВНІШНЬОМУ ОБТІКАННІ ТРУБ РІЗНОГО ПЕРЕРІЗУ

Кузнецов В. В.

канд. техн. наук, доцент кафедри технічної теплофізики і суднових паровиробних установок

Шевцов А. П.

д-р техн. наук, професор Навчально-наукового центру морської інфраструктури
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Підвищення ефективності перенесення теплоти в елементах суднових енергетичних установок (СЕУ) забезпечує комплексне покращення їх характеристик паливної економічності, екологічності і компактності.

Однією з актуальних задач поліпшення характеристик теплообмінних апаратів є розробка методів кількісної оцінки ефективності перенесення теплоти в них з урахуванням конструкції апарату, складу СЕУ, призначення судна та умов його експлуатації. З урахуванням вимог експлуатації теплообмінні апарати виконуються з трубчастою поверхнею теплопередачі, при цьому труби можуть бути різного поперечного перерізу.

Мета роботи – порівняльна оцінка теплогідрравлічної ефективності теплопередавальних поверхонь різного поперечного перерізу для обґрунтування поліпшення СЕУ за рахунок інтенсифікації процесів в їх енергетичних теплообмінних апаратах.

Метод дослідження – математичне моделювання теплогідрравлічних процесів в елементах СЕУ.

Об'єктом дослідження є сукупні процеси перенесення теплоти при зовнішньому обтіканні поверхонь різної форми для утилізації та використанні теплоти суднових енергетичних установок.

Предметом дослідження є показники та закономірності характеристик теплопередачі та гідродинамічного опору однорядних та багаторядних пучків труб круглого, еліптичного та плоскоовального перерізів в діапазоні чисел Рейнольдса, що відповідають умовам експлуатації теплообмінних елементів в складі СЕУ.

В якості показника теплогідрравлічної ефективності теплопередавальних поверхонь прийнятий модифікований фактор аналогії Рейнольдса [1].

Виконане моделювання поперечного обтікання поодиноких труб круглого, еліптичного і плоскоовального перерізу при сталому еквівалентному діаметрі $d_{\text{екв}}$ в діапазоні значень чисел Рейнольдса 6000...14000. При розрахунку зовнішнього обтікання труб еліптичного та плоскоовального перерізів прийняті співвідношення напіввісей (a/b) у діапазоні 1,5...2,7. Результати розрахунків залежностей ефективності тепловіддачі $Nu = f(Re)$ та коефіцієнта повного опору $C_D = f(Re)$ представлені на рис. 1 та 2.

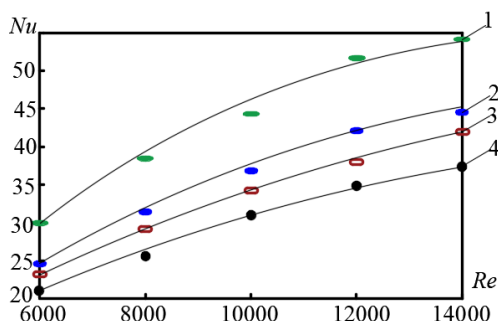


Рис. 1. Розрахунок залежності ефективності тепловіддачі від числа Рейнольдса: 1 – еліптичний профіль ($a/b=2,5$); 2 – еліптичний профіль ($a/b=2,0$); 3 – плоскоовальний профіль ($a/b=2,7$); 4 – круглий профіль

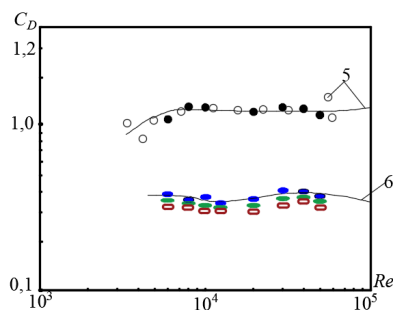


Рис. 2. Розрахунок коефіцієнта повного опору від числа Рейнольдса: 1-4 – аналогічно рис.1; 5,6 – дані [2].

Отримані результати дозволили визначити теплогідрравлічну ефективність розглянутих поверхонь при тепловіддачі і теплопередачі (рис. 3 та 4).

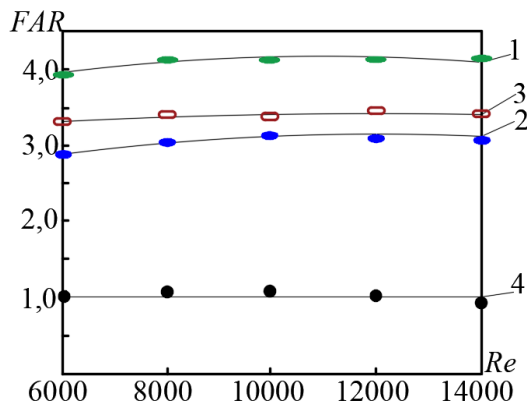


Рис. 3. Порівняльне моделювання ефективності тепловіддачі для поодиноких теплообмінних профілів різного поперечного перерізу при $d_{\text{екв}} = \text{const}$, позначення аналогічні рис. 1

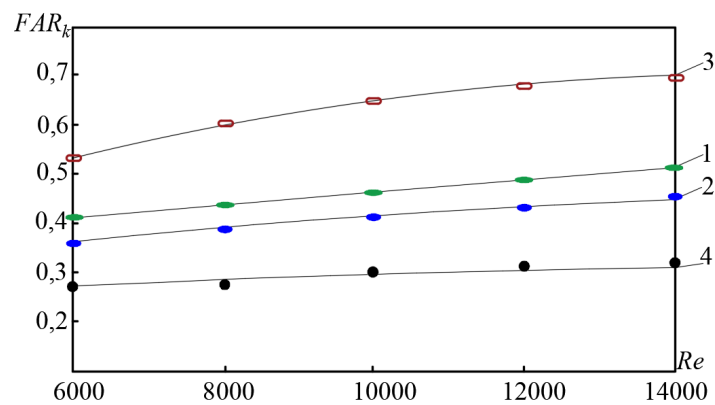


Рис. 4. Порівняльне моделювання ефективності теплопередачі для поодиноких теплообмінних профілів різного поперечного перерізу при $d_{\text{екв}} = \text{const}$, позначення аналогічні рис. 1

Локальний максимум ефективності тепловіддачі (рис. 3), що спостерігається у діапазоні $Re = 10000 \dots 11000$ обумовлений сукупним впливом зростанням коефіцієнта тепловіддачі та зниженням коефіцієнту аеродинамічного опору (рис. 1, 2).

Моделювання процесу тепловіддачі у пучках круглих, еліптичних та плоскоовальних труб проведено зі співвідношенням поперечних та поздовжніх кроків відповідно у діапазоні $S1/d_{\text{екв}} = 1,1 \dots 1,4$ та $S2/d_{\text{екв}} = 1,5 \dots 1,9$. Результати представлені у вигляді залежності відносного коефіцієнту тепловіддачі та опору, що визначаються відповідним відношенням коефіцієнтів i -го ряду до третього ряду, по рядах труб (рис. 5 та 6).

Отримано, що стабілізація тепловіддачі та гідродинамічного опору у пучках еліптичних та плоскоовальних труб настає з четвертого ряду.

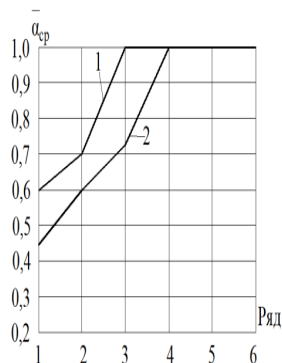


Рис. 5. Зміна коефіцієнту тепловіддачі по рядах в пучках: 1 – значення для пучка круглих труб [3]; 2 – значення для пучка еліптичних та плоскоовальних труб

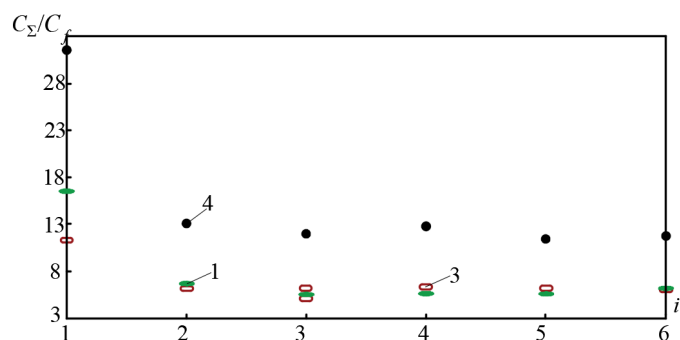


Рис. 6. Зміна відносного коефіцієнту опору по рядах в пучках: 1 – еліптичний профіль ($a/b = 2,5$); 3 – плоскоовальний профіль ($a/b = 2,7$); 4 – круглий профіль

Отримані результати показали, що на теплогідрравлічну ефективність процесів тепловіддачі і теплопередачі більший вплив має опір поверхні, а саме опір форми (див. рис. 6). Це доводить перспективність використання труб еліптичного і плоскоовального поперечного перерізів для формування теплопередавальних поверхонь суднових теплообмінних апаратів. Крім того, забезпечення режимів течії в них при $Re = 10000 \dots 11000$ дасть змогу додатково підвищити їх теплогідрравлічну ефективність, що сприятиме комплексному покращенню характеристик СЕУ по паливної економічності, екологічності і компактності.

Література:

1. Kuznetsov V. V. Justification of efficiency of plain shaped heat exchange surfaces to increase the compactness of power plants / V. V. Kuznetsov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 6/8 (108) 2020 p.17-27 doi: 10.15587/1729-4061.2020.214829
2. Blevins R. D., Applied Fluid Dynamics Handbook / Van Nostrand Reinhold, New York, 1984. 558 p.
3. Кутателадзе С. С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: Справочное пособие / С. С. Кутателадзе. – М.: Энергоатомиздат, 1990. 367 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОБОТИ ОХОЛОДЖУВАЧІВ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ НА РЕЖИМАХ З ВИПАДАННЯМ ВОЛОГИ

Гогоренко О. А.

канд. техн. наук, доцент, в.о. завідувача кафедри двигунів внутрішнього згоряння, установок та технічної експлуатації

Мошенцев Ю. Л.

канд. техн. наук, професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння,
установок та технічної експлуатації

Немченко А. В.

аспірант кафедри двигунів внутрішнього згоряння, установок та технічної експлуатації
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Під час роботи двигунів внутрішнього згоряння в охолоджувачах наддувочного повітря (ОНП) інколи випадає волога. Випадання вологи супроводжується рядом явищ, що негативно впливають на роботу двигунів.

Це явище, в першу чергу, призводить до зменшення глибини охолодження наддувочного повітря порівняно з режимом, коли волога з повітря не випадає. Випадання вологи пов'язане з виникненням додаткового теплового потоку, який підвищує температуру наддувочного повітря за інших рівних умов. Це явище можна розглядати по-різному в залежності від ефекту його впливу.

По-друге, це пов'язано з потраплянням крапельної вологи в наддувне повітря, яке потім надходить у циліндри двигуна. Потрапляння крапельної вологи призводить до підвищеного зношування циліндрів, оскільки волога потрапляє в масло, особливо в районі верхньої частини циліндра. Крім того, крапельна волога перетворюється на пар у циліндрі, який, завдяки своєму великому питомому об'єму, суттєво заміщає і витісняє повітря, що потрапляє в циліндр, зокрема кисень, зменшуючи коефіцієнт наповнення.

По-третє, вплив виявляється у збільшенні навантаження на систему охолодження. Це збільшення навантаження пов'язано з виникненням додаткового теплового потоку в систему охолодження. Тепловий потік при випаданні вологи має додатково відводитися системою охолодження за рівних з режимом без випадання вологи температурах охолоджуючої рідини, масла та наддувочного повітря.

На кафедрі ДВЗ, У та ТЕ НУК передбачається поглиблене вивчення особливості роботи ОНП при випаданні вологи. Для експериментальної частини роботи є лабораторний стенд, на якому можна випробовувати натурні зразки ОНП на різних режимах роботи, максимально наближених до можливих режимів експлуатації ДВЗ. На стенді можливо створювати умови, що забезпечують охолодження повітря з випаданням вологи. Відповідно, має розглядатись вплив випадання вологи на зміну параметрів роботи охолоджувача наддувочного повітря порівняно з режимами, на яких волога не випадає, за рівних умов.

Режими роботи ОНП з випаданням вологи пов'язані з виділенням певної кількості вологи та зміною параметрів роботи теплообмінного апарату. Кількість сконденсованої вологи та супутні ефекти залежать від багатьох причин – потужності двигуна та режиму його роботи, від параметрів атмосферного середовища та деяких інших факторів. Незважаючи на це, зміна параметрів роботи ОНП та кількість сконденсованої вологи може бути суттєвою, особливо для суднових енергетичних установок. Зокрема, в роботі [1] охолоджувач наддувочного повітря розглядається як енергоефективний опріснювач із продуктивністю 30...40 т води на добу. Тому знання з цього питання є необхідними і повинні використовуватись для оцінки виникаючих ситуацій. Оцінка ситуацій може бути виконана на основі зворотних розрахунків ОНП, в яких враховується ефект випадання вологи.

Слід зазначити, що це явище вивчається багатьма дослідниками [2-7]. Однак авторам невідомі достатньо обґрунтовані інженерні методики розрахунків ОНП в режимі випадання вологи. Є два шляхи вирішення цього питання. В одному з них випадання вологи пов'язують з явищами масопереносу [8]. При цьому пропонуються залежності, які практично непридатні для інженерних розрахунків. Зокрема, використовуються дані про геометрію стікаючого шару рідини, про швидкість стікання тощо. Інший спосіб розв'язку питання випадання вологи оцінюється за допомогою коефіцієнта випадання вологи, ξ , і розрахунок ОНП здійснюється без урахування елементів масопереносу та особливостей течії сконденсованої рідини.

Перший метод є фізично більш обґрунтованим, але він не придатний для інженерних розрахунків. Другий метод враховує всі фактори статистично, не зважаючи на фізичне відображення процесів. Відповідно цьому є аналоги в існуючих розрахункових методах. Наприклад, питання забруднення поверхні теплообміну також можна вирішувати різними методами. Зокрема, можна розглядати захоплення часток забруднень різними пристроями, розміщеними в потоках. Можна оцінювати і їх осадження на частини поверхні теплообміну на основі теорії руху часток у потоках. Такий шлях вимагатиме величезного масиву вихідних даних, не завжди доступних для отримання. Водночас є роботи ТЕМА [9], де забруднення оцінюють за даними статистики. Їх вважають рівномірно розподіленими по всій поверхні (що не відповідає реальності з точки зору фізики), а результати досліджень наводяться як конкретні числа. Їх рекомендують для використання в інженерних методиках. В принципі, можна обґрунтувати доцільність використання того чи іншого методу різними шляхами. При цьому в основу їх використання має сенс покласти можливість розрахунків на основі

досить доступної інформації. Відповідно, для режиму випадання вологи передбачається розроблення інженерної методики розрахунку ОНП. У цій методиці методи розрахунків, пов'язані з масопереносом, будуть використовуватися мінімально, а ефекти випадання вологи враховуватимуться з урахуванням її обсягу, характеру прояву та особливостей геометрії тих ПТ, які застосовуються в ОНП.

Розглянемо ту частину охолодження з випаданням вологи, якій передбачається приділити максимальну увагу під час проведення досліджень на кафедрі. Загальну кількість теплоти, що виділяється в процесі охолодження з випаданням вологи, Q_p , можна представити виразом

$$Q_i = Q_a + Q_w + Q_m + Q_i = GC_p (T_2 - T_1) + GC_{pw} (d_2 - d_1) (T_{wi} - T_{wif}) + G_w (d_2 - d_1) r + GC_{pi} (d_2 - d_1) (T_f - T_i),$$

де G – витрата вологого повітря, кг/с; C_p – ізобарна теплоємність вологого повітря, Дж/(кг·К); T_1, T_2 – температури вологого наддувного повітря до і після охолодження, К; C_{pw} – ізобарна теплоємність води, Дж/(кг·К); d_1, d_2 – початкова і кінцева вологість наддувного повітря, кг/кг; T_{wn} – температура насичення пари при тиску вологого повітря в ОНП, К; $T_{сrf}$ – середня температура стінки поверхні теплообміну зі сторони повітря, К; r – прихована теплота пароутворення води, Дж/кг; C_{pn} – ізобарна теплоємність насиченого пара, Дж/(кг·К); T_f – середня температура вологого повітря або суміші водяної пари та сухого повітря, К; T_n – температура насичення пари при його парціальному тиску, К.

Перший член рівняння, Q_a – так званий потік явного тепла – тепловий потік від охолоджуваного повітря. Його величина визначається температурою повітря до і після охолодження, його витратою та теплоємністю.

Другий член рівняння, Q_w , тепловий потік від води, що випала при конденсації. Цей потік виникає при контакті сконденсованої води зі стінкою поверхні теплообміну (ПТ) і частково надходить від «лужі» гарячої води за ОНП до охолодженого повітря і до стінки патрубка (повітряного колектору). Тепло, передане сконденсованою водою, залежить від швидкості стікання рідини. При цьому шар рідини має товщину, перепад температур, і, крім того, випадає нерівномірно. Багато чого тут не визначено: не відома швидкість води, що стікає по ПТ; не відома товщина шару води на ПТ, рівномірність покриття водою площі ПТ. Звісно, частина теплового потоку із сконденсованої і охолоджуючої водою буде передана. Але при цьому значна частина води, у вигляді кип'ятку, збирається в нижній частині колектору за ОНП, яка не буде передавати тепловий потік охолоджуючій рідині. При цьому в наддувному повітрі будуть краплі води, які також впливатимуть на його температуру. Ця частина теплового потоку, передана сконденсованою водою, відомими вченими вважається порівняно незначною.

Третій член рівняння, Q_m , є, за попередніми оцінками, основним. Це тепловий потік, що виникає в результаті перетворення пари у воду, тобто, потік, пов'язаний з виділенням тепла фазового переходу. Передача цього тепла за законами теплотехніки повинна бути пов'язана з напором температур і іншими величинами, що характеризують тепловий потік. У відомих авторах методах розрахунків цього всього немає. В принципі, ця частина теплового потоку також передається через сконденсовану воду. Відповідна частина енергії не формалізується величиною теплового напору і площею теплопередачі.

Четвертий член рівняння, Q_n , визначається тепловим потоком при охолодженні пари від перегрітого стану до стану насичення. Ця частина теплового потоку також передається сконденсованою водою і від неї – поверхні теплообміну. Ця частина енергії у відомих нам методиках розрахунків також не формалізується величиною теплового напору і площею теплопередачі.

Розглядаючи записану формулу, можна висловити низку міркувань щодо напрямку та глибини можливих досліджень.

1. Очевидно, що всі перераховані вище теплові потоки передадуть певну частину своєї енергії теплоносію внутрішнього контуру (ТБК). Водночас незрозуміло, які потоки є визначальними, а які можна ігнорувати. Необхідні дані про кількісні співвідношення виділених потоків.
2. Усі вихідні (від сконденсованої пари) теплові потоки можна визначити (на основі наявних формул з відповідними похибками). Всі вони передаються ТБК через сконденсовану воду. Водночас частина цієї води стікає з ПТ і йде або в спеціальну ємність, або в наддувне повітря з певною часткою енергії. Таким чином, не всі теплові потоки від конденсації пари йдуть до ТБК. Необхідно встановити частки теплових потоків, що не передаються ТБК.
3. Немає чіткого зв'язку між геометричними параметрами ОНП і ξ .
4. Відсутній зв'язок між аеродинамічним опором ОНП і ξ . Зв'язок повинен залежати від особливостей геометрії ПТ.

Таким чином, перераховані основні міркування, які можуть бути уточнені та доповнені в процесі досліджень. Шляхи розв'язання відповідних задач попередньо розроблені. Здебільшого вони пов'язані з наявністю зазначеного стенда та дослідних зразків ОНП. Водночас не виключено, що шляхи вирішення вказаних проблем можуть змінюватися в ході виконання робіт.

Література:

1. Радченко Р. Н. Экологоэнергоэффективная технология получения пресной воды на судах / Р. Н. Радченко, Н. И. Радченко, С. А. Охотин, В. Е. Казанцева // Авиационно-космическая техника и технология, № 8 (85). 2011. – С. 122-129.
2. Choi, J., Satpathy, S., Hoard, J., Styles, D., Kuan, C.-K. (2017). An Experimental and Computational Analysis of Water Condensation Separator Within a Charge Air Cooler.

3. Tang, Y. The Condensation within a CAC / Y. Tang // Thermodynamics Analysis, SAE 2011-01-1168.
4. Basler, I., Wirth, M., Reister, H., Rossmann, R., Weigand, B. Numerical modeling and experimental validation of heat and mass transfer inside charge air coolers with water condensation // International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 190, 2022.
5. Basler, I., Reister, H., Rossmann, R., Weigand, B. A Simulation Method for the Calculation of Water Condensation inside Charge Air Coolers // SAE Technical Paper 2021-01-0226, 2021
6. Kwangkook Jeong, Michael J. Kessen, Harun Bilirgen, Edward K. Levy, Analytical modeling of water condensation in condensing heat exchanger, International Journal of Heat and Mass Transfer. Vol. 53, Issues 11–12, 2010, pp. 2361-2368.
7. Murcela, T. Condensation within a Charge Air Cooler // Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal. November 2017.
8. Incropera, Frank P. Fundamentals of heat and mass transfer / Frank P. Incropera [et al.]. – 6th ed. Wiley, 2007. – 997 p.
9. Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association (2007). 9-th edition. – 298 p.

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ТРУБОПРОВІДІВ СИСТЕМ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗРІДЖЕНОГО ГАЗУ ДЛЯ СУДЕН FSRU

Нікончук С. В.

аспірант кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики

Елеонська О. С.

ст. викладач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Зріджений природний газ (ЗПГ) на сьогоднішній день у світі стає головною технологією транспортування природного газу. Основними споживачами ЗПГ є країни Європи та Азійського Тихоокеанського регіону. Попит, що різко збільшився, на імпорт ЗПГ змушує країни-імпортери адаптувати портову інфраструктуру під регазифікаційні потужності. Найбільш швидким шляхом вирішення проблеми є будівництво плавучої регазифікаційної установки (FSRU). FSRU створюють як на базі ЗПГ-танкерів шляхом модернізації із встановленням додаткового обладнання, так і побудовою нових суден. У порівнянні з наземними ЗПГ-терміналами FSRU має нижчу вартість та термін будівництва (1...3 роки для FSRU, 4...6 років для наземного терміналу).

Як правило, FSRU розташовуються поблизу або в акваторії порту-терміналу, щоб уникнути витрат часу. Важливо при їх використанні запобігти виникненню якоїсь надзвичайної ситуації. Слід забезпечити відповідність резервуарів для зберігання ЗПГ та їх компонентів міжнародним стандартам структурної цілісності та експлуатаційних характеристик з метою запобігання раптовим відмовам, а також пожежам та вибухам під час експлуатації у нормальному режимі та під час стихійних лих. Чистий ЗПГ не горить, сам по собі не спалахує і не вибухає. На відкритому просторі за нормальної температури ЗПГ повертається в газоподібний стан і швидко змішується з повітрям. При випаровуванні природний газ може спалахнути, якщо станеться контакт із джерелом полум'я. При концентрації природного газу в повітрі від 5 до 16 % його суміш із повітрям вибухає. Якщо концентрація менше 4,4 %, то газу буде недостатньо для початку займання, а якщо більше 17 %, то для спалаху в суміші буде замало кисню.

Для використання ЗПГ підлягає регазифікації, тобто це процес випаровування без присутності повітря.

Основне обладнання FSRU: резервуари для зберігання ЗПГ; регазифікаційна установка (регазифікаційна ємність), призначена для перетворення ЗПГ, що транспортується при температурі $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$, назад у природний газ при температурі атмосферного повітря; розвантажувальні рукави або шланги ЗПГ.

FSRU, як складна інженерна споруда, має додаткові вимоги, порівняно із звичайним судном, щодо матеріалу й конструкції трубопроводів регазифікаційної установки, а також вимог для перевірки якості зварювальних з'єднань елементів трубопроводу.

Системи трубопроводів, що транспортують скраплений природний газ (Liquefied Natural Gas (LNG)), розглядаються як системи трубопроводів, що транспортують «легкозаймисті рідини». Ці системи трубопроводів повинні бути віднесені до класу II. У тих випадках, коли застосовуються більш високі розрахункові тиски, наприклад, у системі регазифікації, рідинні трубопроводи з надлишковим тиском вище 1,6 МПа повинні бути віднесені до категорії I [4].

Застосовувані на FSRU трубопроводи є низькотемпературними або криогенними [6].

Криогенні трубопроводи відносяться до особливого виду систем, які використовуються в промисловості, де потрібна обробка за дуже низьких температур. Зазвичай $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Екстремально низькі температури змінюють хімічні та фізичні властивості матеріалів. З цієї причини матеріали, що зазвичай використовуються для труб, не підходять для технологічного застосування в криогенних трубопроводах.

Від матеріалу труби до типу опори і навіть типів клапанів криогенні трубопроводи відрізняються від звичайних технологічних трубопроводів.

Криогенна система трубопроводів вимагає спеціалізованих інноваційних та проєктних рішень для підтримки балансу та максимізації ефективності процесу та гнучкості.

Компенсатори та сильфони найкраще витримують осьовий тиск та достатню гнучкість при обробці. Але їхнє обмежене використання додає набагато більше додаткових витрат до загальної вартості проєкту.

Таким чином, щоб мінімізувати вартість проєкту та максимізувати ефективність обробки, проєктування кріогенних трубопроводів має проводитися ретельно, щоб збалансувати потребу у цих гнучких сильфонах та компенсаторах.

Щоб зупинити надходження тепла з навколишнього середовища, використовуються лінії з вакуумною сорочкою. Це два шари труб, що йдуть концентрично один з одним. Внутрішня труба є основною та пропускає потік кріогенної рідини, у той час як зовнішня труба забезпечує ізоляцію та підтримку основної труби. Через цю комбінацію навантаження всієї системи трубопроводів різко збільшується. Вкрай важливо розрахувати осьове навантаження, щоб гарантувати, що як внутрішня, так і зовнішня труби можуть витримувати згин і напруження розширення з розривом.

Клапани, що використовуються в холодному трубопроводі, мають особливості конструкції, та спеціально виготовляються з урахуванням матеріалу та міцності, щоб витримувати екстремально низькі температури [6]. Наприклад, кріогенний затвор матиме довгий шток для плавної роботи (рис. 1).



Рис. 1. Кріогенний шаровий клапан

Таким же чином, для кріогенної лінії потрібно приділяти особливу увагу її опорам. Кріогенні опори для підтримки холодної ізоляції виготовляються з високощільної поліуретанової піни, або фенольної ізоляції, або поліізоціанурату (PIR). Приклад кріогенного трубопроводу наведено на рис. 2.



Рис. 2. Кріогенний трубопровід

Матеріали виявляють різні властивості при різних рівнях холодної температури через свою кристалічну структуру, розмір зерна та властивості термообробки. Через це ми не можемо використовувати той самий тип матеріалу для кожного діапазону кріогенних трубопроводів.

Труби, клапани та фітинги виконуються з нержавіючої сталі для зварних конструкцій та повинні бути марок 304L, 316L, 321 або 347, для незварних конструкцій можуть бути прийняті марки 304 та 316 [4].

Матеріали, що використовуються в системах класу I та класу II, повинні бути виготовлені на заводі, схваленому Lloyd's Register [5], а також випробування повинні проводитися відповідно до правил Lloyd's Register або іншого класифікаційного товариства.

У зв'язку з вищесказаним можна зробити висновок, що надзвичайна відповідальність під час виготовлення трубопроводів регазифікаційної системи судна FSRU вимагає використання спеціальних матеріалів, елементів трубопроводів з особливостями конструкцій, що необхідно враховувати на всіх етапах проєктування. У той же час, всі елементи трубопроводу повинні пройти обов'язкові випробування. Все це значно ускладнює виготовлення таких трубопроводів, і відповідно збільшує його вартість. Але безпека установки при експлуатації, а отже життя людей і збереження навколишнього середовища є важливішими за будь-які витрати.

Література:

1. Zongming Yang; Huabing Wen; Xinglin Yang; Viktor Gorbov; Vira Mitienkova; Serhiy Serbin; (2021). Marine Power Plant., doi:10.1007/978-981-33-4935-3
2. Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines. 9th Edition – August 18, 2009. Author: Doug Woodyard. Language: English. eBook ISBN: 9780080943619.
3. Budiyanto, M. A., Zidane, S. A., Putra, G. L., Riadi, A., Andika, R., Theotokatos, G. (2023). Performance Analysis of Combined Gas-Electric Steam Turbine System as Main Propulsion for Small-scale LNG Carrier Ships. International Journal of Technology. Volume 14(5), pp. 1093-1102
4. Classifications Register Rules and Regulations - Rules and Regulations for the Classification of Ships, July 2022 - Part 5 Main and Auxiliary Machinery - Chapter 12 Piping Design Requirements - Section 9 Piping for LPG/LNG carriers, gas fueled ships and classed refrigeration systems
5. Classifications Register Rules and Regulations – Rules for the Manufacture, Testing and Certification of Materials, July 2022
6. <https://www.allaboutpiping.com/what-is-cryogenic-piping>

THE FEASIBILITY OF USING ULTRA-DISPERSED SOFT METAL POWDER ADDITIVES IN MARINE DIESEL ENGINE OIL

Ihor Prudnikov

postgraduate of Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine

Andrii Andreiev

Candidate of Technical Sciences, Professor, Head of Ship Engineering and Power Engineering Department
of the Kherson Educational and Scientific Institute of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Kherson, Ukraine

The development of the practice of operating internal combustion engines (ICE), primarily marine, puts forward new requirements for fuel and lubricants and their cleaning systems. Forcing diesel engines in terms of boost and speed, using thin-walled liners in bearings, reducing oil changes due to reducing oil loss while simultaneously increasing its service life, using low-grade fuels and oils with insufficiently high functional properties, as well as legislative restrictions on hazardous emissions into the atmosphere - these are the conditions in which it is necessary to consider the operation of the "diesel - operation - fuel - oil - cleaning" complex on ships to achieve the most advantageous combination of the links included in it and achieve high technical, economic and environmental effects.

One of the promising areas for improving the properties of motor oils for piston internal combustion engines is the addition of ultrafine powders (UPD) of soft metals and alloys, which leads to an increase in the operability of friction units, primarily due to the creation of the effect of wear-free friction in pairs "steel-steel", "steel-cast iron".

The use of ultrafine powders of soft metals and alloys in lubricating oils is one of the directions for improving the operability of friction units. The most widespread are copper and copper alloy powders, particularly tin bronze, introduced into the oil as part of the so-called metal plating preparations (MPP).

The need for a detailed study of the action of UDP additives is also explained by the fact that one of the areas of application of MPP is motor oils for piston internal combustion engines. However, information about the effectiveness of UDP copper alloy additives and the positive manifestations (if any) of the presence of UDP in motor oils is very contradictory. Thus, several scientific publications provide graphs from which it follows that when adding MPP containing UDP of non-ferrous metals (apparently, copper alloy) to motor oil, mechanical losses in the engine decreased by 18 %. However, despite the statements of the researchers-authors of these publications that a film consisting of MPP components is formed in the friction zone, the given X-ray diffraction patterns for the surface of samples tested on a friction machine when lubricated with oil containing the specified preparation do not reveal characteristic peaks of non-ferrous metals contained in the preparation.

These works also do not indicate the modes of X-ray phase analysis. However, the X-ray penetration depth into the material directly depends on the angle of inclination of the studied surface to the direction of the primary beam.

It should be noted that there is extremely little published information on the mechanism of action of preparations containing soft alloy UDPs in internal combustion engines. Some manufacturers of such preparations collect information on the results of using preparations containing metal UDPs in internal combustion engines. Still, this information is usually fragmentary, does not differ in completeness, and its collection is not systematic. For example, after adding a preparation containing tin bronze UDP to the engine oil of diesel engines of trucks "Scania 360" of the Chilean transport company "NEGRETE," fuel consumption decreased from 0.416 to 0.394 l/km. A similar effect was registered on the vessel "SALAR" of the Chilean company "FRASAL," on which two Caterpillar 2406 engines were installed: fuel consumption after adding a preparation containing tin bronze UDP decreased by 9...15 %. However, studies have not been conducted on the reasons for the decrease in fuel consumption.

As a rule, MPP is a suspension of UDP of one of the soft metals and alloys in a hydrocarbon carrier with the addition of surfactants to prevent the sticking of powder particles. The use of UDP of soft metals in oil is caused by the desire to obtain the effect of wear-free friction (selective transfer) in friction pairs "steel-steel," "steel-cast iron," etc. In such pairs, the classical form of selective transfer cannot manifest itself due to the lack of conditions for metal plating - the appearance of a film-forming metal during friction - therefore, such a metal in the form of a highly dispersed powder is introduced into the lubricating fluid.

Metal plating can occur due to "spreading" powder particles onto the surface and filling irregularities or, in the absence of oxide films on the surfaces, due to interaction using van der Waals forces or forming a metallic bond. The newly formed soft metal film on the surface reduces the actual pressure in the contact zone and, as a result, the deformation component of friction while creating conditions for a polymolecular boundary layer, which, in turn, also reduces the adhesion component. However, the wear-free friction mode can be implemented under certain conditions, which are far from always observed during the operation of the friction unit.

Many scientific works indicate that the main conditions that ensure the selective transfer mode's stability are low load values, sliding speeds, and suppression of oxygen access to the friction contact zone. The question of how the friction and wear processes will develop without the metal plating effect is not given due attention and requires a separate study.

The value of the indicator efficiency of a diesel engine depends on many factors. The addition of tenths of a percent of bronze UDP to oil probably affects the completeness of fuel combustion. It is known that copper is a combustion catalyst and reduces the activation energy of oxidation reactions occurring in the combustion chamber of an internal combustion engine. Bronze particles can act as a catalyst when getting into the combustion chamber of a diesel engine with oil.

The processing of indicator diagrams showed that when adding bronze UDP, there is a tendency to increase the ignition advance angle (except for the mode at partial power of 75 %). Most likely, bronze particles reduce the activation energy of oxidation reactions occurring in the combustion chamber of a diesel engine. At a 75 % load, the greatest decrease in specific fuel consumption occurred, and a reduction in fuel supply to the combustion chamber leads, on the contrary, to a delay in ignition, and the influence of this factor is more significant than the catalytic action of bronze powder.

The consequence of reducing the activation energy is the possibility of carrying out the fuel oxidation process, ensuring the completeness of its combustion at lower temperatures. A decrease in specific fuel consumption and a reduction in temperature in the combustion chamber should lead to a decrease in the maximum pressure and, consequently, a decrease in the rigidity of the engine.

Conclusions. The deepening of oil refining is accompanied by the deterioration of fuel quality, which leads to a decrease in the reliability, resources, and environmental indicators of marine diesel engines. Using ultrafine powders of soft metals and alloys in lubricating oils is a promising direction for increasing the efficiency of friction units of marine diesel engines. Adding powders to diesel engine oil leads to decreased specific fuel consumption caused by increased indicator efficiency.

The addition of UDP soft metals to diesel engine oil leads to a decrease in specific fuel consumption, which is caused by an increase in the indicator efficiency of the diesel. In contrast, the mechanical efficiency remains practically constant.

Using UDP soft metals as an additive to engine oil leads to a decrease in the friction force during the running-in process and the duration of the latter, which makes it advisable to use such additives when running in diesel engines.

Adding UDP tin bronze to oil, which lubricates the surfaces being run in, reduces friction by 5...7 %. The positive effect of using UDP bronze additives is more significant the higher the oil viscosity.

When 1 % of UDP tin bronze is added to the oil, the wear of the samples becomes very insignificant compared to the wear in the oil without the additive. Therefore, the presence of UDP bronze in the engine oil, even in concentrations much lower than 1%, can significantly reduce the wear of friction units operating in the hydrodynamic lubrication mode during the start and stop of the diesel engine.

ANALYSIS OF MODERN FUEL SUPPLY SYSTEMS FOR MEDIUM-SPEED MARINE INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Zabrodin S., Polehenko V.

master's degree students of the educational program «Internal Combustion Engines»

Bondarets O., Kaushan D.

bachelor's degree students of the educational program «Internal Combustion Engines»

scientific supervisor – **Mytrofanov O. S.**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Internal Combustion Engines,
Plants and Technical Maintenance Department Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine

The fuel system of an internal combustion engine (ICE) has a direct impact on its efficiency, environmental and operational performance. This is the reason for a significant amount of research and development related to the improvement of traditional and creation of new ICE fuel systems. The use of modern electronics and microprocessor technology has significantly improved the efficiency of fuel systems. For example, the use of electronics has made it possible to more accurately control the fuel supply process and select the most optimal injection parameters, which in turn has improved fuel efficiency and environmental friendliness of engines.

When designing a fuel system, one of the main tasks is to achieve maximum fuel efficiency, environmental friendliness and engine power. At the same time, the fuel system must be reliable and provide guaranteed engine starting under any operating conditions (even extreme ones). Thus, we can formulate the main requirements that modern internal combustion engine fuel systems must meet [1, 2]:

- the ability to flexibly adjust the fuel supply and ensure the optimal injection advance angle in accordance with the engine load mode;
- maximum uniformity of the cyclic fuel supply to the cylinders, and, if necessary, in some cases (for example, in cases of different technical condition of individual working cylinders), on the contrary, ensuring uneven supply;
- the possibility of disconnecting some working cylinders when the engine is operating at partial modes;
- regulation of fuel supply during transient engine operation;
- the ability to switch off the fuel supply when operating at forced idle;
- compliance with the limiting parameters of engine operation (e.g., restrictions on the maximum pressure in the working cylinder, combustion rigidity, engine thermal load, exhaust gas temperature before the turbocharger turbine);
- the required level of automation.

The engine fuel system consists of many components, but the most important are the high-pressure fuel pumps (HPFP) and the injectors. The joint operation of these two elements ensures that most of the requirements for the engine fuel system are met. There are a large number of design options for injectors and high-pressure pumps, but the use of a pump-injector is becoming increasingly common. In fact, this is a combination of a fuel pump and injector in a single mechanism, namely, the pump section is combined with the injector sprayer. The combination of a high-pressure pump and an injector reduces the internal volume, which reduces its impact on the fuel supply process and significantly increases the injection pressure. Thus, the main advantages of using pump-injectors include:

- reducing the number of engine fuel system components;
- high injection pressures (up to 200 MPa) by reducing the volume of compressed fuel;
- the possibility of a sharp cut-off of the fuel supply and the absence of injection;
- increase in the service life of the atomiser and its lower coking;
- reduction of the fuel injection lag relative to the plunger discharge.

Along with the advantages of using pump injectors, there are a number of disadvantages, the main ones being:

- significant complication of the design of the working cylinder covers due to the need to accommodate the drive;
- a significant increase in the size of the injector part;
- deterioration of injection parameters at partial engine operating conditions;
- deterioration in the regulation of the uniformity of fuel supply to the engine cylinders.

Some of these shortcomings can be eliminated. For example, it is possible to adjust the uniformity of fuel supply by installing an additional fuel supply control device. However, this will lead to a more complex fuel system. Therefore, to regulate the fuel supply, it is more promising to use solenoid valves as part of the pump-injectors [3]. The use of solenoid valves allows for precise control of the moment and duration of fuel supply in accordance with the operating mode of the engine. Thus, tab. 1 shows a comparison of the main parameters of the 6CHN 25/34 engine with a standard split fuel system and with the use of pump injectors with solenoid valves. The data in the tab. 1 show that when using pump-injectors with solenoid valves on the 6CHN 25/34 engine, an increase in effective power by 50 % and a decrease in specific effective fuel consumption by 8.1 % are observed.

Table 1. Comparison of different fuel systems of the 6CHN 25/34 engine

Parameter name	Designations and units of measurement	Significance	
		Split fuel system	System with pump injectors
Number of cylinders	i	6	6
Cylinder arrangement	–	In-line cylinder	In-line cylinder
Cylinder diameter	D , mm	250	250
Piston stroke	V , mm	340	340
Working volume of all cylinders	V , l	43,64	43,64
Order of cylinder operation	–	1-5-3-6-2-4	1-5-3-6-2-4
Degree of pressure	ε	13	13
Crankshaft speed	n , min ⁻¹	500	500
Effective power output	N_e , kW	340	510
Specific effective fuel consumption	g_e , g/(kW·h)	222	204

Conclusions. An analysis of modern fuel systems with pump-injectors for medium-speed marine engines has been carried out. The main disadvantages and advantages of using pump-injectors as part of fuel systems are highlighted. It is established that the use of pump-injectors with solenoid valves can significantly improve the energy and economic performance of engines. Thus, the use of pump-injectors on the 6CHN 25/34 engine allows increasing the engine power by 50 % and reducing the specific effective fuel consumption by 8.1 %.

References:

1. Challen B., Baranescu R. Diesel Engine Reference Book. 2nd ed. Butterworth-Heinemann, 1999. 675 p.
2. Наливайко В. С. Суднові двигуни внутрішнього згоряння : Підручник / В. С. Наливайко, Б. Г. Тимошевський, С. Г. Ткаченко. Миколаїв : видавець Торубара В. В., 2015. 332 с.
3. Latache M. Pounder's marine diesel engines and gas turbines. 10th ed. Elsevier Ltd, 2021. 930 p.

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГАЗОВОГО ПАЛИВА В ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНАХ

Фролов Н. С., Табаковський А. І.

здобувачі магістерської освітньої програми «Двигуни внутрішнього згоряння»

Анпілогов І. І., Качалов В. О.

здобувачі бакалаврської освітньої програми «Двигуни внутрішнього згоряння»

науковий керівник – **Тимошевський Б. Г.**, д-р. техн. наук, професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння, установок та технічної експлуатації
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Газове паливо стає все більш популярним як альтернативний вид палива для дизельних двигунів. Це пов'язано із зростаючими екологічними вимогами, економічною вигодою та відносно високою доступністю газу. Використання газового палива в дизельних двигунах має свої особливості, пов'язані із конструкцією двигунів, технологіями згоряння та регуляторними вимогами [1-3].

Використання газового палива в дизельних двигунах є перспективним напрямом розвитку транспортної галузі. До таких палив належать природний газ (метан), біогаз, диметилловий ефір (ДМЕ) та водень. Їх застосування має низку особливостей, які впливають на конструкцію двигуна, режими його роботи та загальну ефективність

Основними особливостями використання газового палива є:

Екологічність. Газове паливо забезпечує на 20...25 % менші викиди CO₂ у порівнянні з традиційним дизелем. Газ практично не містить сірки, що виключає утворення сірчаних сполук у вихлопних газах. Газодизельні двигуни працюють за нижчих температур згоряння, що знижує утворення NO_x.

Економічність. Газове паливо зазвичай дешевше, ніж дизель, особливо в регіонах із розвинутою газовою інфраструктурою. Використання газу дозволяє зменшити витрати на паливо при одночасному збереженні високої ефективності двигуна.

Необхідність модифікації двигунів. Для використання газового палива дизельні двигуни можуть бути модернізовані або спеціально розроблені: двигуни подвійного палива (Dual-Fuel), що працюють на суміші газу і дизеля та переобладнання існуючих дизельних двигунів, а саме встановлення системи подачі газу.

Специфічні вимоги до газового палива. Для ефективної роботи необхідно забезпечити високоякісне очищення газу від домішок і зволоження. Для зрідженого природного газу потрібне обладнання для його зрідження, зберігання та транспортування при низьких температурах (-162°C).

Інфраструктурні виклики. Використання газового палива вимагає розвитку інфраструктури для його зберігання, транспортування та заправки. У деяких регіонах доступ до зрідженого природного газу та стиснутого природного газу може бути обмеженим, що впливає на поширення газових технологій.

Висновки. Використання газового палива у дизельних двигунах є перспективним напрямком для досягнення екологічної та економічної стійкості. Завдяки своїм перевагам, таким як зниження токсичності викидів і економічна ефективність, газове паливо може стати важливим компонентом сталого розвитку транспортної та промислової галузей. Успішна реалізація цієї технології залежить від розвитку інфраструктури, вдосконалення систем управління двигунами та забезпечення безпеки експлуатації.

Література:

1. Gorbov V. M., Mitienkova V. S., Serbin S. I. Alternative Fuels in Ship Power Plants : Monograph. Mykolaiv : publisher Torubara V. V., 2017. 120 p.
2. Братичак М. М., Баб'як Л. В. Моторні палива з альтернативної сировини: навч. Посібник. Львів : Видавн. Львівської політехніки, 2017. 144 с.
3. Кустовська А. Д., Іванов С. В., Бережний Є. О. Альтернативні палива: підручник. Київ: НАУ, 2014. 624 с.

СУЧАСНІ НАПРЯМКИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ ВИСОКООБЕРТОВИХ ДВИГУНІВ

Лубковський К. О., Огородник А. В.

здобувачі магістерської освітньої програми «Двигуни внутрішнього згоряння»

Мацан І. І., Лук'яненко І. Д.

здобувачі бакалаврської освітньої програми «Двигуни внутрішнього згоряння»

науковий керівник – **Наливайко В. С.**, канд. техн. наук,

доцент кафедри двигунів внутрішнього згоряння, установок та технічної експлуатації

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

Високообертові двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) широко застосовуються в транспортній, промисловій і енергетичній галузях. В умовах зростання вимог до екологічності, ефективності та надійності, модернізація паливної апаратури є ключовим напрямком розвитку цих двигунів. Завдяки інноваційним рішенням і технологіям досягається зменшення витрати палива, зниження рівня токсичних викидів і підвищення продуктивності.

Паливна апаратура є критичним елементом у забезпеченні ефективної та надійної роботи двигунів внутрішнього згоряння. Модернізація паливної апаратури спрямоване на підвищення її ефективності, надійності, екологічності та зниження витрат пального.

Основні напрямки модернізації можна окреслити наступним чином.

Впровадження електронних систем управління паливоподачею. Сучасні системи подачі палива переходять на електронне керування (Electronic Fuel Injection, EFI). Це дозволяє: забезпечувати точне дозування палива відповідно до навантаження двигуна; оптимізувати процес згоряння, знижуючи витрату палива; підвищувати екологічність, зменшуючи викиди CO_2 , NO_x і сажі. Електронні системи також підтримують діагностику та адаптацію під змінні умови роботи, що підвищує їхню ефективність і довговічність.

Використання високоточного впорскування. Сучасні системи впорскування працюють із надвисокими тисками (до 2500 бар і більше), що забезпечує краще розпилення палива. Технології високоточного впорскування, такі як Common Rail, мають такі переваги: рівномірний розподіл палива в камері згоряння; покращення термічної ефективності двигуна; зменшення рівня шуму та вібрацій.

Впровадження багатоетапного впорскування. Система багатоетапного впорскування (multiple injection) дозволяє подавати паливо в декілька етапів за один робочий цикл. Це сприяє: зменшенню пікової температури згоряння, що знижує викиди NO_x ; покращенню згоряння на низьких і середніх оборотах двигуна; зменшенню рівня детонації та підвищенню ресурсу двигуна.

Розробка систем для альтернативних видів палива. Зростає попит на двигуни, що здатні працювати на екологічно чистих видах палива, таких як: зріджений природний газ (ЗПГ); метанол, етанол та інші спирти; біопаливо та синтетичні види палива. Для цього розробляються системи впорскування, які можуть працювати з паливами різної в'язкості та складу, забезпечуючи оптимальне згоряння.

Інтеграція інтелектуальних систем управління. Сучасні паливні системи оснащуються інтелектуальними модулями, що використовують дані від датчиків для адаптації до режимів роботи двигуна. Наприклад: контроль складу вихлопних газів для миттєвої корекції паливоподачі, адаптація до якості палива, управління температурними режимами для зменшення зносу.

Оптимізація форсунок і розпилювачів. Сучасні форсунки розробляються з урахуванням: зменшення розміру крапель палива для більш повного згоряння; покращення конструкції розпилювачів для рівномірного розподілу палива; використання матеріалів із підвищеною стійкістю до зносу та корозії.

Інтеграція турбонаддуву з паливною апаратурою дозволяє оптимізувати процес подачі повітря для згоряння. Використання регульованих турбін (VGT) сприяє: збільшенню потужності двигуна; зниженню токсичності вихлопних газів; підвищенню економічності.

Висновки. Модернізація паливної апаратури високооберткових двигунів є ключовим напрямком розвитку двигунобудування, що відповідає сучасним екологічним і технічним викликам. Інновації в електронному управлінні, високоточному впорскуванні, використанні альтернативних палив і інтелектуальних систем забезпечують підвищення ефективності, екологічності та надійності цих двигунів, що робить їх невід'ємною частиною сучасного транспорту та промисловості.

Література:

1. Latache M. Pounder's marine diesel engines and gas turbines. 10th ed. Elsevier Ltd, 2021. 930 p.
2. Наливайко В. С. Суднові двигуни внутрішнього згоряння : Підручник / В. С. Наливайко, Б. Г. Тимошевський, С. Г. Ткаченко. Миколаїв : видавець Торубара В. В., 2015. 332 с.
3. Черниш І. І., Кар'янський С. А., Оженко Є. М. Сучасні суднові двигуни: особливості конструкції, експлуатації та автоматизованого управління. Одеса : НУ «ОМА», 2019. 217 с.

ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ В СУЧАСНИХ СУДНОВИХ ДВИГУНАХ

Пілецький В. О.

здобувач магістерської освітньої програми «Двигуни внутрішнього згоряння»

Глушков В. Є., Кухарчук Я. О.

здобувачі бакалаврської освітньої програми «Двигуни внутрішнього згоряння»

науковий керівник – **Проскурін А. Ю.**, канд. техн. наук,

доцент кафедри двигунів внутрішнього згоряння, установок та технічної експлуатації

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

Сучасна морська індустрія переживає значні трансформації, зумовлені глобальними екологічними викликами та необхідністю зменшення впливу судноплавства на навколишнє середовище. Одним із ключових напрямків цієї трансформації є використання альтернативних видів палива для суднових двигунів, що дозволяють знизити викиди парникових газів і забруднюючих речовин [1].

Традиційні види палива історично домінують у судноплавстві завдяки їх доступності та відносній економічності. Однак вони мають значний негативний вплив на довкілля, викликаючи високий рівень викидів CO₂, сірки, оксидів азоту та твердих частинок. Строгі міжнародні регуляції, такі як MARPOL Annex VI, та ініціативи Міжнародної морської організації (ІМО) стимулюють судновласників переходити на більш екологічні рішення. У зв'язку з цим перехід на альтернативні види палива стає не лише бажаним, але й необхідним кроком для досягнення сталого розвитку.

Основними причинами переходу на альтернативні палива є:

1) Екологічна відповідальність. Використання альтернативних палив дозволяє суттєво зменшити викиди шкідливих речовин, таких як CO₂, NO_x, SO_x і твердих частинок. Наприклад, зріджений природний газ (ЗПГ) скорочує викиди CO₂ на 20...25 %, а використання водню чи аміаку взагалі виключає вуглецеві викиди.

2) Виконання міжнародних вимог. Суворі екологічні вимоги ІМО, а також зобов'язання за Паризькою угодою вимагають від судновласників скорочення шкідливих викидів. Використання альтернативних палив дає змогу відповідати цим стандартам і уникати штрафів або обмежень.

3) Зменшення залежності від викопного палива. Використання біопалива, водню чи синтетичних палив сприяє диверсифікації джерел енергії, знижуючи залежність від нафти та цінових коливань на глобальних ринках.

4) Довгострокова економічна вигода. Хоча альтернативні палива часто вимагають значних початкових інвестицій, вони знижують витрати на обслуговування двигунів, підвищують їх ефективність і дозволяють уникати додаткових витрат, пов'язаних із дотриманням екологічних норм.

Альтернативні палива, які використовуються в сучасних суднових ДВЗ [2]:

1) Зріджений природний газ (ЗПГ). ЗПГ є одним із найпоширеніших альтернативних палив у сучасному судноплавстві. Він значно зменшує викиди SO₂, NO_x і твердих частинок, а також на 20...25 % знижує викиди CO₂ порівняно з традиційними видами палива. Однак використання ЗПГ вимагає значних інвестицій у переобладнання суден і створення відповідної інфраструктури.

2) Метанол. Метанол — ще одне перспективне паливо, яке дозволяє суттєво знизити викиди забруднюючих речовин. Він є безпечним у транспортуванні та зберіганні, а також може вироблятися з біомаси або вуглекислого газу, що забезпечує додаткові екологічні переваги.

3. Аміак. Аміак привертає увагу як нульовий вуглецевий варіант палива, оскільки при його використанні не виділяється CO₂. Однак аміак токсичний і вимагає особливих умов для транспортування та зберігання, що є викликом для галузі.

4. Водень. Водень вважається паливом майбутнього завдяки його екологічності та відсутності викидів CO₂ при використанні. Проте його виробництво, зберігання та транспортування залишаються дорогими та технічно складними.

5) Біопаливо. Біопаливо є перехідним рішенням, оскільки виробляється з рослинної або тваринної сировини. Його перевагою є сумісність із існуючими судновими двигунами, але виробництво біопалива може конкурувати з сільсько-господарським використанням земель.

Використання альтернативних палив у судноплавстві стикається з низкою викликів, серед яких висока вартість, недостатня інфраструктура, а також необхідність адаптації існуючих двигунів і суден. Проте розвиток технологій та стимулювання з боку регуляторів сприяють прискоренню цього переходу [3].

Висновки. Необхідність використання альтернативних палив у судових двигунах диктується нагальними екологічними, економічними та соціальними викликами. Перехід на екологічно чисті види палива є важливим етапом у досягненні сталого розвитку морської індустрії, скороченні викидів парникових газів і збереженні навколишнього середовища для майбутніх поколінь. Цей процес вимагає спільних зусиль урядів, бізнесу та науковців для розробки, впровадження та підтримки інноваційних рішень у сфері судноплавства.

Література:

1. Gorbov V. M., Mitienkova V. S., Serbin S. I. Alternative Fuels in Ship Power Plants : Monograph. Mykolaiv : publisher Torubara V. V., 2017.120 p.
2. Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance. Towards zero carbon transportation. Edited by Richard Folkson. Elsevier, Woodhead Publishing Series in Energy: Number 57, 2014. 760 p.
3. Gajendra Babu M. K., Subramanian K. A. Alternative Transportation Fuels. Utilisation in Combustion Engines. CRC Press, 2013. 434 p.

БАГАТОВИМІРНА КЛАСИФІКАЦІЯ ПЛАВУЧИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Чередніченко О. К.

д-р техн. наук, професор кафедри експлуатації судових енергетичних установок та теплоенергетики

Коробейнікова Н. В.

асистент кафедри експлуатації судових енергетичних установок та теплоенергетики

Косоруков Є. Є.

аспірант

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Перспективні технології можуть бути як подальшим удосконаленням існуючих підходів, так і принципово новітніми рішеннями. Можливість застосування тієї чи іншої технології пов'язана з типом об'єкта. Існують дві головні причини, які стримують глобальне застосування новітніх технічних рішень або розповсюдження вже існуючих на велику кількість типів об'єктів, наприклад, суден або плавучих споруд офшорного нафтогазовидобутку. Це технічна сумісність та комерційна сумісність, які характеризують вплив технічних та фінансових обмежень на можливість застосування перспективних технологій.

Дослідження характеристик, параметрів та показників існуючих та перспективних енергетичних установок потребує обробки, узагальнення та систематизації масиву значень, які надають опис енергетичної установки, як предмету дослідження. Аналіз предмета дослідження може бути виконаний на базі об'єктно-орієнтовного підходу та передбачає представлення предмету дослідження у вигляді ієрархічної структури об'єктів, які укладені в відповідні групи (наприклад корпус, енергетичне обладнання, електричне обладнання). Це потребує надання опису параметрів у вигляді, зручному для подальшої обробки такої інформації.

Обробка технічної та наукової інформації полягає у здійсненні аналітико-синтетичного перетворення текстових масивів інформації [1]. Цей процес передбачає аналіз текстової інформації за композиційно-смісловою структурою з подальшим узагальненням отриманої та обробленої інформації та перетворенням її у стислу форму, зручну для подальшої обробки такої інформації у тому числі з використанням систем штучного інтелекту (якщо в цьому є потреба).

Запропонований підхід добре інтегрується з формальним описом характеристик обладнання, наданим як у текстовому форматі так і у вигляді регресійних залежностей від ключового параметру (наприклад, потужності) [2]. Так в роботі [3] за допомогою цього підходу були проаналізовані масогабаритні характеристики та паливна ефективність електроенергетичних модулів морського виконання.

Існуючі на даний час визначення та опис характеристик плавучих електростанцій (ПЛЕС) не структуровані та можуть надавати різні формулювання для одного об'єкта. Так найбільш універсальне й відповідне цільової функції судна визначення ПЛЕС формується так: «судно спеціального призначення, у якому встановлено електростанція, що є джерелом електроенергії для зовнішніх споживачів». Але у деяких наукових статтях, каталогах продукції, технічної

документації самохідні плавучі електростанції також називаються електросудами, в той час як несамохідні електростанції називаються електробаржами чи електростанціями, встановленими на баржі (ABS, 2022) [4].

Застосування системного підходу дозволило виконати багаторівневу класифікацію плавучих електростанцій та основних схем енергетичних установок, які знайшли розповсюдження або є можливими до застосування на морських об'єктах енергопостачання.

В даний час плавучі електростанції можна класифікувати за кількома умовними групами ознак:

1. Ознаки конструктивного виконання

1.1. Ознаки потужності: малої потужності 1...10 МВт; середньої потужності 10-20 МВт; великої потужності понад 20 МВт.

1.2. Наявність пропульсивного комплексу: самохідні; несамохідні.

1.3. Ознаки конструкції корпусу: однокорпусні; багатокорпусні.

1.4. За способом побудови: новозбудовані; переобладнані транспортні або офшорні судна та плавучі об'єкти.

2. Ознаки умов експлуатації

2.1. Ознаки призначення або часу експлуатації на одному місці: довгострокові (розгортання в режимі постійної енергетичної установки); середньострокові (у випадку ремонту або заміни існуючого джерела електропостачання); тимчасові (тимчасова підтримка впровадження нових технологій, наприклад відновлюваних джерел енергії); аварійні (екстрене розгортання); живлення суден у акваторії порту або біля причалу.

2.2. Ознаки зони експлуатації: внутрішні райони плавання, річки, обмежені водойми; прибережні райони, у тому числі шельфові; морського виконання.

3. Ознаки електроенергетичного комплексу ПЛЕС

3.1. За типом первинного двигуна: з двигунами внутрішнього згоряння; газотурбінні; паротурбінні; комбіновані.

3.2. За числом електрогенеруючих агрегатів: одноагрегатні; багатагрегатні.

3.3. За родом струму: перемінного трифазного й однофазного струму з частотою 50/60 Гц; перемінного трифазного струму з частотою 200 Гц; перемінного трифазного струму з частотою 400 Гц; постійного струму.

3.4. За типом паливної системи двигуна або установки: однопаливні; двопаливні; багатопаливні.

3.5. За типом передачі потужності від первинного двигуна або установки електричному генератору: пряма; механічна.

4. За цільовою функцією яка визначає доцільність використання ПЛЕС: група критеріїв забезпечення економічної ефективності; група критеріїв забезпечення екологічності; група критеріїв забезпечення працездатності.

5. За методом забезпечення експлуатаційної працездатності електроенергетичного комплексу: структурне резервування; навантажувальне резервування; функціональне резервування.

Опис плавучих електростанцій можна виконати згідно до класифікаційних пунктів. В першу чергу проводиться опис енергетичної установки, після чого описується конструкція корпусу та вказується тип основних двигунів або установок (рис. 1). Якщо розглядається комбінована установка, опис кожного компонента надається в дужках, з'єднаних знаком «+».

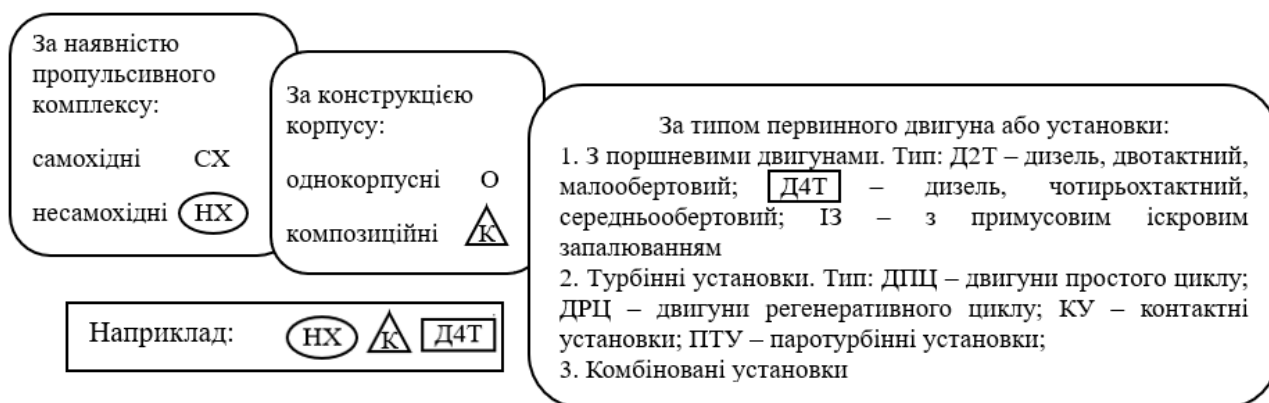


Рис. 1. Узагальнена класифікація конструктивних схем плавучих електростанцій і приклад скороченого позначення несамохідної плавучої електростанції з композиційним корпусом і дизель-електричної установки на чотиритактних двигунах

Висновки. 1. Розроблено багатовимірну класифікацію плавучих електростанцій, яка вирізняється комплексним описом конструкції ПЛЕС, складу та основних характеристик енергетичних установок, що дає змогу оцінити ефективність використання традиційних та нових схемних рішень. 2. Запропоновано класифікувати плавучі електростанції за наступними умовними групами ознак: ознаки конструктивного виконання; ознаки умов експлуатації; ознаки електроенергетичного комплексу ПЛЕС.

Література:

1. Гомон А. М. Оброблення наукової інформації : навч.-метод. посіб. / Гомон А. М., Кринець О. М. – Харків : НТУ «ХПІ». – 2019. – 113 с.

2. O. Cherednichenko, V. Mitienkova, "Analysis of the Impact of Thermochemical Recuperation of Waste Heat on the Energy Efficiency of Gas Carriers," J. Marine. Sci. Appl. 19, 72–82, 2020. Doi: 10.1007/s11804-020-00127-5.
3. O. Cherednichenko, S. Serbin and M. Dzida, "Investigation of the combustion processes in the gas turbine module of an FPSO operating on associated gas conversion products," Polish Maritime Research, vol. 4, pp. 149–156, 2019. DOI: 10.2478/pomr-2019-0077
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/>

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ЗМЕНШЕННЯ РІВНЯ ТОКСИЧНОСТІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ СУДОВИХ ДВИГУНІВ

Гаврилюк О. А.

здобувач магістерської освітньої програми «Двигуни внутрішнього згоряння»

Рябінін Є. О., Хахно Д. О.

здобувачі бакалаврської освітньої програми «Двигуни внутрішнього згоряння»

науковий керівник – **Наливайко В. С.**, канд. техн. наук, доцент кафедри двигунів внутрішнього згоряння,
установок та технічної експлуатації

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Суднові двигуни, що працюють на традиційних видах палива, таких як важке або дизельне паливо, є значними джерелами забруднення атмосфери. Викиди відпрацьованих газів містять оксиди сірки (SO_x), оксиди азоту (NO_x), вуглекислий газ (CO_2), сажу та інші шкідливі речовини. Для зниження рівня токсичності відпрацьованих газів і виконання міжнародних екологічних стандартів, таких як MARPOL Annex VI, розроблено низку технологій і методів [1-3].

Основними способами зменшення токсичності відпрацьованих газів судових двигунів є: використання низькосірчастого палива; скрубери; технології селективного каталітичного відновлення (SCR); рециркуляція відпрацьованих газів (EGR); використання альтернативних палив; водопаливні емульсії; використання фільтрів для частинок (DPF).

Використання низькосірчастого палива. Зниження вмісту сірки в паливі є одним із найефективніших способів зменшення викидів SO_x . Відповідно до керівництв IMO, з 2020 року встановлено глобальний ліміт вмісту сірки у паливі на рівні 0,5 %. Використання низькосірчастих дистилатів або альтернативних палив, таких як зріджений природний газ (ЗПГ), значно скорочує рівень токсичних викидів.

Скрубери. Скрубери – це системи очищення вихлопних газів, які дозволяють видаляти сірчані сполуки та інші шкідливі речовини: мокрі скрубери використовують воду (прісну або морську) для поглинання SO_x та інших забруднювачів; сухі скрубери застосовують абсорбуючі матеріали, такі як вапно або спеціальні хімічні речовини. Скрубери дозволяють використовувати паливо з високим вмістом сірки, водночас дотримуючись екологічних вимог.

Технології селективного каталітичного відновлення (SCR). SCR – це метод зниження викидів NO_x шляхом введення аміаку або сечовини у вихлопні гази. У присутності каталітичного шару реакція перетворює оксиди азоту на безпечні азот і воду. Ця технологія забезпечує скорочення NO_x до 90 %, що є ефективним рішенням для суден, які працюють у районах із суворими екологічними стандартами.

Рециркуляція відпрацьованих газів (EGR). Рециркуляція частини вихлопних газів у камеру згоряння дозволяє зменшити пікову температуру згоряння, що знижує утворення NO_x . EGR-системи ефективні для великих судових двигунів і часто застосовуються разом із іншими методами очищення.

Використання альтернативних палив. Перехід на екологічно чисті палива, такі як ЗПГ, метанол, аміак чи водень, дозволяє значно скоротити токсичність вихлопних газів. Наприклад, ЗПГ зменшує викиди SO_x до нуля, NO_x – на 85 %, а CO_2 – на 20...25 %.

Водопаливні емульсії. Змішування палива з водою створює водопаливну емульсію, яка сприяє більш повному згорянню палива та зменшує викиди NO_x і сажі. Цей метод є простим і ефективним для впровадження на існуючих судах.

Використання фільтрів для частинок (DPF). Фільтри для затримки твердих частинок видалюють сажу та інші тверді частинки з вихлопних газів. Вони ефективні для зниження викидів РМ (твердих частинок), які є серйозною загрозою для здоров'я.

Таблиця 1. Порівняння ефективності використання способів зменшення токсичності відпрацьованих газів

Метод	Зменшення SO_x	Зменшення NO_x	Зменшення сажі	Додаткові переваги
Низькосірчасте паливо	Високе	Низьке	Помірне	Простота впровадження
Скрубери	Дуже високе	Низьке	Низьке	Сумісність із традиційним паливом
SCR	Низьке	Дуже високе	Низьке	Висока ефективність для NO_x
EGR	Низьке	Високе	Низьке	Підвищення паливної економічності
Альтернативні палива	Низьке	Високе	Високе	Зменшення CO_2
Водопаливні емульсії	Низьке	Помірне	Високе	Зменшення витрат на паливо
Фільтри для частинок (DPF)	Низьке	Низьке	Дуже високе	Захист від твердих частинок

Висновки. Зменшення токсичності відпрацьованих газів суднових двигунів є важливим кроком для досягнення екологічної стійкості судноплавства. Поєднання різних методів очищення, таких як використання низькосірчастого палива, скрубберів, SCR, а також альтернативних палив, дозволяє не лише зменшити рівень шкідливих викидів, але й забезпечити відповідність сучасним екологічним стандартам. Інтеграція цих технологій є ключем до створення більш чистого і безпечного майбутнього для морської індустрії.

Література:

1. Woodyard D. Pounder's marine diesel engines and gas turbines. Eighth edition. Elsevier Butterworth-Heinemann Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP 200 Wheeler Road, Burlington, 2004. 914 p.
2. Kees Kuiken. Diesel Engines for ship propulsion and power plants. Target Global Energy Training. Onnen, The Netherlands. July 2008.
3. Міжнародні конвенції, кодекси, рекомендації IMO і МАРПОЛ. Одеса, 2008. 80 с.

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВОДОПАЛИВНИХ ЕМУЛЬСІЙ В ПОРШНЕВИХ ДВИГУНАХ

Воронцов Д. І., Грузін В. В., Сизоненко А. В.

здобувачі магістерської освітньої програми «Двигуни внутрішнього згоряння»

Дружина А. П.

здобувач бакалаврської освітньої програми «Двигуни внутрішнього згоряння»

науковий керівник – **Тимошевський Б. Г.**, д-р. техн. наук,

професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння, установок та технічної експлуатації

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

Водопаливні емульсії (ВПЕ) є одним із перспективних рішень для зниження викидів шкідливих речовин та покращення ефективності роботи поршневих двигунів. Цей тип палива представляє собою суміш традиційного палива (дизельного чи мазуту) та води, стабілізовану за допомогою спеціальних емульгаторів [1]. Використання ВПЕ у поршневих двигунах має низку унікальних особливостей, які роблять їх привабливими для впровадження в різних галузях, включаючи морське судноплавство та енергетику.

При згорянні ВПЕ вода, що входить до складу емульсії, випаровується під впливом високих температур, створюючи мікропарові вибухи [2]. Це сприяє:

1) покращенню процесу розпилення палива: краплі палива подрібнюються на менші фракції, що забезпечує більш повне згоряння;

2) зниженню пікової температури згоряння: це зменшує утворення оксидів азоту (NOx), які формуються при високих температурах;

3) зменшенню кількості сажі та твердих частинок: завдяки більш ефективному окисненню вуглецю.

Температура відпрацьованих газів знижується на 2...3 % завдяки покращенню процесу сумішоутворення, оптимізації тепловиділення під час робочого циклу та підвищенню повноти згоряння палива. Частина тепла, що виділяється при згорянні, витрачається на нагрівання та випаровування води, яка міститься в емульсії. У результаті максимальна температура циклу знижується на 150...200 K, а локальні температури в окремих зонах камери згоряння – на 400...500 K.

Оскільки окислення азоту відбувається лише при температурах понад 1500 K, зниження температури в камері згоряння призводить до зменшення концентрації оксидів азоту у вихлопних газах. При вмісті води в емульсії в межах 5...40 % димність відпрацьованих газів зменшується у 2...4 рази, а концентрація оксидів азоту – на 30...50 %.

Розмір домішки води в емульсії також впливає на ефективність її застосування. Менші краплі води сприяють зниженню концентрації оксидів азоту, але водночас збільшують питому витрату палива. Оптимальна дисперсність водної фази становить 2...15 мкм, при якій досягається найменша витрата палива. Занадто малі або надто великі розміри крапель призводять до збільшення витрат [3].

Висновки. Впровадження водопаливних емульсій у поршневі двигуни є перспективним рішенням для зменшення впливу транспорту та промисловості на довкілля. ВПЕ вже успішно застосовуються в морських судах, електростанціях і автомобілях у країнах, які активно впроваджують екологічні ініціативи. У майбутньому вдосконалення технологій виробництва та використання ВПЕ може зробити цей вид палива ще більш ефективним і доступним, сприяючи зниженню глобальних викидів та забезпеченню сталого розвитку транспортної галузі.

Література:

1. Мельник В. О. Аналіз складу та дисперсності паливних емульсій. Нафтогазова енергетика. 2020. (1(33)). С. 124–131.
2. G. Chen and D. Tao, "An experimental study of stability of oil-water emulsion," Fuel Processing Technology. 2005. Vol. 86, no. 5. pp. 499–508.
3. M. Nadeem, C. Rangkuti, K. Anuar, M. R. U. Haq, I. B. Tan, and S. S. Shah. Diesel engine performance and emission evaluation using emulsified fuels stabilized by conventional and gemini surfactants. 2006. Fuel. Vol. 85, no. 14-15, pp. 2111–2119.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОБАВКИ ВОДНЮ НА ПАРАМЕТРИ ЗГОРЯННЯ В БЕНЗИНОВОМУ ДВИГУНІ

Міщенко М. Т., Чучуменко Б. С.

аспіранти кафедри двигунів та гібридних енергетичних установок
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
м. Харків, Україна

Зниження токсичності відпрацьованих газів бензинових двигунів з іскровим запаленням є важливим напрямком розвитку двигунобудування. Постійне посилення екологічних стандартів обумовлене необхідністю зменшення негативного впливу транспорту на навколишнє середовище, особливо в умовах інтенсивного використання автомобільного транспорту в містах.

Дослідження багатьох вчених свідчать про те, що водень, як добавка до традиційних вуглецевих палив, володіє властивостями, які дозволяють поліпшити процес роботи двигунів з іскровим запаленням, підвищуючи їх економічність і знижуючи рівень шкідливих викидів. Також встановлено, що ефективність згоряння в ДВЗ значною мірою визначається законом підведення теплоти. Проте використання водню як палива для двигунів внутрішнього згоряння пов'язане з певними ризиками через його високу вибухонебезпечність. Однак ця властивість дозволяє бензиновим двигунам, що працюють на воднево-бензинових сумішах, функціонувати з підвищеним коефіцієнтом надлишку повітря стані без детонації, спалаху або пропусків запалювання.

Для виконання розрахункового дослідження розроблена математична модель робочого процесу дослідного двигуна [1]. Процес згоряння реалізований за моделлю Вібе [2], заданням показників характеру та тривалості згоряння [3], використовуючи емпіричні формули. Теплообмін в циліндрі описується моделлю Вошні [4].

В моделі використовується спрощений розрахунок робочого процесу для отримання в першому наближенні параметрів робочого тіла в циліндрі на початку такту впуску.

Базуючись на експериментальних даних, одержаних шляхом обробки індикаторних діаграм, характеристик тепловиділення, отримані наступні залежності показників моделі І. І. Вібе для розрахунку процесу згоряння на режимах зовнішньої швидкісної характеристики при роботі двигуна на бензині:

$$m = \left(\frac{n}{n_0} \right)^{0,48} \cdot m_0 \quad (1)$$

$$\varphi_z = \left(\frac{n}{n_0} \right)^{-0,8} \cdot (\varphi_{поч})_0 + (\varphi_{вид})_0 \quad (2)$$

де m_0 – показник характеру згоряння бензинового двигуна, працюючого на тому ж режимі;

$(\varphi_{поч})_0, (\varphi_{вид})_0$ – тривалість початкового та видимого періодів згоряння бензинового двигуна.

Ці залежності справедливі за умови $n = 2160 \dots 5590 \text{ хв}^{-1}$;

На рис. 1 наведено графіки зміни параметрів згоряння на режимах зовнішньої швидкісної характеристики. Добавка водню до бензину істотно впливає на розвиток та перетікання процесу згоряння, а також на наповнення двигуна свіжим зарядом, що призводить до зміни параметрів робочого процесу та тепловиділення в порівнянні з роботою двигуна на бензині при однакових значеннях коефіцієнту надлишку повітря. Однією з причин збільшення потужності бензинового двигуна при роботі з добавкою водню є зростання швидкості згоряння [5].

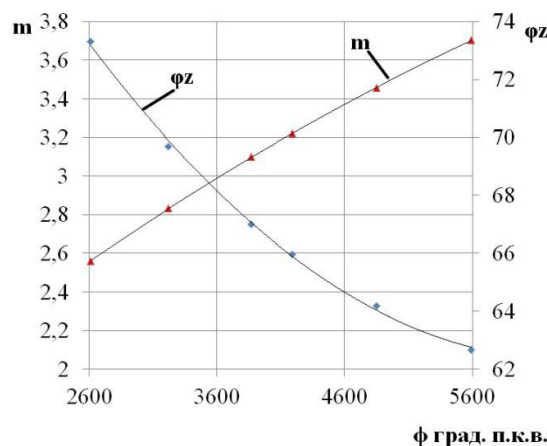


Рис. 1. Зміна показника характеру та тривалості згоряння на режимах ЗШХД

Процес згоряння в початковий період визначається величиною нормальної швидкості полум'я. Нормальна швидкість полум'я водню в суміші з повітрям майже на порядок вища, ніж у бензині. Тому збільшення частки газоподібного водню в безповітряній композиції значно скорочує початковий період згоряння. В дослідних композиціях паливоповітряної суміші збільшення масової частки водню від 0 до 0,1 призводить до скорочення початкового періоду згоряння майже вдвоє [5]. Скорочення тривалості процесу згоряння, також, призводить до зменшення оптимального кута випередження запалювання.

На рисунках 2 наведені графіки залежностей параметрів m та φ_z від величини добавки водню [5]. Наступні аналітичні вирази наближено описують ці залежності:

$$m = m_0 - 12\psi, \quad (3)$$

$$\varphi_z = [(\varphi_{поч})_0 - 95\psi] + [(\varphi_{вид})_0 - 80\psi], \quad (4)$$

де $\psi = 0 \dots 0,1$ масова доля водню;

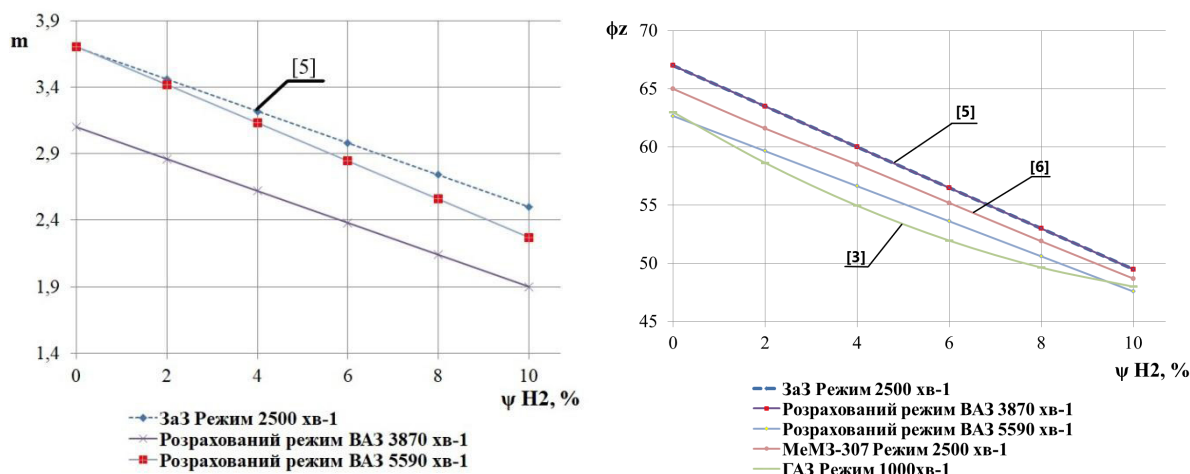


Рис. 2. Вплив добавки водню на показник характеру згоряння та тривалість процесу згоряння

Експериментальне дослідження [6] з двигуном МЕМЗ-307, дозволило встановити майже лінійну залежність зміни тривалості згоряння при збільшенні добавки водню до 10 %. Залежність тривалості згоряння від частки водню в сумішевому паливі ψ на встановленому режимі наведено на рис. 7.

В дослідженні [3] шляхом обробки експериментальних індикаторних діаграм отримані емпіричні залежності зміни характеру та тривалості згоряння, що зв'язують з функцію тепловиділення І. І. Вібе з складом бензо-водневої суміші. Для складу суміші, близької до стехіометричної ($\alpha = 1 \dots 1,05$) та добавках водню $\psi \leq 10 \%$ зміна параметру m апроксимується залежністю, аналогічно до дослідження [5]. Тривалість згоряння відповідно масової долі водню в паливі на швидкісних режимах роботи двигуна визначається наступною залежністю:

$$\varphi_z = (\varphi_z)_0 + 0,085\psi^2 - 2,35\psi, \quad (5)$$

Базуючись на аналізі літературних джерел, в яких представлено результати експериментальних досліджень, прийнято рішення визначати параметри згоряння використовуючи залежності, що запропоновані в роботі [5], у зв'язку з тим, що розмірність двигуна, та його конструкція є близькою до дослідного ВАЗ-21081.

Встановлено, що характер зміни показників моделі Вібе, розрахований за запропонованими залежностями співпадає з розглянутими експериментальними дослідженнями, це дає можливість визначити показники роботи двигуна на режимах зовнішньої швидкісної характеристики за розробленою математичною моделлю враховуючи добавку водню до бензину.

Література:

1. Марченко А. П., Міщенко М. Т. Дослідження параметрів згоряння бензину з добавкою водню в двигуні з іскровим запалюванням на режимах зовнішньої швидкісної характеристики. // Двигуни внутрішнього згоряння. – 2024. – №1, С. 52-60.
2. Вібе І. І. Нове про робочі цикли двигунів. – М.: Машгіз, 1962. – 272 с.
3. Застосування водню в бензинових двигунах / Міщенко А. І. – Київ : Наук. думка, 1984. – 143 с.
4. Woschni, G. Eine Methode zur Vorausberechnung der Änderung des Brennverlaufs mittelschnellaufender Dieselmotoren bei geänderten Betriebsbedingungen / G. Woschni, F. Anisitis // MTZ. – 1973. – № 4. – pp. 160-165.
5. Талда Г. Б. Підвищення паливної економічності та зниження токсичності бензинових двигунів добавкою водню до бензину // Дисертація на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук. – Харків, 1984. – 213 с.
6. Результати дослідження газового двигуна, що працює з постійною добавкою водню в паливі / Р. Маамрі [та ін.] // Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ»: зб. наук. тр. Темат. вип. : Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», – 2011. – № 43. – С. 61-69.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF CHARGE AIR TEMPERATURE ON THE PERFORMANCE OF LOW-SPEED MARINE DIESEL ENGINES

Andrieiev A. A., Andrieieva N. B.

Ph.D., Associate Professors

Kherson Educational and Research Institute Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Kherson, Ukraine

The operating conditions of low-speed marine diesel engines (LSD) are significantly influenced by the variation in ambient air temperature during a voyage, which consequently affects the temperature of boost air and the seawater temperature that removes heat from the boost air. The fuel efficiency of LSDs strongly depends on the temperature of the boost air, which in turn depends on the cooling water temperature (Tab. 1).

Tab. 1. Change in specific fuel consumption Δb_e , % in non-standard climatic conditions (according to data from "MAN B&W")

Parameter	Change Conditions	With P_z Preservation	Without P_z Preservation
		Δb_e , %	Δb_e , %
Cooling water temperature for charge air	Increase by every 10 °C	+0,60	+0,41
Intake air temperature at turbocharger inlet	Increase by every 10 °C	+0,20	+0,71
Air pressure at turbocharger inlet	Increase by 10 mbar	+0,02	-0,05

To assess the anticipated impact of boost air cooling on ships equipped with LSDs, field test data were collected from modern container ships in operation: "MAERSK SEMARANG" (IMO number 9350070), "CMA CGM BERLIOZ" (IMO number 9222297), and "VILLE D'AQUARIUS" (IMO number 9125607), which sail on different shipping routes. On the vessel "MAERSK SEMARANG," during its operation on the Rio de Janeiro – Hamburg route from August to October 2012, measurements were conducted on the main engine (model 12K98MC-C by "MAN B&W") as well as on environmental parameters. Similar measurements were conducted on other ships at different times (VILLE D'AQUARIUS – April to June 2014; main engine – 8RTA84C by "Wartsila"; CMA CGM BERLIOZ – January to April 2015; main engine – 12K98MC-C).

Then the data were processed and graphically presented below. It should be noted that there is a clear trend of decreasing fuel consumption with a reduction in the temperature of the external water (and, accordingly, the temperature of the intake air).

Measurements of various parameters of the Main Diesel Engine (12K98MC-C), such as the temperature in the charge air receiver, temperature in the engine room, and fuel consumption, were conducted in accordance with operating modes. All measurements are fully automated, with the results processed by a computer in real-time.

The error in the experimental results is determined by systematic error, which, in turn, is due to the measurement instruments' error.

As a result of the experimental research, dependencies of the specific fuel consumption (b_e) on the charge air temperature (t_s) were obtained (Fig. 1).

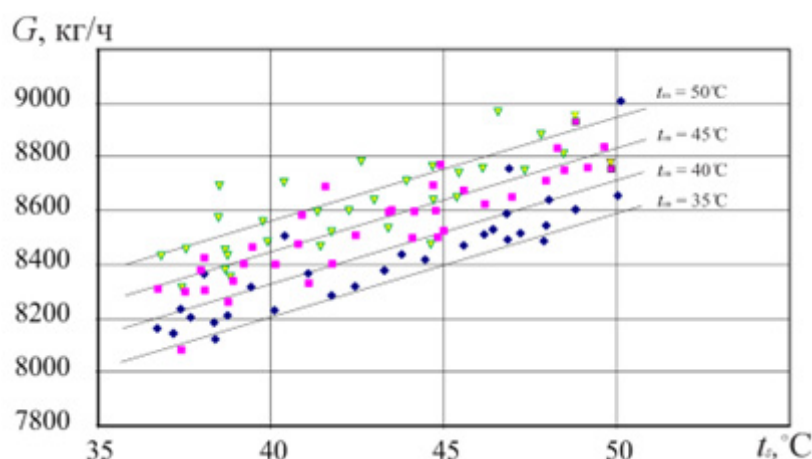


Fig. 1. Fuel consumption of the Main Diesel Engine G , kg/h, depending on the charge air temperature t_s at constant load and different intake air temperatures t_n .

$\diamond - t_{nb} = 35 \dots 40^\circ\text{C}$; $\blacksquare - t_{nb} = 40 \dots 45^\circ\text{C}$; $\Delta - t_{nb} = 45 \dots 50^\circ\text{C}$

As seen in Fig. 1, as the charge air temperature t_s increases, the fuel consumption of the Main Diesel Engine increases, with the graphs for different intake air temperatures t_{nv} remaining approximately equidistant.

Higher values of G and lower N_e at higher charge air temperatures t_s and intake air temperatures t_{nv} reflect an increase in fuel consumption and a decrease in power due to changes in thermal flows within the engine, an increase in thermal load, and an increase in the power required by the turbocharger to compress the air. This is because, as the air temperature rises, the thermodynamic work of compression increases, thereby increasing the required power.

The dependence of the engine's specific fuel consumption (b_e) on the charge air temperature t_s at constant load and different intake air temperatures t_{nv} is presented in Fig. 2.

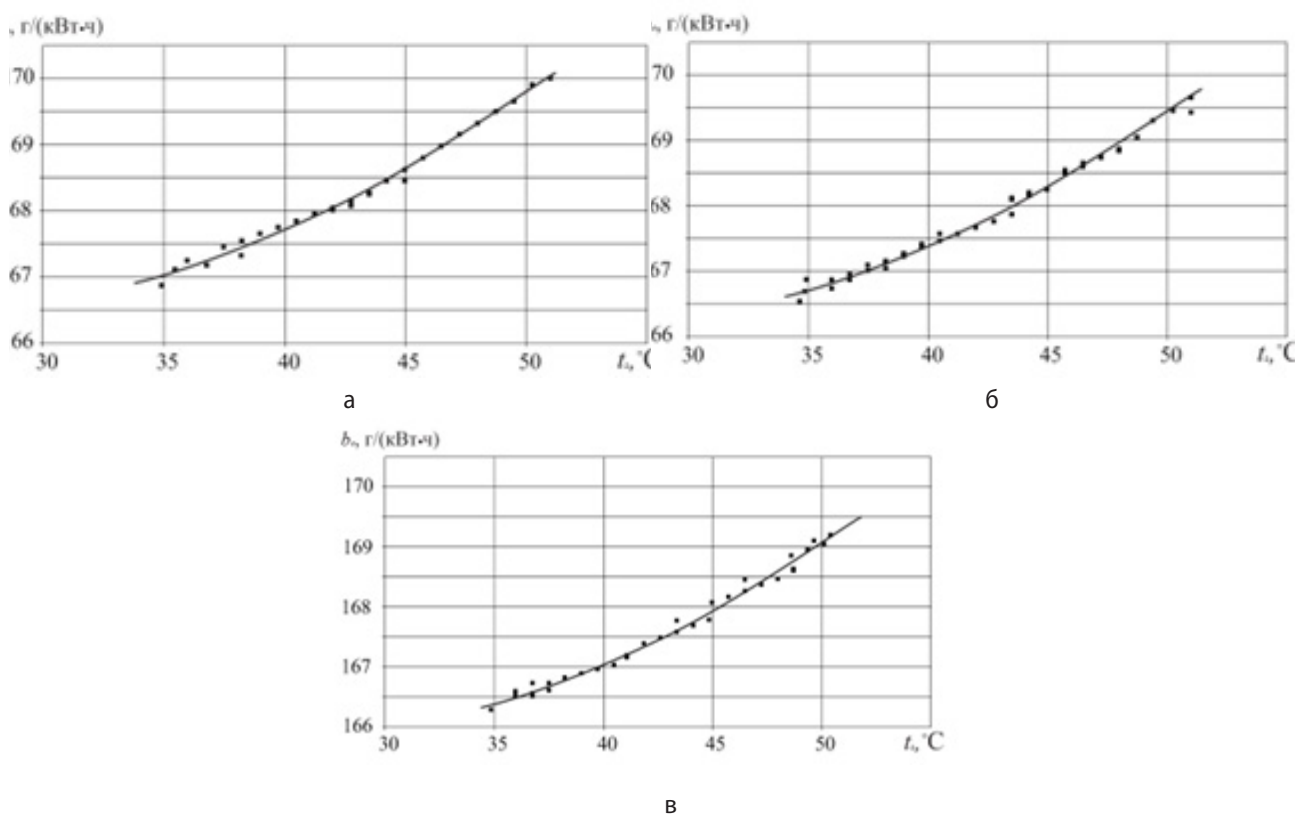


Fig. 2. Specific fuel consumption of the engine b_e depending on the charge air temperature t_s at constant load and different intake air temperatures t_{nv} (a - $t_{nv} = 45$ °C, б - $t_{nv} = 40$ °C, B - $t_{nv} = 35$ °C)

Cooling the charge air to a temperature below that of the water-cooled intake air ensures a reduction in specific (b_e) and total (B_e) fuel consumption.

Analysis shows that the reduction in specific fuel consumption in this case is $\Delta b_e = 2.0$ g/(kW·h), with relative fuel savings. Relative fuel savings increase on vessels with high-power main engines.

References:

1. Heim K. Existing and Future Demands on the turbocharging of Modern Large Two-stroke Diesel Engines // 8-th Supercharging Conference, Dresden, 1-2 October 2002.
2. Influence of Ambient Temperature Conditions on Main Engine Operation: MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, Denmark, 2005. - http://www.mandiesel.com/files/news/files/762/5510-0005.00pr_low.pdf.
3. Артемов Г. А., Горбов В. М. Суднові енергетичні установки: Навчальний посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 356 с.
4. Thermo Efficiency System (TES) for reduction of fuel consumption and CO2 emission: MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, Denmark, 2005. – <http://www.mandiesel.com/files/news/files/5055/P3339161.pdf>.
5. MAN B&W. Project Guide. Two-stroke Engines. MC Programme. Vol. 1: MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, Denmark, 1986.

DETERMINING RATIONAL PARAMETERS FOR INTERMEDIATE COOLING OF CHARGE AIR IN MARINE INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Andrieiev A. A. Andrieieva N. B.

Ph.D., Associate Professors

Bashak M. M.

Student

Kherson Educational and Research Institute Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Kherson, Ukraine

Turbocharger compressors in modern marine ICEs exhibit relatively high pressure ratios, typically $\pi_k \approx 2 \dots 4$, necessitating nearly all the power from the exhaust-driven turbines and utilizing almost all the heat from the exhaust gases. Additional energy can only be obtained by reducing the work required for compression in the compressor, thus unloading the turbine. The resulting power reserve (the difference between turbine and compressor power) can be transferred to the ICE shaft or used to drive an electric generator.

A traditional and proven way to reduce compression work in the compressor is intermediate air cooling between compression stages. Generally, charge air cooling is performed using seawater, though the cooling potential of seawater is limited, and there are few consumers for the heat it removes. Using the heat of compressed air in a steam-water waste-heat boiler is problematic, especially under partial ICE loads with reduced air temperature. One promising way to reduce compression work in the compressor is by cooling the charge air with heat-driven refrigeration machines, which utilize exhaust heat to produce cold. This cold can then be used for further deep cooling of charge air or intake air. In the latter case, the mass of air in the cylinders increases, allowing for greater fuel injection, and thereby increasing the cylinder power of the ICE.

Calculations were performed to determine rational parameters for charge air during intermediate cooling, showing the relationship between power consumption of the turbocharger and the compression ratios π_{k1}/π_{k2} of low- and high-pressure compressor stages at different compressed air temperatures after the intercooler and at intake air temperatures. A single-stage turbocharger without intermediate cooling with an overall compression ratio of 4 was taken as the base case.

The results of the calculations are shown in Figure 1 as the relationship of the compressor power ratios N/N_{p0} (base compressor power without intercooling N vs. two-stage compressor with intercooling N_{p0}) as a function of the compression ratio π_{k1}/π_{k2} for low- and high-pressure stages, with post-intercooler temperatures t_{p02} of 20, 40, 60, and 80 °C and intake air temperatures t_{vh} of 40 and 20 °C.

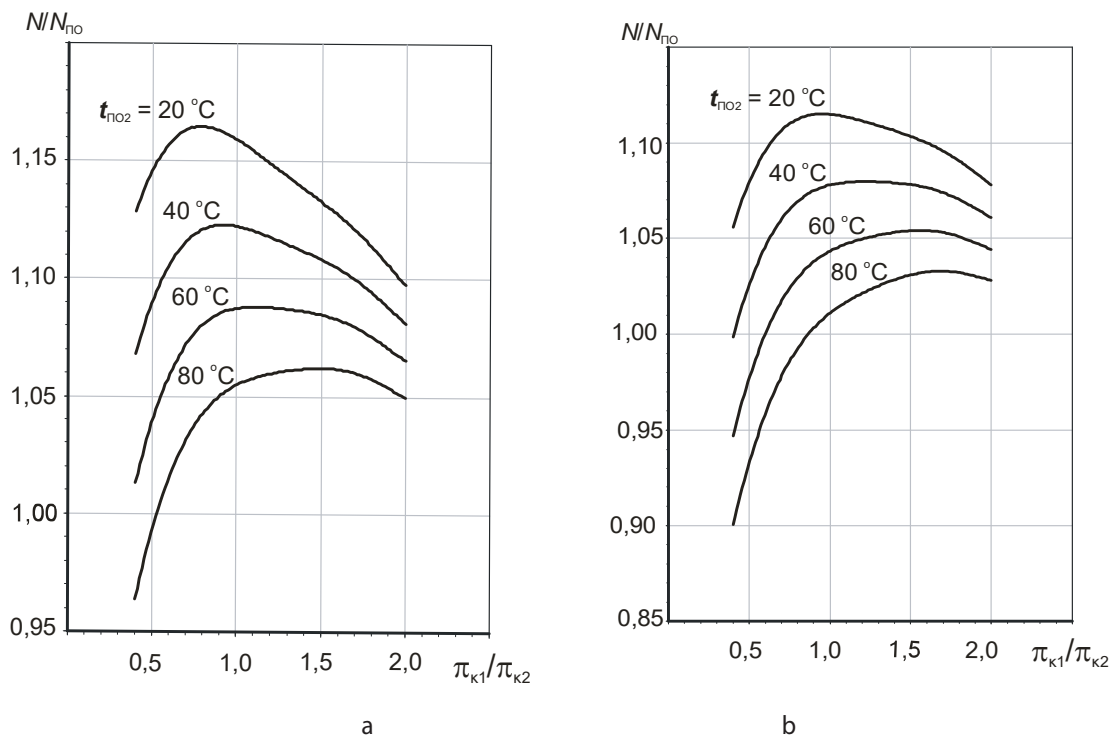


Fig. 1. Dependence of the ratio of compressor power N/N_{p0} on the ratio of π_{k1}/π_{k2} of compression ratios for compressor stages at different temperatures t_{p02} of air after cooling and air inlet temperatures $t_{vh} = 40^\circ\text{C}$ (a) and 20°C (b): compressor power N – without intercooling, and N_{p0} – with intercooling; compression ratios of compressor stages π_{k1} – low and π_{k2} – high pressure.

As seen in Fig. 1, for marine internal combustion engines with intermediate cooling, there is an optimal value of the compression ratio π_{k1}/π_{k2} that ensures a reduction in the power consumption of the boost unit by 5...15% and is in the range of 0.8...1.5. As $t_{\text{no}2}$ decreases (increasing cooling depth), the extrema increase and shift toward lower values of π_{k1}/π_{k2} . The highest power reduction (more than 12...15 %) is achieved with deep cooling of the compressed air to $t_{\text{no}2} = 20...40^\circ\text{C}$, which is only possible with mechanical cooling. In this case, the design of the ejector refrigeration machine (ERM) on high-pressure steam (HPS) should incorporate its high-pressure steam generator (power circuit of the ERM) to utilize the relatively high-temperature heat potential of the boosted air, and its evaporator – for cooling the boosted air to a low temperature $t_{\text{no}2} = 20...40^\circ\text{C}$, meaning the generator and evaporator are placed between the compressor stages. If the amount of cold is insufficient, an additional steam generator, absorbing heat from the exhaust gases of the internal combustion engine, can be connected in parallel – allowing parallel operation of two ERM generators on a single evaporator. From Fig. 1b, it is evident that the power reduction of the compressor unit with intermediate cooling is substantial even at relatively low air inlet temperatures, which indicates the advisability of cooling the inlet air. That is, combined cooling of the cycle air – both at the inlet and in compressed form. Thus, the rational layout of the heat utilization circuit based on the ERM (the placement of the steam generator and evaporator of the ERM in the gas-air path of the internal combustion engine) should be determined based on the optimal compression ratio π_{k1}/π_{k2} , which ensures maximum reduction in power consumption by the boosting unit.

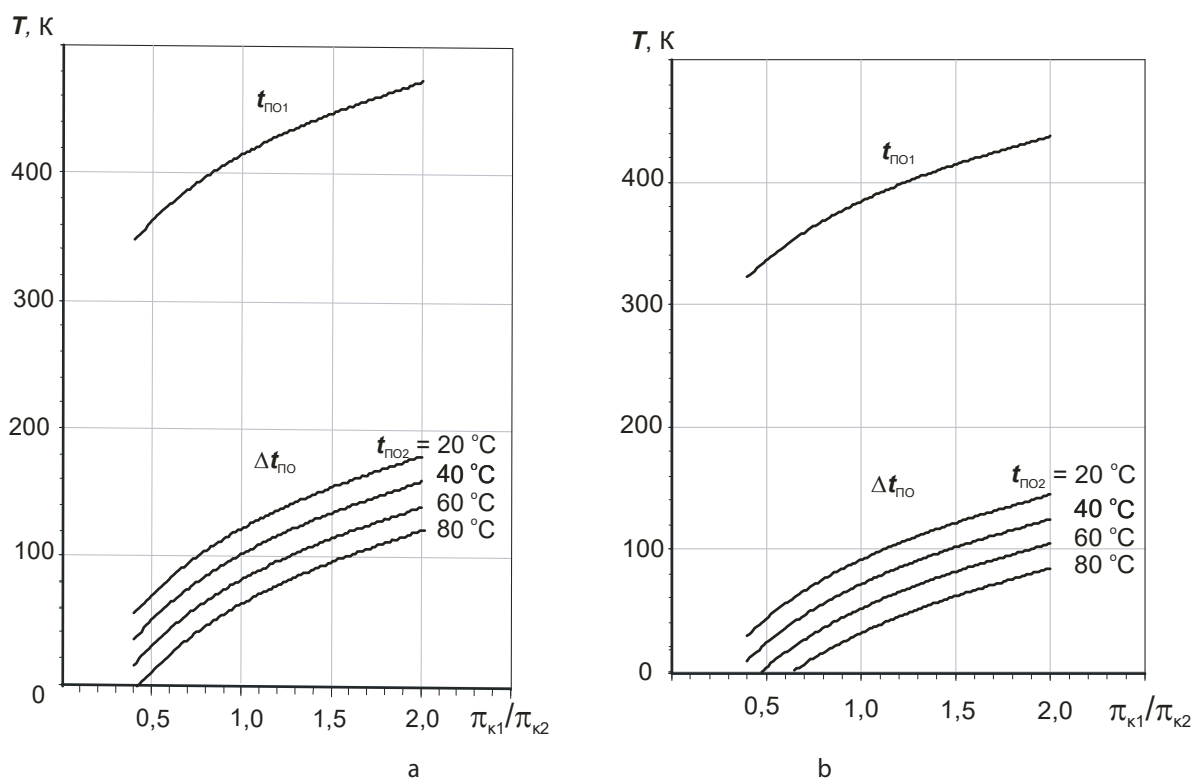


Fig. 2. Dependence of the ratio of compressor power N/N_{no} on the ratio π_{k1}/π_{k2} of compression ratios for compressor stages at air inlet temperatures $t_{\text{bx}} = 40^\circ\text{C}$ (a) and 20°C (b); compressor power N – without intercooling, and N_{no} – with intercooling; compression ratios of compressor stages π_{k1} – low and π_{k2} – high pressure; $t_{\text{no}2}$ – temperature of compressed air after cooling

When designing heat exchangers for the heat-utilizing refrigeration machine (high-pressure steam generator and low-pressure evaporator), it is necessary to know the temperature differences in the compressed air $\Delta t_{\text{no}} = t_{\text{no}1} - t_{\text{no}2}$, which for the conditions considered are shown in Fig. 2 along with the temperature $t_{\text{no}1}$ of the compressed air at the inlet of cooler (after the first stage compressor). As seen, depending on the cooling depth, these values range from $\Delta t_{\text{no}} = 50...100^\circ\text{C}$. It should be noted that, in order to use the ERM for deep cooling of the boosted air (or inlet air), the heat removal at an intermediate temperature level of $40...60^\circ\text{C}$ is advisable using sea water. Similar three-section steam-water intercoolers (unlike the proposed combined three-section intercoolers with extreme sections for high-pressure steam and middle section for water) have long been used on ships. However, their disadvantage is low efficiency or even impossibility of operation of the water-steam generating section under partial loads of the internal combustion engine, which results in a decrease in exhaust gas temperature and, consequently, in the power of the drive-utilization turbo unit. The proposed heat-utilizing circuit on high-pressure steam is quite effective even at partial loads of the internal combustion engine.

In accordance with the power reduction of the compressor unit, a portion of the power of the utilization drive gas turbine can be freed up, which can be used, for example, to generate electricity or transferred to the main engine shaft during the cruise mode.

Conclusion. 1. Using an ejector refrigeration machine to utilize exhaust heat reduces the intake air temperature by 30 °C, decreasing the specific effective fuel consumption and increasing the ICE's effective efficiency by approximately 2%.

2. For marine ICEs with intercooling, an optimal compression ratio of π_{k1}/π_{k2} exists within the range of 0.8...1.5, providing a 5...15 % reduction in turbocharger power consumption, freeing up energy in the exhaust-driven turbine that can be used to produce electricity or transferred to the main engine shaft. The optimal configuration of the heat-recovery system should consider this compression ratio to achieve maximum energy savings.

References:

1. Heim K. Existing and Future Demands on the turbocharging of Modern Large Two-stroke Diesel Engines // 8-th Supercharging Conference, Dresden, 1-2 October 2002.
2. Influence of Ambient Temperature Conditions on Main Engine Operation: MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, Denmark, 2005. - http://www.mandiesel.com/files/news/files0f762/5510-0005.00pr_low.pdf.
3. Артемов Г. А., Горбов В. М. Суднові енергетичні установки: Навчальний посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 356 с.
4. Thermo Efficiency System (TES) for reduction of fuel consumption and CO₂ emission: MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, Denmark, 2005. <http://www.mandiesel.com/files/news/files0f5055/P3339161.pdf>.
5. MAN B&W. Project Guide. Two-stroke Engines. MC Programme. Vol. 1: MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, Denmark, 1986.

IMPROVING LSD EFFICIENCY THROUGH CHARGE AIR COOLING WITH A THERMAL TRANSFORMER

Andrieiev A. A., Andrieieva N. B.

Ph.D., Associate Professors

Nechai O. I

Student

Kherson Educational and Research Institute Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Kherson, Ukraine

The issue of reduced fuel economy under elevated temperatures of ambient air and seawater is especially critical for high-boost, long-stroke marine LSDs, where the boost air pressure increase ratio π_k is 3...4.5, potentially reaching $\pi_k = 5$, and the post-turbocharger temperature reaches 220...260 °C, leading to increased heat losses with the cooling water for boost air and exhaust gases.

Fuel economy improvements in marine LSDs through boost air cooling in a thermal transformer (TT) compared to conventional water cooling can be assessed based on specific fuel consumption values (b_e) as a function of charge air temperature (t_n) shown in Fig. 1.

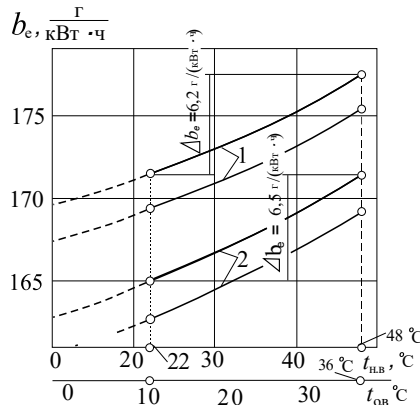


Fig. 1. Specific fuel consumption (b_e) as a function of boost air temperature ($t_{n,B}$) behind the air cooler (BAC) (temperature of cooling water at cooler inlet) at engine loads: 100 % and 90 % for engines: 1 – 6S35ME-B9-TI and 2 – 6S50ME-C8.2-TII.

As shown, an additional reduction of boost air temperature in the TT by 15 °C ensures a 1 % reduction in specific fuel consumption. Greater fuel savings are achieved with a more substantial air temperature drop ($\Delta t = 30$ °C), which may require the use of additional heat sources such as exhaust gases or engine cooling water.

Before evaluating the efficiency of boost air cooling in a TT, we analyze the feasibility of integrating the TT into the boost system of a marine LSD. Structurally, the simplest and therefore most reliable TTs in operation are ejector-type TTs (ETT), in which the compressor function is performed by a jet device - an ejector. The main elements of the TT are heat exchangers produced domestically: shell-and-tube coolers are manufactured by PAO "Ekvator," Mykolaiv; shell-and-tube coolers by Marine Plant, CKB "Korall," as well as by well-known foreign firms "Guentner," "Bitzer," "Alfa Laval," and others.

The only non-standard element is the ejector, yet its production poses no technological challenges, as ejectors for circulating refrigerants in marine and stationary refrigeration systems have been manufactured by NPK "NKI" and abroad by companies such as "Sabroe," "Bramm," Denmark, "York," Switzerland, and others.

The investigated system based on the ETT is shown in Fig. 2, illustrating the design features of integrating the ETT into the boost system of a marine LSD.

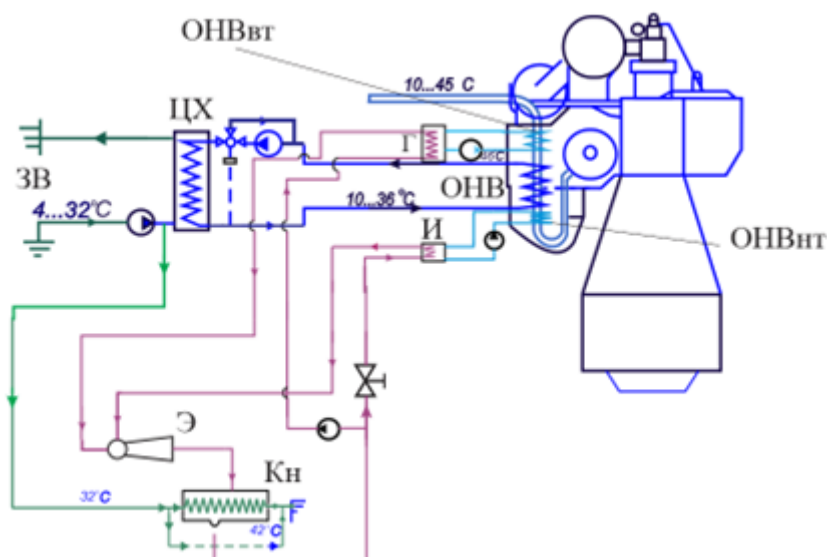


Fig. 2. Investigated boost air cooling system for an LSD based on the ETT

As shown, the TT utilizes standard BACs: high-, medium-, and low-temperature BACs (H-BAC, M-BAC, and L-BAC). The presence of an intermediate water circuit, to which low-boiled working agent (LBWF) phase-transition heat exchangers are connected (LBWF high-pressure generator, LBWF low-pressure evaporator, and liquid LBWF heater-economizer section of the generator), eliminates the need to modify the boost air path entirely.

Thus, the LBWF high-pressure vapor generator connects to the intermediate water circuit of the high-temperature, heat-utilizing H-BAC stage (Fig. 2), ensuring reliable operation at moderate temperature gradients, determined by the LBWF boiling temperature in the generator (120 °C). Its compact size, due to high heat transfer intensity during the LBWF phase transition (boiling), eliminates energy costs for overcoming aerodynamic resistance, which would occur if the LBWF generator were placed in the LSD boost air path.

Standard moisture separators are used to remove moisture precipitating during air cooling in the BAC. Using BACs with corrugated plates (by "Güntner") increases the heat transfer coefficient to the air by 25 % compared to smooth plates, while the droplet separators separate and remove precipitated moisture.

The above findings indicate the possibility of safe operation of an LSD turbocharger with deep boost air cooling. Thus, based on research into the structural features of the BAC and TT, the joint operation of the BAC and TT (moisture precipitation and removal), and the use of LBWF in the TT, taking into account modern technological capabilities and accumulated experience with TT operations on LBWF, it is possible to conclude the operational feasibility of the LSD boost system with a TT.

1) The dimensions of the ETT system allow it to be easily installed in the engine room of a transport vessel with an LSD.

2) For any region and season, a stable temperature at the combined BAC outlet of around 15 °C can be maintained using the utilization ETT.

References:

1. Heim K. Existing and Future Demands on the turbocharging of Modern Large Two-stroke Diesel Engines // 8-th Supercharging Conference, Dresden, 1-2 October 2002.
2. Influence of Ambient Temperature Conditions on Main Engine Operation: MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, Denmark, 2005. - http://www.mandiesel.com/files/news/files0f762/5510-0005.00pr_low.pdf.
3. Артемов Г. А., Горбов В. М. Суднові енергетичні установки: Навчальний посібник. – Миколаїв: УДМУ, 2002. – 356 с.
4. Thermo Efficiency System (TES) for reduction of fuel consumption and CO₂ emission: MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, Denmark, 2005.-<http://www.mandiesel.com/files/news/files0f5055/P3339161.pdf>.
5. MAN B&W. Project Guide. Two-stroke Engines. MC Programme. Vol. 1: MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, Denmark, 1986.

ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОПРОЦЕСОРА ДЛЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ЗМІНИ ТИСКУ В ПАЛИВНІЙ СИСТЕМІ ВИСОКОГО ТИСКУ ДВИГУНА

Ліньков О. Ю.

канд. техн. наук, доцент кафедри двигунів та гібридних енергетичних установок

Шевченко О. С.

аспірант кафедри двигунів та гібридних енергетичних установок
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
м. Харків, Україна

Для моніторингу роботи паливної системи двигунів з високим тиском потрібен мікроконтролер, здатний реєструвати динамічні процеси з високою швидкістю і точністю. Показники зміни тиску в системі впливають на діагностику стану форсунок, а частота вимірювань має досягати щонайменше 24 кГц. Це означає, що при швидкості обертання 4000 об/хв необхідно проводити 24 000 вимірювань кожну секунду, що дозволяє відстежувати кожен градус повороту колінчастого валу.

Основними параметрами системи моніторингу є:

1. Розрядність аналого-цифрового перетворювача (АЦП):

Для точності вимірювань необхідний АЦП з розрядністю не менше 16 біт. Більша розрядність (наприклад, 24 біти) забезпечує понад 16 мільйонів рівнів поділу сигналу, що дозволяє точно відстежувати навіть незначні зміни тиску. Це критично важливо для динамічних характеристик швидкоплинних процесів у двигуні.

2. Частота та швидкість обробки:

Рекомендується обирати мікроконтролери з достатньою обчислювальною потужністю, щоб забезпечувати швидку обробку даних та їх аналіз у режимі реального часу. Зокрема, мікроконтролери STM32H7 із ядром Cortex-M7 і частотою до 480 МГц здатні підтримувати потрібний рівень продуктивності для високочастотних вимірювань і обробки.

Для вибору оптимальної платформи порівняно основні параметри мікроконтролерів (табл. 1).

Таблиця 1. Порівняння параметрів мікроконтролерів

Мікроконтролер	Розрядність АЦП, біт	Швидкість АЦП (кількість семплів/сек)	Продуктивність (DMIPS)	Частота процесора, МГц
STM32F4	12	До 2.4 MSPS	До 210	До 180
STM32H7	16 (опція 12)	До 3.6 MSPS	До 2020	До 480
ESP32	12	До 1.1 MSPS	До 600	До 240
ATmega328P	10	До 15 kSPS	До 20	До 20
Raspberry Pi Pico	12	До 500 kSPS	До 133	До 133

На основі порівняння параметрів найбільш придатними є мікроконтролери на базі STM32H7, що мають високу швидкість АЦП, достатню розрядність та продуктивність, необхідні для завдань моніторингу і точного вимірювання.

Для подальшого розвитку системи моніторингу було обрано платформу Arduino Portenta H7, яка побудована на базі мікроконтролера STM32H7. Вибір Portenta H7 обґрунтовано наступними перевагами:

- Подвійний процесор (Cortex-M7 і Cortex-M4), що дозволяє одночасно виконувати обчислення та обробляти сигнали в режимі реального часу.
- Висока частота процесора (до 480 МГц), яка забезпечує достатню продуктивність для обробки швидкоплинних процесів у паливній системі двигуна.
- Підтримка високошвидкісного АЦП з розрядністю до 16 біт, що відповідає вимогам точності вимірювань.
- Можливість інтеграції з іншими сенсорними та комунікаційними модулями, що робить платформу гнучкою для реалізації IoT-рішень.
- Підтримка бездротових протоколів (Bluetooth, Wi-Fi), які можна використовувати для передачі даних і віддаленого моніторингу систем.

Таким чином можна зробити висновок що плата Arduino Portenta H7 є оптимальним рішенням, яке відповідає вимогам продуктивності, гнучкості та точності для побудови надійної системи моніторингу системи паливоподачі двигуна.

Література:

1. Prith Banerjee (2014) «Driving Unconventional Growth through the Industrial Internet of Things» (PDF), available at: <https://www.iot-inc.com/wp-content/uploads/2015/11/10-Prith.pdf>
2. Sinclair, B. (2017). IoT Inc: How Your Company Can Use the Internet of Things to Win in the Outcome Economy. USA: McGraw Hill LLC. ISBN: 9781260025903, 126002590X.

3. Varbanets, R., Malchevskiy, V., Minchev, D., Zalozh, V., Kyrnats, V., & Alexandrovskaya, N. (2022). Diagnostics of fuel equipment, gas-distribution valves train mechanism and cylinder lubrication nozzles of modern two-stroke engines. Aerospace Technic and Technology, 0(4sup2), 92-100. doi: <https://doi.org/10.32620/akt.2022.4sup2.14>
4. Варбанець Р. А. Особливості аналітичної синхронізації даних моніторингу робочого процесу транспортних дизелів в умовах експлуатації / Варбанець Р. А., Залож В. І., Тарасенко Т. В., Кучеренко Ю. М., Клименко В. Г. // Двигуни внутрішнього згоряння. – 2020. – №. 1. – С. 13-21. DOI: <https://doi.org/10.20998/0419-8719.2020.1.02>
5. Microcontroller specification STM32F4 (2024), available at: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f4-series.html>
6. Microcontroller specification STM32H7 (2024), available at: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32h7-series.html>
7. Microcontroller specification esp32 (2024), available at: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>
8. Microcontroller specification ATmega328P (2024), available at: <https://www.microchip.com/en-us/product/ATmega328P>
9. Microcontroller specification raspberry-pi-pico (2024), available at: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-pico/>

ВИПРОБУВАЛЬНИЙ СТЕНД НА БАЗІ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА

Мінчев Д. С.

д-р техн. наук, професор кафедри суднових енергетичних установок
та технічної експлуатації

Варбанець Р. А.

д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри
суднових енергетичних установок та технічної експлуатації

Кучеренко Ю. М.

канд. техн. наук, доцент кафедри суднових енергетичних установок та технічної експлуатації

Братченко П. В.

аспірант кафедри суднових енергетичних установок та технічної експлуатації
Одеський національний морський університет
м. Одеса, Україна

В лабораторії кафедри СЕУ та ТЕ ведуться роботи по створенню випробувального стенду на базі суднового дизельного двигуна Weichai WP4 (4ЧН 10,5/13). Двигун оснащений системою вільного газотурбінного наддуву, системою безпосереднього впорскування пального за допомогою блочного ПНВТ. Двигун агрегатований з генератором змінного струму, який навантажується блоком електричних тенів.

На рис. 1 показана принципова схема системи вимірювань, якою оснащений стенд. Система вимірювань включає в себе вимірювання швидкозмінних параметрів, таких як тиск в циліндрі двигуна, тиск палива за ПНВТ та перед форсункою двигуна, віброакустичного сигналу, а також параметрів, які змінюються повільно – температур відхідних газів та повітря в системі повітропостачання, тиску наддуву, масової витрати повітря, тощо. Загальний вигляд стенду показаний на рис. 2.

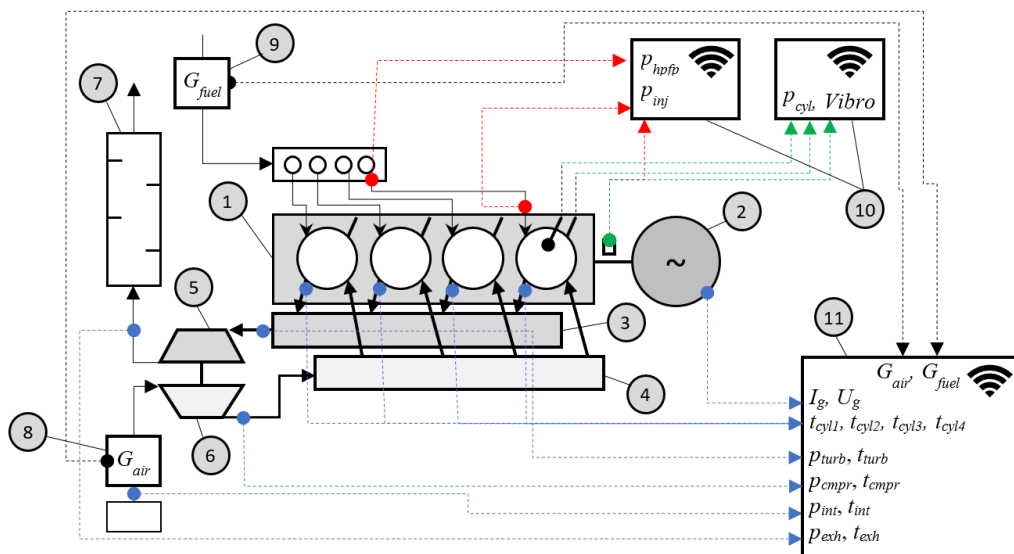


Рис. 1. Схема системи вимірювання випробувального стенду:

1 – двигун; 2 – генератор змінного струму; 3 – випускний колектор;

4 – впускний ресивер; 5 – турбіна; 6 – глушник; 7 – датчик витрати повітря; 8 – датчик витрати палива; 9 – датчик витрати палива; 10 – перетворювачі та передатчики сигналів сенсорів, що мають високу частоту; 11 – перетворювачі та передатчики сигналів сенсорів, що мають невисоку частоту



Рис. 2. Загальний вигляд випробувального стенду (праворуч вказана підсистема вимірювання витрати палива)

Основні науково-практичні задачі, які вирішуються за допомогою даного стенду пов'язані зі створенням та випробовуванням систем діагностування технічного стану двигуна по параметрам робочого процесу, призначених насамперед для суднових двигунів [1-5]. Важливим є питання відпрацювання алгоритмів обробки даних сенсорів та діагностичних сигналів. Так, на рис. 3 показано суміщення експериментальних діаграм тиску в циліндрі двигуна, тиску палива після ПНВТ та перед форсункою, а також сигнал від віброакустичного сенсору. Такі дослідження необхідні для розробки алгоритмів коректної ідентифікації фаз паливоподачі по сигналам віброакустичного сенсору.

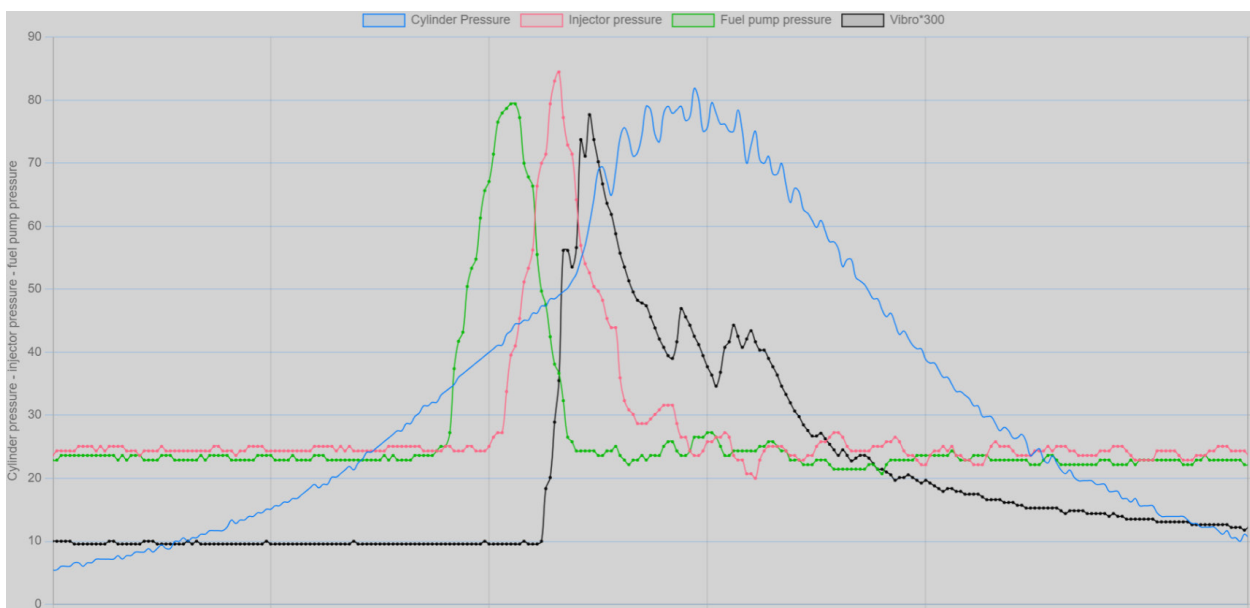


Рис. 3. Калібрування віброакустичного сенсору

Література:

1. Minchev D. Digital twin test-bench performance for marine diesel engine applications / Minchev D., Varbanets R., O. Shumylo, V. Zalozh, N. Aleksandrovskaya, P. Bratchenko, Thanh Hai Truong // Polish Maritime Research – 2023. – Vol. 30. – №4 (120). – P. 81-91. doi: 10.2478/pomr-2023-0061
2. Varbanets R. Concept of vibroacoustic diagnostics of the fuel injection and electronic cylinder lubrication systems of marine diesel engines / R. Varbanets, O. Shumylo, A. Marchenko, D. Minchev, V. Kyrnats, V. Zalozh, R. Brusnyk, K. Volovyk // Polish Maritime Research – 2022. – №4. – С. 88-96. doi:10.2478/pomr-2022-0046
3. Varbanets R. 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

4. Minchev D. Prediction of centrifugal compressor instabilities for internal combustion engines operating cycle simulation / D. S. Minchev, O. A. Gogorenko, R. A. Varbanets, Y. L. Moshentsev, V. Píštěk, P. Kučera P., O. M. Shumylo, V. I. Kyrnats // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering – 2022. – P.1-12. doi: 10.1177/09544070221075419
5. Minchev D. Marine Diesel Engines Operating Cycle Simulation for Diagnostics Issues / D. Minchev, R. Varbanets, N. Aleksandrovska, L. Pisintaly // Acta Polytechnica – 2021 – №3. С. 428-440. doi: 10.14311/AP.2021.61.0435

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА НА СУМІШІ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА ТА СОЄВІЙ ОЛІЇ

Доценко С. М.

канд. техн. наук, доцент кафедри енергетичного машинобудування

Казимірчук В. М., Грицик В. І.

магістранти кафедри енергетичного машинобудування

Первомайський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Первомайськ, Україна

Застосування в ДВЗ палив на основі рослинних олій має як переваги, так і ряд проблем, головною з яких залишається підготовка даного палива перед подачею в циліндр дизеля. Суттєві відмінності фізико-хімічних властивостей рослинного та нафтового палива, роблять неможливим запуск та експлуатацію дизеля без комплексу заходів щодо підготовки палива, які мають на меті забезпечити нормальну та надійну роботу паливної апаратури та дизеля в цілому. Недотримання в повній мірі зазначеної вимоги тягне за собою порушення характеру протікання процесів вприскування, сумішоутворення та згоряння паливо-повітряної суміші, а разом із ними і зниження ефективності робочого циклу дизеля та пов'язаних із ним параметрів екологічності ДВЗ [1-3].

Застосування в двигуні палив облегшеного фракційного складу (в прикладі – МЕРО) веде до збільшення періоду затримки спалахування і швидкості тепловиділення у фазі швидкого згоряння. При цьому зростає максимальний тиск циклу та швидкість його наростання. Суміш в цьому випадку займає проміжне місце між дизельним паливом та метиловим ефіром ріпакової олії.

Таблиця 1. Елементарний склад ДП та основних рослинних олій

Вид палива	С	Н	О
Дизельне (ДП)	0,86	0,13	0,01
Метиловий ефір ріпакової олії (МЕРО)	0,77	0,121	0,109
Ріпакова олія (РО)	0,77	0,114	0,116
Соняшникова олія (СНО)	0,776	0,115	0,109
Арахісова олія (АО)	0,780	0,123	0,094
Соєва олія (СО)	0,775	0,115	0,110
Суміш (75 % ДП + 25 % СО)*	0,839	0,126	0,035

*Елементарний склад суміші знаходиться шляхом пропорції між елементарними складами з'єднувальних елементів дизельного палива та олій.

Враховуючи особливості хімічного складу палив з рослинних олій, та експлуатаційні проблеми, що виникають при їх застосуванні, останній часом все більше уваги приділяється використанню паливних сумішей, основу яких складає значна частка дизельного палива та добавка рослинної олії або її модифікату.

Наприклад для дизельного двигуна який працює на суміші 75 % дизельного палива та 25 % соєвої олії:

$$C_{\text{суміші}} = \frac{75 \times C_{\text{ДП}} + 25 \times C_{\text{СО}}}{100} = \frac{75 \times 0,860 + 25 \times 0,775}{100} = 0,839$$

Кількість вуглецю

$$C_{\text{суміші}} = \frac{75 \times C_{\text{ДП}} + 25 \times C_{\text{СО}}}{100} = \frac{75 \times 0,860 + 25 \times 0,775}{100} = 0,839$$

$$\text{Кількість водню } H_{\text{Суміші}} = \frac{75 \times H_{\text{ДП}} + 25 \times H_{\text{СО}}}{100} = \frac{75 \times 0,13 + 25 \times 0,115}{100} = 0,126$$

$$H_{\text{Суміші}} = \frac{75 \times H_{\text{ДП}} + 25 \times H_{\text{СО}}}{100} = \frac{75 \times 0,13 + 25 \times 0,115}{100} = 0,126$$

$$\text{Кількість кисню } O_{\text{Суміші}} = \frac{75 \times O_{\text{ДП}} + 25 \times O_{\text{СО}}}{100} = \frac{75 \times 0,01 + 25 \times 0,110}{100} = 0,035$$

$$O_{\text{Суміші}} = \frac{75 \times O_{\text{ДП}} + 25 \times O_{\text{СО}}}{100} = \frac{75 \times 0,01 + 25 \times 0,110}{100} = 0,035$$

Таблиця 2. Нижча теплота згоряння ДП та основних рослинних олій

Вид палива	Нижча теплота згоряння палива Q _н , кДж/кг
ДП	42500
МЕРО	37400
Ріпакова олія (РО)	37300
Соняшникова олія (СНО)	37000
Арахісова олія (АО)	38000
Соєва олія (СО)	37000
Суміш (75 % ДП + 25 % СО)	41051

Нижча теплота згоряння палива визначається за формулою:

$$Q_n = 418,7(81C' + 300H' - 26(O' - S') - 6(9H' + W')), \text{ кДж/кг}$$

де C' – вміст вуглецю; H' – вміст водню; O' – вміст кисню; S' – вміст сірки; W' – загальний вміст води.

для дизельного палива:

$$Q_n = 418,7 \times (81 \times 0,86 + 300 \times 0,13 - 26(0,01) - 6(9 \times 0,13)) = 42448 \text{ кДж/кг}$$

для суміші (75 % ДП + 25 % СО):

$$Q_n = 418,7 \times (81 \times 0,839 + 300 \times 0,126 - 26(0,035) - 6(9 \times 0,126)) = 41051 \text{ кДж/кг}$$

Особливістю рослинних олій (див. табл.1) являється наявність в їх складі достатньо великої кількості кисню (9...12 %). Це призводить деякому зниженню їх теплоти згоряння (таблиця 2). Так, нижча теплота згоряння рослинних олій складає 37...38 МДж/кг проти 42...43 МДж/кг у дизельних паливах, які практично не містять кисню. Але присутність в рослинних оліях кисню знижує температури їх згоряння в дизельних двигунах і значно покращує екологічні властивості цих палив. В багато численних дослідях проведених на дизелях, які працюють на рослинних оліях, спостерігається зниження димності відпрацьованих газів і склад в них продуктів неповного згоряння палива [4].

Важливою властивістю рослинних олій являється здатність змішування в різних пропорціях з більшістю органічних розчинників (в тому числі і з нафтопродуктами – бензином, дизельним паливом), що пов'язано з невеликою полярністю олій. Слід відмітити і хорошу співмірність різних рослинних олій між собою [5, 6].

Так як процентний вміст кисню в суміші більший ніж в дизельному паливі (3,5 % і 1 % відповідно) необхідна менша кількість повітря для повного згоряння 1 кг суміші в порівнянні з дизельним паливом (13,83 і 14,33 кг відповідно). При переводі дизельного двигуна на паливо яке складається з суміші дизельного та соєвої олії покращуються екологічні показники CO₂ та NOx зменшуються на 2,5 %.

Результатами проведеного порівняльного розрахунку показують, що середній індикаторний тиск P_{мір} фактично не залежить від виду палива. А економічні показники двигунів година витрати палива (B, кг/год); питома індикаторна (b_i, кг/(кВт·год)) та питома ефективна витрата палива (b_e, кг/(кВт·год)) залежить від нижчої теплоти згоряння палива Q_н та елементарного складу палива. При переводі дизельного двигуна на суміш дизельного палива та соєвої олії витрата палива збільшується на 2,5 %.

За підсумками проведеного аналізу можна зробити наступний висновок. Зменшення нижчої теплоти згоряння суміші дизельного палива та соєвої олії на 2,5 %, зменшує на ті ж 2,5 % всі економічні показники двигуна. Також збільшення процентного вмісту кисню в суміші на 2,5 %, зменшує викиди CO₂ та NOx на ті ж 2,5%.

Висновок. Виходячи з вище викладеного можемо зробити наступні висновки:

1. Основним параметром який істотно впливає на показники роботи дизельного двигуна (при використанні суміш дизельного палива і соєвої олії) є нижча теплота згоряння палива та його фракційний склад.
2. Зменшення нижчої теплоти згоряння суміші дизельного палива та соєвої олії на 2,5 %, зменшує на ті ж 2,5 % всі економічні показники двигуна.
3. Збільшення процентного вмісту кисню в суміші на 2,5 %, зменшує викиди CO₂ та NO_x на ті ж 2,5 %.
4. Застосування в дизельних двигунах палив на основі рослинних олій потребує комплексу заходів щодо підготовки палива [2, 4, 6].

Література:

1. Грабар І. Г., Колодницька Р. В., Семенов В. Г. Біопалива на основі олій для дизельних двигунів: Монографія, 2011. – 139 с.
2. Грабовенко О., Доценко С., Нестеренко В., Швець І. Використання рослинної олії в якості палив в середньо оборотному дизельному двигуні // Двигуни внутрішнього згоряння. – 2021. № 2. С.79-86.
3. Dotsenko S., Nesterenko V., Lysykh A., Hrabovenko O., Shvets I. Mathematical modelling of emissions of toxic components of a medium speed diesel engine when operating on soybean oil // 27rd International Scientific Conference on Transport Means 2023 04-06.10.2023: – Palanqa, Lithuania, 2023. – P. 921-929.
4. Доценко С. М., Грабовенко О. І., Швець І. А., Лисих А. Ю. Експериментальні дослідження екологічних параметрів дизельного двигуна при роботі на соєвій олії // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2023 – № 2-3 (491-492). – С. 49-56.
5. Ошовський В. Я. Взаємодія рослинних олій з робочими контактними поверхнями деталей паливної апаратури дизельних двигунів / В. Я. Ошовський, О. І. Грабовенко, І. А. Швець // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : науково-технічний збірник. – Кропивницький: ЦНТУ, 2019. – Випуск. 49. – С. 186-193.
6. Доценко С., Грабовенко А., Швець І. Когенераційна установка на базі дизель-генератора ДГА-900 працююча на соєвому маслі. «Транспорт, екологія, устойчивое развитие» // Варна. Болгария. Международный журнал № 1 2019. – С. 5-11.

ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПОДАЧІ ПАЛИВА ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ТОКСИЧНИХ ВИКИДІВ У ВІДХІДНИХ ГАЗАХ ДВЗ

Калініченко І. В

канд. техн. наук, доцент кафедри теплотехніки

Русанов О. О.

здобувач вищої освіти (магістр)

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

Введення норм IMO Tier III в 2016 р вимагає зниження викидів оксидів азоту (NO_x) з відпрацьованими газами двигунів на 75 % в порівнянні з нормами IMO рівня Tier II. Скорочення викидів може бути досягнуто лише шляхом застосування нових технологій для суднових дизельних двигунів.

Для того, щоб контролювати викиди з відхідними газами, не погіршуючи економічності дизелів, ці технології повинні бути спрямовані на значне поліпшення параметрів палива і подачі повітря до камери згоряння двигуна.

Представлена робота зосереджена на розгляді напрямків застосування і розвитку електронних технологій керування з метою створення дизелів з гнучкими системами керування, що мають такі переваги, які дозволять забезпечити дотримання зазначених міжнародних норм. Показані досягнення в частині розробки і застосування традиційних (низького тиску) систем подачі палива з електронним керуванням процесу впорскування палива в циліндри двигуна і систем подачі палива високого тиску більш складного виконання [1].

Показано, що необхідний рівень тиску і необхідні характеристики впорскування можуть бути забезпечені сучасними системами з електронним керуванням типу Common Rail (CRS). Впровадження подібних систем як одного із способів покращення паливної економічності і підвищення екологічної безпеки суднових дизельних установок викликано жорсткими екологічними та економічними вимогами до сучасних суднових дизелів. Показані досягнення в частині розробки і організації процесу подачі палива високого тиску стосовно суднових малооборотних дизелів.

Сучасні вимоги щодо впливу двигунів внутрішнього згоряння на екологію навколишнього середовища змушують конструкторів і дослідників шукати методи зменшення кількості викидів шкідливих речовин в атмосферу.

Основними токсичними речовинами, що викидаються сучасними дизелями є тверді частинки (сажа, оксиди сірки CO₂, важкі вуглеводні), оксиди азоту (NO_x), монооксид вуглецю (CO), вуглеводні (CH), оксиди сірки. В даний час нормуються викиди частинок, NO_x, CO, CH, а також димність відпрацьованих газів.

Найбільш перспективним способом зменшення шкідливих викидів двигунами внутрішнього згоряння є розробки в області вдосконалення топливоподающей апаратури, зокрема використання акумуляторних системи подачі палива, форсунок з електронним/електрогідравлічним керуванням і т.д.

У ряді випадків існуючий експлуатаційний досвід викликає необхідність крім подетального підходу до доведення конструкції будь-якої системи розглянути можливості самої системи з точки зору її ефективності, надійності і схильності подальшої модернізації. У фірми MAN Diesel&Turbo кроки щодо вдосконалення архітектури системи CRS2.2, яка спроектована для роботи на важкому паливі HFO наступна.

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. Протиріччя відносяться як до загальнотеоретичних, конструкційних, технологічних, так і до логістичних аспектів експлуатації системи CRS2.2 на великих суднових ДВЗ.

Електронні системи керування подачею палива дозволяють забезпечувати гнучке регулювання кута випередження впорскування і характеристики впорскування. Електронне керування має цілий ряд переваг перед механічним, з яких варто відзначити гнучке регулювання циклової подачі, мінімальну нерівномірність подачі по циліндрах, регулювання оптимального режиму кута випередження впорскування, моментальна діагностика системи і вибір режиму роботи двигуна відповідно до його стану в даний момент часу та ін.

Так само в сучасному дизелебудуванні для зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферу стали використовувати насос-форсунки, які мають двоступінчастий електрокерований дозуючий клапан. Насос-форсунки дозволяють збільшити тиск впорскування палива до 200 МПа, і, завдяки своїм функціям, знизити навантаження на лінії високого тиску [2].

Компанія MAN B&W веде розробки, в тому числі і в напрямку електронного контролю режимів роботи двигунів. Так, на рис. 1 та 2 наведено приклад роботи паливного насоса високого тиску та зміна тиску згоряння палива у циліндрі на економічному режимі роботи. Як видно, в режимі економічного ходу, подача палива здійснюється в одне впорскування протягом 15 градусів оберту колінчастого вала, при цьому максимальний тиск згоряння досягається 155 МПа на 195-му градусі повороту колінчастого вала, а момент початку видимого згоряння палива починається на 182-му градусі повороту колінчастого вала і відбувається при тиску 12,0 МПа. Викиди NOx при роботі двигуна в цьому режимі коливаються в межах 1150 ... 1180 ppm (рис. 1).

Зміна режиму роботи двигуна на режим зниженого викиду NOx відбувається протягом 15 секунд і рівень викидів NOx падає до 480ppm (рис. 1). На рис. 3 та 4 відповідно наведено приклад роботи паливного насоса високого тиску та зміни тиску згоряння палива у циліндрі на режимі зниженого викиду NOx. При цьому двигун починає працювати більш плавно, максимальний тиск згоряння знижується до 12,2 МПа і досягається на 188-му градусі повороту колінчастого вала, а момент початку видимого згоряння палива доводиться на сто сімдесят другому градусі повороту колінчастого вала при тиску в 11,7 МПа. Подача палива

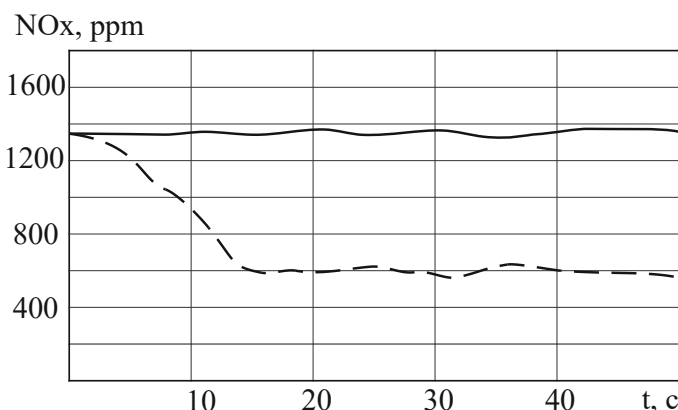


Рис. 1. Зміна викидів NOx у відхідних газах на різних режимах роботи МОД «MAN» 5S50ME-C8.5-TIII

На рис. 2 приведений вплив зміни режиму роботи МОД на токсичні викиди NOx у відхідних газах, з якого видно, що при регулюванні режиму роботи ПНВТ із використанням подачі палива у циліндри з передпуском концентрація NOx у відхідних газах зменшується на 40...55 % при зміні режиму роботи МОД «MAN» 5S50ME-C8.5-TIII в діапазоні потужностей 75...90 %.

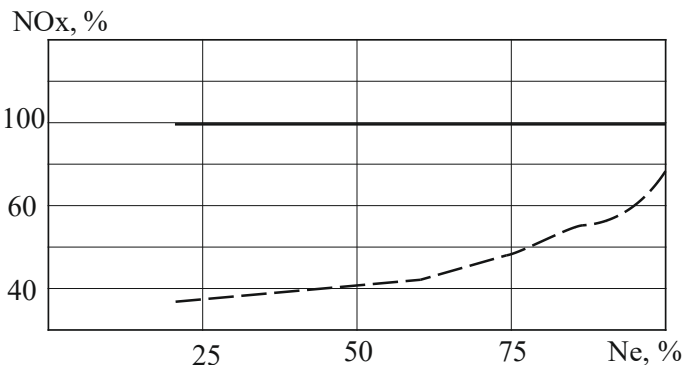


Рис. 2 Вплив зміни режиму роботи МОД на токсичні викиди NOx у відхідних газах

Цей ефект полягає в зміні розмірів п'єзoeлемента при додатку до нього напруги. Приріст довжини п'єзoeлемента прямопропорційний прикладеній напрузі. Таким чином, можна управляти збільшенням довжини п'єзoeлемента, змінюючи напругу на його обкладках.

З впевненістю можна стверджувати, що різноманітність конструкцій системи Common Rail, високий рівень конструювання, застосування прогресивних матеріалів і технологій дозволять виробникам підвищити рівень експлуатаційних властивостей устаткування, що випускається, а також створить передумови до забезпечення бажаних ресурсних характеристик елементної бази системи.

Висновки. Виявлені додаткові можливості зменшення викидів NOx у відхідних газах малообертового двигуна 5S50ME-C8.5-TIII за допомогою електронної системи регулювання режиму роботи паливного насоса високого тиску. Виявлено, що при електронному регулюванні режиму роботи ПНВТ із використанням подачі палива у циліндри з передвпуском концентрація NOx у відхідних газах зменшується на 40...55 % при зміні режиму роботи МОД «MAN» 5S50ME-C8.5-TIII в діапазоні потужностей 75...90 %.

Література:

1. Дяченко В. Г. Двигуни внутрішнього згоряння. Теорія: Підручник / В. Г. Дяченко; За ред. А. П. Марченка. - Харків: НТУ «ХПІ», 2008. - 488 с.
2. Radchenko R., Kornienko V., Radchenko M., Mikielewicz D., Andreev. A. Kalinichenko I. (2021). Cooling intake air of marine engine with water-fuel emulsion combustion by ejector chiller. Modern Power Systems and Units. V International Scientific and Technical Conference. Kraków, Poland, Edited by Rerak, M.; Majdak, M.; E3S Web of Conferences. 323. id.00031. 5 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132300031>.

ТЕПЛОАСОСНІ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ СУДНОВИХ ДВЗ

Калініченко І. В.

канд. техн. наук, доцент кафедри теплотехніки

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

Утилізація вторинних теплових ресурсів суднового головного двигуна (ГД) традиційно є одним з основних методів і технологій підвищення ефективності комплексного використання паливно-енергетичних ресурсів суднової енергетичної установки (СЕУ). Теоретичні дослідження і розробки систем повторного використання теплоти ГД, в першу чергу суднових дизельних установок (СДУ), були успішно реалізовані на великому числі морських суден. Однак на сьогоднішній день ситуація з утилізацією теплоти СДУ на транспортному флоті якісно змінилася. Підвищення ККД ГД (ККД сучасних малообертових суднових ГД становить від 48,0 до 51,0 %) і зниження питомої витрати палива сучасних суднових дизелів супроводжується перерозподілом статей їх теплового балансу, зокрема зменшенням втрат з відхідними газами (ВГ) із зниженням температури ВГ (температура ВГ двигунів фірми «MAN Diesel & Turbo» знизилася до 235...265 °C, а двигунів фірми «Wartsila» – до 257...298 °C) при одночасному зростанні частки теплоти, що відводиться в охолоджувачі надувного повітря (ОНП) [<http://www.mandieselturbo.com>, <http://www.wartsila.com>]. Ці фактори в сукупності різко знижують ефективність традиційних схем утилізації теплоти. Стає складним одночасне забезпечення водяною парою як підігрівачів різних середовищ на судні, так і утилізаційного турбогенератора, що призводить до необхідності введення в роботу допоміжного котла (ДК) [1].

Як один з варіантів вирішення цієї проблеми може розглядатися використання на судах теплоасосних парогенеруючих установок (ТНПУ) для виробки водяної пари, джерелом споживаної теплоти низького потенціалу (у випарнику) у яких були б вторинні теплові ресурси ГД. Це дозволило б, по-перше, утилізувати скидну теплоту, зменшуючи тим самим теплове забруднення навколишнього середовища, по-друге, відмовитися від роботи ДК на ходовому режимі судна, а отже заощадити невідновлювані джерела енергії (котельне паливо).

Проведений аналіз експлуатаційних ходових режимів роботи суден типу танкер показав, що існує чотири різних режими навантаження на котельну установку судна типу танкер:

- ходовий режим при підтримці температури вантажу до 45 °C;
- підготовка вантажу до вивантаження з підігрівом до 60 °C;
- миття танків;
- ходовий режим в баласті.

Тому витрата пари, а відповідно і навантаження на суднову котельну установку (утилізаційний (УК) і допоміжний котли (ДК)) залежатиме від режиму експлуатації судна. У всіх ходових режимах для отримання водяної пари на танкері працює УК, але він не задовольняє всіх споживачів пари.

Для задоволення всіх потреб на судні у водяній парі додатково використовують ДК, який працює на частковому навантаженні.

Результати розрахунків інтегральних показників ТНПУ для двигунів танкера проекту 15966 представлені в табл. 1.

Таблиця 1. Результати розрахунку ТНПУ для розглянутих ГД

Параметр, що розраховувався, позначення, одиниця вимірювання	Головний двигун	
	6RTA52U-B	6S50ME-C8
Витрати водяної пари (тиск РВП = 0,3 МПа) G_{s1} , кг/с (кг/год.)	0,207 (745,2)	0,131 (471,6)
Витрати водяної пари (тиск РВП = 0,5 МПа) G_{s2} , кг/с (кг/год.)	0,5241 (1887)	0,3309 (1191)
Теплове навантаження на конденсатор Кд1 Q_1 , кВт	512	324
Теплове навантаження на конденсатор Кд2 Q_2 , кВт	1309	827
Масові витрати хладону в ТНПУ G_o , кг/с	16,23	10,25
Електрична потужність на привід компресорів Км1 і Км2 N_e , кВт	536	339
Витрати палива привідних двигунів ДГ на привід компресорів $G_{\text{ДГ}}$, кг/с (кг/год.)	0,02979 (107,2)	0,01881 (67,7)
Витрати палива ДК при одержанні водяної пари $G_{\text{ТБК}}$, кг/с (кг/год.)	0,0502 (181,8)	0,03170 (114,1)
Кількість заощадженого палива при використанні ТНПУ $\Delta G_T = G_{\text{ТБК}} - G_{\text{ДГ}}$, кг/годину (%)	73,3 (41)	46,4 (41)
Тепловий коефіцієнт ТНПУ COP	3,40	

Вибір параметрів роботи ТНПУ визначається, з одного боку, параметрами охолоджуючої води ДВЗ, що є джерелом низькопотенціальної теплоти, а з іншого – наявністю на судні споживачів пари, в першу чергу, підігрівачів вантажу. Аналіз параметрів суднових споживачів теплової енергії показує, що вони можуть бути розділені на три основні групи: що використовують водяну пару низького (0,3 МПа), середнього (0,5 МПа) і високого (до 0,7 МПа) тисків. Спочатку розглядалася робота ТНПУ з отриманням пара всіх трьох параметрів. Однак, з огляду на можливість термічного розкладання хладонів, які є робочим тілом ТНПУ, і з метою спрощення установки остаточно була прийнята схема двох тисків, принцип дії якої детально описано в [2]. При цьому передбачалося, що водяна пара тиском 0,9 МПа виробляється в традиційному утилізаційному водяному котлі за рахунок теплоти ОГ ГД. В якості альтернативного ГД для танкера розглядались сучасні малооборотові двигуни 6RTA52U-B фірми «Wartsila-NSD» з номінальною потужністю $Ne_{\text{ном}}^{\text{ГД}} = 9600$ кВт та двигун 6S50ME-C8-II фірми «MAN B&W» з потужністю $Ne_{\text{ном}}^{\text{ГД}} = 9960$ кВт.

Для обох дизелів використовується трьохконтурна система охолодження. В якості джерела низького потенціалу розглядалася вода, що охолоджує втулки циліндрів.

Таким чином, проведені розрахункові дослідження (див. табл.) показали безсумнівні енергетичні переваги від установки на судні ТНПУ.

Отримані результати вказують на перспективність теплонасосного напрямку утилізації низькопотенційної теплоти СДУ і доцільність проведення подальших досліджень.

Висновки. На сьогоднішній день на водному транспорті питання утилізації скидної теплоти СДУ залишаються вкрай актуальними. Одним з варіантів вирішення цього завдання з урахуванням змінених параметрів роботи суднових дизелів є впровадження теплонасосних парогенеруючих установок.

Проведені дослідження показали енергетичну ефективність і технічну здійсненність теплонасосного напрямку утилізації низькопотенційної теплоти СДУ.

Література:

1. Radchenko, M., Radchenko, A., Mikielewicz, D., Kosowski, K., Kantor, S., Kalinichenko I. (2021). Gas turbine intake air hybrid cooling systems and their rational designing. Modern Power Systems and Units. V International Scientific and Technical Conference. Kraków, Poland, Edited by Rerak, M.; Majdak, M.; E3S Web of Conferences. 323. id.00030. 5 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132300030>.
2. Radchenko R., Kornienko V., Radchenko M., Mikielewicz D., Andreev. A. Kalinichenko I. (2021). Cooling intake air of marine engine with water-fuel emulsion combustion by ejector chiller. Modern Power Systems and Units. V International Scientific and Technical Conference. Kraków, Poland, Edited by Rerak, M.; Majdak, M.; E3S Web of Conferences. 323. id.00031. 5 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132300031>.

ЕФЕКТИВНІСТЬ УТИЛІЗАЦІЙНИХ КОТЛІВ З КОНТРОЛЬОВАНИМ ВІДРИВОМ ПОТОКУ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК

Кузнецов В. В.

канд. техн. наук, доцент кафедри технічної теплофізики
і суднових паровиробних установок

Кузнецова С. А.

канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Основною задачею суднової котельної установки є безперервне забезпечення тепловою енергією суднових споживачів як на ходових, так і на стоянкових режимах роботи судна. Для широкого спектру суден з цією задачею успішно справляються утилізаційні котли [1].

Аналіз складу енергетичних установок суден за даними [1] показав наступне.

В якості пропульсивних установок в основному використовуються дизельні установки з прямою передачею потужності на гвинт. Особливістю деяких LNG танкерів є використання дизель-електричних установок.

Для танкерів і балкерів дедвейтом до 75000 т за даними [1] використовувались двигуни типу 6S60MC-C Mk7, 6S70MC-C Mk7 побудови ліцензіатів компанії MAN B&W або аналогічні за параметрами двигуни компанії Wartsila.

Особливістю енергетичних установок крупнотонажних контейнеровозів побудови 2015...2020 років є використання 8...11 циліндрових двигунів типу S90ME-C10.2, для танкерів – двигунів типу 6G60ME-C9.2 побудови ліцензіатів компанії MAN B&W або аналогічні за параметрами двигуни компанії Wartsila.

При цьому аналіз статистичних даних складу енергетичних установок вказаних типів суден показує, що їх споживання пари у ходовому режимі може досягати до 5000 т/год. Але, якщо для його забезпечення на судах 2010 року побудови встановлювались утилізаційні котли, то починаючи з 2015 року перевага віддається комбінованим котлам.

Частково це можна пояснити наступним.

Для отримання визначеної кількості пари необхідна кількість теплоти складає

$$Q_s = k \cdot F \cdot \Delta t_{\log},$$

де k – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²×K); F – площа поверхні теплопередачі, м²; $\Delta t_{\log}$ – середньологарифмічний температурний напір, °C.

З іншого боку, кількість теплоти, що відбирається від відпрацьованих газів головного двигуна в утилізаційному котлі складає

$$Q_g = G_g C_g (t_g^n - t_g^{out}),$$

де G_g – витрата відпрацьованих газів головного двигуна, кг/с; C_{pg} – середня теплоємність газів в інтервалі температур $t_g^n \dots t_g^{out}$, Дж/(кг×K); t_g^n , t_g^{out} – температура відпрацьованих газів на вході та виході з котла відповідно, °C.

Тоді, приймаючи умову однакової паропроодуктивності однакових параметрів і при рівних умовах, тобто при однакових значеннях k , $\Delta t_{\log}$, C_{pg} , t_g^n , t_g^{out} , зміна витрати газів G_g (збільшення, зменшення) призведе до необхідності відповідної зміни площі поверхні теплопередачі F (зменшення, збільшення).

Порівняльна оцінка зміни цих параметрів для двох двигунів компанії MAN B&W представлена у табл. 1.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика параметрів двигунів компанії MAN B&W [2].

	6S60MC-C Mk7	5G60ME-C9.5
Номінальна потужність N_e , кВт	13530	13400
Витрата газів G_g , кг/с	32,9	27,8
Температура відпрацьованих газів t_g , °C	255	255

За таких умов збільшення площі поверхні теплопередачі складе $32,9/27,8 \approx 1,18$, тобто до 18 %, а за необхідності врахування роботи на часткових режимах це підвищення може скласти до 33 %, що ускладнить розташування котлів у газоходах суден.

Таким чином, розробка компактних поверхонь теплопередачі для утилізаційних суднових котлів є актуальною проблемою. Вирішення цієї проблеми дозволить ширше використовувати утилізаційні котли у складі суднових енергетичних установок, що підвищить їх техніко-економічну ефективність за рахунок зниження загальної витрати палива установкою та знизить шкідливі викиди у навколишнє середовище.

Відомо, що зниження площі поверхні утилізаційних котлів можливе за рахунок інтенсифікації процесів тепловіддачі. В роботі [3] обґрунтовано ефективність способу інтенсифікації тепловіддачі шляхом використання еліптичних поверхонь нагріву з механізмом контрольованого відриву потоку. Представлені результати були отримані на режимі 85 % навантаженні головних двигунів типу G60ME-C9.2 та S90ME-C10.2 компанії MAN B&W.

Відомо, що в реальних умовах експлуатації ступінь навантаження головного двигуна може складати 75...85 % [4]. Це залежить від технічного стану двигуна, корпусу судна, погодних умов та ін. все це призведе до зміни температури і витрати відпрацьованих газів головного двигуна, що в свою чергу відобразиться на паропроодуктивності утилізаційного котла.

Метою роботи є оцінка паропроодуктивності утилізаційних котлів з профільованими поверхнями нагріву з механізмом контрольованого відриву потоку при зміні навантаження дизельного двигуна.

Метод дослідження – математичне моделювання процесів руху рідини і газу при поздовжньому обтіканні та внутрішньої течії теплоносія в теплообмінних поверхнях на основі рівнянь енергії, руху та суцільності.

Отримано, що завдяки більшій теплогідравлічній ефективності профільованих поверхонь нагріву у порівнянні з поверхнями круглого перерізу, зниження паропроодуктивності складе 3...5 %. Отримані дані необхідно враховувати при обґрунтуванні використання подібних утилізаційних котлів у складі суднових енергетичних установок.

Література:

1. Significant Ship 2014-2023. [Електронний ресурс] Доступ за посиланням: https://www.libramar.net/news/significant_ships_series/1-0-140 [Перевірено: Жовтень 15, 2024].
2. Project guides [Електронний ресурс] Доступ за посиланням: <https://www.man-es.com/marine/products/planning-tools-and-downloads/project-guides> [Перевірено: Жовтень 15, 2024].
3. Kuznetsov V. Increasing the Economic Efficiency of Marine Power Plants Using Waste Heat Boilers with Controlled Flow Separation / Valerii Kuznetsov, Svitlana Kuznetsova // POLISH MARITIME RESEARCH. – 2024. – 3 (123). – Vol. 31; pp. 94-101. doi 10.2478/pomr-2024-0039
4. Шостак В. П. Проектування пропульсивної установки суден з прямою передачею потужності на гвинт = Designig a Marine Propulsive Unit with a Direct-driven Propeller / В. П. Шостак, В. І. Гершанік, В. П. Кот, М. С. Бондаренко; за ред. В. П. Шостака. – Миколаїв : УДМТУ, 2003. – 500 с.

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТРИГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ НА БАЗІ ГПД ВИКОРИСТАННЯМ СТУПЕНЕВОГО АБСОРБЦІЙНО-АДСОРБЦІЙНОГО ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРА

Остапенко О. В.

канд. техн. наук, доцент кафедри кондиціювання і рефрижерації
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

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 [1, 2]. 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.

Так, 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 $t_{зв} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$. При його перевищенні надлишок теплоти скидається в атмосферу, а при меншій температурі зворотного теплоносія $t_{зв}$ до нього помішується частина гарячого теплоносія, який виходить з когенераційного модуля і повертається в нього, минаючи АБХМ.

Відповідно до існуючої схеми при температурі зворотної (охолодженої) води на виході з АБХМ, наприклад $t_{зв} = 75\text{...}80\text{ }^{\circ}\text{C}$, тобто вище її специфікаційного значення $t = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 (рис. 1).

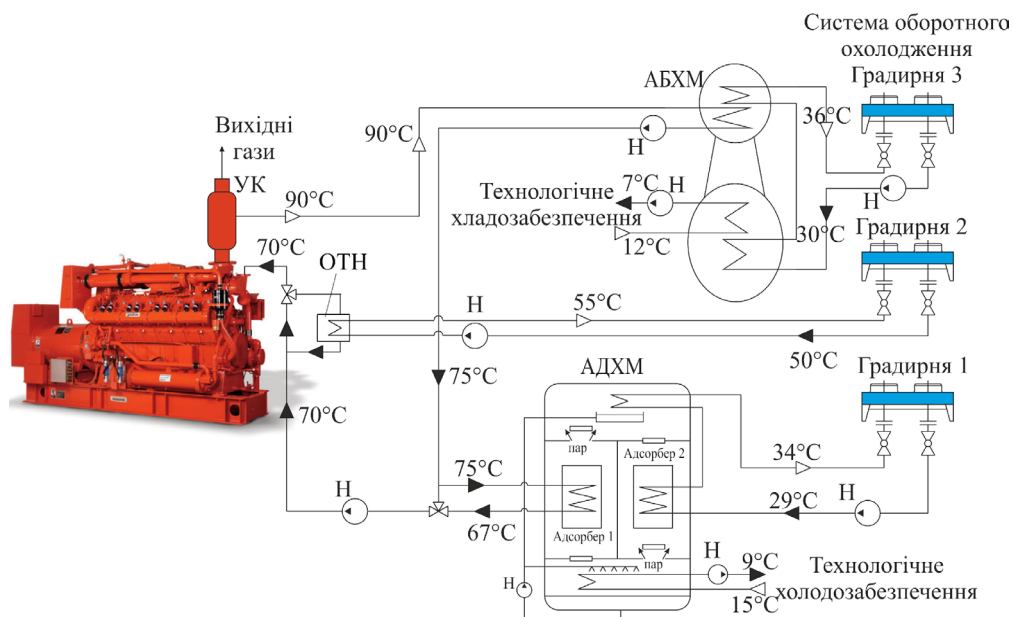


Рис. 1. Схема системи трансформації скидної теплоти з ступеневою абсорбційно-адсорбційною холодильною машиною:
УК – утилізаційний котел; Н – насос; 2 – градирня аварійного скиду тепла

Повертати надлишкову теплоту в АБХМ недоцільно через її знижений температурний потенціал, $t_{зв} = 75...80^\circ\text{C}$, в порівнянні з температурою гарячого теплоносія на вході АБХМ: $t_r = 90...95^\circ\text{C}$, 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 $\Delta t = 15^\circ\text{C}$, а реально навіть дещо менше, що не дозволяє охолоджувати теплоносії до температури на вході в ГД $t = 70^\circ\text{C}$, що забезпечує підтримку теплового стану ГД на необхідному рівні, і викликає необхідність скидати надлишкову теплоту в атмосферу градирнею 2 аварійного скидання. Для скорочення існуючих втрат тепла, можна встановити додатково адсорбційну холодильну машину (АДХМ) відразу після існуючої АБХМ. Робочий режим АДХМ такий, що вона здатна використовувати теплоносії невисокого потенціалу з температурою $70...80^\circ\text{C}$ який в наслідки-віє охолоджується в ній до 10°C [3].

В наведеній на рис. 1 схемі в АДХМ використовується теплоносії після абсорбційної машини з температурою 75°C , охолоджуючись в ній до 67°C . 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°C після АБХМ і 67°C після АДХМ. При змішуванні яких знову в один потік з температурою 70°C . Вона відповідає специфікаційному значенню температури зворотного теплоносія, що подається на охолодження вузлів двигуна.

За рахунок утилізації надлишкової теплоти, раніше скидається в атмосферу, можна збільшити холодопродуктивність тригенераційної установки на величину 400...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. 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. – București, October 28, 2010. – 73 p.
3. Adsorption Heat Pump - Building Equipments // Mitsubishi Plastics, Inc. – 4 p.

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СОЄВОЇ ОЛІЇ В ЯКОСТІ ПАЛИВА ДЛЯ СЕРЕДНЬООБЕРТОВИХ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ

Швець І. А.

ст. викладач кафедри енергетичного машинобудування
Первомайський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Первомайськ, Україна

Чередніченко О. К.

д-р. техн. наук, професор кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Ефективне використання енергії, отриманої з викопного палива в двигунах внутрішнього згоряння (ДВЗ), із дотриманням високого рівня екологічних показників силових установок, залишається на сьогодні одним з пріоритетних завдань. Особливого значення це завдання набуває за умов недостатньої кількості викопних джерел, а також відсутності потрібних технологій видобутку та переробки видобутої сировини, а також пов'язані з цим великі фінансові та людські витрати. Окремо треба зазначити проблеми пов'язані з нестабільністю цін на ринку палив, отриманих в результаті переробки нафти. Як результат цього, виникають передумови для пошуку шляхів щодо отримання рідких палив альтернативного походження [2] отриманих в результаті переробки наявності доступної рослинної сировини.

Когенерація [1, 3] передбачає такий принцип споживання теплової енергії палива за якого її перетворення та утилізація відбувається з більшою ефективністю, в результаті чого знижуються додаткові витрати споживача на величину виробленої теплової та електричної енергії, що сприяє економії людських та фінансових ресурсів.

Робота щодо створення силових установок [1-3], що працюють на альтернативному рідкому пальному рослинного походження для комбінованого виробництва електричної енергії і тепла проводилася свого часу фахівцями ТДВ «Первомайськдизельмаш» на базі стаціонарних двигун – генераторних агрегатів (ДГА) з утилізацією теплоти випускних газів, води з контуру охолодження двигуна, масла і газоповітряної суміші. Отримана в результаті теплота на вище зазначених установках з допомогою гарячої води може подаватися в систему опалення будівель, в системи забезпечення технологічних операцій, та на інші потреби, що забезпечує споживачу співвідношення електричної енергії до теплової на рівні 1/1,3. І якщо електричний ККД силової установки сягає 38 %, то загальний ККД при комбінованому виробництві енергії до 90 %, що суттєво збільшує ефект утилізації теплової енергії палива, та максимальний економічний ефект установки від утилізації палива, як штатного тау і альтернативного походження [3-5].

Основним видом моторного палива на даний момент є і залишається рідке паливо отримане в результаті видобутку та переробки нафти. Але, останнім часом науковці з галузі енергетичного машинобудування приділяють увагу альтернативним паливам, причому особлива увага приділяється паливам отриманим в ході переробки рослинної сировини, через низку наступних переваг: можливість відновлення запасів рослинної сировини, відносно дешевизну їх отримання, зберігання та переробки, а також наявність значних обсягів сировини, достатніх для забезпечення власних потреб.

Застосування рослинних олій в якості альтернативи дизельному паливу має цілий ряд переваг, серед яких: низький вміст сірки та ароматичних з'єднань, та менша кількість незгорівших вуглеводнів. Використання альтернативних палив рослинного походження дозволяє покращити екологічні показники ДВЗ через суттєве зниження токсичних компонентів відпрацьованих газів (ВГ) і зокрема оксидів азоту (NOx) при застосуванні рослинних олій або їх модифікацій.

Використання рослинних олій в якості палива в силових енергетичних установках не дає можливості забезпечити техніко-економічні показники на рівні дизельного палива. Проблема тут полягає в нищій теплотвірній здатності палива, яка у рослинного палива нижча ніж у дизельного на 10...15 %. Крім того використання таких палив пов'язане з додатковими витратами пов'язаними з процесами підготовки палива [3-5], що відображається на загальному ККД всієї установки. При контакті вказаних палив з робочими поверхнями деталей паливної апаратури мають місце проблеми описані в [1].

Серед альтернативних палив до застосування в у вище описаній силувій установці було обрано для випробувань соєву олію. Однією з важливих характеристик рослинного палива є його густина. Так, по її величині можна зробити попередні висновки щодо фракційного та хімічного складу палива, та щодо його теплотворної здатності. Так, якщо густина дизельного палива згідно ДСТУ 8705:2017 становить 820...845 кг/м³, то густина соєвої олії становить 916...922 кг/м³. І при цьому вона не залишається сталою величиною, тому що залежить від температури та тиску. Так при температурі в 20 °C густина соєвої олії становить 920 кг/м³, а вже при температурі 80 °C – 879 кг/м³.

Другою важливою характеристикою палива є кінематична в'язкість. Кінематична в'язкість дизельного палива, при температурі 40 °C, згідно ДСТУ 8705:2017 становить 2,0...4,5 мм²/с. Кінематична в'язкість соєвої олії при температурі 20 °C становить 59...72 мм²/с. Це в свою чергу відображається на плинності дизельного палива. Воно завдяки цьому краще тече по каналам паливної апаратури та якісніше фільтрується через малі очисні отвори фільтра. Але, з іншого боку, більш в'язка соєва олія має кращі мастильні властивості, що в результаті призводить до збільшення терміну служби самого двигуна та паливної апаратури в середньому на 60 %.

Використання соєвої олії для роботи в дизельному двигуні погіршує протікання процесів подачі, розпилювання, сумішоутворення і, як наслідок, згоряння. Більша густина призводить до зміни геометрії факела, причому далекобійність його збільшується, а кут його розпилю зменшується [4, 5]. Пускові якості двигуна при роботі на соєвій олії також погіршуються.

В'язкість рослинної олії в холодному стані на порядок вище, ніж у дизельного палива з нафти, а ця властивість визначає якість розпилювання і згоряння палива. В'язкість рослинної олії може бути зменшена нагріванням або розрідження шляхом додавання дизельного палива.

«Сира» рослинна олія не може тривалий час використовуватися в дизелях з безпосереднім вприскуванням, так як вона не повністю згорає. Результатом цього є продукти коксування, що відкладаються на форсунках, поршнях, поршневих кільцях, клапанах, сопловому апарату і лопатках турбіни турбокомпресора. Тому підвищення температури, як шлях доведення в'язкості соєвої олії до рівня дизельного палива є частиною комплексу робіт з підготовки палива перед запуском двигуна. Так, у процесі випробувань при температурі соєвої олії 80...85 оС забезпечувалась її в'язкість на рівні 4...5 сСт.

Вагомою причиною стало, також, погіршення якості процесів сумішоутворення та згоряння. Так, за результатами проведених випробувань ДГА-900 на соєвій олії його електричний ККД склав 37,5 %, а тепловий ККД – 52 %. При цьому, загальний ККД силової установки досягнув рівня – 89,5 %.

Висновки. Випробування ДГА-900 при роботі на соєвій олії показали надійну роботу дизеля 6ЧН 26/34 за умови застосування системи підготовки палива що забезпечується нагрівання соєвої олії до температури 75...85 °С та її підтримці на цьому рівні, для отримання кінематичної в'язкості на рівні 4...5 сСт. Для зниження температури випускних газів при роботі на соєвій олії необхідно здійснювати оптимізацію кута випередження впорскування палива. Головною причиною підвищення питомої витрати рослинної олії є її нижча теплотворна здатність в порівнянні з дизельним паливом. Високий ККД від використання теплоти при згорянні соєвої олії, можна забезпечити за рахунок застосування системи ефективної утилізації теплоти охолоджуючої рідини, масла та випускних газів.

Література:

1. Ошовський В. Я., Грабовенко О. І., Швець І. А. Взаємодія рослинних олій з робочими контактними поверхнями деталей паливної апаратури дизельних двигунів. Загальний міжвідомчий науково-технічний збірник: Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, вип. 49, – м. Кіровоград: КНТУ, 2019. – С. 186-193.
2. I. Shvets, O. Hrabovenko, S. Dotsenko, V. Nesterenko., Results of the Experimental Research of the Medium Speed Diesel Engine Work on Soybean Oil. // Proceedings of 24th International Scientific Conference Transport Means, 2020: - Kaunas, Lithuania, 2020 – II part, 1038p., ISSN 1822-296 X (print), ISSN 2351-7034 (online) pp. 671-675.
3. Грабовенко О. І., Доценко С. М., Нестеренко В. В., Швець І. А. Використання рослинної олії в якості палив в середньо оборотному дизельному двигуні. Двигуни внутрішнього згоряння. – 2021. № 2. ISSN 0419-8719, С. 79-86.
4. S. Dotsenko, V. Nesterenko, A. Lysykh, O. Hrabovenko, I. Shvets., Mathematical Modelling of Emissions of Toxic Components of a Medium Speed Diesel Engine when Operating on Soybean Oil. Proceedings of 27th International Scientific Conference Transport Means, 2023: - Palanqa, Lithuania, 2023 – II part, 985p., ISSN 1822-296 X (print) ISSN 2351-7034 (online), pp. 921-927.
5. Швець І. А., Анастасенко С. М. Взаємодія палив рослинного походження з паливною апаратурою дизеля. // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці : XIV Міжнародна науково-технічна конференція : матеріали. – Миколаїв : НУК, 2023. – 756 с., ISBN 978-966-321-462-7, С. 146-149.
6. Доценко С. М., Швець І. А., Лисих А. Ю. Грабовенко О. І. Експериментальні дослідження екологічних параметрів дизельного двигуна при роботі на соєвій олії. Збірник наукових праць НУК ім. адм. Макарова. Наукове видання № 2-3 (491-492) 2023, С. 49-56.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ДВОТАКТНОГО ДВИГУНА З КРИВОШИПНО-КАМЕРНОЮ ПРОДУВКОЮ

Кравченко С. С.

канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри двигунів
та гібридних енергетичних установок

Ободець Д. К.

аспірант кафедри двигунів та гібридних енергетичних установок
Національний технічний університету «Харківський політехнічний інститут»
м. Харків, Україна

Двотактні поршневі двигуни з кривошипно-камерною продувкою завдяки своїм значним перевагам, таким як висока питома потужність, простота конструкції, знайшли широкого застосування в якості силових установок для малих і середніх безпілотних літальних апаратах [1]. Наразі велика кількість компаній спеціалізуються на виробництві означених типів двигунів таких як 3W, Gblier Hirth та Limbach у Німеччині, Wilksch у Великій Британії, Zanzottera в Італії, XRDі та DeltaHawk у США, DLA у Китаї [2].

На відміну від традиційних чотиритактних двигунів, що оснащені складними механізмами газорозподілу, керування процесом газообміну у двотактних двигунах зазвичай відбувається за допомогою руху поршня. Порівняно проста

схема продувки виявляє свою перевагу в конструкції та виробництві двигунів, але також має суттєві недоліки, зменшення коефіцієнту наповнення та значному витоку робочого тіла з циліндра двигуна під час продувки. Тому доведення робочого процесу означених типів двигунів є, на сьогодні, надзвичайно актуальною задачею.

Дана публікація присвячена математичному моделюванню робочого процесу двотактного двигуна MADO MD 550 (копії Limbach L550E), силової установки БПЛА Shahed-136, які Російські окупанти використовують для атак на Україну. Основні техніко-економічні показники двигуна наведені в табл. 1.

Двигун MADO MD 550 як і Limbach L550E - це чотирициліндровий горизонтально-опозитний двотактний бензиновий двигун (рис. 1) з петлевою кривошипно-камерною продувкою.

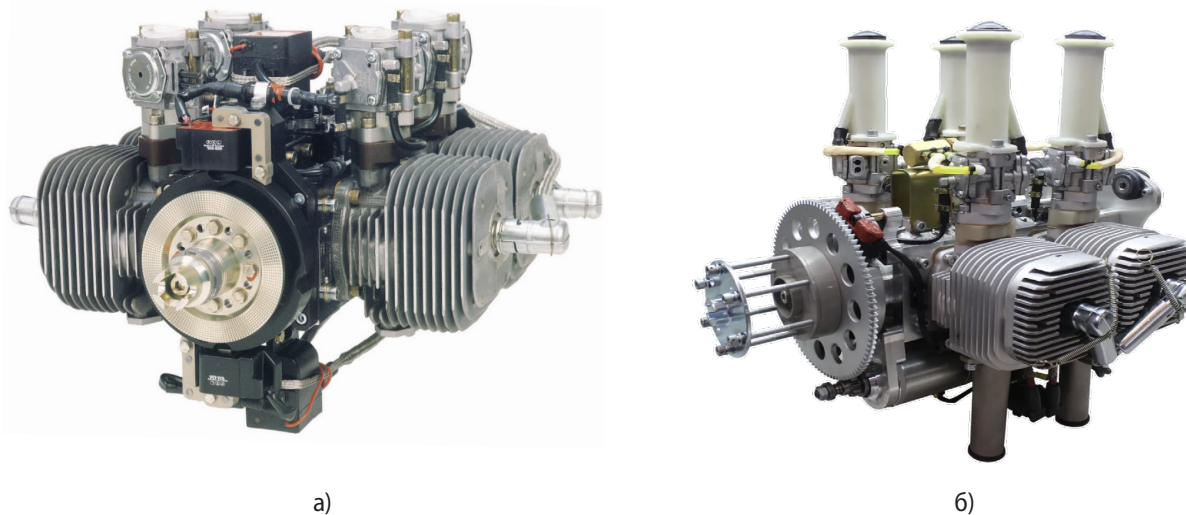


Рис. 1. Загальний вигляд двигуна Limbach L550E (а) та його копії Mado MD550 (б)

Таблиця 1. Параметри двигуна Limbach L550E

Параметр	Значення параметра
Ефективна потужність двигуна, кВт (к.с.)	37 (50)
Питома потужність, кВт/кг	2,3
Частота обертання колінчастого валу, хв-1	6750
Діаметр циліндра, мм	66
Хід поршня, мм	40
Тактність	2
Кількість циліндрів	4
Ступінь стиснення	10
Довжина шатуну, мм	82
Робочий об'єм, см ³	548
Кут розвалу циліндрів, град	180
Вага двигуна, кг	16
Габаритні розміри, мм	
Довжина	300
Ширина	410
Висота	301

Для примусового запалювання паливо-повітряної суміші використовується імпульсна система запалювання. Для живлення двигуна паливом використовуються чотири карбюратори (по одному на циліндр), дросельні заслінки яких пов'язані тягами, що керуються сервоприводом. Не дивлячись на те, що на кожен циліндр встановлено по карбюратору паливоповітряна суміш потрапляє та попередньо стискається в спільній, на два циліндра, кривошипній камері. Тому згоряння паливоповітряної суміші відбувається одночасно в двох циліндрах, що сполучені кривошипною камерою [3].

Математичне моделювання робочого процесу двигуна Limbach L550E виконано з використанням програмного забезпечення AVL BOOST. Основним інструментом, який використовується в AVL BOOST, є Workspace (графічний інтерфейс), що складається з визначених елементів ДВЗ. Одновимірну модель двигуна створюється в робочому просторі шляхом вибору та налаштування різних елементів та їх з'єднання між собою. Ця модель також включає підмоделі,

що відповідальні за характеристики теплопередачі, згоряння або механічні втрати. Розроблена блок-схема моделі зображена на рис. 2.

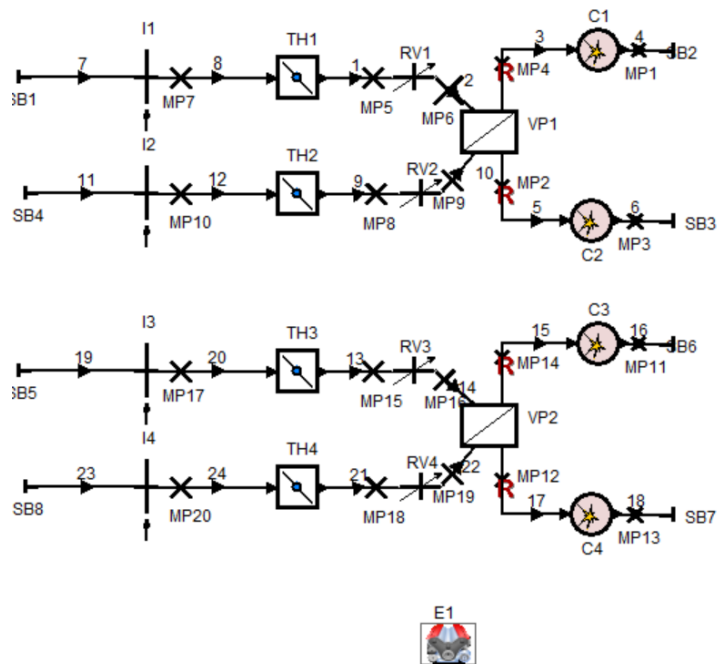


Рис. 2. Блок-схема математичної моделі робочого процесу двигуна в AVL BOOST для двигуна Limbach L550E: SB1... SB8 – граничні елементи; I1... I4 – карбюратори; TH1... TH4 – дросельні заслінки; RV1... RV4 – золотниковий клапан; VP1... VP2 – кривошипні камери; C1... C4 – циліндри

Математична модель робочого процесу двигуна основана на рівнянні першого принципу термодинаміки, закону збереження маси та рівняння стану. Передбачається, що робоче тіло має властивості ідеального газу, а процеси в циліндрі двигуна – квазістаціонарні. Потік через труби розглядається як одновимірний, де тиски, температури та швидкості потоку обчислюються як рішення газодинамічних рівнянь і представляють середні значення для поперечного перерізу труб. Втрати потоку через явища, які відбуваються в тривимірному просторі визначаються припущеними коефіцієнтами потоку для конкретних місць у двигуні. Геометрія всіх циліндрів є ідентичною, а температура стінок всіх елементів постійна. Така модель дозволяє досліджувати перехідний стан, який успішно відображає різні умови польоту, наприклад, тиск та температуру.

Підготовка моделі вимагала введення параметрів, які відсутні в каталозі виробника [3], тому певні вимірювання та аналіз деталей двигуна проводилися на лабораторному стенді. Наприклад, визначення ступеня стиску або величин площі прохідних перетинів впускних (золотника), випускного та продувочних вікон в залежності від кута повороту колінчастого валу (рис. 3).

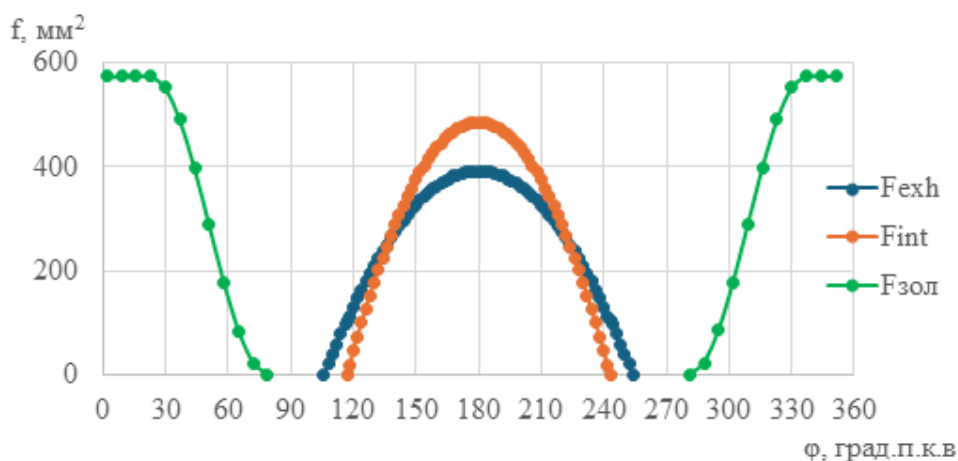


Рис. 3. Зміна площі прохідних перетинів вікон в залежності від кута п.к.в.

Процес згоряння описано емпіричною моделлю І. І. Вібе [4], в якій прийнято: початок згоряння 350 град, показник динаміки згоряння $m = 1,7$, параметр $C = -6,9$, тривалість згоряння змінюється лінійно в залежності від частоти обертання колінчастого валу: при $n = 4500 \text{ хв}^{-1}$ – $\varphi_z = 60$ град, при $n = 7000 \text{ хв}^{-1}$ – $\varphi_z = 55$ град.

Теплопередача до стінок камери згоряння, головки циліндра, поршня та циліндра розраховується за рівнянням Ньютона-Ріхмана [5].

Механічні втрати в математичній моделі враховуються середнім тиском механічних втрат, що задано у вигляді функції від швидкості обертання колінчастого валу, що було визначено емпірично: $p_m = 0,0001 \cdot n + 2,7$, бар.

Отримані розрахункові індикаторні діаграми двигуна Limbach L550E наведені на рис. 4.

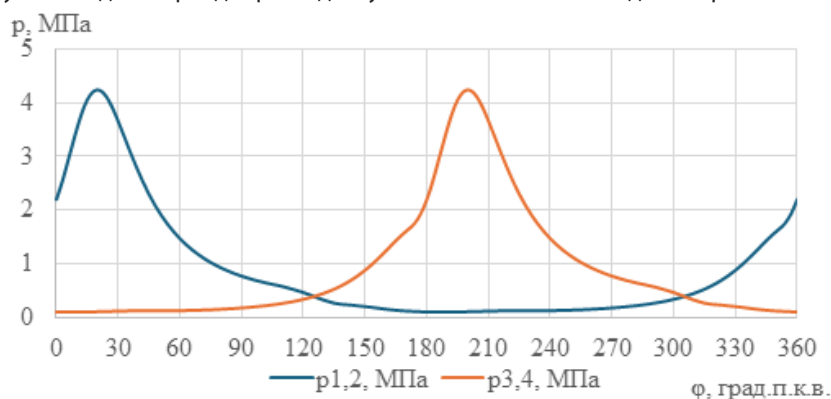


Рис. 4. Розрахункові індикаторні діаграми двигуна Limbach L550E

Ідентифікація математичної моделі виконана співставленням розрахункових показників ефективної потужності N_e та питомої ефективної витрати палива g_e з експериментальними (паспортних) даними за зовнішньою швидкісною характеристикою двигуна Limbach L550E [3] (рис. 5). Максимальна похибка розрахунку ефективної потужності ΔN_e спостерігається на режимах часткового навантаження 7 %. Максимальна похибка розрахунку питомої ефективної витрати палива Δg_e дорівнює 3 %. На режимі максимальної потужності при $n = 7000 \dots 7500$ хв⁻¹ відхилення $\Delta N_e = 0,7 \dots 1,5$ %, $\Delta g_e = 1 \dots 3$ %.

Таким чином, в роботі розроблена математична модель робочого процесу двотактного двигуна з кривошипно-камерною продувкою, що дозволяє виконати оптимізацію його конструктивних та регулювальних параметрів.

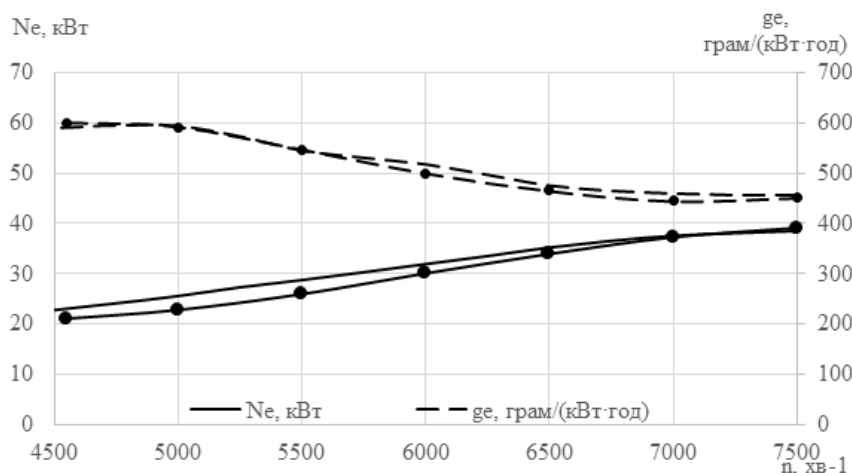


Рис. 5. Порівняння розрахункових (позначено точками) показників ефективної потужності N_e та питомої ефективної витрати палива g_e двигуна Limbach L550E з експериментальними

Дослідження виконано за грантової підтримки Національного фонду досліджень України в рамках проекту № 239/0124 «Поліпшення тактико-технічних характеристик вітчизняних БПЛА шляхом розробки авіаційного двигуна з перспективними показниками питомої потужності».

Література:

1. Newcome, L. R., Unmanned aviation: A brief history of unmanned aerial vehicles, AIAA, Reston, USA, 2004
2. UAS Yearbook, Unmanned aircraft systems – The Global Perspective 2010/2011, Blyenburg & Co, June 2010, Paris, ISSN 1967-1709, 214 p., available at <http://www.dcabr.org.br/download/cursos-eventos/eventos/eventos-realizados/2010/seminario-vant-27-10-2010/cd-uvsv-yearbook/>
3. Limbach engines 15 kW – 40 kW. available at <https://limflug.de/en/products/engines-15kw-40kw.php>
4. Вибє И. И. Новое о рабочем цикле двигателей: Скорость сгорания и рабочий цикл двигателя / И. И. Вибє. – М. : МАШГИЗ, 1962. – 282 с.
5. Baehr HD, Stephan K. Heat and Mass Transfer. Second. revised Edition. Germany: Springer; 2006.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВНУТРІШНЬОГО СУМІШОУТВОРЕННЯ ПРИ ЗМІНІ ТИСКУ ВПОРСКУВАННЯ НА ДВОТАКТНОМУ ДВИГУНІ З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ

Корогодський В. А.

д-р техн. наук, професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння

Хомутов М. А.

аспірант кафедри двигунів внутрішнього згоряння

Авраменко А. Р., Стрижак Г. О., Кананикін О. В., Орлов М. А.

магістранти кафедри двигунів внутрішнього згоряння

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

м. Харків, Україна

Перспективним способом зниження витрати палива та токсичних речовин у відпрацьованих газах двигунів з іскровим запаленням є застосування системи живлення з безпосереднім впорскування палива при організації раціонального способу регулювання потужності [1], що особливо актуально для двотактних двигунів. Тому визначення раціонального тиску впорскування палива на режимі максимального навантаження, що впливає на характер та інтенсивність перебігу процесів внутрішнього сумішоутворення [2] та згоряння [3], обумовлює актуальність напрямку проведення наукових досліджень.

Аналітичне дослідження процесів внутрішнього сумішоутворення проводилося при різних значеннях тиску впорскування: $P_{\text{впор}} = 18, 50$ та 150 бар циклової подачі бензину А-92 $V_c = 24,04$ мг/ц, яка відповідає витраті палива при максимальному навантаженні двотактного двигуна 1Д 8,2/8,7 на частоті обертання колінчастого валу $n = 3000$ хв⁻¹.

Результати розрахунку процесу випаровування бензину у процесах сумішоутворення представлені на рис. 1-3. При впорскуванні бензину зі збільшенням тиску впорскування зменшується час паливоподачі з 23 град п.к.в. ($P_{\text{впор}} = 18$ бар) (рис. 1) до 8 град п.к.в. ($P_{\text{впор}} = 150$ бар) (рис. 3). Під час руху паливного струменя частка бензину, що випарувалося, збільшилась з 3 до 6 % від циклової подачі бензину. У цьому діапазоні процесу сумішоутворення не відбувається інтенсивного випаровування часток бензину у струмені із-за відносно низького тиску впорскування в середовище без протитиску.

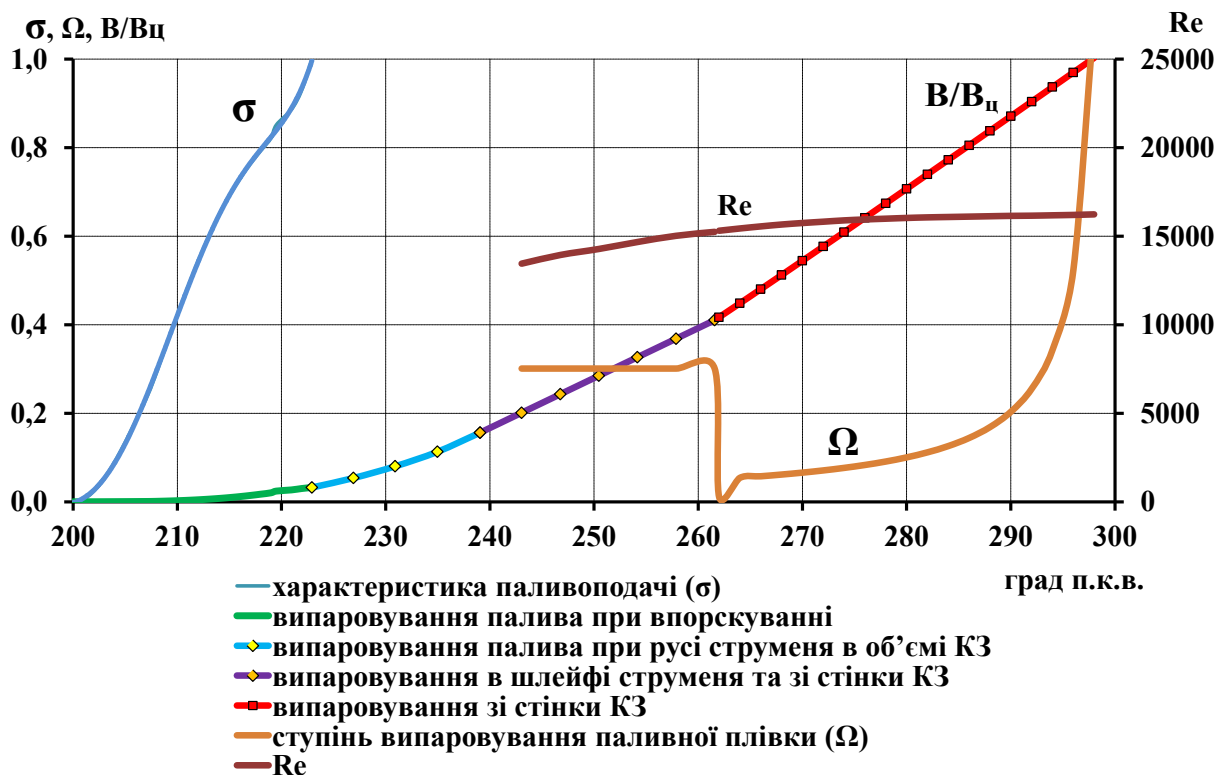


Рис. 1. Розрахунки процесів сумішоутворення при $P_{\text{впор}} = 18$ бар

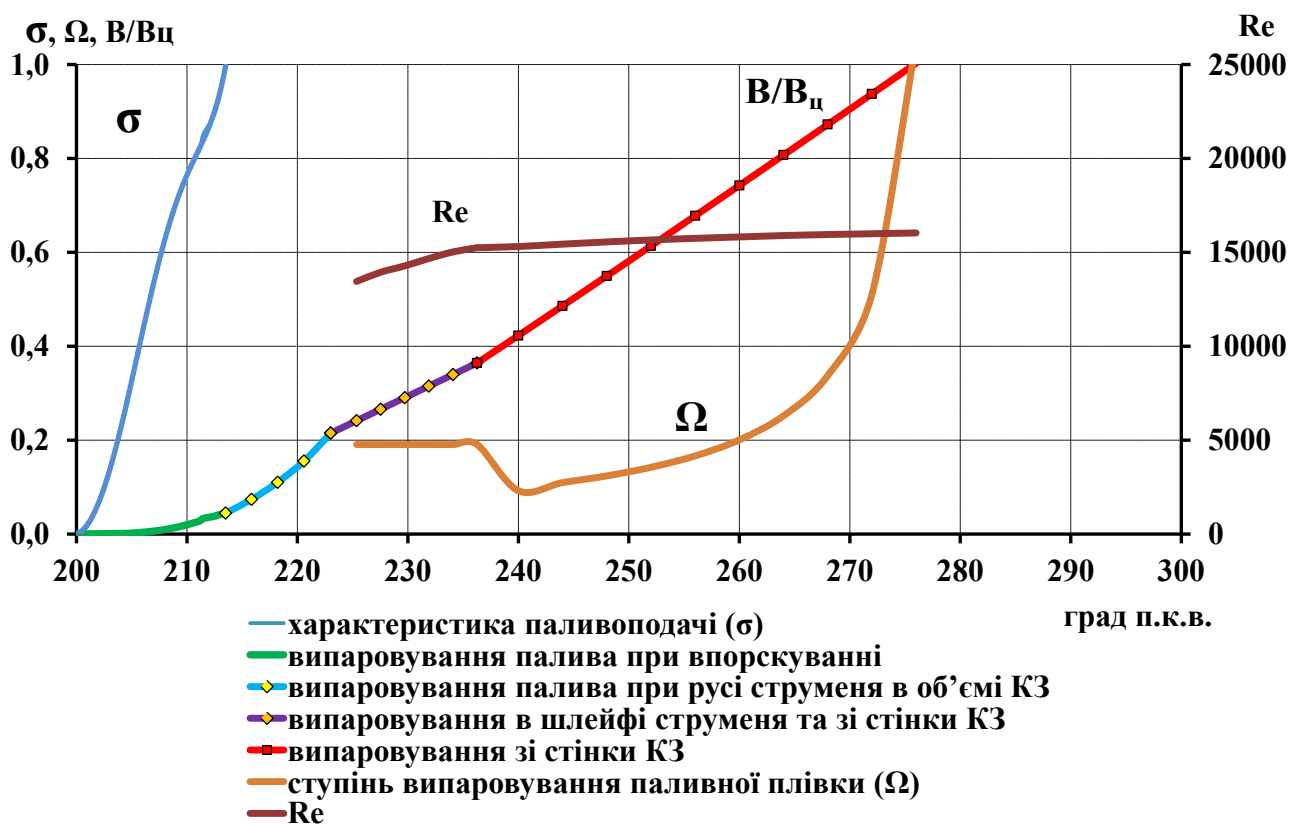


Рис. 2. Розрахунки процесів сумішоутворення при $P_{\text{впор}} = 50$ бар

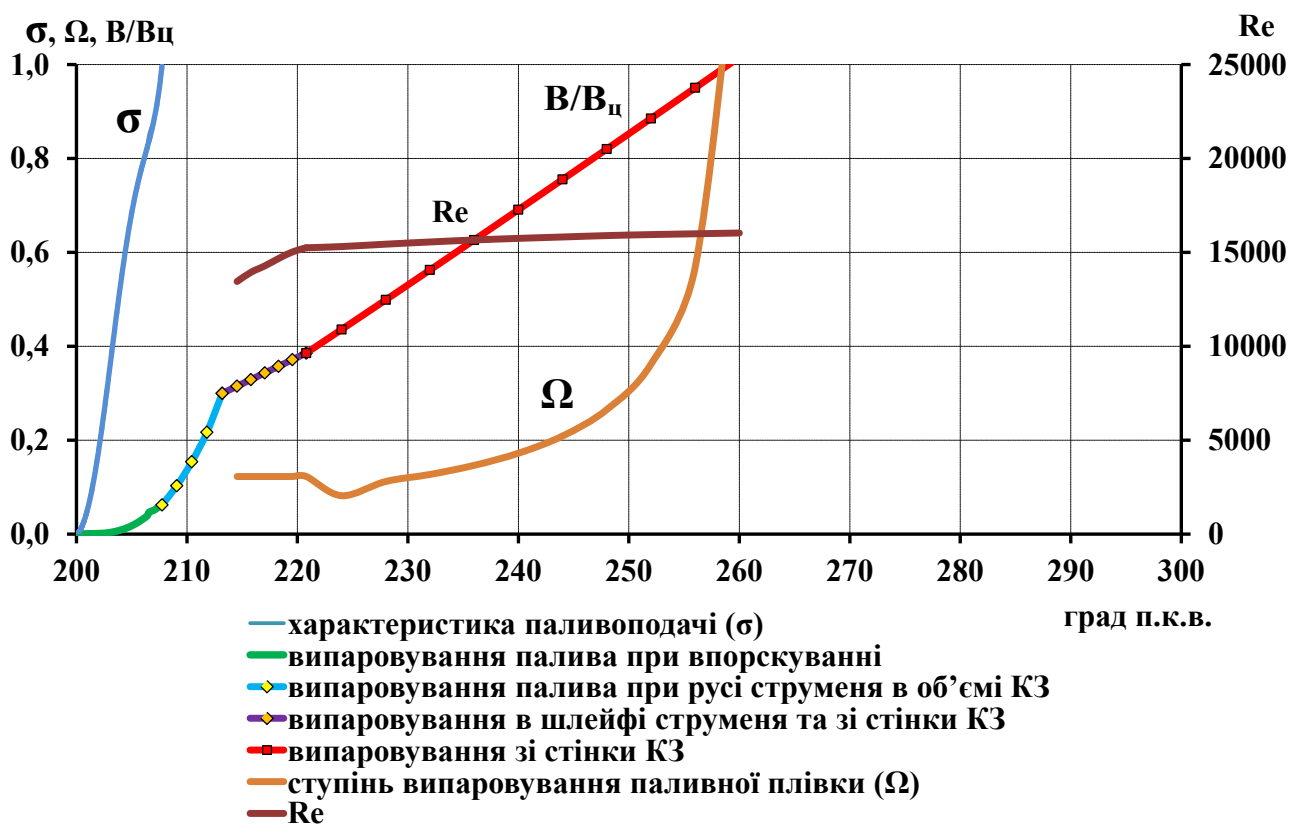


Рис. 3. Розрахунки процесів сумішоутворення при $P_{\text{впор}} = 150$ бар

При русі бензинового струменя після закінчення паливоподачі до моменту досягнення фронту струменя стінок камери згорання частка палива, що випарувалась збільшилась з 15 % (див. рис. 1) до 30 % (див. рис. 3).

Кількість палива, яке випарувалося, на цій ділянці сумішоутворення пояснюється зниженням швидкості руху бензинового струменя й слабкою взаємодією струменя з потоком продувочного повітря.

За час руху паливного струменя до поверхні стінки камери згорання випарувалося до 30 % від $V_{\text{ц}}$, що можна характеризувати як плівковий тип сумішоутворення.

За час одночасної взаємодії фронту струменя з поверхнею стінки камери згорання та випаровування часток бензину, які рухаються в шлейфі струменя частка бензину, яка випаровувалась зменшилась з 43 % (див. рис. 1) до 39 % (див. рис. 3).

Підвищення кількості палива, що випаровувалося, відбувається внаслідок взаємодії часток палива з відносно гарячою поверхнею стінки камери згорання.

Випаровування зі стінки протікає найбільш інтенсивно внаслідок більш швидкого нагрівання бензинової плівки до температури кипіння й підвищення як площі контакту з гарячою поверхнею стінки камери згорання, так і підвищення швидкості руху робочого тіла над паливною плівкою.

Загальна тривалість процесу випаровування бензину зі збільшенням тиску впорскування від 18 до 150 бар зменшується з 98 град п.к.в. (див. рис. 1) до 59 град п.к.в. (див. рис. 3), що скорочує час на випаровування на 40 %.

Але збільшення тиску впорскування до 150 бар обмежено конструктивними особливостями паливного механічного насоса високого. Експериментальними дослідженнями визначено, що застосування армованої манжети дозволяє забезпечувати тиск впорскування до 100 бар.

При цьому збільшення інтенсивності випаровування палива на ділянці процесу впорскування палива значно випереджає інтенсивність випаровування палива на ділянках сумішоутворення під час взаємодії фронту бензинового струменя зі стінкою камери згорання й випаровування зі стінки камери згорання. Різка зміна інтенсивності випаровування палива за часом призведе до нерівномірного розподілу складу паливоповітряної суміші по об'єму, що знизить ефективність вигорання палива, сприятиме погіршенню економічності і зростанню викидів токсичних речовин у відпрацьованих газах – оксиду вуглецю та незгорілих вуглеводнів.

Найбільш раціональне збільшення тиску впорскування до рівня $P_{\text{впор}} = 50$ бар (див. рис. 2), що дозволяє використати конструктивні особливості паливної апаратури без значних переробок з збереженням її надійності. При цьому збільшення тиску впорскування дозволить покращити якість приготування паливоповітряної суміші у вигляді її однорідності, що сприятиме повному вигоранню часток палива та відповідно зниженню витрати бензину й зниженню кількості викидів токсичних речовин [4]. Також збільшення тиску впорскування до $P_{\text{впор}} = 50$ бар практично не потребує адаптації конфігурації камери згорання під розподіл паливної плівки по її поверхні.

Висновки. Представлений розрахунок процесу плівкового сумішоутворення у двотактному двигуні з іскровим запалюванням та безпосереднім впорскуванні дозволив визначити найбільш раціональний рівень підвищення тиску впорскування палива, який дорівнює $P_{\text{впор}} = 50$ бар. Забезпечення тиску впорскування $P_{\text{впор}} = 50$ бар не потребує зміни конструкції паливної апаратури впорскування та конфігурації камери згорання. При цьому збільшення тиску впорскування сприятиме зниженню загальної тривалості процесів випаровування палива та покращенню якості приготування паливоповітряної суміші, що позитивно впливатиме на повноту згорання палива та зниження викидів токсичних речовин у відпрацьованих газах.

Література:

1. Корогодский В. А. Организация рационального способа регулирования мощности в двигателе с искровым зажиганием. Двигуни внутрішнього згорання, Харків: НТУ "ХПІ", 2013. №1. С. 11-16.
2. Корогодский В. А. Повышение топливно-экологических показателей двухтактного ДВС с искровым зажиганием за счет совершенствования процессов внутреннего смесеобразования. Двигуни внутрішнього згорання, Харків: НТУ "ХПІ", 2013. № 2. С. 22-26.
3. Корогодский В. А., Стеценко О. Н., Ткаченко Е. А. Влияние расслоенного топливно-воздушного заряда на показатели сгорания двухтактного двигателя с искровым зажиганием. Збірник наукових праць українського державного університету залізничного транспорту, Харків: УкрДУЗТ, 2015. Вип. 154. С. 142-148.
4. Корогодський В. А. Визначення раціонального циклу та способу організації робочого процесу двигуна за навантажувальною характеристикою. Вісник ХНАДУ, 2020. Вип. 90. С. 80-94.

ПЕРСПЕКТИВИ ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ ДВЗ ШЛЯХОМ ПЕРЕХОДУ НА ВОДНЕВЕ ПАЛИВО

Нестер О. В.

аспірант кафедри двигунів внутрішнього згоряння, установок та технічної експлуатації

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

Забруднення довкілля, спричинене розвитком транспортної інфраструктури, є однією з актуальних глобальних проблем. За даними Міжнародної ради зеленого транспорту [6], транспортний сектор генерує 29 % від загальних викидів у Європі, з яких понад 70 % припадає на автомобільний транспорт. Автотранспорт є основним джерелом парникових газів, частка яких у ЄС становить 18 % для легкових автомобілів і фургонів та 5 % для автобусів і вантажівок. З 1990 року рівень викидів парникових газів від транспорту зріс на 33 %. В Україні автотранспорт генерує 12 % викидів парникових газів. Ці викиди сприяють зміні клімату, негативно впливають на здоров'я екосистем і уповільнюють розвиток біорізноманіття. Здебільшого, шкідливі викиди відбуваються в процесі експлуатації старих автомобілів з ДВЗ. Вони налічують понад 200 сполук, які чинять негативний вплив на довкілля: оксиди та діоксиди вуглецю, вуглеводні, оксиди азоту, свинець, сажа тощо. З метою зменшення вищезначених негативних наслідків викидів продуктів експлуатації автомобілів, у країнах ЄС активно посилюють заходи з декарбонізації, розробляють і поширюють альтернативні екологічні види автотранспорту, впроваджують податки на затори, створюють зони зі зменшеним рівнем викидів, встановлюють стандарти викидів (Євро 1-7), вимоги до якості палива тощо [1].

Однак, незважаючи на численну кількість проєктів, заходів та інших регламентуючих документів у світі і в Європі, потреба екологізації автотранспорту залишається відкритою. Одним зі способів вирішення цієї проблеми є застосування водневих технологій для автомобільних ДВЗ. Дослідження ефективності водневих двигунів порівняно із традиційними ДВЗ, підтверджує майже втричі вищу ефективність автомобілів на водневих паливних елементах [9]. При цьому, за умов забезпечення виробництва водню енергією, одержаною з неуглецевих джерел, викиди діоксиду вуглецю будуть практично відсутні. Водень можна виробляти з відновлюваних ресурсів, а також використовувати для зберігання енергії з непостійних джерел [3].

Водень є одним з найпоширеніших елементів Землі, із найвищим рівнем енергоємності. При цьому, в чистому вигляді водню практично немає у природі. Продуктом згоряння водню є лише вода. Одним з популярних шляхів його виробництва є електроліз, а для його одержання застосовують різноманітні джерела енергії – копалини, ядерну енергію, відновлювані технології тощо. За даними [3], нині половина з понад 50 млн тон виробленого водню отримана шляхом конверсії водяної пари із природним газом (48 %). Водень видобувають із нафти (30 %), вугілля (18 %), води (4 %). Правильним підбором паливних елементів для отримання водню можна практично повністю скоротити викиди діоксиду вуглецю. Водневі технології для автомобілів дають змогу підвищити рівень екологічності експлуатації двигунів із одночасною оптимізацією параметрів їхньої потужності та витрати палива.

Аналіз досліджень наукових праць підтверджує зацікавленість до водневих технологій для екологізації автотранспорту. Зокрема, розглядається зниження викидів, підвищення паливної ефективності та використання водню як екологічно чистого палива, що відповідає стандартам сталого розвитку.

У роботах [2, 4, 5] проаналізовані технологічні особливості запровадження водневих технологій, у тому числі для автотранспорту; у праці [7] розглянуто водневі технології у контексті розвитку відновлюваних джерел енергії.

Незважаючи на актуальність проблеми та широкий спектр пропозицій та рекомендацій вітчизняних і зарубіжних фахівців, в Україні досі не приділено достатньої уваги проблемі застосування водневих технологій і, зокрема, для автомобільних ДВЗ для забезпечення європейських стандартів експлуатації транспорту. В той же час розробки ДВЗ на водневому паливі успішно протестовано і навіть запроваджено в масове виробництво в більш розвинених країнах. Серед автомобільних гігантів, які активно впроваджують водневі технології, можна виділити: Toyota, Honda, Hyundai, BMW та Mercedes-Benz. Проте головним фактором стримування впровадження водневих технологій, є відсутність достатньої водневої інфраструктури.

Особливої уваги потребує питання підвищення екологічності автомобілів із ДВЗ, які були випущені раніше, адже навіть із запровадженням нових стандартів викидів їхня експлуатація триватиме. Дослідження свідчать, що одним із можливих рішень є дооснащення таких транспортних засобів додатковими водневими системами. Це дозволяє скоротити споживання вуглецевого палива до 18 %, зменшити викиди NOx до 20 % і знизити димність до 23 % згідно з проведеними дослідженнями в праці [8].

Висновки. 1. Водень є перспективним паливом, яке має потенціал для значного покращення екологічних показників транспорту, хоча й окремим викликом залишається модернізація існуючих автомобілів з ДВЗ. 2. Розвиток водневих технологій, які є стратегічно важливими для екологізації транспорту як в Україні, так і у світі, вимагає державної підтримки, створення необхідної інфраструктури та активного залучення наукових і промислових ініціатив у цьому напрямі.

Література:

1. Застосування водневих технологій для забезпечення європейських стандартів експлуатації автотранспорту / Козик В. В., Мрихіна О. Б., Данилович Т. Б., Стеців І. С., Гавриляк А. С., Мельник В. М. International Scientific Journal "Internauka". Series: "Economic Sciences". URL: <https://www.inter-nauka.com/uploads/public/16375967331424.pdf>

2. Бувалець М., Рулевська Т., Колесніков В. Стан впровадження водневих технологій на сучасному транспорті // Матеріали IX Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 14 – 15 квітня 2021, м. Вінниця.
URL: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/22023/material2018-31-36.pdf?sequence=1>
3. Воднева енергетика // Вікіпедія: Вільна енциклопедія.
URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B5%D0%B2%D0%B0_%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0#cite_note-35
4. Іщенко Б., Крива Є., Фірсов О., Колесніков В. Приклади впровадження водневих технологій // Матеріали I Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Сучасна наука: стан, проблеми, перспективи», 2020, м. Старобільськ, ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка».
URL: <http://dSPACE.luguniv.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/5387/1/197%20Kolesnikov%20V.O..pdf>
5. Риб'янець С. Р., Колесніков В. О. Розвиток та впровадження водневих технологій на автомобільному транспорті // Матеріали IX Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 14 – 15 квітня 2021, м. Вінниця.
URL: <http://dSPACE.luguniv.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/8608/230.%20Kolesnikov%20V.O..pdf?sequence=1>
6. Федерація роботодавців автомобільної галузі: Викиди від транспорту і як з ними боротися. URL: <https://fra.org.ua/uk/an/publikatsii/analitika/vikidi-vid-transportu-i-iaak-znimi-borotisia>
7. Cantarero M. M. V. Of Renewable Energy, Energy Democracy, and Sustainable Development: a Roadmap to Accelerate the Energy Transition in Developing Countries // Energy Research & Social Science, 2020. Volume 70. 101716.
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629620302917>
8. KALISINSKAS D., KERŠYS A. Improvement of diesel engine ecological and economic parameters by using hydrogen // Transport problems, Volume 8 Issue 3, 2013.
9. Lovins A. Twenty Hydrogen Myths.
URL: <https://rmi.org/insight/twenty-hydrogen-myths/>

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ФЕНОМЕНОЛОГІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЗГОРЯННЯ ПАЛИВА У ДИЗЕЛІ

Вахник С. О.

здобувач освіти

науковий керівник – **Митрофанов О. С.**, д-р. техн. наук,
доцент кафедри двигунів внутрішнього згоряння, установок та технічної експлуатації
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

На сьогодні для вирішення задачі з математичного моделювання процесу згоряння в дизельних двигунах розроблено та використовується три основні класи математичних моделей: 0-вимірні (однозонні моделі); квазі-багатомірні, багатозонні моделі (феноменологічні); багатомірні моделі.

У 0-мірних математичних моделях зміна параметрів процесу розглядається лише за часу τ , тобто $dx/d\tau = f(\tau)$ (швидкість тепловиділення у робочому циліндрі є функція тільки часу). Прикладами таких моделей є найбільш розповсюджена модель запропонована професором Вибе [2] та найперша розрахункова модель – Гриневецького-Мазинга [1]. Також до відомих 0-мірних моделей слід віднести модель Ватсона [3], модель Остена та Ліня [4], методику Вошні [5], методику Шипінського [6] і Вайтхауза-Вея [7]. Недоліками зазначених однозонних моделей є неможливість враховувати важливі фактори, що впливають на процес згоряння (форми КС, характеристики впорскування, а також потреба ідентифікації за наявними експериментальними даними, яка має виконуватися перед реалізацією розрахункових досліджень).

Квазі-багатомірні, багатозонні (феноменологічні) моделі процесу згоряння займають певну проміжну позицію та забезпечують максимальну точність, що робить їх досить перспективними для вирішення оптимізаційних задач та параметричних досліджень. Такі багатовимірні моделі дозволяють максимально повно описувати процес згоряння, враховуючи його нестационарність, 3-х мірність, турбулентність, дифузію та випаровування, тощо. Багатомірні моделі є основою в таких програмних комплексах, як FIRE, KIVA, VECTIS, Star-CD.

В останні роки були розроблені різні багатозонні феноменологічні моделі згоряння в дизелі на основі моделі паливного струменя. Хоча між ними багато спільного, але їх можна розділити на два основні типи

У першому типі моделей у струмені виділяються кілька характерних зон, відрізняються концентрацією палива та повітря. Для опису поведінки струменя використовується теорія турбулентних струменів. Геометрія струменя, швидкість просування її вершини, а також розподіл палива в поздовжньому та поперечному напрямках описуються емпіричними рівняннями.

У моделі запропонованій Н. Ф. Розлещевим [9], струмінь та її пристінковий потік розбиваються на зони виходячи з умов однакової умов випаровування усередині кожної зони. Загальна кількість зон – дев'ять (рис. 1).

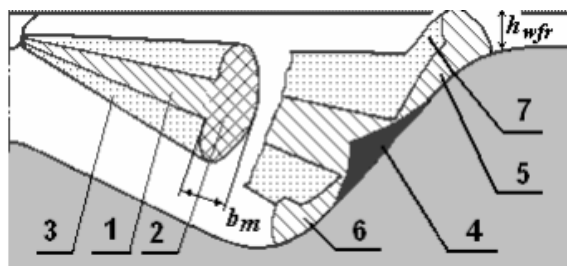


Рис. 1. Модель розвитку струменя, запропонована М. Ф. Разлєцевим, з позначенням характерних зон [9]:

1 – ущільнене осьове ядро вільного струменя; 2 – ущільнений передній фронт вільного струменя; 3 – розріджена оболонка вільного струменя; 4 – осьове конічне ядро пристінкового потоку; 5 – ущільнене ядро пристінкового потоку на поверхні поршня; 6 – ущільнений передній фронт пристінкового потоку; 7 – розріджена оболонка пристінкового потоку (ПП)

Умови випаровування між різними зонами суттєво відрізняються. Якщо у процесі розвитку струменя паливо потрапляє на дзеркало циліндра і на поверхню кришки циліндра, то поряд із згаданими, виділяються відповідні додаткові зони. Швидкість вершини струменя та кут її розкриття розраховуються за емпіричними залежностями. Враховується кут зустрічі струменя зі стінкою, розвиток пристінкового потоку в радіальному та тангенційному напрямках розраховується з урахуванням величини кута зустрічі струменя зі стінкою в обох площинах. Швидкість випаровування в кожній зоні залежить від діаметра крапель і характерної температури зони, в т.ч. температури навколишньої стінки. Модель реагує на такі негативні особливості суміші, як попадання палива на холодні стінки дзеркала циліндра і кришки циліндра, проте не враховує вплив повітряного вихору на розвиток вільного струменя та розвиток його пристінкового потоку.

У другому типі моделей струмінь ділиться на велику кількість зон (пакетів) як вздовж осі, так і в поперечному напрямку. У більшості випадків поздовжній поділ відповідає кроку за часом впорскування. Поперечний поділ на зони здійснюється або за умови рівномірного поділу тілесного кута конуса струменя з вершиною в сопловому отворі.

На сьогоднішній день з існуючих багатозонних феноменологічних моделей згоряння в дизелі найбільшу популярність отримала модель, запропонована Хіроясу [8, 10, 11]. Схема поділу струменя на зони, або пакети, як їх називає сам Хіроясу, представлена на рис. 2. Струмінь ділиться на безліч зон, що мають свої характерні значення температури, об'єму, маси палива та повітря.

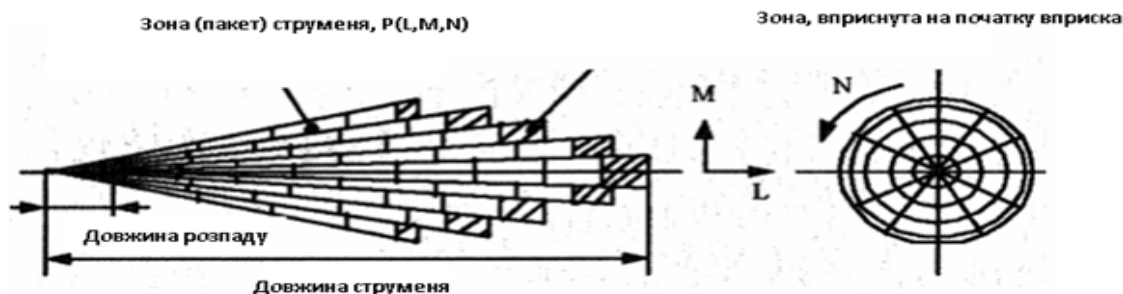


Рис. 2. Модель розвитку вільного струменя Хіроясу [8, 10, 11]

Рух кожної зони описується рівняннями збереження імпульсу. Поздовжнє поділ на зони здійснюється принаймні впорскування нових елементарних порцій палива – L , у поперечному перерізі зони виходять, при рівномірному розподілі тілесного кута в радіальному напрямку – M .

Таблиця – Порівняння моделей опису процесу згоряння

№ з.п.	Модель Хіроясу	Модель Разлєцева [9]
1	+ Геометрія струменя залежить від тангенціального вихору	– Геометрія струменя не залежить від тангенціального вихору
2	+ Розраховуються локальні температури і концентрації	– Локальні температури по зонах задаються як дані ззовні
3	– Не враховується масообмін між зонами	+ Враховується перерозподіл крапель палива між зонами

4	– Пристінковий потік (ПП) має форму кола	+ Форма ПП залежить від кута зустрічі струмені зі стінкою у двох площинах
5	– Не враховується структура ПП щодо товщина.	+ Враховується структура ПП за товщиною та протяжністю
6	– Не враховуються властивості поверхні під ПП	+ Враховується температура та властивості поверхні під ПП
7	– Не розглядається взаємодія між струменями	– Не розглядається взаємодія між струменями
8	– Не розглядається вплив вихору на ПП	- Не розглядається вплив вихору на ПП
9	– Не враховується перебіг поршня.	– Не враховується перебіг поршня.
10	– Не розглядається довільна форма КС та бічне розташування форсунки.	– Не розглядається довільна форма КС та бічне розташування форсунки

Висновки. 1. Встановлено переваги моделі Разлейцева для розрахунку та оптимізації сучасних дизелів та необхідності її доопрацювання для розширення сфери застосування. 2. Визначено, що модель Разлейцева повинна бути доопрацьована для можливості врахування впливу вихору на розвиток як вільного струменя, так і пристінкового потоку, утвореного після її зіткнення зі стінкою. 3. Визначено, що у розрахунковій програмі потрібно передбачити врахування положення поршня під час всього процесу сумішоутворення при визначенні точки осі струменя зі стінкою, передбачити можливість розрахунку ДВЗ з асиметричним розташуванням форсунки, з будь-якою формою камери згоряння, багаторазовим упорскуванням та значною рециркуляцією ВГ, а також забезпечити просту та нетрудомістку ідентифікацію математичної моделі.

Література:

1. Двигуни внутрішнього згоряння. Теорія поршневих і комбінованих двигунів / Д. Н. Вирубов [та ін.]; За ред. А. С. Орліна, М. Г. Круглова. – М.: Машинобудування, 1983. – 372 с.
2. Вибє І. І. Нове про робочий цикл двигунів. - М.: Машгіз, 1962. – 272 с.
3. Watson N., Pilley A. D., Marzouk M. A Combustion Correlation for Diesel Engine Simulation // SAE Tech. Pap. Ser. - 1980. - N 800029. – P. 1-19.
4. Austen A. E., Lyn W. T. Відносини між Fuel Injection and Heat Release in Direct Injection Engine and the Nature of the Combustion Process // Proc. Inst. Mech. Eng. – 1960-1961. – N 1. – P. 47-62.
5. Woschni G., Anisits F. Experimental Investigation and Mathematical presentation of Rate of Heat Release in Diesel Engines Dependent upon Engine Operating Conditions // SAE Tech. Pap. Ser. - 1974. - N 740086. – P. 1-18.
6. Shipinski J., Myers PS, Uyehara O. A Spray-Droplet Model for Diesel Combustion// Proc. Inst. Mech. Engrs. - 1969-1970. - V. 184, Part 3J. – P. 28-35.
7. Whitehouse N. D., Way R. J. A Simple Method for Calculation of Heat Release in Diesel Engines Based on Fuel Injection Rate // SAE Tech. Pap. Ser.- 1971. – N 710134. – P. 1-19.
8. Hiroyuki Hiroyasu, Toshikazu Kadota and Masataka Arai. Development and Use of a Spray Combustion Modeling to Predict Diesel Engine Efficiency and Pollutant Emissions // Bull. JSME. – 1983. – V. 26, N 214, Paper 214-12. – P. 576-581.
9. Процеси у перспективних дизелях / А. Ф. Шеховцов [та ін.]; За ред. А. Ф. Шеховцова. – Харків: Вид-во «Основа» при Харк. Ун-ті, 1992. – 352 с.
10. Experiments and Modeling on Spray Distributions in the Combustion Chamber of a Direct Injection Diesel Engine / Takuo Yoshizaki [et al.] // SAE Tech. Pap. Ser. – 1996. – N 961820. – P. 1-15.
11. Three-Dimensional Spray Distributions in a Direct Injection Diesel Engine / Takuo Yoshizaki [et al.] // SAE Tech. Pap. Ser. – 1994. – N 941693. – P. 45-56.

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗГОРЯННЯ СИНТЕЗ-ГАЗУ В ПОРШНЕВИХ ДВИГУНАХ

Митрофанов О. С.

д-р техн. наук, доцент кафедри двигунів внутрішнього згоряння,
установок та технічної експлуатації

Познанський А. С.

канд. техн. наук, доцент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування

Проскурін А. Ю.

канд. техн. наук, доцент кафедри двигунів внутрішнього згоряння,
установок та технічної експлуатації
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Інтерес до проблеми економії палива тепловими двигунами зростає з кожним роком у всіх промислово розвинених країнах світу. Використання невідновлюваних джерел енергії має низку негативних чинників, найбільш значущими з яких є економічний та екологічний. Так, з економічного боку, вартість генерації 1 кВт енергії з органічного невідновлюваного палива з кожним роком зростає через зниження запасів, а також ускладнення видобутку. З екологічного погляду, використання органічного невідновлюваного палива призводить до забруднення довкілля продуктами згоряння теплових двигунів і різних енергетичних установок, а також збільшення вмісту парникових газів, частка яких в атмосфері за останні роки стрімко зростає. Ці та багато інших чинників зумовлюють стрімке зростання популярності використання альтернативних палив в енергетиці та на транспорті.

Перспективними видами рідких альтернативних видів палив є спирти (метиловий, етиловий), біодизель, а газо-подібних – водень і водовмісний газ (синтез-газ) [1-6]. Застосування цих видів палива в транспортних енергетичних установках із двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ) зумовлено необхідністю внесення певних конструктивних змін до енергетичної установки, а також змін в організацію робочого циклу. Особливо це стосується застосування в енергетичних установках водню і синтез-газу. Незважаючи на всі труднощі, що пов'язані із застосуванням водню, перспективність його використання як палива для ДВЗ підтверджується значною кількістю досліджень і реалізованих проєктів енергетичних установок [7-14].

Метою дослідження є аналіз динаміки тепловиділення під час використання водневмісного газу та розробка адекватної математичної моделі, що враховує особливості цього процесу.

Аналіз динаміки тепловиділення для ДВЗ з іскровим запалюванням, що працюють на синтез-газі, реалізується методами математичного і фізичного моделювання. Правильно організований експеримент дає змогу отримати реальну картину процесів, що відбуваються в циліндрі ДВЗ, а математичне моделювання дає змогу істотно прискорити і здешевити процес проєктування і створення нового двигуна. Однак, у зв'язку зі складністю опису процесу згоряння, для забезпечення точності та надійності отриманих під час математичного моделювання результатів, модель необхідно доповнити емпіричними залежностями та коефіцієнтами.

Для опису процесу згоряння в поршневих двигунах досить широко застосовують розроблені ще у ХХ столітті емпіричні та напівемпіричні моделі (Б. М. Гончара, Б. П. Пугачова, К. Неймана, І. І. Вібе та ін.), які описують характер зміни кривої тепловиділення в робочому циліндрі ДВЗ [34, 37, 38]. Такі моделі мають відносну простоту опису й універсальність, а також є придатними для аналізу динаміки та розрахунку тепловиділення в циліндрі ДВЗ з іскровим запалюванням, що працюють на синтез-газі. З відомих моделей найбільшого поширення набула модель професора І. І. Вібе.

Завдяки своїй універсальності, простоті та достатній точності опису процесу згоряння модель професора І. І. Вібе знайшла своє широке застосування в таких всесвітньо відомих комерційних розрахункових програмах, як Lotus engineering software [39, 40]; Siemens AMESim [41]; AVL Boost [42]; Ricardo WAVE [43, 44]; GT-Power [45, 46].

На основі аналізу й опрацювання значної кількості експериментальних індикаторних діаграм різних двигунів, які працюють на синтез-газі із вмістом водню 30...100 % за об'ємом, пропонується для знаходження змінного в процесі згоряння значення m (рис. 1) використовувати рівняння прямої

$$m_i = a \cdot \varphi_i \cdot \frac{\varphi_z'}{\varphi_z} + b$$

де φ_i – поточне значення кута періоду згоряння; a, b – коефіцієнти рівняння прямої, що залежать від коефіцієнта надлишку повітря α (для діапазону зміни 1,0...2,2):

$$a = 0,2532 \cdot \alpha^3 - 1,2593 \cdot \alpha^2 + 2,0906 \cdot \alpha - 1,1149;$$

$$b = 0,659 \cdot \alpha^3 - 3,4831 \cdot \alpha^2 + 6,3403 \cdot \alpha - 2,1937.$$

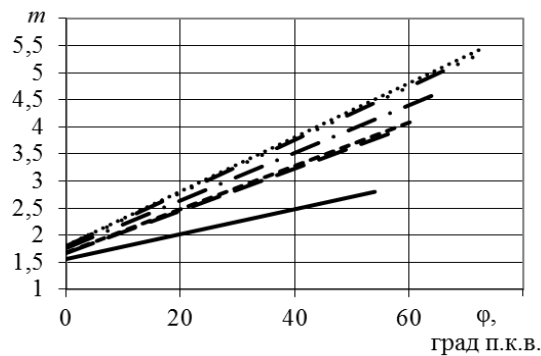
Для визначення тривалості згоряння φ_z у моделі І. І. Вібе на основі експериментальних даних для різних значень концентрації водню пропонується таке рівняння:

$$\varphi_z = \varphi_z' + \Delta\varphi;$$

$$\varphi_z' = -10,186\alpha^2 + 59,464\alpha - 4,1447;$$

$$\Delta\varphi = -434,6C_{H_2}^3 + 1080,2C_{H_2}^2 - 907,85C_{H_2} + 225,19$$

де C_{H_2} – концентрація водню в складі синтез-газу (вміст водню для діапазону 30...100 % за об'ємом).



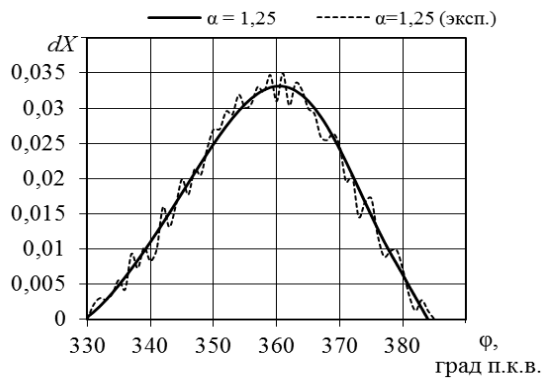
----- $\alpha = 1,25$; --- $\alpha = 1,34$; - - - $\alpha = 1,49$; - · - · - $\alpha = 1,63$; - · - · - $\alpha = 1,88$; $\alpha = 1,96$

Рис. 1. Зміна показника характеру згоряння m у процесі згоряння залежно від коефіцієнта надлишку повітря

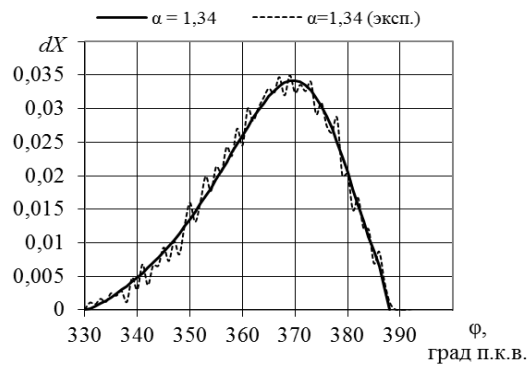
Виходячи з отриманих рівнянь для визначення m і φ_z , безрозмірна швидкість згоряння для двигунів з іскровим запалюванням, які працюють на синтез-газі, визначається таким чином:

$$\frac{dx}{d\varphi} = -\frac{C}{\varphi_z} \left(\frac{\varphi_i}{\varphi_z} \right)^{a\varphi_i+b} \cdot \exp C \left(\frac{\varphi_i}{\varphi_z} \right)^{a\varphi_i+b+1} \cdot \left(a\varphi_i \ln \left(\frac{\varphi_i}{\varphi_z} \right) + a\varphi_i + b + 1 \right)$$

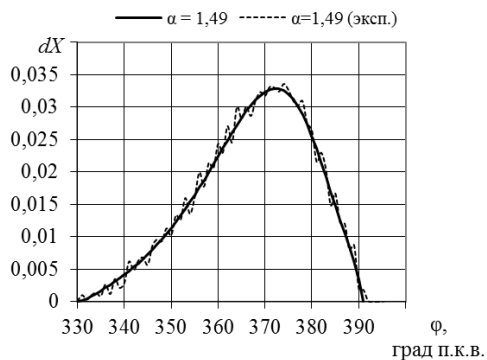
Перевірку адекватності запропонованої моделі процесу тепловиділення може бути виконано шляхом зіставлення експериментальних характеристик відносної швидкості згоряння і розрахункових (рис. 2).



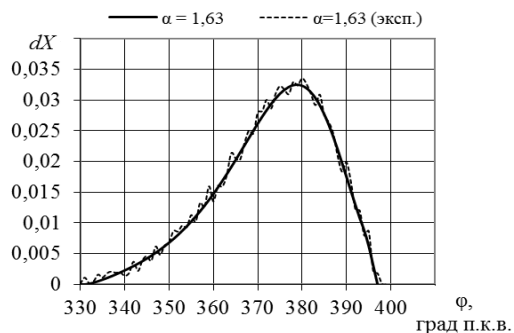
а



б



в



г

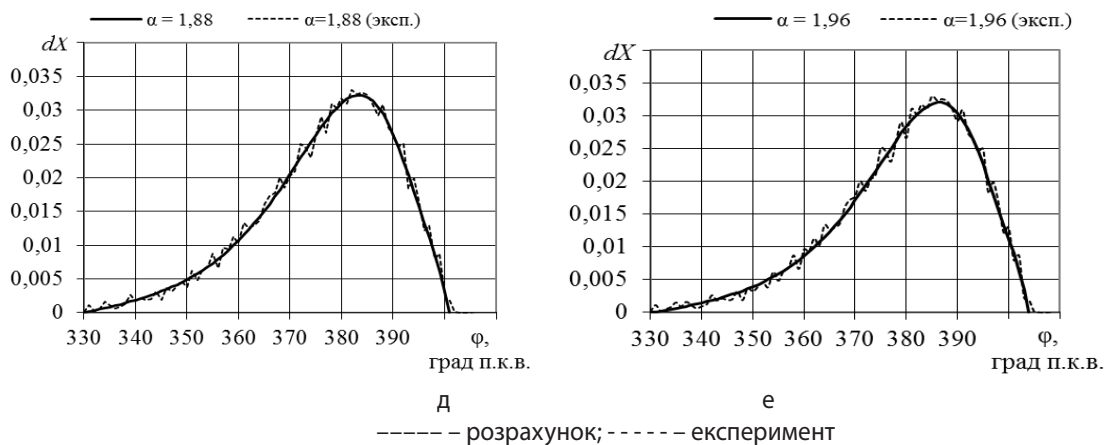


Рис. 2. Зіставлення експериментальних і розрахункових відносних характеристик швидкості згоряння при використанні синтез-газу з різним значенням коефіцієнта надлишку повітря а:

а – $\alpha = 1,25$; б – $\alpha = 1,34$; в – $\alpha = 1,49$; г – $\alpha = 1,63$; д – $\alpha = 1,88$; е – $\alpha = 1,96$

Застосування змінного показника характеру згоряння m і врахування впливу коефіцієнта надлишку повітря, а також вмісту водню в складі синтез-газу дало змогу отримати високе узгодження експериментальних і розрахункових кривих відносно швидкості згоряння паливоповітряної суміші. За умов використання запропонованих залежностей максимальна відносна середньоквадратична похибка визначення індикаторного тиску в циліндрі зменшується до 4,5 %, максимальне значення середньоквадратичного відхилення становило 27,6 кПа, а довірчий інтервал з імовірністю 0,95 не перевищує ± 54 кПа.

Висновки.1. Встановлено, що для двигунів з іскровим запалюванням, які працюють на синтез-газі, значення показника згоряння m у напівемпіричній моделі тепловиділення професора І. І. Вібе має змінний характер, що більшою мірою відповідає реальному закону тепловиділення під час експериментальних досліджень.

2. Експериментальні дослідження та математичне моделювання різних типорозмірів двигунів дало змогу встановити можливий діапазон зміни показника характеру згоряння m моделі професора І. І. Вібе, який склав 1,6...5,5.

3. Отримано залежності для визначення поточних значень m і тривалості згоряння φ_z для двигунів, які працюють на синтез-газі з діапазоном зміни коефіцієнта надлишку повітря 1,0...2,2 і варіюванням вмісту водню у складі палива 30...100 % за об'ємом.

4. Врахування особливості процесу згоряння синтез-газу в двигунах з іскровим запалюванням дало змогу значно підвищити точність визначення індикаторного тиску в циліндрі (відносна середньоквадратична похибка становила 4,5 %) і тим самим адекватно оцінювати енергетичні та економічні параметри роботи двигуна.

Література:

1. Марченко А. П. Сравнительная оценка эффективности применения растительных топлив в дизельном двигателе / А. П. Марченко, А. А. Прохоренко, А. А. Осетров, В. Смайлис, В. Сенчила // Двигатели внутреннего сгорания. – 2004. – № 1. – С. 46-51.
2. Lebedevas S. The change of operational characteristics of diesel engines running on RME Biodiesel. Parameters of thrust and fuel economy / S. Lebedevas, A. Vaicekaskas, G. Lebedeva, S. Kulmanakov, A. Shashev // Proceedings of 10th International Conference. Transport Means. – 2006. – pp. 229-233.
3. Шашев А. В. Особенности топливopодачи и сгорания топлива на основе рапсового масла // Двигатели внутреннего сгорания. – 2010. – № 1. – С. 32-35.
4. Shudo T. Influence of Reformed Gas Composition on HCCI Combustion of Onboard Methanol-Reformed Gases / T. Shudo, T. Takahashi // SAE Technical Paper Series. – 2004. – 8–10 June. – P. 23–31.
5. Shudo T. Combustion Characteristics of H₂–CO–CO₂ Mixture in an IC Engine / T. Shudo, K. Tsuga, Y. Nakajima // SAE Technical Paper Series. – 2001. – 5–8 March. – P. 105–115.
6. Sierens R. Experimental study of a hydrogen fuelled engine. Proceedings ASME Spring Engine Technology Conference / R Sierens, S. Verhelst // ICE 34-3. – 2000. – nr ICE-285. – P. 9–16.
7. Verhelst S. A study of the combustion in hydrogen-fuelled internal combustion engines / Verhelst S. // Department of Flow, Heat and Combustion Mechanics, Ghent University, 2005. – 222 p.
8. Kim J. M. Performance characteristics of hydrogen fuelled engine with the direct injection and spark ignition system / J. M. Kim, Y. T. Kim, J. T. Lee, S. Y. Lee // SAE. – paper nr 95249. – 1995.
9. Pol'ásek M. Application of advanced simulation methods and their combination with experiments to modeling of hydrogen fuelled engine emission potentials / M. Pol'ásek, J. Macek, M. Tak'ats, O. V'itek // SAE. – paper nr 2002-01-0373. – 2002.
10. Ma J. Simulation and prediction on the performance of a vehicle's hydrogen engine / J. Ma, Y. Su, Y. Zhou, Z. Zhang // Int. J. Hydrogen Energy, 28:77–83, 2003.
11. Sierens R. Experimental study of a hydrogen fuelled engine. Proceedings ASME Spring Engine Technology Conference / R Sierens, S. Verhelst // ICE 34-3. – paper nr. 2000-ICE-285. – pp. 9-16. – San Antonio. – 2000.
12. Kobayashi H. and Kawazoe H. Flame instability effects on the smallest wrinkling scale and burning velocity of high pressure turbulent premixed flames. 28th Symp. (Int.) on Combustion, pp. 375-382, 2000.

13. Lipatnikov A. N. Turbulent flame speed and thickness: phenomenology, evaluation, and application in multidimensional simulations / A. N. Lipatnikov, J. Chomiak // Progress in Energy and Combustion Science. – 28:1–74. – 2002.
14. Keck J. C. Early flame development and burning rates in spark ignition engines and their cyclic variability / J. C. Keck, Heywood J. B., and Noske G. // SAE. – paper nr 870164. – 1987.
15. Вибє И. И. Новое о рабочем цикле двигателей: Скорость сгорания и рабочий цикл двигателя / И. И. Вибє. – М. : МАШГИЗ, 1962. – 282 с.
16. Ramos J.I., Internal Combustion Engine Modeling / J. I. Ramos. – New York. : Hemisphere Publishing Corporation. – 1989.
17. Lindström F. Empirical Combustion Modelling in SI Engines / F. Lindström. – Stockholm: Department of Machine Design Royal Institute of Technology, 2005. – 72 p.
18. Chan K., Ordys A., Volkov K., Duran O. Comparison of Engine Simulation Software for Development of Control System // Modelling and Simulation in Engineering, 2013.
19. Pearson R. J., Bassett M. D., Fleming N. P., Rodemann T. Lotus Engineering Software – An Approach to Model-Based Design, 2000.
20. Amesim S. Top 10 analyses to run with Simcenter Amesim engine models and how to choose the most suitable one, 2019.
21. Grabowski L., Pietrykowski K., Wendeker M. AVL Simulation Tools Practical Applications. Lublin: Lublin University of Technology, 2012. 96 pp.
22. Kulkarni D., Patil A., Wagh J., Chougule S.D. Modelling of Internal Combustion Engine using GT Power // International journal of engineering research & technology, Vol. 8, No. 2, 2019.
23. Semin R.A.B., Ismail A.R. Investigation of Diesel Engine Performance Based on Simulation // American Journal of Applied Sciences, Vol. 5, No. 6, 2008. pp. 610-617.

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВИХ ДИЗЕЛЬНИХ УСТАНОВОК КОНТЕЙНЕРОВІЗІВ СЕРІЇ HMM NURI

Дратман С. С., Сарабун А. А., Купінець Л. К.

здобувачі освіти

науковий керівник – **Кузнецова С. А.**, канд. техн. наук,

доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

Розвиток контейнерного флоту [1, 2] підтверджує його попит та тенденції на збільшення вантажів, що перевозяться без зменшення швидкості. Це обумовлює розвиток контейнеровозів великою вантажомісткістю. Але дуже великі судна мають проблеми з проходженням через канали, наприклад Панамський, або можливістю обслуговування у портах. Тому судна 16 000 TEU є більш універсальними і на них також зберігається попит [1, 3]. До таких суден можливо віднести і серію з семи контейнеровозів, до якої входить і HMM NURI. Цій судно експлуатується під прапором Ліберії та доставляє товари з Китаю до Європи [4].

Для подібних контейнеровозів з основними габаритними характеристиками корпусу судна: довжині – 365...366 м; ширині – 48...51 м, висоті бортів – 29,85 м та осадці – 16...14,5 м та дедвейтом – 135...180 тис. т, за матеріалами 2019-2021 років [3], при швидкості руху близько 22 вузлів необхідно забезпечувати потужність 46360...46500 кВт головного двигуна при застосуванні одновальний з прямою передачею потужності на гвинт фіксованого кроку діаметром 10 м пропульсивної установки. В якості суднової електростанції використовуються чотири дизель-генератори (ДГ), їх потужність залежить від користувачів, особливу роль відіграє кількість контейнерів з рефрижераційними установками. Так сумарні потужності з урахуванням вимог резервування складають 9660...11500 кВт, у використанні можуть знаходитись чотири однакових ДГ чи по два з двигуном меншою кількістю циліндрів та два більшої. Котельна установка складається з одного допоміжного котла паропродуктивністю 5...8 т/год в залежності від району експлуатації та вантажів.

Тобто склад енергетичної установки доволі стандартний: пропульсивна установка складається з малооборотового дизельного двигуна, валопроводу та гвинта; електростанція з чотирьох ДГ, використовується допоміжний котел і можливо опріснювальна установка. Підвищення ефективності установок здійснюється за рахунок підвищення ефективності окремих елементів чи установок або за рахунок утилізації вторинних енергоресурсів. Ці заходи дозволяють зменшити витрати пального на установку у цілому, що і підтверджує підвищення її ефективності.

Для проведення аналізу ефективності СЕУ доволі часто обирають Energy Efficiency Design Index (EEDI) [5, стр 155] без та з ESDs

$$EEDI = \frac{(P_{ME} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME}) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE})}{f_i \cdot f_c \cdot f_j \cdot Capaciti \cdot V_{ref} \cdot f_w}$$

з ESDs та ВГ

$$EEDI = \frac{(P_{ME} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME}) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}) - (f_{ef} P_{Aef} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE})}{f_i \cdot f_c \cdot f_j \cdot Capaciti \cdot V_{ref} \cdot f_w}$$

де P_{ME} та P_{MCR} – експлуатаційна та номінальна потужності головного двигуна (ГД), кВт; де P_{AE} – сумарна потужність

дизель-генераторів, кВт; P_{AEff} – потужності ГД, що відбирається на ВГ, кВт V_{ref} – швидкість в залежності від навантаження ГД, вузли; C_{FME} та C_{FAE} – коефіцієнти кореляції між витратою палива і CO_2 для ГД та ДГ; SFC_{ME} та SFC_{AE} – питома витрата палива на ГД та ДГ, г/кВт-год; f_v, f_c, f_j – коефіцієнти що визначаються з урахуванням льодового класу, габаритів корпусу та призначення судна, його дедвейту та повної валової вантажомісткості; $f_{ef} = 0,94$ – коефіцієнти що втрати у ВГ.

Цей показник враховує ефективність пропульсивної установки та електростанції і не враховує заходи по підвищенню ефективності котельної установки та використанню опріснювальної установки. Тому будемо розглядати заходи підвищення ефективності, пов'язані саме з цими елементами СЕУ.

Фірмами виробниками ГД та ДГ, такими як MAN B&W та Wärtsilä розроблені ряд заходів для підвищення ефективності СЕУ за рахунок встановлення валогенератора (ВГ), що використовує надлишок потужності головного двигуна для отримання електричної енергії [6, 7]. Цей надлишок потужності обумовлено використанням системи Energy Saving Devices (ESDs) що поліпшує роботу гвинта та руля при застосуванні прямої насадки [8].

Метою роботи є оцінка застосування Energy Saving Devices (ESDs) та валогенератора на ефективність СЕУ на контейнеровозах серії HMM NURI.

Для визначення ефективності застосовано показник ефективності EEDI, а для порівняння використовуються дані EEDI з Significant Ship 2021 для контейнеровозу HMM NURI [3, стр 58]. Виконується порівняння застосування насадки на гвинт для поліпшення пропульсивних якостей та застосування насадки на гвинт та встановлення валогенератора з складом базової СЕУ на судні. Вихідна інформація по складу СЕУ при визначенні EEDI отримана з [3, стр 58; 4], данні по ГД та ДГ з урахуванням [9, стр 17; 10, стр. 24]: $P_{MCR} = 61830$ кВт та $P_{ME} = 46444$ кВт – номінальна та експлуатаційна, що відповідає 75,1 % навантаження від MCR, потужності ГД; $P_{AE} = 11500$ кВт; $SFC_{ME} = 158$ та $SFC_{AE} = 182$ г/(кВт-год) – питома ефективна витрата палива на ГД та ДГ при роботі по SFOC; $V_{ref} = 22,35$ вузлів швидкість при навантаженні 86,8% MCR, а при ME – 14 вузлів [4]; $CF_{ME} = CF_{AE} = 3,206$ – коефіцієнти кореляції між витратою палива і CO_2 для ГД та ДГ при роботі по SFOC; $f_c = R^{-0.7} - 0,014 = 0,78^{-0.7} - 0,014 = 1,176$, якщо $R < 0,98$ або якщо $R \geq 0,98$. Нажаль валова вантажомісткість цього судна не вказано, тому приймаємо по даним аналогічного судну наприклад CMA CGM TENERE $R = 159610/204285 = 0,78$ – це відношення дедвейту судна (т) до повної валової вантажомісткості (m^3). Для f_i приймаємо $f_{imin} = 1,0$, як мінімальне допустиме значення, інші коефіцієнти f_c, f_j також приймаємо рівним 1. $Capaci = 0,7 \cdot 180343 = 126304$ т – 70 % дедвейту контейнеровозів. При застосуванні насадки на гвинт зменшення потужності може скласти до 7 % [8] тоді $P_{ME} = 43193$ кВт (69,86 % від MCR) та $SFC_{ME} = 159$ г/(кВт-год), або при застосуванні ВГ йде на нього тоді зменшується потужність ДГ.

Отримано, що завдяки використанню системи ESDs EEDI зменшується на 0,72, а ESDs та ВГ на 0,86. Тобто встановлення додатково ВГ потребує обґрунтування з урахуванням кліматичних умов, навантаженням ГД, використання електричної енергії як на ходовому так і стоянковому режимах експлуатації судна. Також потрібно розглянути габарити ВГ та можливість його встановлення з акумуляторними елементами та можливість застосування накопиченої електричної енергії під час стоянки. Додатково також необхідно звернути увагу для застосування утилізації теплоти надувного повітря та газів за ГД та ДГ для підігріву живильної води котельної установки або застосування котла двох тисків та утилізаційного турбогенератора.

Література:

1. Тенденції розвитку світового ринку морських контейнерних перевезень [Електронний ресурс] Доступно за посиланням: <file:///C:/Users/Sveta/Downloads/436-Текст%20статті-934-1-10-20220510.pdf> [Перевірено: Жовтень 15, 2024]
2. Місткість світового контейнерного флоту зросла до 29,5 млн TEU в січні-червні 2024 року [Електронний ресурс] Доступно за посиланням: https://cfts.org.ua/news/2024/07/25/mistkist_svitovogo_kon_teynernogo_flotu_zroslo_do_295 mln_teu_v_sichni_chervni_2024_roku_79895 [Перевірено: Жовтень 15, 2024]
3. Significant Ship 2019-2021. [Електронний ресурс] Доступно за посиланням: <https://rina.org.uk/publications/significant-ships/> [Перевірено: Жовтень 15, 2024].
4. HMM NURI Container Ship, IMO 9869162 [Електронний ресурс] Доступно за посиланням: <https://www.vesselfinder.com/vessels/details/9869162> [Перевірено: Жовтень 15, 2024].
5. Горбов В. М. Основи суднової енергетики : збірник практичних завдань / В. М. Горбов, І. П. Єсін, В. С. Мітенкова. – Миколаїв : НУК, 2018. – 244 с.
6. Shaft generators for low speed main engines. MAN Enege Solutione.Future in the making [Електронний ресурс] Доступно за посиланням: https://www.man-es.com/docs/default-source/marine/tools/5510-0003-03ppr.pdf?sfvrsn=b570e4e5_12 [Перевірено: Жовтень 15, 2024]
7. Wärtsilä Shaft Generators. Generating electricity at sea [Електронний ресурс] Доступно за посиланням: <https://www.wartsila.com/marine/products/ship-electrification-solutions/shaft-generator> [Перевірено: Жовтень 15, 2024]
8. Energy Saving Devices [Електронний ресурс] Доступно за посиланням: <https://www.preciousshipping.com/wp-content/uploads/Energy-Saving-EN.pdf> [Перевірено: Жовтень 15, 2024]
9. Technical Documentation Project guide G95ME-C10.5 [Електронний ресурс] Доступно за посиланням: https://man-es.com/applications/projectguides/2stroke/content/printed/G95ME-C10_5.pdf [Перевірено: Жовтень 15, 2024]
10. INSTRUCTION MANUAL VOLUME ENGINE TYPE H32/40 [Електронний ресурс] Доступно за посиланням: <https://www.manualslib.com/manual/3054113/Hyundai-Heavy-Industries-Himsen-H32-40.html#manual> [Перевірено: Жовтень 15, 2024]

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНОЇ ТЕПЛОТИ ШЛЯХОМ ЗНИЖЕННЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ

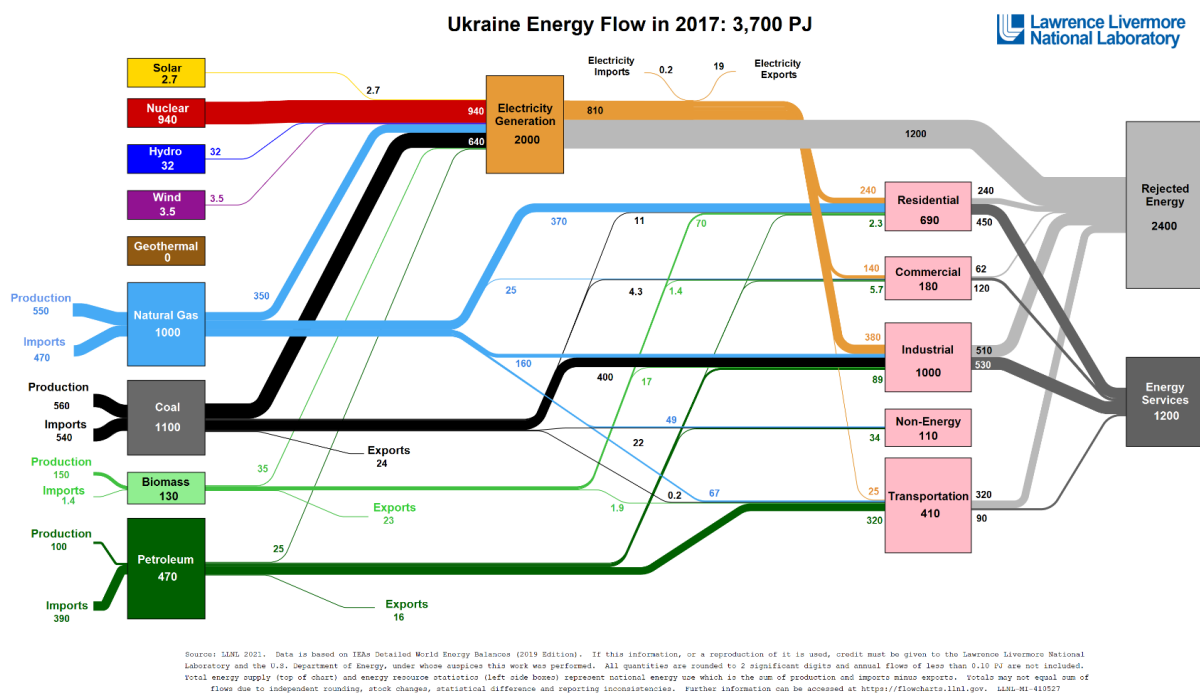
Боду Д. Ж.

аспірант Навчально-наукового центру морської інфраструктури
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Установки на базі двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) та інші енергетичні системи стикаються з викликами підвищення енергоефективності й зниження впливу на довкілля. Використання низькопотенційної теплоти відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) може значно знизити витрати на паливо та зменшити викиди CO₂. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю інтеграції ВДЕ у робочі процеси сучасних енергетичних установок, особливо в регіонах із високим сонячним потенціалом, таких як південь України.

Зниження нерівномірності теплових потоків є важливим завданням в підвищенні ефективності використання низькопотенційної теплоти, оскільки вища ефективність процесу відбору тепла від низькопотенційних джерел забезпечує більшу кількість тепла, яке відбирається від таких джерел й тим самим підвищує загальну ефективність процесу. Конкретні методи підвищення ефективності теплопередачі залежать від типу системи, що розглядається, природи джерела низькопотенційного тепла та його температури.

Постійно зростаюча потреба в енергії, зростаючі ціни на енергію та енергоносії та занепокоєння впливом на навколишнє середовище та клімат, таке як глобальне потепління, всі ці фактори змушують нас шукати «чистіші» та більш надійні джерела енергії. Збирання енергії є багатообіцяючим методом захоплення безкоштовного, доступного тепла від вільнодоступних навколишніх джерел та перетворення цієї енергії в корисну, таку як, наприклад, механічну, електричну чи теплову. З великої кількості джерел енергії, таких як сонце, вітер, приливи, випромінювання, тощо, саме термальна енергія є найбільш розповсюджена та усядищу. Це «безкоштовне» тепло в основному доступне в двох формах: відпрацьоване тепло та природне тепло. Згідно досліджень [1], близько 66% енергії, що використовується в Україні, є викинутою в навколишнє середовище. Втім, така тенденція зовсім не є унікальною для України й для переважної більшості країн світу варіюється в діапазоні від 59% до 70%. Тож проблема використання відпрацьованого тепла є дуже актуальною в світовій науці.



Останні дослідження показують, що велика частина термальної енергії є легкодоступною, як, наприклад, відхідне тепло, яке має температуру до 200 °C.

Низькопотенційне тепло, як у вигляді відпрацьованого, так і природного тепла, є надзвичайно перспективним джерелом відновлюваної енергії. Економічно ефективний метод рекуперації низькопотенційного тепла матиме трансформаційний вплив на загальний енергетичний сценарій. Ефективність теплових двигунів погіршується зі зниженням температури гарячої сторони, що робить низькопотенційну рекуперацію тепла складною та економічно невигідною з використанням сучасних технологій, таких як органічний цикл Ренкіна, цикл Каліни чи двигуни Стірлінга.

Хоча економіка часто обмежує доцільність застосування рекуперації до низькопотенційного відпрацьованого тепла, існують різні приклади застосування, де низькопотенційне тепло було економічно ефективно та виправдано

використано в виробничих процесах на промислових підприємствах. Великі обсяги тепла, доступного в діапазоні 38...200 °C та невід'ємні проблеми із його використанням вимагають окремого та глибокого дослідження утилізації такого низькопотенційного тепла [2].

Виклики до використання низькопотенційного відпрацьованого тепла:

Корозія поверхонь теплообмінників. Оскільки водяна пара міститься в відпрацьованих газах, при їх охолодженні нижче певного рівня, частина пари буде неминуче конденсуватись на поверхні теплообмінника. Тож теплообмінники мають виконуватись із врахуванням агресивного середовища, що тягне за собою збільшення вартості

Великі площі теплообміну необхідні для ефективної роботи. Ефективність процесу теплопередачі є функція теплопровідності, тепловіддачі, температурного напору між двома середовищами та площі теплообміну, при зниженні різниці температур між середовищами, виникає необхідність збільшувати площу теплообміну. Й це, відповідно, обмежує економічність теплообмінних апаратів.

Пошук використання для отриманого тепла. Використання тепла в низькотемпературному діапазоні призводить до отримання кінцевих температур в ще нижчому діапазоні. Тож виробництво повинне мати потребу в такій низькотемпературній теплоті. Або віддавати її назовні, наприклад, для підігріву води, або використання в системах опалення. Також існує можливість використовувати теплові насоси для підвищення кінцевої температури, вищої за температуру джерела низькопотенційного тепла, але це, зазвичай, тягне за собою суттєві збільшення первинних капіталовкладень.

Тому підвищення ефективності використання низькопотенційного тепла від різних джерел є важливим, але малодослідженим полем.

Існують різні методи використання низькопотенційного тепла [3], такі як термоелектричні (ефект Зеебека, ефект Пельтьє, ефект Томпсона), термомагнетичні, термоеластичні, піроелектричні, та вони мають доволі невисоку ефективність (окремі методи мають ефективність на рівні <10%), деякі – високу вартість через використання рідкісних матеріалів та елементів, інші – надто вузькі можливості до використання. Й хоча окремі методи мають свої нішеві застосування, де вони можуть бути ефективними, все ж, вони здебільшого не підходять для використання в більш широких задачах, котрі ставлять перед нами низькопотенційні джерела тепла, принаймні на даному етапі розвитку світових технологій.

Відпрацьоване тепло [3] та природне тепло складають величезний запас енергії, який може бути використаний для виробництва електроенергії для задоволення зростаючого попиту на енергію. Традиційні цикли, такі як Ренкіна та Каліни, зазвичай не є економічно ефективними, особливо для рекуперації низькопотенційного тепла. Та їх ефективність можна підвищити за рахунок зниження нерівномірності теплових потоків різними методами, такими як:

Використання теплових акумуляторів. Вони накопичують надлишкове тепло, яке потім може використовуватись в періоди зменшення теплових потоків від джерела. Вони також виступають як буферні ємності.

Використання буферних ємностей. Вони дозволяють стабілізувати температуру теплоносія у системах, які працюють із нерівномірними потоками тепла від джерела, наприклад, у сонячних колекторах. Вони відокремлюються від акумуляторів, так як останні мають суттєво більші об'єми робочого тіла та, як наслідок, більшу вартість.

Оптимізація теплопередачі. Використання регенеративних теплообмінників: Ці пристрої накопичують тепло від вихідного потоку і передають його вхідному потоку, що дозволяє вирівняти температури. Покращення конструкції теплообмінників: Використання багатоканальних теплообмінників або теплообмінників зі збільшеною поверхнею контакту для більш рівномірного розподілу теплових потоків.

Інтелектуальне керування процесом теплообміну. Використання автоматизованих систем із датчиками та алгоритмами, які оптимізують роботу системи в залежності від умов.

Застосування гібридних систем. Поєднання кількох джерел (теплові насоси, сонячні колектори, тощо), дозволяє вирівнювати теплові потоки, використовуючи відповідну систему в залежності від умов. Або використання систем в каскаді для підвищення характеристик кінцевого теплоносія, як приклад.

Зниження тепловтрат. Теплоізоляція трубопроводів та резервуарів для зменшення втрат тепла при транспортуванні.

Використання теплових насосів. Теплові насоси можуть працювати з низькотемпературними джерелами, такими як ґрунт, вода або повітря, забезпечуючи стабільний тепловий потік у системах опалення та гарячого водопостачання. Використання інверторних технологій дозволяє регулювати потужність теплового насоса залежно від потреб, що також допомагає вирівняти кількість тепла відповідно до потреб.

Для підвищення ефективності використання низькопотенційної теплоти в умовах півдня України, таких як Миколаїв, доцільно комбінувати кілька методів. Наприклад, використання сонячних колекторів з буферними ємностями, теплових насосів і автоматизованих систем керування може значно покращити стабільність теплових потоків, особливо у випадках, коли інтенсивність сонячного випромінювання є нерівномірною.

Література:

1. Lawrence Livermore National Laboratory, flowcharts [Електронний ресурс]. URL: https://flowcharts.llnl.gov/sites/flowcharts/files/styles/orig/public/ENERGY_2017_UKRAINE.png?itok=HrH1M2v7 (12.11.2024)
2. Waste Heat Recovery Technology and Opportunities in U.S. Industry. U.S. Department of Energy (Industrial Technologies Program); March 2008. – 112 с.
3. Ravi Anant Kishore Low-grade Thermal Energy Harvesting and Waste Heat Recovery: дис. ... Ph.D : 2018 – Машинобудування / Ravi Anant Kishore. – Вирджинія, США, 2018. – 406 с.

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ БІОЛОГІЧНОГО ПАЛИВА НА ІНДИКАТОРНІ ПОКАЗНИКИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА

Доценко С. М.

канд. техн. наук, доцент кафедри енергетичного машинобудування

Мусурін В. Ю., Хомич М. В.

магістранти кафедри енергетичного машинобудування

Первомайський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Первомайськ, Україна

Дизельні двигуни визначаються відносно високим рівнем викидів шкідливих речовин. Одним із варіантів використання даного типу двигунів є переведення їх на альтернативні палива з відновлювальних джерел енергії. В сьогоденні умовах серед рідких палив альтернативного походження особлива увага приділяється паливам отриманим в ході переробки рослинної сировини (біопалива), до переваг яких треба віднести: можливість відновлення запасів сировини, відносно дешевизну їх отримання, а також можливість отримання значних обсягів сировини, достатніх для забезпечення власних потреб [1-3].

В удосконаленні індикаторних показників ДВЗ найбільш важливо досягти максимально можливого відношення η/α , так як, при цьому спостерігається найбільш висока питома робота циклу, що характеризується середнім індикаторним тиском P_{mi} .

Це відношення називають показником якості протікання робочого процесу, так як він поєднує два важливих показників робочого циклу:

- індикаторний коефіцієнт корисної дії (ККД) η_i – показник досконалості перетворення теплоти палива в індикаторну роботу газів в циліндрі.

- коефіцієнт надлишку повітря α – показник досконалості процесу сумішоутворення та згоряння.

Відношення η/α і індикаторний ККД залежать від фізичних якостей палива, ступеню стиску, параметрів впорскування і розпилення палива, складу суміші, типу камери згоряння, характеру і інтенсивності руху заряду, режимів роботи та регулювання двигуна, а також параметрів повітря на впуску.

Сорт палива (а ми аналізуємо три види палива: дизельне, метиловий ефір ріпакової олії та суміш дизельного і ріпакової олії у пропорції 75/25 %), масовий склад та нижча теплота згоряння (табл. 1, 2) може впливати на індикаторні показники двигуна.

Таблиця 1. Масовий склад палива

№ п/п	Вид палива	С	Н	О
1	Дизельне	0,86	0,13	0,01
2	Метиловий ефір рапсової олії (МЕРО)	0,77	0,121	0,105
3	Рапсова олія	0,77	0,114	0,116
4	25 % РО + 75 % ДП	0,8375	0,126	0,0365

Застосування в двигуні палив облегшеного фракційного складу (в прикладі – МЕРО) веде до збільшення періоду затримки спалахування і швидкості тепловиділення у фазі швидкого згоряння. При цьому зростає максимальний тиск циклу та швидкість його наростання. Суміш в цьому випадку займає проміжне місце між дизельним паливом та метиловим ефіром ріпакової олії.

Важливою властивістю рослинних олій являється здатність змішування в різних пропорціях з більшістю органічних розчинників (в тому числі і з нафтопродуктами – бензином, дизельним паливом), що пов'язано з невеликою полярністю олій. Слід відмітити і хорошу співмірність різних рослинних олій між собою [2, 4].

Також особливістю рослинних олій являється наявність в їх складі достатньо великої кількості кисню (8...12 %). Це призводить деякому зниженню їх теплоти згоряння. Так, нижча теплота згоряння рослинних олій складає 36...39 МДж/кг проти 42...43 МДж/кг у дизельних паливах, які практично не містять кисню. Але присутність в рослинних оліях кисню знижує температури їх згоряння в дизельних двигунах і значно покращує екологічні властивості цих палив. В багато численних дослідях проведених на дизелях, які працюють на рослинних оліях, спостерігається зниження димності відпрацьованих газів і склад в них продуктів неповного згоряння палива [5, 6].

Таблиця 2. Нижча теплота згоряння палив

№ п/п	Вид палива	Нижча теплота згоряння палива Q_H , кДж/кг
1	Дизельне	42500
2	Метилловий ефір ріпакової олії	37400
3	Рапсова олія	37200
4	Суміш (25 % РО + 75 % ДП)	41000

Збільшення ступеню стиску в ряді випадків сприятливо впливає на роботу двигуна при використанні низькоцетанових палив (наприклад цетанові числа):

- для дизельного палива – не менше 45;
- для метилового ефіру ріпакової олії – не менше 48.

Пов'язано це із тим, що мінімально допустима ступінь стиску, яка вибирається із умови надійного пуску із холодного стану, достатньо висока.

При великих значеннях ступеню стиску, збільшення його не дає помітного підвищення тепловикористання, так як, зростання термічного ККД невелике. Але разом з тим збільшуються втрати теплоти в охолоджуючу воду і збільшується кількість повітря, яке знаходиться в «мертвих» зонах камери згоряння, наприклад – головою та втулкою робочого циліндру. Можуть при високій ступеню стиску також порушитися оптимальні умови сумішоутворення [2, 7].

Застосування в ДВЗ палив на основі рослинних олій має як переваги, так і ряд проблем, головною з яких залишається підготовка даного палива. Суттєві відмінності фізико-хімічних властивостей рослинного та нафтового палива, роблять неможливим запуск та експлуатацію дизеля без комплексу заходів щодо підготовки палива, які мають на меті забезпечити нормальну та надійну роботу паливної апаратури та дизеля в цілому [4, 8].

Висновок. Виходячи з вищевикладеного можемо зробити наступні висновки:

1. Основним параметром який впливає на індикаторні показники (при використанні ріпакової олії та суміш дизельного палива і ріпакової олії) є нижча теплота згоряння палива та його фракційний склад.
2. Найбільш ефективна заміна дизельного палива - це використання МЕРО. Суміш в цьому випадку займає проміжне місце між дизельним паливом та метиловим ефіром ріпакової олії.
3. Застосування в ДВЗ палив на основі рослинних олій потребує комплексу заходів щодо підготовки палива.

Література:

1. Доценко С., Грабовенко О. Перспективи та проблеми використання біопалива в дизельних двигунах // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці. Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв. 27-28.10. 2022. С. 175-177.
2. Грабовенко О., Доценко С., Нестеренко В., Швець І. Використання рослинної олії в якості палив в середньо оборотному дизельному двигуні // Двигуни внутрішнього згоряння. – 2021. № 2. С. 79-86.
3. Доценко С. Конвертація дизельних двигунів сільськогосподарської техніки для роботи на метиловому ефірі ріпакової олії // 36. наук. праць КНТУ.–Кіровоград : КНТУ, 2007. Випуск № 37. – С. 219-223.
4. I. Shvets, O. Hrabovenko, S. Dotsenko, V. Nesterenko. Results of the Experimental Research of the Medium Speed Diesel Engine Work on Soybean Oil // 24rd International Scientific Conference on Transport Means 2020: – Kaunas, Trakai, Lithuania, 2020. – pp. 671-675.
5. Доценко С. М., Грабовенко О. І., Швець І. А., Лисих А. Ю. Експериментальні дослідження екологічних параметрів дизельного двигуна при роботі на соєвій олії // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2023 – № 2-3 (491-492). – С. 49-56.
6. S. Dotsenko, V. Nesterenko, A. Lysykh, O. Hrabovenko, I. Shvets Mathematical modelling of emissions of toxic components of a medium speed diesel engine when operating on soybean oil // 27rd International Scientific Conference on Transport Means 2023 04-06.10.2023. – Palanga, Lithuania, 2023. – pp. 921-929.
7. Григурко І. О., Брендюла М. Ф., Доценко С. М. Технологія обробки типових деталей (курсове проектування) / «Новий світ – 2000», Львів, 2006. – 576 с.
8. Ошовський В. Я. Взаємодія рослинних олій з робочими контактними поверхнями деталей паливної апаратури дизельних двигунів / В. Я. Ошовський, О. І. Грабовенко, І. А. Швець // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : науково-технічний збірник - Кропивницький: ЦНТУ, 2019. – Вип. 49. – С. 186-193.

ANALYSIS OF POSSIBLE WAYS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF MARINE ENGINES

Ampilogov P., Iovenko V., Kovalchuk O., Kogdenko Y.

master's degree students of the educational program «Internal Combustion Engines»

scientific supervisor – **Tymoshevskyy B. G.**, Doctor of Technical Sciences, Professor of Internal Combustion Engines, Plants and Technical Maintenance Department Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine

The development of the modern engine industry is directly related to the improvement of fuel efficiency and reduction of exhaust gas toxicity. For example, the products of incomplete combustion of marine internal combustion engines contain

carbon monoxide, sulphur and nitrogen oxides, and particulate matter, which are extremely harmful to humans and the environment in general, while carbon dioxide CO_2 (which is not a directly harmful gas) increases the amount of greenhouse gases in the atmosphere [1]. Therefore, the requirements for emission standards for toxic substances from NG engines are increasing every year.

The most common ways to improve the efficiency and environmental performance of modern internal combustion engines are to improve the fuel supply and air supply systems. For example, all modern internal combustion engines are designed with increasingly higher boost pressures and more intensive cooling of the charge air, which, in turn, helps to improve engine efficiency, *ceteris paribus*. A decrease in the charge air temperature by every 10 °C leads to a decrease in specific effective fuel consumption by 2...3 g/(kW·h) and nitrogen oxide emissions by about 10 %.

In contrast to engines with external combustion, in diesel engines the fuel-air mixture is not completely homogeneous. This is primarily due to the pressure and duration of the injection process, the shape of the fuel spray plume (this is primarily influenced by the design of the injector nozzle), the injection advance angle, and the air excess ratio [2-4]. Therefore, to ensure compliance with modern standards of specific fuel consumption and emissions of harmful substances into the environment, it is necessary to improve the process of atomization, mixture formation and, accordingly, combustion in the engine cylinder. This can be achieved primarily by increasing the injection pressure, minimizing the unevenness of the flow across the cylinders and optimizing the injection advance angle according to the engine's operating mode.

These conditions can be met by using electronically controlled fuel accumulators (Common Rail). In accumulator fuel systems, the injection pressure is maintained constant regardless of the engine load (Fig. 1).

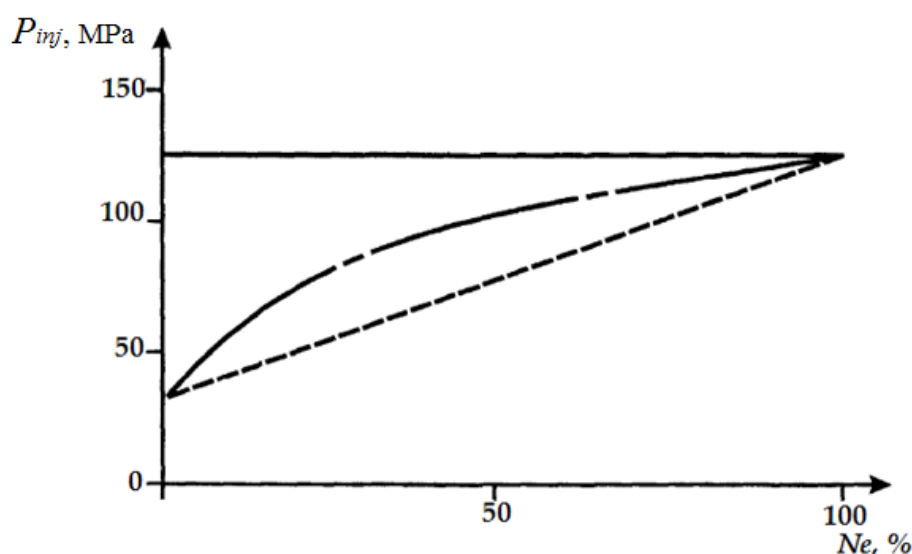


Fig. 1. Dependence of fuel injection pressure on engine load for different fuel supply systems:

----- direct-acting system when operating according to the helical characteristic; - - - - - direct-acting system when operating according to the load characteristic; ----- – battery injection system

This is ensured by the fact that the fuel of the fuel injection unit is first supplied to the battery (a large capacity), and then injected into the engine cylinder under constant pressure. Due to its large volume, the pressure in the accumulator remains almost constant.

Thus, the use of a battery fuel system together with electronic injection control provides a number of advantages [5, 6]:

- more flexible adjustment of the fuel delivery law and cycle fuel supply in accordance with the engine operating mode;
- ensuring the required uniformity of fuel supply depending on the thermal and technical condition of the working cylinder;
- cylinder shutdown at partial load conditions;
- engine diagnostics and emergency protection.

However, this fuel supply system is more complex and less reliable than the direct-acting system.

Conclusions. An analysis of the most common ways to improve the efficiency and environmental performance of internal combustion engines, namely, the improvement of fuel supply and air supply systems, is carried out. The main advantages and disadvantages of each of them are highlighted. It has been established that the characteristics and fuel injection pressure have a significant impact on the efficient operation and environmental performance of the engine, which can be ensured by using an electronically controlled battery fuel system. It is determined that with a simultaneous increase in injection pressure, the injection duration should not be reduced as much as possible, since the minimum NOx emissions at a minimum fuel consumption are achieved at the optimal injection duration.

References:

1. SOx and NOx abatement Today's technologies Frank Dames Wartsila Netherlands // Wartsila FJM Dames, 2007. 22 p.

2. Heywood John B. Internal Combustion Engine Fundamentals / John B. Heywood. New York.: McGraw Hill New York, 1988. 930 p.
3. Наливайко В. С. Суднові двигуни внутрішнього згоряння : Підручник / В. С. Наливайко, Б. Г. Тимошевський, С. Г. Ткаченко. Миколаїв : видавець Торубара В. В., 2015. 332 с.
4. Марченко А. П., Рязанцев М. К., Шеховцов А. Ф. Двигуни внутрішнього згоряння : серія підручників у 6 т. Т. 1. Розробка конструкції форсованих двигунів наземних транспортних машин / ред. проф. А. П. Марченко та засл. діяча науки України проф. А. Ф. Шеховцова. Харків : Прапор, 2004. 384 с.
5. Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є., Тимченко І. І. Автомобільні двигуни: Підручник / К.: Арістей, 2004. 474 с.
6. MAN B&W New HFO Common Rail System for Medium speed Diesel Engines // CIMAC Congress / Kyoto / Japan, 2004. 12 p.

СУЧАСНІ МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Познанський А. С.

канд. техн. наук, доцент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Новіков В. В., Писарєв В. М., Манзенко В. Я., Марченко А. М., Рябчевський Р. В.

магістранти

Первомайський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Первомайськ, Україна

Одним з шляхів підвищення ефективності технічного обслуговування, ремонту та підвищення експлуатаційної надійності та довговічності суднових дизелів є широке використання засобів технічного діагностування під час роботи суднових екіпажів, берегових підприємницьких дільниць та судноремонтних заводів [1].

До складу процесу діагностування входить визначення технічного стану дизеля у дану мить (тобто діагностування), у майбутньому (прогнозування) та оцінка технічного стану, у якому він знаходився у минулому (ретроспекція).

Головною є перша операція, тобто визначення технічного стану та справності дизеля. Це дозволяє проводити технічне обслуговування та ремонт дизелів по фактичному технічному стану та підвищує надійність їх роботи. При виконанні другої операції визначають залишковий ресурс справної роботи дизеля. Третю операцію діагностування використовують, наприклад, коли необхідно встановити наслідки аварійних відмов дизелів.

Експлуатація дизелів все більш базується на засобах контролю та діагностування їх технічного стану з використанням вимірювальної апаратури та обчислювальних засобів. Почата розробка нових засобів діагностування другого покоління та вже зроблені промислові зразки автоматизованих станцій діагностування двигунів на основі комплексу комбінованих інерційних стендів та системи вимірювальних перетворювачів знімання інформації по великій кількості параметрів [2].

Системи діагностування сучасних дизелів будуть переважно на базі електронно-обчислювальних машин (ЕОМ). При цьому використовують суднові ЕОМ або децентралізовані системи діагностування, які обробляють обмежену інформацію та оцінюють технічний стан окремих вузлів та агрегатів дизеля. Структурно системи діагностування зазвичай поєднують з системами діагностування централізованого контролю або виконують автономними. ЕОМ, які використовуються у системах діагностування відносяться до спеціалізованих або до універсальних міні та макро ЕОМ.

Система діагностування є специфічною системою управління, або контролю. Специфіка заключається в цілі управління (контролю), яка складається у визначенні технічного стану об'єкту дослідження. У відповідності з цим при розробці системи технічного діагностування повинні вирішуватись ті ж задачі, які зважаються при розробці будь-яких інших систем управління або контролю [3]:

- вивчення об'єкту, його можливих дефектів і при знаків проявлення останніх;
- вибір або побудова математичного опису (моделі) поведінки справного об'єкту і його несправних модифікацій;
- внесення при необхідності зміни в структуру і конструкцію об'єкту дослідження для забезпечення умов діагностування, які вимагаються;
- вибір або розробка засобів діагностування;
- розгляд і розрахунок характеристик системи технічного діагностування.

Суть технічного діагностування складається в розробці і практичній реалізації алгоритмів оцінки технічних станів об'єктів діагностування без їх розробки в робочих умовах.

Першорядне значення мають структурні властивості об'єкта діагностування. Ці властивості визначаються сукупністю елементів і зв'язків між ними, формуються при створенні системи і проявляються у процесі його роботи.

Енергетичну установку (ЕУ) можна розглянути, як складну систему, яка представляє собою об'єкт діагностування. ЕУ можна поділити на три рівні взаємопов'язаних системи, що розділяються між собою елементною властивістю і між елементними зв'язками. Перший рівень – це ЕУ в цілому, яка складається з агрегатів, пристроїв і механізмів, у яких послідовно відбувається закінчений цикл перетворень, або передачі енергії. Такі елементи системи представляють собою функціонально самостійні елементи (ФСЕ). На другому рівні аналізу ЕУ у якості об'єктів діагностування розглядаються функціонально самостійні елементи, з яких складається ЕУ. Елементами підсистеми цього рівня є деталі, або вузли. На третьому рівні структура функціонально самостійних елементів характеризується молекулярними зв'язками.

Порушення цих зв'язків призводить до появи у конструкційному матеріалі деталей устаткування тріщин, ерозійних і корозійних ушкоджень, розміри яких можна також врахувати структурними параметрами [4].

Переносні системи діагностування використовуються на суднових і стаціонарних дизельних установках з 1996 року. Накопичений великий досвід експлуатації, який дозволив створити високоефективний алгоритм «безфазової синхронізації» (БФС) – визначення ВМТ, НМТ і подальшої синхронізації даних, без використання датчиків на маховику. Алгоритм був розроблений і вперше застосований в переносних системах DEPAS. Параметри робочого процесу визначаються по трьох інформаційних каналах: процес згоряння, процес впорскування палива, фази газорозподілу (рис. 1).

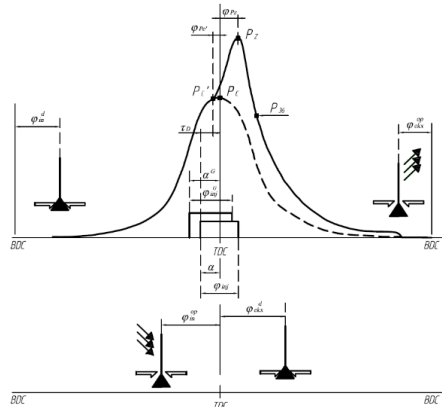


Рис. 1. Параметри робочого процесу дизеля, контрольовані системою

Основним вимірювальним елементом систем є датчик тиску газів в циліндрі дизеля PS-16. Датчик проводить вимірювання тиску в циліндрі двигуна під час робочого процесу. Дані використовуються для розрахунку індикаторної потужності циліндра і визначення основних параметрів робочого процесу.

Аналіз віброімпульсів різних вузлів паливної апаратури і циліндро-поршневої групи дизеля дозволяє визначити параметри подачі палива і газорозподілу. Вібродатчик VS-20 призначений для визначення фазових характеристик подачі палива і газорозподілу (рис. 2). Метод перетворення сигналу для остаточної обробки – двохнапівперіодичне детектування.

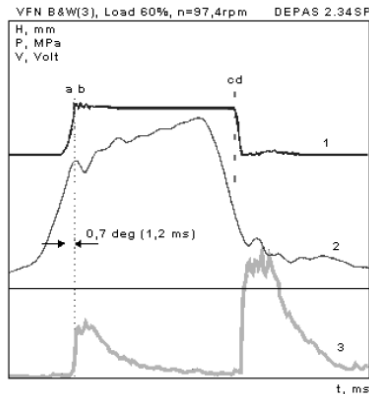


Рис. 2. Фазовий аналіз подачі палива:

1 – діаграма переміщення голки форсунки; 2 – діаграма тиску палива (датчик тиску PS-150); 3 – вібродіаграма форсунки (вібродатчик VS-20)

Алгоритм БФС дозволяє:

- автоматично враховувати вплив скручування колінчастого валу;
- автоматично враховує вплив невідповідності між істинним положенням ВМТ і маркіровки на маховику, виникаючого унаслідок можливої неточної маркіровки маховика, впливу зазорів в деталях КШМ і інших експлуатаційних чинників;
- автоматично враховує вплив кінцевої швидкості проходження хвилі тиску в каналі індикаторного крана;
- контролювати технічний стан паливної апаратури і циліндро-поршневої групи дизелів.

Висновок. Діагностування дозволяє виявляти приховані несправності та попереджати відмови, визначати необхідний об'єм планових ремонтних робіт, прогнозувати ресурс справної роботи дизелів та інше. Все це забезпечує значну економію витрат на змінно-запасні частини та матеріали для планово-попереджувальних робіт, підвищує строк служби та надійність дизелів. Таким чином, по діагностованим параметрам можна визначити працездатність і технічний стан об'єктів діагностування.

Література:

1. Гутаревич Ю. Ф. Випробування двигунів внутрішнього згорання: навчальний посібник / Ю. Ф. Гутаревич, А. О. Корпач, А. Г. Говорун. – К.: НТУ, 2013. – 249 с.
2. Neumann S. Marine diesels working cycle monitoring on the base of IMES GmbH pressure sensors data / S. Neumann, R. Varbanets, O. Kyrylash та ін. // Diagnostyka. – 2019. – № 20(2). – P. 19-26.
3. Варбанець Р. А. Особливості аналітичної синхронізації даних моніторингу робочого процесу транспортних дизелів в умовах експлуатації / Варбанець Р. А., Залож В. І., Тарасенко Т. В., Кучеренко Ю. М., Клименко В. Г. // Двигуни внутрішнього згорання. – 2020. – № 1. – С. 14-21.
4. Chirica I. Retrofit Solutions for Green and Efficient Inland Ships / Chirica I., Presura A., Anghelută C. M. // Journal of Physics: Conference Series. – 2019 – Vol. 1297, 5th International Scientific Conference SEA-CONF. pp. 17-18.

ПІДВИЩЕННЯ ПОТУЖНОСТІ АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАКИСУ АЗОТУ

Познанський А. С.

канд. техн. наук, доцент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Марченко М. В., Сторожук В. В., Сухий Р. В., Федоркова І. М., Скирда І. В.

магістранти
Первомайський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Первомайськ, Україна

Одним з напрямів вдосконалення двигунів є підвищення його літрової потужності. При русі транспортних засобів з'являються ситуації, коли необхідно підвищувати потужність двигуна на нетривалий період часу. Існують різні способи підвищення потужності (наддув, охолодження наддувочного повітря та інше). В даній роботі розглянуте питання форсування двигуна серійного легкового автомобіля без особливих конструктивних змін і без зміни основних геометричних параметрів робочого циліндру [1, 2].

На сьогоднішній день використання систем закису азоту для моментального збільшення потужності двигуна - єдина можливість для різкого підвищення потужності. Причому мова йде не тільки про вузькоспеціалізовані гоночні машини. N2O можна розглядати як варіант для більшості користувачів, хто хоче отримати велику віддачу від свого мотора, що використовується в повсякденних поїздах [4]. Компанії, систем підвищення потужності, що спеціалізуються у виробництві на основі N2O, пропонують значний список обладнання найвищої якості. Ці системи досить прості і надійні в установці і експлуатації. Система закису азоту дає максимальну віддачу вкладень при мінімальній зміні двигуна.

Системи впорскування закису азоту, ймовірно, найбільш ефективний спосіб збільшити потік кисню, а відповідно і палива в двигун. Це основна причина, по якій N2O системи дають таке велике збільшення потужності в порівнянні з іншими способами [3]. Азот – один з небагатьох елементів, утворюючих велике число оксидів всіх можливих мір окислення. Одним з них і є закис азоту (оксид азоту I) N2O.

У легкових автомобілях закис азоту звичайно зберігається в алюмінієвих балонах різної величини (від 2,5 lbs до 20 lbs) в (в рідкому стані і під високим тиском. З балона у впускному тракті рідина згідно з фізичними законами перетворюється в газ, відбувається через зміну середовища - після балона з високим тиском (1000 p.s.) попадає у вакуум впускного трубопроводу. Ця зміна називається азотистим «кипінням». Схожий процес можна спостерігати в системі охолодження двигуна. Вода не закипає в ній, тому що знаходиться під тиском, однак якщо відкрити пробку радіатора, то вода відразу ж почне википати. Також саме відбувається із закисом азоту - при вивільненні з балона рідина стає газом. Розширення і закипання азоту вивільняє енергію, яка вивільняється у впускному тракті і вбирається в оточенні повітря/газ. Кінцевим підсумком процесу стає холодна, щільна, насичена киснем суміш - ідеальний рецепт для виробництва більшої енергії. Оскільки закис азоту вводиться таким способом, то воно розширюється і повністю розпилюється на атомному рівні. Саме в такому вигляді газ попадає в камеру згорання і як наслідок - вихідна потужність збільшується. Закис азоту (хімічна формула N2O) включає два атоми азоту і один кисню, а висока температура (біля 200 градусів) в камері згорання руйнує зв'язок між атомами. Без температури атоми залишаються разом і не зіграють своїй ролі в процесі згорання, а за рахунок атома кисню в закисі суміш виходить більш збагаченою киснем, ніж повітря. Гази звичайно розглядають в термінах «моль» (хім.). Відповідно, кількість моля може змінюватися в залежності від атомної маси молекули, що розглядається. А нас в двигуні цікавить не кількість, а об'єм. Моль будь-якої суміші займає 22,4 літри при нормальному атмосферному тиску і температурі. Також, всі газу мають однаковий молярний об'єм в подібних умовах. Так, якщо балон випускає 2 моля повітря, то і об'єм азоту буде той же. Повітря містить 21 % кисню, «нітро» – 50 %. Двом кожним молям закису азоту (нітро-оксид N2O), вміщених в балон, видають два моля азоту (N2) і один моль кисню (O2), представленого рівнянням: $2N_2O \Rightarrow 2N_2 + O_2$. Тут і приховується перевага закису азоту. Оскільки кожний моль має однаковий об'єм, то два моля «нітро», що вивільняються з балона, стають трьома в процесі згорання. Подальше збільшення тиску в камері згорання ще збільшує потужність двигуна.

Застосування форсунок з електронним керуванням сумішоутворення дає змогу: підтримувати оптимальний склад паливоповітряної суміші й оптимальне наповнення циліндрів на різних режимах роботи двигуна; збільшити паливну економічність і зменшити вміст шкідливих сполук у відпрацьованих газах; підвищити надійність системи живлення, а також полегшити обслуговування й діагностику [4].

Система впорскування палива «L-Jetronic» – найдосконаліша система (рис. 1), оскільки підвищує економічність і поліпшує динаміку автомобіля, знижує токсичність відпрацьованих газів. Вона найбільш вдала для електронного регулювання впорскуванням закису азоту для підвищення потужності двигуна. Доза палива визначається електронним блоком керування залежно від маси всмоктуваного повітря (об'єму, тиску, температури), температури двигуна та режиму його роботи. Кожний циліндр має свою форсунку з електромагнітним керуванням, яка впорскує паливо перед впускним клапаном. Упорскування узгоджено з частотою обертання колінчастого валу двигуна. Інформація про частоту обертання передається в електронний блок керування від контакту переривника (системи запалювання з контактним керуванням), від затискача котушки запалювання або затискача комутатора (для безконтактних систем запалювання) [5].

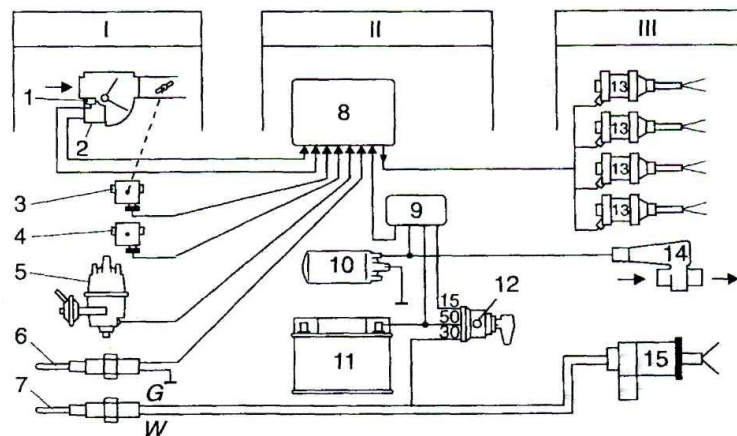


Рис. 1. Функціональна схема керування системою впорскування палива «L-Jetronic»

I – пристрій вхідних параметрів (1 – датчик температури всмоктуваного повітря; 2 – витратомір повітря; 3 – вимикач положення дросельної заслінки; 4 – висотний коректор; 5 – датчик-розподільник запалювання; 6 – датчик температури охолодної рідини; 7 – термореле); II – пристрій керування й забезпечення (8 – електронний блок керування; 9 – блок реле; 10 – паливний насос; 11 – акумуляторна батарея; 12 – вимикач запалювання); III – пристрій вихідних параметрів (13 – робочі форсунки; 14 – клапан додаткового повітря; 15 – пускова форсунка)

Об'єм повітря, що проходить, цілком визначається положенням дросельної заслінки (навантаженням двигуна) й вимірюється витратоміром. Останній не враховує лише повітря, яке проходить обвідним каналом, що використовується для СО-регулювання.

Інформація про тепловий режим двигуна надходить від датчика температури охолодної рідини. Інформацію про навантажувальний режим двигуна в блок електронного регулювання видає вимикач положення дросельної заслінки. Інформація складається із сигналів: «холостий хід», «часткові навантаження», «повне навантаження». Якщо дросельна заслінка закрыта, то двигун працює на холостому ході, контакти холостого ходу замкнені, а в електронний блок керування подається відповідний сигнал. Так само передається інформація про повне навантаження двигуна, тільки в цьому разі контакти розімкнені. Сигнал про часткове навантаження формується за допомогою потенціометра.

Висновок. При впровадженні нової системи підвищення потужності з використання закису азоту (N_2O) потужність двигуна збільшилась до 78 кВт в порівнянні з 70,2 ($\Delta N = 11,4$ кВт).

Реалізація розроблених пропозицій щодо форсування двигуна 4Ч 7,6/8,0 без особливих конструктивних змін і без зміни основних геометричних параметрів робочого циліндру дозволить без проблем підвищувати потужність двигуна на нетривалий період часу.

Література:

1. Автомобільні двигуни: Підручник / Ф. І. Абрамчук, Ю. Ф. Гутаревич, К. Є. Долганов, І. І. Тимченко – К.: Арістей, 2004. – 476 с.
2. Основи теорії та конструкції автомобільних двигунів: друге видання: навч. посібник / В. І. Захарчук. – Луцьк: Машинобудування, 2011. – 236 с.
3. Марченко А. П., Парсаданов І. В., Товажнянський Л. Л., Шеховцов А. Ф. Двигуни внутрішнього згоряння. Т.5 «Екологізація ДВЗ». – Харків: «Прапор», 2004.
4. Gou M., Detung B., Guerneer C., St-Germain P. Performance of a single cylinder engine fueled by a mixture of natural gas and gasoline // SAE Tehn. Paper Ser. – 1990. – № 900585. – pp.1-7.
5. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т.1. Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин. Харків: Видавн. центр НТУ «ХПІ», 2004. – 492 с.

IMPROVING FUEL EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL COMPATIBILITY OF MARINE DIESEL ENGINES THROUGH FUEL TREATMENT WITH MAGNETO-HYDRODYNAMIC ACTIVATORS

Kostiantyn Huryn

postgraduate of Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine

Andrii Andreiev

Candidate of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Ship Engineering and Power Engineering of the Kherson Educational and Scientific Institute of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Kherson, Ukraine

The experience of operating diesel engines, primarily marine engines, on high-viscosity diesel fuel has revealed many significant technical, economic, and environmental disadvantages [1, 2]: deterioration of the organization of the work process in diesel engine cylinders; an increase in the number of carbon deposits on the working surfaces of nozzle sprayers and parts of the cylinder-piston group (CPG); increased wear of CPG parts, fuel equipment, and the diesel exhaust system; increased labor costs for maintenance and repair of diesel mechanisms and devices; increased toxicity of exhaust gases.

One of the ways to increase the efficiency of diesel fuel equipment is magnetic and cavitation fuel treatment in the fuel supply system. These fuel treatment methods are most effective when using high-viscosity fuel oils in diesel engines obtained from residual oil refining fractions [3]. Fuel oil contains the heaviest hydrocarbon fractions, products of thermal cracking, oxidation, polymerization, coking, non-combustible mineral substances, metals, ash, mechanical impurities, and water [4].

One of the promising non-traditional methods of fuel processing is magnetic processing. Using a permanent magnetic field reduces diesel fuel consumption, the content of unburned hydrocarbons, and carbon monoxide in exhaust gases, increasing engine operation's thermal effect. However, the number and content of scientific publications on the topic of combined magnetic and cavitation fuel processing are insufficient to determine the feasibility and effectiveness of using this innovative technology in marine internal combustion engines, which determined the purpose of the study: increasing the efficiency of marine diesel engines by treating fuel with magneto-hydrodynamic activators.

The mineral mass of fuel oil contains a significant amount of metals, including vanadium, the oxides of which cause intensive corrosion of metals, which leads to the destruction of the heating surfaces of the CPG. Ash formed during fuel oil combustion, deposited on the surfaces of diesel engine parts, causes accelerated wear of friction surfaces, making it difficult to remove heat from the cooling media. Quality analyses of fuel oil stored in tanks at oil depots show that the water content in fuel oil can reach 10...15 %. With such a water content, fuel oil is subject to special treatment, which allows for improving its quality characteristics and the possibility of using it as diesel fuel. When processing fuel using intensive magnetic and cavitation processes, the degree of dispersion of particles of residual fractions increases, and conglomerates of fuel oil polymerization products are destroyed.

The mechanism of influence of magnetic treatment on oil systems is considered in many literary sources. Magnetic treatment reduces density, viscosity, and surface tension. It increases the degree of fuel dispersion, which leads to the formation of smaller droplets in the fuel-air mixture, their mixing with the hot gas-air medium, and, as a result, the complete combustion of the fuel-air mixture.

The effect of cavitation is accompanied by micro-explosions, ultrasound, mechanical cuts, and collisions under the influence of hundreds of cutting pairs moving towards each other at high linear speed. The magnitude of this speed is several tens of meters per second, which makes it possible to cut the dispersed substances into tiny microparticles [5, 6].

Under the influence of cavitation in highly viscous fuels, hydrocarbon molecules are split into lighter, active radicals, which lead to an improvement in the main qualitative characteristics of the fuel: a decrease in viscosity by four or more times, a reduction in density to 3 %, a decrease in the flash point by an average of 30 %, and grinding of contractional fractions. In the flow volume in the cavitation flow mode, intensive homogenization of the liquid occurs to create a finely dispersed water-fuel emulsion (WFE) with a size range of water phase particles of 1...5 microns. During experimental studies, it was found that as a fuel, WFE with a 5...10 % water content accelerates the combustion process by 5...6 times. More complete and accelerated fuel combustion protects the parts of the CPG and the exhaust gas system tract from contamination by combustion products. It reduces the abrasive wear of their surfaces. The need to include devices in the fuel preparation system that allow for magnetic and hydrodynamic (cavitation) fuel treatment is justified by a number of studies and the results of the long-term operation of diesel engines on WFE.

The main parameters of the influence of a constant magnetic field on the fluid flow (magnetic treatment), which affect its effectiveness, are magnetic induction, flow velocity in the active zone, number of magnetic field intersections, and medium temperature. In practice, the value of magnetic induction is changed from 0.05 to 1.3 T. The gap size varies from 0.003 to 0.02 m, and the number of active zones is 2 to 4. The most significant effect of the magnetic field is when the speed of crossing the active gap by hydrocarbon raw materials is in the range of values from 0.01 to 1 meter per second. The active gap's residence time can vary from a fraction of a second to several minutes. An important point is the condition of the magnetic field lines' perpendicular intersection and the direction of the fluid flow. The results of previous studies

demonstrate the influence of the magnetic field strength and linear flow velocity in the active gap on the performance of a diesel engine [7].

The theoretical significance of the predicted results:

- in the combined magnetic and cavitation treatment of high-sulfur fuel, it is advisable to use first the cavitation part in the magnetic-hydrodynamic activators, then the intermediate part for normalizing the flow, and then the final magnetic part in the low-moving volume of fuel.

The practical significance of the predicted results:

- the relationship that must be established between the magnetic field strength, geometric indicators of the cavitation part of the device, and the improvement of the qualitative characteristics of the fuel will allow determining the optimal attributes of magnetohydrodynamic activators, which will ensure maximum fuel efficiency of the diesel engine in a wide range of operational loads;

- the technology of combined magnetic and cavitation treatment of high-sulfur fuel is advisable to use in the development of magnetic-hydrodynamic activators, and recommendations for determining their optimal magnetic field strengths and geometric characteristics - in the design of fuel preparation systems for marine diesel engines.

Conclusions. Fuel costs constitute a significant share of the cost of production. That is why improving fuel-saving technologies has a substantial economic and social effect. When processing fuel using intensive magnetic and cavitation processes, the degree of dispersion of particles of residual fractions increases, and conglomerates of fuel oil polymerization products are destroyed.

Combined magnetic and cavitation treatment of high-viscosity fuels in the fuel supply system of marine diesel engines is an effective way to increase the operational efficiency of fuel equipment, which can provide:

- reduction of fuel viscosity and density, which reduces the number of friction forces in precision pairs of the fuel equipment, helps reduce their overheating and jamming, and the formation of carbon deposits on the surfaces of nozzle atomizer elements;

- reduction of the flash point, which significantly improves the ability of fuels to self-ignite, which determines the subsequent combustion process and the level of thermal and mechanical stresses in the parts of the CPG;

- reduction of the size of solid impurities in the fuel, which reduces the likelihood of burrs on the surfaces of precision pairs, corrosion of parts of the fuel equipment, the CPG, and the exhaust system, increasing their resource;

- homogenization of watered fuels to reduce the particle size of the water phase to 1 – 5 microns, which makes it possible to use them without the negative impact of the water component on the precision pairs of fuel equipment, without causing disruptions in operation.

It is planned to implement the study results on a group of marine diesel engines in the power range of 180...4600 kW, ensuring a reduction in fuel consumption by 100...600 kg per day.

References:

1. Gorbov V. M. Marine Engineering Encyclopedia : Study Guide / V. M. Gorbov, S. I. Serbin, V. S. Mitienkova; editing by V.M. Gorbov. Mykolaiv : publisher Torubava V.V., 2017. 200 p.
2. Суднова енергетика та Світовий океан: Підручник / В. М. Горбов, І. О. Ратушняк, Є. І. Трушляков, О. К. Чередніченко; За ред. В. М. Горбова. Миколаїв: НУК, 2007. 596 с.
3. Наливайко В. С. Суднові двигуни внутрішнього згоряння : Підручник / В. С. Наливайко, Б. Г. Тимошевський, С. Г. Ткаченко. Миколаїв: видавець Торубара В. В., 2015. 332 с.
4. Горбов В. М. Енергетичні палива: Навчальний посібник / В. М. Горбов. Миколаїв: УДМТУ, 2003. 328 с.
5. Sagin, S. V., Solodovnikov, V. G. (2015). Cavitation Treatment of High-Viscosity Marine Fuels for Medium-Speed Diesel Engines. *Modern Applied Science*, Vol. 9, No. 5, pp. 269-278. doi:10.5539/mas.v9n5p269 URL: <http://dx.doi.org/10.5539/mas.v9n5p269>
6. Solodovnikov V. G. Cavitation treatment of fuels for Marine internal combustion engines / V. G. Solodovnikov // Збірка матеріалів наук.-техн. конфер. «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 24.03.2015–26.03.2015. Частина 2. Одеса : ОНМА, 2015. С. 11-16.
7. Андреев А. А. Застосування магнітної обробки палива для суднових енергетичних установок / А. А. Андреев, В. І. Максимов // Сучасні проблеми холодильної техніки та технології : Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-технічної конференції. Одеса: ОНАХТ, 2017. С. 230.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ ТИПУ BOX COOLER В СИСТЕМАХ ОХОЛОДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Козирко О. А.

аспірант кафедри турбін
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

У глобальних умовах зростаючої світової економічної конкуренції та посилених вимог до екологічної сталості дедалі більшого значення набувають задачі підвищення енергоефективності енергетичного обладнання, а також систем його охолодження. Основною метою є зниження споживання енергії, скорочення викидів вуглекислого газу та оптимізація витрат на виробництво, експлуатацію і технічне обслуговування.

У цьому контексті особливу увагу привертають теплообмінні апарати типу box cooler, значною перевагою яких є здатність функціонувати без необхідності використання зовнішнього водяного контуру, що включає насоси для охолоджувальної води, фільтри, клапани, трубопроводи та супутні компоненти. Це рішення дозволяє суттєво спростити систему охолодження, знизити енергоспоживання та витрати на обслуговування, що робить box coolers високоефективним вибором для сучасних енергетичних установок.

Теплообмінні апарати типу box cooler – це трубчастий теплообмінник, винайдений і створений у Нідерландах. Перші box coolers використовувалися на річкових судах. Після позитивного досвіду їхнього застосування, технологія поступово знайшла застосування на великих судах, таких як каботажні судна та риболовецькі траулери. Згодом box coolers стали використовуватися і на інших типах суден, таких як земснаряди та буксири [1], а також на баржах, постачальних судах, поромках, криголамах, вантажних судах, танкерах та рефрижераторах [2].

В системах водяного охолодження суднового енергетичного обладнання теплообмінні апарати типу box cooler встановлюються на борту судна в кінгстоні, які оснащені решітками для входу та виходу води. Охолоджуюча забортна вода надходить через вхідну решітку і проходить вздовж пучка U подібних труб до вихідної решітки, охолоджуючи воду всередині труб. Охолоджуючий ефект досягається завдяки примусовій циркуляції заборотної води під час руху судна або природній конвекції, коли судно стоїть на місці. Забортна вода нагрівається, її густина зменшується, і вона підіймається, викликаючи природну висхідну циркуляцію.

Функція та принцип роботи системи охолодження суднового енергетичного обладнання з застосуванням теплообмінних апаратів типу box cooler представлені на рис. 1.

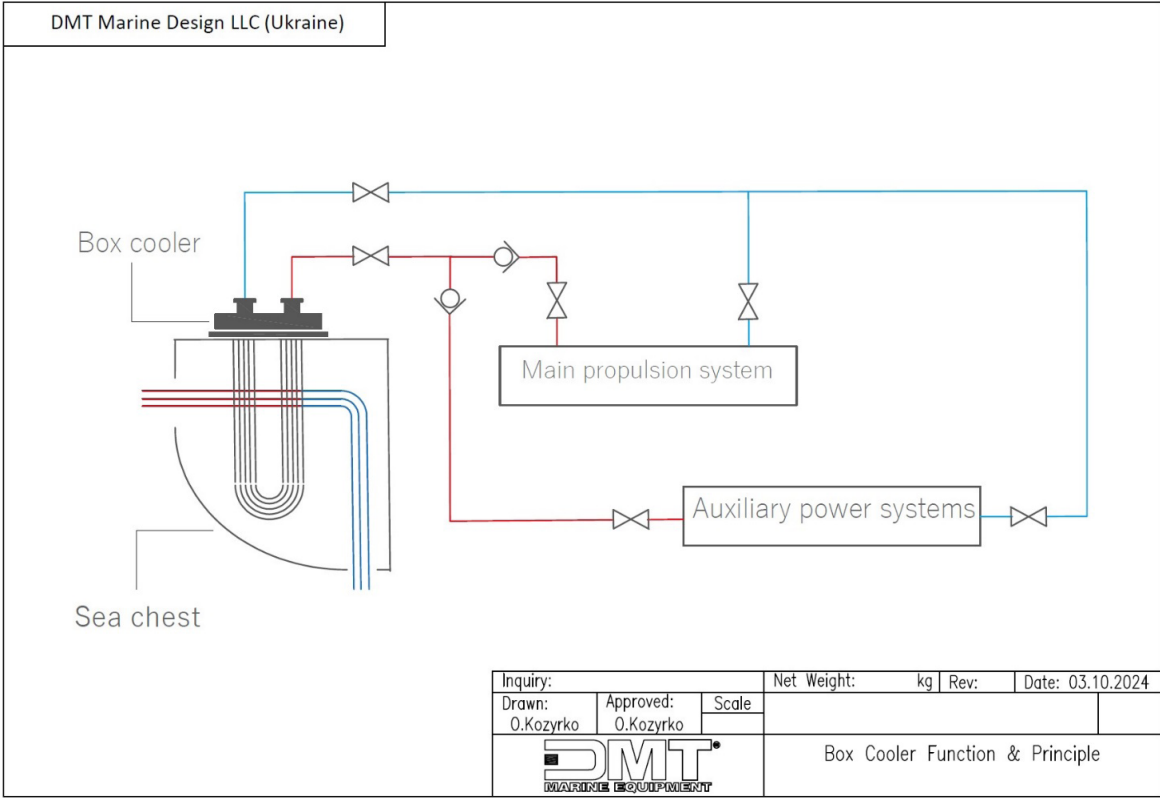


Рис. 1. Функція та принцип роботи системи охолодження суднового енергетичного обладнання з застосуванням теплообмінних апаратів типу box cooler

Базові конфігурації теплообмінних апаратів типу box cooler представлені на рис. 2.

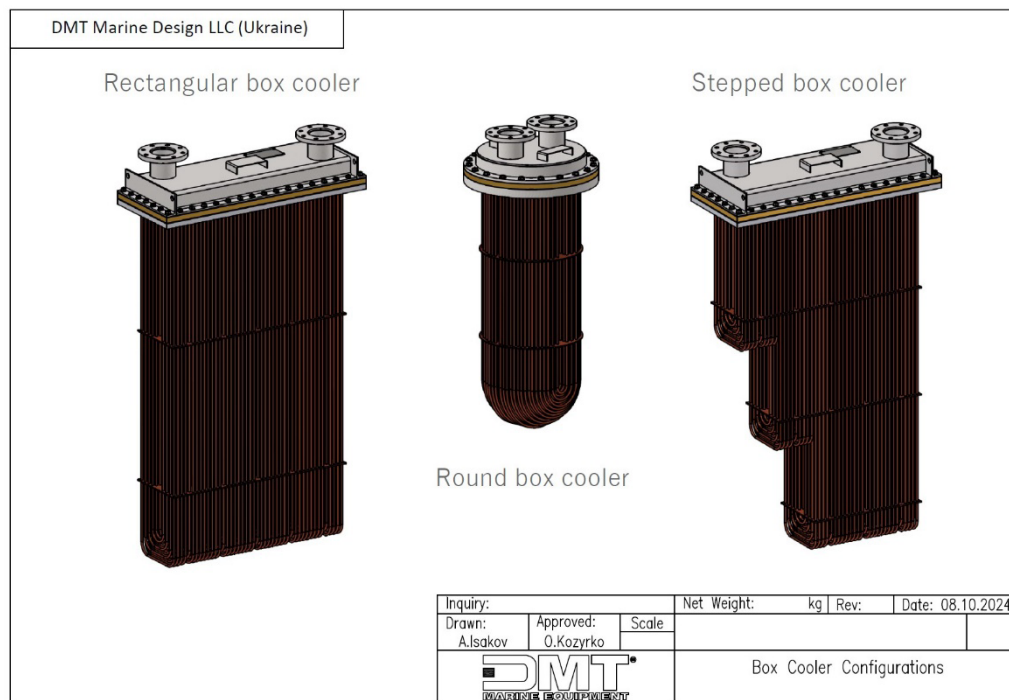


Рис. 2. Базові конфігурації теплообмінних апаратів типу box cooler

Теплообмінні апарати типу box cooler можуть використовуватися для охолодження як головних суднових енергетичних установок, що забезпечують рух судна, так і допоміжних систем, включаючи генератори, компресори, насоси, системи кондиціонування, керування, гідравлічні та інші механізми, що забезпечують ефективну та безперебійну роботу судна.

У роботі [3] було виконано аналіз впливу застосування теплообмінних апаратів box cooler на енергоефективність суден, демонструючи переваги систем охолодження із їх використанням для зниження експлуатаційних витрат, скорочення викидів вуглекислого газу та дотримання міжнародних екологічних стандартів, таких як IMO Energy Efficiency Design Index (EEDI) та Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI).

Насоси заборотної води в традиційних системах охолодження суднового енергетичного обладнання мають найвищу потужність серед усіх допоміжних насосів на борту судна, працюють більшу частину часу та є значними споживачами електроенергії.

Згідно з аналізом у роботі [3], насоси заборотної води традиційних суднових систем охолодження витрачають до 10 % загального електроспоживання судна, споживаючи для охолодження двигуна щонайменше 0,4 % його потужності, а для охолодження всього основного та допоміжного обладнання автомобільного парому «Aline Sitote Diatta» з двома головними дизельними двигунами по 1800 кВт кожен, потрібно до 1,7 % потужності головних двигунів. Використання теплообмінних апаратів типу box cooler для охолодження енергетичного обладнання призведе до зниження споживання палива судами та підвищення їхньої енергоефективності.

Відповідно до джерела [4], загальне споживання палива світовим судноплавством на сьогоднішній день, згідно з даними IMO та IEA, а також з урахуванням досліджень, заснованих на даних системи автоматичної ідентифікації (AIS), становить приблизно 280 мільйонів тон щорічно, а морський дизель (MDO) є найбільш вуглецемістким, викидаючи 3,206 тон CO₂ на кожну тону спаленого палива.

Тому зниження споживання палива всього на 0,5 % за рахунок використання теплообмінних апаратів типу box cooler в системах охолодження суднового енергетичного обладнання в масштабах світового судноплавства призведе до зменшення викидів парникових газів приблизно на 4,5 мільйона тон на рік. Це сприяє дотриманню екологічних стандартів і досягненню цілей декарбонізації в галузі енергетичного машинобудування, що вкрай важливо в умовах боротьби зі зміною клімату та дотримання міжнародних екологічних регуляцій, таких як MARPOL Annex VI, вимог Energy Efficiency Design Index (EEDI) і Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI), які спрямовані на підвищення енергоефективності суден. Крім того, це допомагає досягти цілей Міжнародної морської організації (IMO) щодо скорочення викидів парникових газів на 50 % до 2050 року порівняно з рівнями 2008 року.

Незважаючи на те, що застосування теплообмінних апаратів типу box cooler в системах охолодження енергетичного обладнання має технічні обмеження за потужністю, сучасні технологічні досягнення вже дозволяють використовувати їх на суднах із потужністю енергетичних установок до 30 000 кВт [3].

Окрім суднобудування, теплообмінні апарати типу box cooler можуть ефективно застосовуватися і в інших галузях світової індустрії, таких як енергетичний сектор та інші види промисловості.

В енергетиці Kelvion, один із найбільших виробників теплообмінного обладнання, постачає апарати типу box cooler для охолодження генераторів і трансформаторів на електростанціях, розташованих поблизу водойм [2].

R. W. Fernstrum & Company, яка займає лідируючі позиції в світі з розробки та виробництва інноваційних систем охолодження для суднобудування, пропонує також охолоджувачі пасивного типу для систем охолодження стаціонарного енергетичного обладнання [6].

У нафтогазовій промисловості box coolers можуть застосовуватися на морських бурових платформах для охолодження енергетичних систем, що працюють у суворих умовах експлуатації, де важливі надійність, низькі витрати на технічне обслуговування та стійкість до жорстких морських умов.

Теплообмінні апарати типу box cooler можуть знаходити застосування і на військових кораблях, включаючи підводні човни, для забезпечення ефективної роботи енергетичного обладнання в умовах обмеженого простору, що вимагають тихої роботи та мінімального технічного обслуговування.

На металургійних та хімічних підприємствах, розташованих на узбережжі, box coolers можуть використовуватися для охолодження енергетичного обладнання, що дозволяє знизити операційні витрати і зменшити вуглецевий слід підприємства.

Виробництво box coolers на світовому ринку зосереджено в руках кількох провідних компаній, які спеціалізуються на цій технології для суднобудування та промислових застосувань: VDL Klima (Нідерланди), NRF (Нідерланди), Weka Marine (Нідерланди), Blokland Non Ferro (Нідерланди), Kelvion (Німеччина), LLALCO Fluid Technology (Італія), R. W. Fernstrum & Company (США), VRcoolertech Refrigeration (Китай).

В Україні виробництво судових box coolers здійснювалося компанією DMT Marine Equipment (Нідерланди) у кооперації з АЗОЦМ (Україна) за замовленнями Weka Marine (Нідерланди). Це співробітництво дозволяло поєднувати європейські технології з українськими виробничими потужностями для створення ефективних систем охолодження для світової суднобудівної галузі [5].

Актуальність розвитку технологій використання теплообмінних апаратів типу box cooler в системах охолодження енергетичного обладнання зумовлена факторами, які стосуються сучасних світових тенденцій у суднобудуванні, енергетиці та промисловості:

1. В умовах боротьби зі змінами клімату всі країни світу та компанії прагнуть зменшити викиди парникових газів і знизити вплив на навколишнє середовище. Box coolers, завдяки своїй енергоефективності, оскільки не потребують насосів для активної циркуляції води, сприяють зниженню споживання енергії і, відповідно, скороченню викидів вуглекислого газу. Це робить їх важливим елементом для судноплавних, енергетичних та промислових компаній, які прагнуть до декарбонізації своєї діяльності.

2. Міжнародні організації, включаючи такі, як Міжнародна морська організація (IMO), запроваджують усе більш суворі екологічні вимоги щодо викидів і впливу на природне середовище. Box coolers відповідають цим стандартам, оскільки не використовують забір і викид води в природне середовище, що зменшує вплив на екосистеми та запобігає забрудненню довкілля.

3. В умовах глобального переходу на відновлювані джерела енергії та поступової відмови від викопного палива, системи охолодження з використанням box coolers відіграють важливу роль у підвищенні загальної енергоефективності обладнання. Вони можуть ефективно працювати в нових гібридних і електричних судових системах, що підтримує світову тенденцію до розвитку «зеленого» судноплавства.

4. Із зростанням світових цін на енергоресурси та посиленням економічних умов компанії прагнуть мінімізувати операційні витрати. Box coolers мають меншу ймовірність поломок, оскільки не містять насосів та елементів їх керування. Це підвищує надійність системи та дозволяє значно скоротити витрати на технічне обслуговування і експлуатацію. Компанії, що використовують такі системи, можуть зменшити свої витрати та підвищити конкурентоспроможність на внутрішніх і міжнародних ринках.

5. Box coolers займають менше місця порівняно з традиційними системами охолодження, що особливо актуально для суден, де простір у машинних відділеннях та інших зонах обмежений. Це також робить їх зручними для використання на платформах та промислових об'єктах. Також box coolers мають значні переваги під час роботи в умовах льоду та на мілководді з піщаними або заіленими ділянками. У льодових умовах подрібнений лід, який може створювати проблеми для інших систем охолодження, не є загрозою для box coolers. Після запуску двигунів лід у кінгстоні швидко тане, що забезпечує нормальну роботу системи охолодження. На мілководді плавніший потік води навколо охолоджувача, порівняно з турбулентним потоком у системах із примусовою циркуляцією, знижує ймовірність засмічення осадами або сміттям. Це робить систему охолодження з використанням box coolers більш надійними та ефективними в складних умовах експлуатації.

6. В умовах світового руху за стале розвиток, яке охоплює економіку, екологію та соціальні аспекти, використання технологій, що знижують енергоспоживання та вплив на навколишнє середовище, стає обов'язковим. Box coolers допомагають підприємствам робити внесок у досягнення цілей сталого розвитку, таких як відповідальне споживання ресурсів та боротьба зі зміною клімату.

Таким чином, розвиток технологій використання теплообмінних апаратів типу box cooler в системах охолодження є актуальним і важливим для подальшого підвищення енергоефективності суднового та стаціонарного енергетичного обладнання, оскільки пропонує інноваційні рішення для забезпечення надійності, зниження виробничих і експлуатаційних витрат, а також мінімізації впливу на навколишнє середовище.

Література:

1. Wärtsilä Encyclopedia of Marine and Energy Technology, URL: <https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/boxcooler>
2. Kelvion, "Efficient and space saving cooling", URL: <https://www.kelvion.com/products/category/box-cooler>
3. A. Aijjou, L. Bahatti, A. Raihani, «Enhanced Ship Energy Efficiency by Using Marine Box Coolers», Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, vol. 3, no. 6, pp. 83-88 (2018)
4. DNV, "Maritime Forecast to 2050", 2023 edition URL: <https://www.dnv.com/publications/maritime-forecast-to-2050-edition-2023>
5. Курниченко В. «Нова продукція «Цветмета»», Артемівська громадська газета «Вперед», №147 (17080), 24 грудня 2002 року.
6. R.W. Femstrum & Company, "Which marine cooling system is best for your type of vessel" URL: <https://www.femstrum.com/applications/#stationaryapp>

ЕНЕРГЕТИЧНА УСТАНОВКА З НУЛЬОВИМИ ВИКИДАМИ НА ОСНОВІ ЦИКЛУ АЛЛАМА

Патлайчук В. М.

канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри турбін
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Термодинамічний цикл Аллама – це процес перетворення вуглеводного палива в теплову енергію з уловлюванням утворюваних вуглекислого газу та водяної пари. Основними винахідниками цього процесу є англійський інженер Родні Джон Аллама, американський інженер Джеремі Ерон Фетведт, американський вчений доктор Майлз Р. Палмер та американський бізнесмен і новатор Г. Вільям Браун. Цикл Аллама був визнаний MIT Technology Review у списку 10 проривних технологій 2018 року [1-4].

Працездатність цього циклу було підтверджено на демонстраційній установці компанії NET Power потужністю 50 МВт, яка живиться природним газом, у м. Ла-Порте (штат Техас, США) у травні 2018 року. 15 листопада 2021 року установка успішно синхронізувалася з мережею, підтверджуючи, що цикл Аллама здатний генерувати електроенергію частотою 60 Гц.

Цикл не відноситься до розряду комбінованих циклів (рис. 1). Замість цього він використовує особливі термодинамічні властивості вуглекислого газу як робочої рідини, тим самим усуваючи втрати енергії, з якими стикаються цикли на основі водяної пари через тепло випаровування та конденсації [5-7].

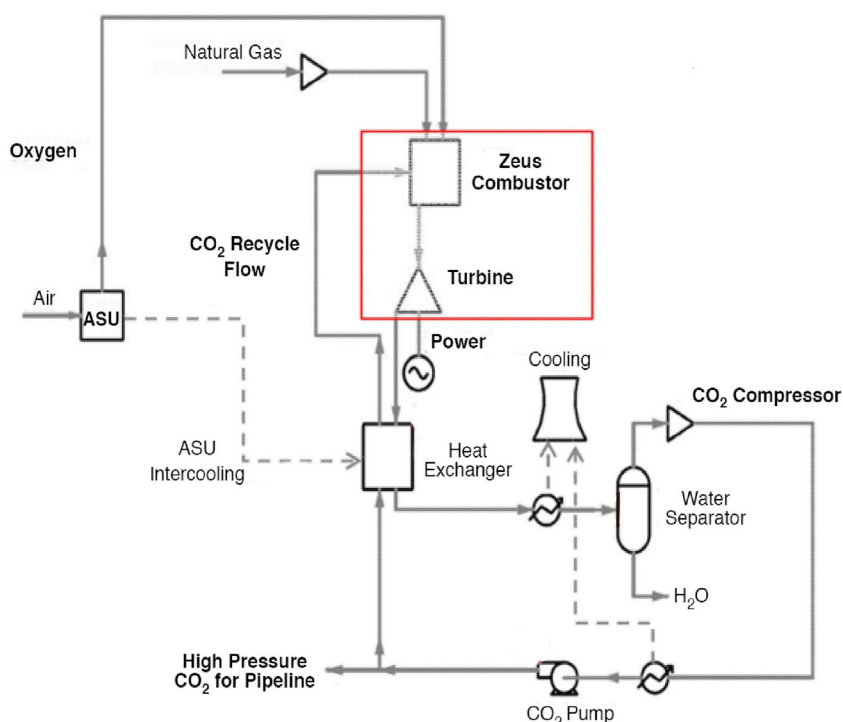


Рис. 1. Енергетична установка на основі циклу Аллама

Термодинамічний цикл Аллама, на відміну від традиційних комбінованих газотурбінних циклів, не використовує додатковий цикл Ренкіна, а покращує базовий газотурбінний цикл Брайтона. В основі цього циклу знаходиться спалювання природного або синтетичного газу (отриманого в процесі газифікації вугілля) в середовищі чистого кисню (т.зв. «кисневе спалювання»), на відміну від традиційного спалювання цих газів за допомогою атмосферного повітря.

Наслідком кисневого спалювання є те, що продукти згоряння являють собою відносно чисту суміш вуглекислого газу і водяної пари. Забруднюючі атмосферу речовини (оксиди азоту, сірки та ін.) або мінімальні, або взагалі відсутні.

З метою зменшення температури утворюваних в камері згоряння газів до цієї камери додається рециркуляційний потік вуглекислого газу, який відокремлюється у хвостових частинах установки з продуктів згоряння. Наслідком такого технічного рішення є те, що робоче тіло перед турбіною приблизно на 97 % складається з вуглекислого газу і на 3 % з водяної пари [1].

Тиск в камері згоряння планується реалізовувати в діапазоні від 20 до 40 МПа. Міра зниження тиску при подальшому розширенні в турбіні, відповідно, буде становити від 6 до 12.

При подальшому охолодженні в теплообміннику (рекуператорі) та кінцевому охолоджувачі водяна пара, яка міститься в робочому тілі, буде конденсуватися і як рідина відводиться від нього в сепараторі. Після цього маємо майже чистий потік вуглекислого газу.

Після підвищення тиску в компресорі цей вуглекислий газ поділяється на два потоки. Один з них спрямовується до споживача (або на зберігання) (це приблизно 4 % від його загальної кількості), інший (т.зв. рециркуляційний) – повертається до камери згоряння, охолоджує продукти згоряння і зменшує їх температуру до потрібного значення (це приблизно 96 % від загальної кількості CO_2).

Підігрів рециркуляційного вуглекислого газу в теплообміннику (рекуператорі) відбувається послідовно в двох секціях: низькотемпературній та високотемпературній. В низькотемпературній секції CO_2 підігрівається за рахунок тепла повітря, нагрітого в компресорі установки розділення. У високотемпературній секції CO_2 підігрівається за рахунок тепла відпрацьованого в турбіні робочого тіла.

Важливим фактором у досягненні високого ККД циклу є використання високої температури робочого тіла на вході в турбіну. Ця температура, однак, обмежена максимально допустимою температурою випускних газів з турбіни, які надходять безпосередньо в теплообмінник.

Оскільки робоча температура на гарячому кінці теплообмінника знаходиться в діапазоні від 700 до 750 °C, це призводить до типового обмеження температури робочого тіла на вході в турбіну діапазоном, відповідно, від 1100 до 1200 °C [1].

Новими і найбільш відповідальними частинами даної енергетичної установки є її турбіна та камера згоряння. Їх конструювання містить в собі поєднання досвіду газо- та паротурбінобудування.

Специфіка циклу Аллама у тому, що температура робочого тіла на вході до турбіни є невисокою для сучасних газових турбін, але дуже високою для парових турбін. Навпаки тиск у циклі відповідає сучасним зразкам парових турбін, але є надзвичайно високим для газових турбін. Наприклад, в дослідному зразку компанії NET Power камера згоряння була розроблена для роботи з тиском 30 МПа, що більш ніж у 10 разів перевищує тиск, який використовується в звичайних газотурбінних установках.

Турбіна для даної установки може бути сконструйована одноциліндровою, за будовою подібною до парових турбін високого тиску. Оскільки тиск на випуску з неї становить близько 3 МПа, немає потреби в додаткових циліндрах середнього та низького тисків.

Для турбіни доцільно використати структуру з подвійною оболонкою (зовнішній корпус і внутрішній корпус), що є конструктивною ознакою парових турбін високого тиску. Простір між внутрішнім і зовнішнім корпусами доцільно заповнювати потоком охолоджуючого вуглекислого газу, який відводиться для цього з нижньотемпературного кінця установки.

Така технологія охолодження дозволяє виготовляти зовнішній і більші внутрішні корпуси за допомогою лиття зі CrMoV-сплаву. Матеріал на основі нікелю використовується для меншого внутрішнього корпусу, який охоплює зону випуску, де температура перевищує 700°C і застосовується помірне охолодження.

На додаток до технології подвійного корпусу доцільним є використання охолоджуючого CO_2 для зменшення температури елементів проточної частини. Охолоджуючий потік вуглекислого газу подається на ротор і розподіляється на кожному ступені для захисту як соплових, так і робочих лопаток.

Дослідники відзначають, що через те, що температура робочого тіла не надто висока, потреби в організації пливкового охолодження лопаток немає. Просте конвекційне охолодження в даному випадку буде достатньо ефективним.

Процес згоряння в циклі Аллама має особливе значення, оскільки робочі речовини та тиск суттєво відрізняються від типових газотурбінних установок. Основними характеристиками камери згоряння для даного циклу є:

- майже нульові викиди NO_x через використання кисню, а не повітря;
- температура не така висока, як в існуючих камерах згоряння газотурбінних установок;
- тиск набагато вищий, ніж в існуючих камерах згоряння.

Чимала кількість останніх досліджень камер згоряння газотурбінних установок була пов'язана із зниженням викидів NO_x . Ці дослідження призвели до використання попереднього змішування, при якому паливо змішується з повітрям

перед згорянням, щоб забезпечити згоряння при нижчій температурі. Недоліком попереднього змішування є те, що воно викликає динамічні коливання системи через нестабільність полум'я.

Цикл Аллама має перевагу в цьому відношенні, оскільки він взагалі усуває NOx, одночасно дозволяючи використовувати в камері згоряння більш просте та стабільніше дифузійне горіння. Камера згоряння також може використовувати перевірену технологію охолодження, таку як зворотне конвекційне охолодження, завдяки помірній температурі згоряння та високій охолоджувальній здатності вуглекислого газу.

Очікується, що ефективність установки, виконаної за циклом Аллама, з урахуванням усіх втрат буде сягати 58 % при роботі на природному газі і 51 % при роботі на синтез-газі [1].

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. Allam R. NET Power's CO2 cycle: the breakthrough that CCS needs. Modern Power Systems. URL: <http://surl.li/flcdax>.
3. Breaking ground for a groundbreaker: the first Allam Cycle power plant. Modern Power Systems. URL: <http://surl.li/cvfmcc>.
4. System and method for high efficiency power generation using a carbon dioxide circulating working fluid : US patent 8959887; published 2015-02-24; issued 2013-11-04; assigned to Palmer Labs, LLC and 8 Rivers Capital, LLC.
5. Dodge E. CCS Breakthrough: CO2 Power Cycles Offer Improved Efficiency and Integrated Carbon Capture. Breaking Energy. URL: <http://surl.li/wygibm>.
6. 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.
7. Lu X., Forrest B., Martin S., Fetvedt J., McGroddy M., Freed D. Integration and Optimization of Coal Gasification Systems With a Near-Zero Emissions Supercritical Carbon Dioxide Power Cycle. American Society of Mechanical Engineers: Digital Collection. Vol. 9: Oil and Gas Applications; Supercritical CO2 Power Cycles; Wind Energy. URL: <https://doi.org/10.1115/GT2016-58066>.

АНАЛІЗ ВИТРАТ НА ПІДГОТОВКУ КИСНЮ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ, ВИКОНАНОЇ ЗА ЦИКЛОМ АЛЛАМА

Патлайчук В. М.

канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри турбін
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Особливістю енергетичних установок, виконаних за циклом Аллама, є те, що в них спалювання природного або синтетичного газу відбувається нетрадиційним шляхом за допомогою атмосферного повітря, а в середовищі чистого кисню (т.зв. «кисневе спалювання»).

Наслідком кисневого спалювання є те, що продукти згоряння являють собою відносно чисту суміш вуглекислого газу і водяної пари. Забруднюючі атмосферу речовини (оксиди азоту, сірки та ін.) або мінімальні, або взагалі відсутні. Водяна пара при охолодженні продуктів згоряння в хвостових елементах установки конденсується і відокремлюється від них. Внаслідок цього на газовипуску маємо майже чистий потік вуглекислого газу, який може бути в подальшому спрямований або споживачу, або на зберігання. Викиди випускних газів від енергетичної установки до атмосфери взагалі відсутні.

Іншим наслідком кисневого спалювання, вже негативним, є необхідність попереднього приготування великої кількості чистого кисню. Конструктивно це реалізується в установках розділення повітря, наявність яких суттєво ускладнює енергетичну установку і збільшує собівартість генеруємої електроенергії.

Процес розділення повітря є дуже енерговитратним. Результати досліджень, наведені в роботах [1-4], свідчать про те, що на нього може відводитися від 9 до 12 % усієї електроенергії, генеруємої установкою. Більшими витратами в циклі на власні потреби є тільки витрати електричної енергії на стиснення вуглекислого газу.

Установки розділення повітря – це установки для розділення повітря на компоненти, а саме: кисень, азот, аргон, неон, ксенон, криптон. На практиці використовують три методи поділу: адсорбційний, мембранний та кріогенний. Звідси і типи установок: адсорбційні, мембранні та кріогенні. Для аналізу обираємо найбільш розповсюджену з них кріогенну установку.

В кріогенних установках повітря, що пройшло ряд фільтрів механічної фільтрації, потрапляє в компресор, де стискається до заданого тиску циклу. Далі повітря надходить у блок очищення та осушення, де за допомогою абсорбентів з нього видаляються волога, двоокис вуглецю та вуглеводні, після чого повітря потрапляє в теплообмінники. Після них воно йде в нижню колону ректифікації, де ректифікується на кубову рідину (~ 35 % O₂, 2 % Ar, решта – азот) і газоподібний азот з чистотою ~ 99,99 %.

Якщо установка отримує крім азоту ще й кисень, то кубова рідина подається в середину верхньої колони ректифікації, а рідкий азот у верхню частину верхньої колони ректифікації. З верху верхньої колони ректифікації відбирається газоподібний азот, знизу збирається рідкий кисень.

Витрата електроенергії на отримання 1 м³ O₂ чистотою не менше 99,2 % залежить від багатьох факторів і для різних установок знаходиться в межах від 0,4 до 1,1 кВт·год. Для розрахунку обираємо значення цього параметра 0,6 кВт·год.

Приймаємо, що досліджувана енергетична установка, виконана за циклом Аллама, працює на природному газі з теплотворною здатністю 50032 кДж/кг. Оцінимо для неї необхідну продуктивність установки розділення повітря і витрати електроенергії на виробництво газоподібного кисню.

При розрахунках будемо приймати можливий діапазон зміни ефективності досліджуваної енергетичної установки від 48 до 64 % [4].

Для діапазону можливої корисної потужності енергетичної установки від 50 до 300 МВт результати розрахунку необхідної масової витрати кисню, а також потрібних витрат електричної енергії на отримання 99,2 % O₂ наведені на рис. 1 та 2.

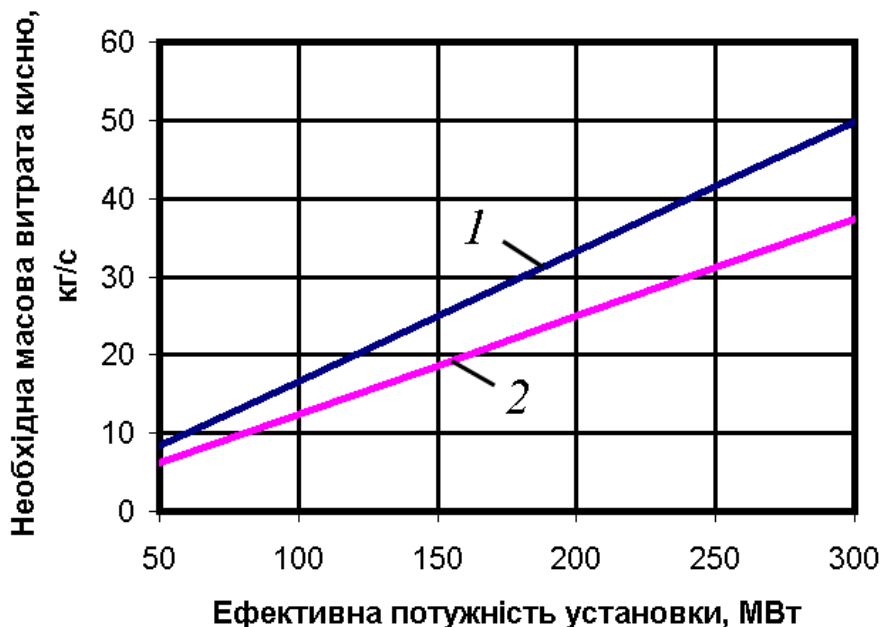


Рис. 1. Залежність витрати кисню від потужності енергетичної установки:

$$1 - \eta_e = 0,48; 2 - \eta_e = 0,64$$

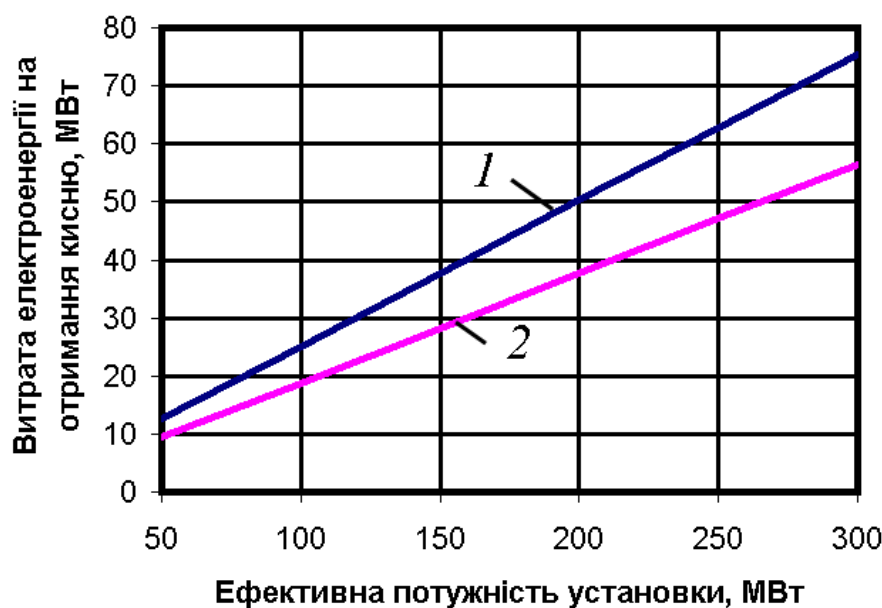


Рис. 2. Залежність витрат електроенергії на отримання кисню від потужності енергетичної установки:

$$1 - \eta_e = 0,48; 2 - \eta_e = 0,64$$

Результати розрахунків свідчать про те, що витрати на отримання кисню і його необхідна кількість при незмінному значенні ККД енергетичної установки залежать від її потужності прямопропорційно.

В діапазоні корисної потужності установки від 50 до 300 МВт потрібна для її функціонування витрата чистого кисню становить 6...50 кг/с (540...4310 т/добу). Відповідно витрата електроенергії на його приготування – від 9 до 75 МВт.

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. Allam R. NET Power's CO₂ cycle: the breakthrough that CCS needs. Modern Power Systems. URL: <http://surl.li/flcdax>.
3. Патлайчук В. М., Кутняк І. В. Аналіз параметрів енергетичної установки, виконаної за циклом Аллама. Суднова енергетика: стан і проблеми: Матеріали XI Міжн. наук.-техн. конференції. Миколаїв: НУК, 2023. С. 212-215.
4. Патлайчук В. М. Дослідження впливу максимального тиску в циклі Аллама на його ефективність. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали XV Міжн. наук.-техн. конференції. Миколаїв: НУК, 2024. С. 120-122.

СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ І ХАРАКТЕРИСТИК СТРУМИННО-РЕАКТИВНИХ ТУРБІН

Мелейчук О. С.

аспірант

Ванєєв С. М.

канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри технічної теплофізики
Сумський державний університет
м. Суми, Україна

Корольов С. К.

Фізична особа – підприємець

Стрімкий розвиток та впровадження новітніх методів та технологій дозволили прискорити розвиток та удосконалення вже існуючих конструкцій газотурбінних двигунів, турбомашин та установок на їх основі. Один із перспективних напрямків розвитку турбомашин та установок на їх основі - турбінне обладнання нетрадиційного виконання, а саме обладнання, виконане на основі вихрових та струминно-реактивних турбін (СРТ).

Даний тип устаткування знайшов застосування в створенні утилізаційних турбогенераторів малої потужності (до 500 кВт) які використовують енергію стиснутих газів. Відомі конструкції турбоагрегатів на основі СРТ [1, с. 304-306; 2, с. 66-71] мають просту конструкцію та здатні забезпечити електроенергією промислових або комунальних споживачів.

Нові конструкції турбоустановок потребують глибокого розуміння фізичних процесів, що протікають всередині проточної частини турбомашин, для підтвердження теоретичних моделей та вдосконалення існуючих конструкцій. Досліджувати ці процеси в турбоустановках можна як класичними методами, такими як проведення експериментальних або модельних випробувань, так і сучасними способами — моделюванням за допомогою програмно-обчислювальних комплексів. В обох випадках результати повинні підтверджувати правильність і достовірність теоретичних моделей.

Існує позитивний досвід як створення та використання експериментальних стендів для дослідження розширювальних турбомашин [3, с. 15-21], [4, с. 11-18], так і застосування програмно-обчислювального комплексу ANSYS для дослідження та проектування турбомашин [5, 6].

Проте сучасні програмні комплекси поступаються експериментальним чи модельним випробуванням через об'єктивність отриманих даних, складність налаштування, залежність від теоретичних моделей із потенційними похибками та високу вартість ліцензії, яка в деяких випадках досягає вартості виготовлення експериментального стенду.

Ці фактори спонукають до створення експериментального стенду для перевірки та підтвердження як теоретичних результатів, так і результатів, отриманих в результаті моделювання.

Завданням роботи полягає у створенні стенду для проведення випробування СРТ з метою отримання достовірних характеристик, визначення коефіцієнтів для уточнення методики розрахунку та верифікації майбутніх чисельних досліджень.

Стенд було створено на базі ТОВ «Укрнафтозапчастина». Він дозволяє проводити випробування різних конструкцій СРТ, які в подальшому можуть бути використані для створення турбогенераторів потужністю до 500 кВт.

Основними складовими стенду є: джерело стиснутого повітря (ресивер); трубопровідна обв'язка стенду; запірні та регулювальні арматури; підвідний патрубок; розширювальна турбомашина; інформаційно-вимірювальна система, для вимірювання основних показників СРТ.

Принципова схема та фото стенду представлені на рис. 1 та 2 відповідно.

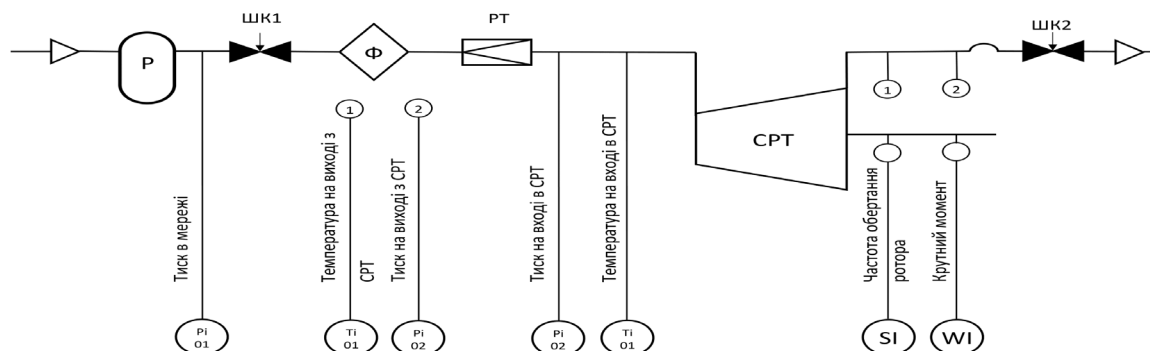


Рис. 1. Принципова схема стенду:
 Р – ресивер; РТ – регулятор тиску; ШК – шаровий кран; Ф – фільтр;
 PI – манометр; TI – термометр; SI – блок тахометра; WI – блок індикації крутного моменту



Рис. 2. Фотографія стенда

В процесі випробування СРТ можливе вимірювання таких показників: тиску на вході та виході з СРТ; температури на вході та виході з СРТ; крутного моменту на валу СРТ; частоти обертів валу СРТ.

Створено експериментальний стенд для проведення досліджень та випробувань СРТ. Отримані результати будуть використані для створення турбогенераторів потужністю до 500 кВт з можливою областю застосування в промисловості та комунальній теплоенергетиці для виробництва електроенергії і створення міні-ТЕЦ з метою децентралізації та підвищення енергонезалежності України.

Література:

1. Vaneev, S. M. Compressed-air reaction motor and possibilities of its use / S.M. Vaneev, S.K. Korolev, Yu.A. Rukhlov, Yu.T. Fedotov // Chemical and Petroleum Engineering. – 1991. – Vol. 26, Issue 5-6. – P. 304-306. <https://doi.org/10.1007/BF01156878>
2. Vanyeyev, S. Jet-Reactive Turbine: Experimental Researches and Calculations by Means of Softwares / S. Vanyeyev, V. Getalo // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Volume 630. – P. 66-71.
3. С. М. Ванєєв, Д. В. Мірошніченко, В. О. Журба, Я. В. Знаменщиков, В. М. Бага, та Т. С. Родимченко. "Стенд для дослідження розширювальних турбомашин малої потужності та агрегатів на їх основі," Refrigeration Engineering and Technology, - 2019. - Vol. 55. - P.15-21.

4. Vaneev S. M., Martsynkovskyy V. S., Kulikov A., Miroshnichenko D. V., Bilyk Ya. I., Smolenko D. V., Lazarenko A. D. Investigation of a Turbogenerator Based on the Vortex Expansion Machine with a Peripheral Side Channel dynamometer // JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES. – 2021 - Volume 8, Issue 12 (2021) - pp. F 11–F 18. doi: 10.21272/jes.2021.8(1).f2.
5. S. Vaneev, D. Miroshnichenko, S. Meleychuk, and V. Baga, 'Research of multi-flow and multi-channel flow parts of the vortex expansion machines with the external peripheral channel', IOP Conf Ser Mater Sci Eng, vol. 233, p. 012020, Aug. 2017, doi: 10.1088/1757-899X/233/1/012020.
6. Мірошніченко Д. В. 'Підвищення енергоефективності пневмоагрегатів, створюваних на основі вихрових розширювальних машин: дисертація ... канд. техн. наук, спец.: 05.05.17 - гідравлічні машини та гідропневмоагрегати / Д. В. Мірошніченко; наук. кер. С. М. Ванєєв.', Суми, 2019.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАЗМОХІМІЧНОГО СТАБІЛІЗАТОРА, ПРИЗНАЧЕНОГО ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ПРОЦЕСІВ В КАМЕРІ ЗГОРЯННЯ ГТД

Козловський А. В.

канд. техн. наук, доцент кафедри турбін
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Одним із перспективних методів стабілізації процесів горіння паливно-повітряних сумішей в камерах згоряння ГТД є застосування плазмохімічних стабілізаторів [1-3]. Використання плазмотронів у якості генератора активних частинок, що підвищують стійкість горіння палива в камері згоряння ГТД, ставить певні вимоги до масогабаритних, експлуатаційних та інших характеристик.

Визначено діапазон стійкої роботи плазмотрону постійного струму, призначеного для стабілізації пульсаційних процесів у камерах згоряння ГТД. Зона стійкого горіння дуги плазмотрону забезпечується регулюванням сили струму від 0,3 до 0,9 при витратах плазмоутворюючого повітря до 3,39 г/с. При цьому для здійснення процесу початкового пробою зазору та запуску плазмотрону напруга на електродах збільшувалася до 1,5...2,5 кВ.

Висновки. Отримано вольт-амперну характеристику плазмового генератора для різних витрат плазмоутворюючого повітря. У всьому діапазоні режимних параметрів ця характеристика значно знижується.

Визначено діапазон стійкої роботи плазмотрону постійного струму, призначеного для стабілізації нестационарних процесів в камері згоряння. Зона стійкого горіння дуги забезпечується регулюванням сили струму від 0,3 до 0,9 А при витратах плазмоутворюючого повітря до 3,39 г/с.

Запропоновано подальше встановлення в центральний канал внутрішнього завихрювача пальникового пристрою камери згоряння плазмохімічного стабілізатору, з метою зниження пульсацій тиску в зоні основного горіння й протуючого впливу на процеси поширення полум'я.

Література:

1. 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.
2. 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.
3. 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>

EVALUATING GAS TURBINE PLANT EFFICIENCY WITH WATER INJECTION TECHNOLOGY

Halina Kobalava

PhD, Head of the Heat Engineering Department

Oksana Drozd

PhD, Acting Director of Kherson Educational-Scientific Institute Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Kherson, Ukraine

Oleksandr Meshenko

Student
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine

Implementing advanced complex cycles in gas turbine plants (GTP) shows significant promise for improving operational characteristics, increasing power output, and enhancing fuel efficiency.

A particularly effective method for improving gas turbine energy efficiency involves cooling the cyclic air through water injection [1]. This process introduces dispersed water droplets along the gas turbine pathway from the compressor inlet to the combustor inlet. The evaporating water droplets absorb heat from the airflow, providing effective cooling. Various water and steam injection technologies have demonstrated multiple benefits, including increased specific power, reduced fuel consumption, and improved economic viability of gas turbine operations.

Furthermore, implementing energy-saving technologies that utilize low-grade heat from secondary energy resources and mitigate the adverse effects of ambient temperature represents a practical approach to enhancing GTP efficiency. These technologies can significantly improve gas turbine plants' fuel and energy performance.

Leading manufacturers such as Rolls-Royce, General Electric (GE), Hitachi Ltd., Kawasaki Heavy Industries, and "Zarya-Mashproekt" have successfully applied water (vapor) injection technologies in the manufacture or modernization of GTP [2, 3]. Their success underscores the effectiveness of these technologies in enhancing GTP efficiency.

Technologies with water (vapor) injection along the GTP path have been used to solve several technological problems, such as increasing economic fuel and energy efficiency and reducing environmental pollution by harmful emissions.

In evaluating scheme solutions to enhance GTP efficiency, several well-known classical GTP schemes were examined: a simple cycle (Fig. 1, a), a cycle with intercooling between compressors using a surface cooler (Fig. 1, b), a cycle featuring a contact air cooler between compressor stages (Fig. 1, c), a cycle that incorporates exhaust gas heat recovery (Fig. 1, d), and a cycle with a contact air cooler positioned before the combustor (Fig. 1, e).

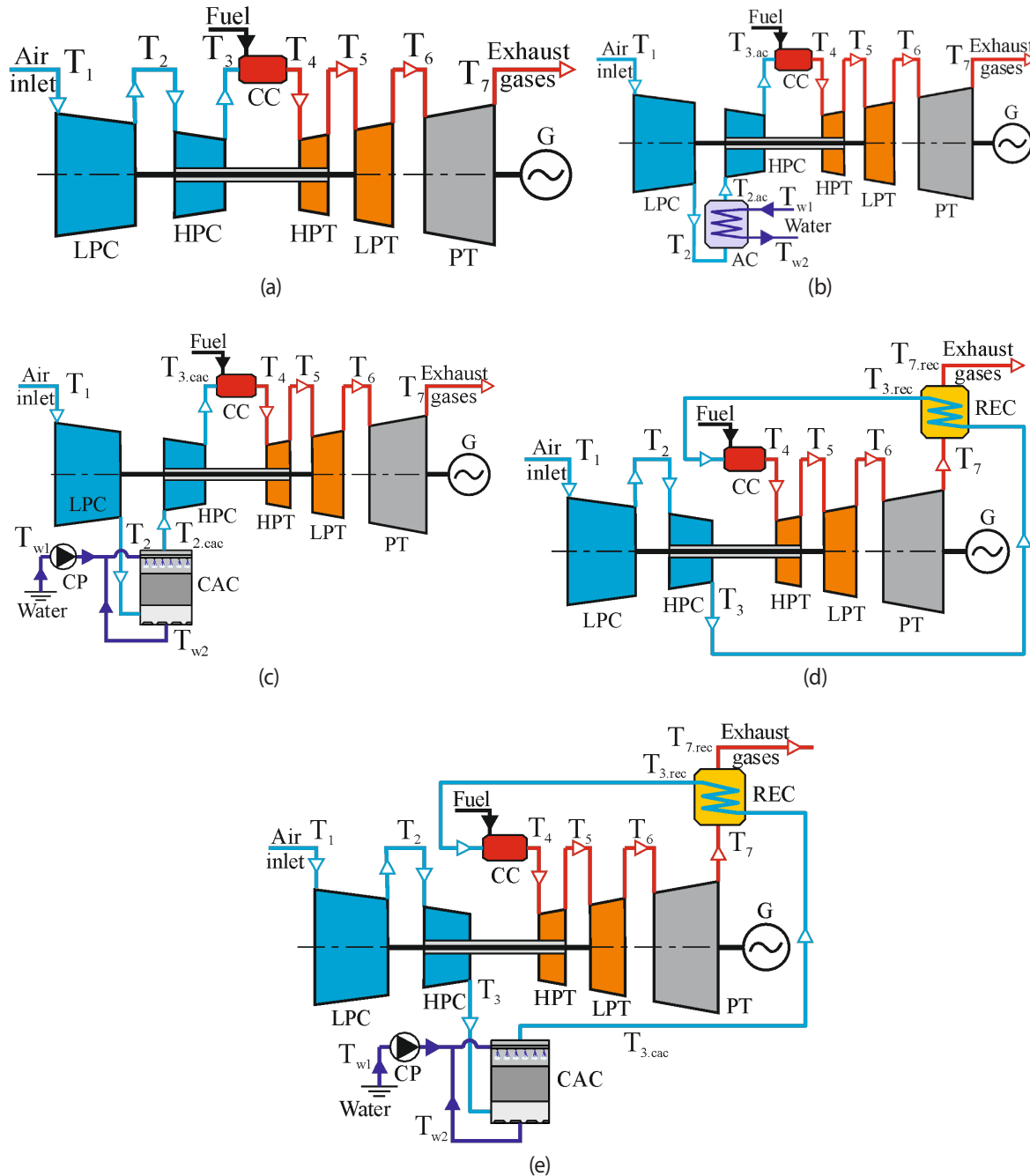


Fig. 1 Schemes of the gas turbine plant: a) simple cycle (a); with intercooling by using a surface air cooler (b); with intercooling by using a contact air cooler between the compressor's stages (c); with exhaust gases heat recovery (d); with intercooling by using the contact air cooler and with exhaust gases heat recovery (e)

An alternative method of water injection into the airflow of the gas turbine plant is jet technology [4]. A jet apparatus is a device in which the injection process is carried out, which consists of transferring the kinetic energy of one of the flows to the other by direct contact (mixing).

It is advisable to install the thermopressor between the compressors of the gas turbine plant (Fig. 2, a) instead of the surface or contact air cooler, as well as in front of the combustor in the gas turbine cycle with heat recovery (Fig. 2, b).

A computational model developed by authors for the thermopressor application in gas-turbine cycles is used in the study, which takes into account the peculiarities of the calculation of gas-turbine cycles and schemes, the features of thermogasdynamic compression in gases and the calculation of heat-humidity processes of air during contact heat exchange.

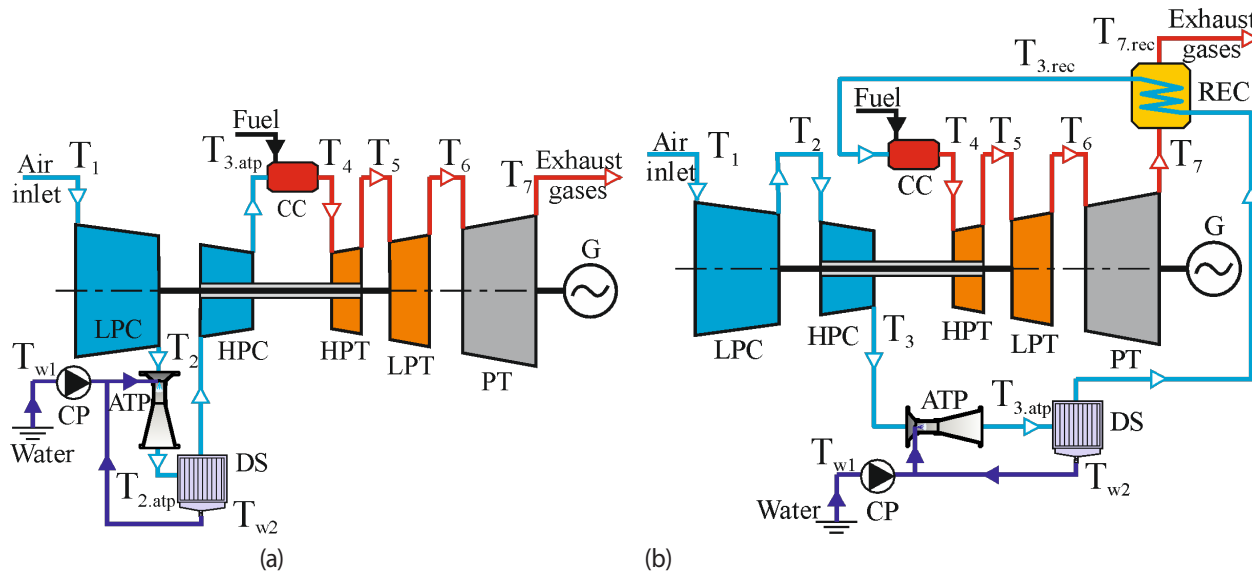


Fig. 2. Schemes of the gas turbine plant by using the thermopressor: with intercooling (a) and with exhaust gases heat recovery (b)

The most effective schemes are shown in (Fig. 1, e), (Fig. 2, a), (Fig. 2, b) in which contact cooling is applied (between the steps of the compressors and before the combustor in the regenerative cycle). Intercooling and simultaneous pressure increase allow, at the constant power N_e of the gas turbine plant, to reduce the power of low and high-pressure compressors as compared to cycles with contact cooling by 3.0...22.2 %.

The increase in the amount of working fluid allows for reducing the power of the low- and high-pressure turbines by 6.7...17.0 %. Such a redistribution of turbine power makes it possible to increase the power of the power turbine compared to cycles with contact cooling 1.6...14.3 %.

Thus, the efficiency of cycles with the thermopressor used has been obtained: cycle with intercooling – 38.6...46.9 % (at 0.7...1.4% more than the contact cooling cycle); cycle with heat recovery – 51.3...55.2 % (at 1.3...5.4% more than the contact cooling cycle), the specific power has been determined: cycle with intercooling – 430–440 kW/(kg/s); cycle with heat recovery – 435...470 kW/(kg/s), the specific fuel consumption: cycle with intercooling – 178...218 g/(kW·h); cycle with heat recovery – 155...165 g/(kW·h).

Conclusion. The use of the thermopressor in the air intercooling system enables the evaporation of water droplets during compression in a high-pressure compressor, consequently approaching the process to isothermal conditions with minimal compression work. Therefore, the application of the thermopressor can be an alternative to traditional air-cooling methods, and leads to a reduction in work, and consequently, the power of the compressor by approximately 10 %, while simultaneously increasing the amount of working fluid in the cycle. This enhancement contributes to improved gas turbine efficiency.

References:

1. Ritchey, I., Fisher, E. H., Agnew, G. D. Water spray cooling of gas turbine cycles. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy, 214(3), 203-211, 2000. DOI: 10.1243/0957650001538308.
2. Jonsson, M., Yan, J. Humidified gas turbines – a review of proposed and implemented cycles. Energy 30, 1013–1078, 2005.
3. Konovalov, D., Kobalava, H., Radchenko, M., Gorbov, V., Kalinichenko, I. Development of the Gas-Dynamic Cooling System for Gas Turbine Over-Expansion Circuit. Advances in Design, Simulation and Manufacturing V. DSMIE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham, 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06044-1_24.
4. Kobalava, H., Konovalov, D., Kalinichenko, I., Pyrysunko, M. Study of Thermophysical Processes in the Thermopressor for Contact Cooling Systems. Advances in Design, Simulation and Manufacturing VII. DSMIE 2024. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham, 2024. DOI: 10.1007/978-3-031-63720-9_21.

ГАЗОТУРБІННА УСТАНОВКА З ІЗОХОРНИМ ПРОЦЕСОМ ПІДВЕДЕННЯ ТЕПЛОТИ

Лавренченко Г. К.

д-р техн. наук, професор,
Президент асоціації технічно важливих газів «СІГМА» ТОВ «Інститут низькотемпературних енерготехнологій», а/с 285
м. Одеса, Україна

Слинько О. Г.

канд. техн. наук, професор кафедри суднових енергетичних установок і технічної експлуатації

Бойчук А. С., Козловський С. В.

канд. техн. наук, доценти кафедри суднових енергетичних установок і технічної експлуатації
Одеський національний морський університет
м. Одеса, Україна

1. Графічне зрівняння термодинамічних циклів ГТУ з ізобарним та ізохорними процесами підведення теплоти без попереднього та з попереднім охолодженням повітря

На рис. 1 зображено сумісно термодинамічні цикли ГТУ з ізобарним процесом підведення теплоти – 1-2-3-4-1; ізохорним без попереднього охолодження повітря – 1-5-3-4-1 та ізохорним з попереднім охолодженням повітря, що стискається компресором – 6-7-3-4-6. Порівнюємо цикли побудовані при однакових температурах газів, що подаються на лопатки турбіни (точка 3), та однаковій роботі розширення газів в турбіні (процес 3-4).

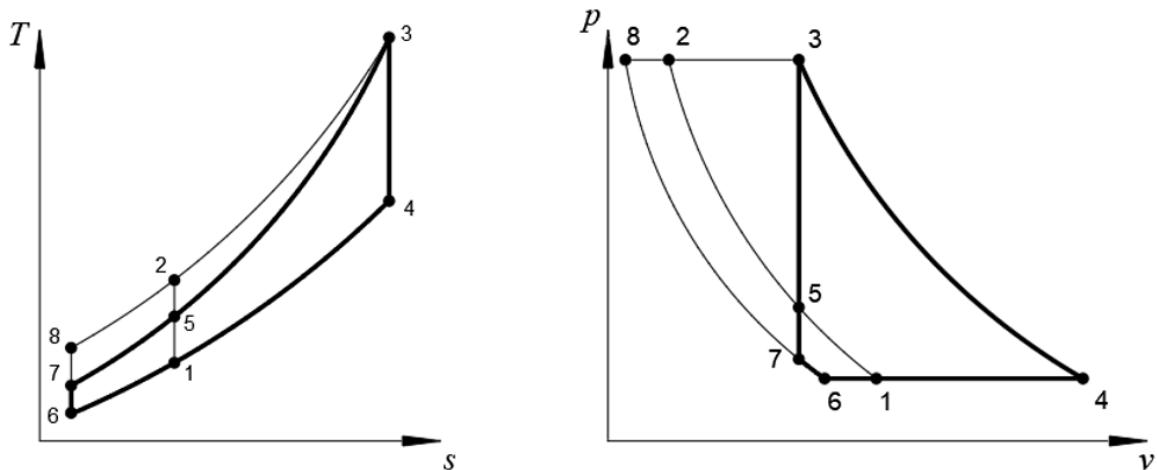


Рис. 1. Зіставлення термодинамічних циклів газотурбінних установок: класичної (з ізобарним процесом підведення теплоти) – 1-2-3-4-1; з ізохорним підведенням теплоти без попереднього охолодження повітря, яке всмоктується і стискається компресором – 1-5-3-4-1; і з ізохорним процесом підведення теплоти та попереднім охолодженням повітря – 1-6-7-3-4-1

Принцип дії циклу з ізохорним підведенням теплоти без попереднього охолодження повітря відрізняється від ізобарного тим, що стиснення свіжого повітря в компресорі здійснюється до питомого об'єму газів в точці 3 (процес 1-5), а підведення теплоти здійснюється по ізохорі 5-3.

Принцип дії термодинамічного циклу з ізохорним підведенням теплоти і попереднім охолодженням повітря відрізняється від останнього тим, що повітря, всмоктуєме компресором, попередньо охолоджується за допомогою утилізаційний тепловикористовуючих холодильних установок, а саме: комбінованої енергохолодильної установки [1] або абсорбційної холодильної установки [2], які працюють на вихлопних газах турбіни. До речі, враховуючи високу температуру відпрацювавших газів турбіни і не нижче температури охолодження повітря 0 °С, гази можна спочатку використати в іншій утилізаційній установці, а потім, після зниження температури, – в енергохолодильній установці [1]. Охолоджене повітря (процес 1-6) стискається компресором до питомої густини газів в точці 3 (процес 6-7), що суттєво зменшує питому роботу компресора.

2. Аналітичне порівняння термодинамічних циклів ГТУ з ізобарним і з ізохорним процесом підведення теплоти без попереднього та з попереднім охолодженням повітря

Для ілюстрації дієздатності і ефективності пропонуємого вдосконалення термодинамічного циклу відкритих ГТУ виконані відповідні розрахунки всіх трьох циклів при однакових значеннях температури газів перед турбіною $t_3 = 1193$ °С (ця температура обмежується жароміцністю використовуємого матеріалу лопаток турбіни та використовується в термодинамічному циклі танків типу Абрамс) і ступеня підвищення тиску $\beta = 7$. У звичайних одноступеневих ГТУ β не перевищує 8. Параметри повітря навколишнього середовища прийнято рівними $p_1 = 0,101325$ МПа й $t_1 = 30$ °С.

Використовуючи програму REFPROP [3], визначено термодинамічні властивості робочого тіла (повітря) в характерних точках у всіх точках зрівнюємих термодинамічних циклів. Визначені термодинамічні властивості робочого тіла (повітря) наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Термодинамічні властивості робочого тіла в характерних точках базового термодинамічного циклу ГТУ (з ізобарним процесом підведення теплоти); модифікованого (з ізохорним процесом підведення теплоти без попереднього охолодження свіжого повітря) та пропонуємого – з ізохорним процесом підведення теплоти з попереднім охолодженням свіжого повітря до температури 0 °С

Точки	$t, ^\circ\text{C}$	p , бар	v , м ³ /кг	u , кДж/кг	h , кДж/кг	s , кДж/(кг·К)
Базовий цикл ГТУ з ізобарним процесом підведення теплоти при температурі всмоктуємого компресором повітря 30 °С (цикл 1-2-3-4-1)						
1	30	1,01325	0,8588		429,57	3,8981
2	252,61	7,093	0,2134		655,91	3,8981
3	1193	7,093	0,59439	1302,4	1722,2	5,0455
4	635,02	1,01325	2,5743		1068,8	5,0455
Модифікований цикл ГТУ з ізохорним процесом підведення теплоти без охолодження всмоктуємого компресором повітря 30 °С (цикл 1-5-3-4-1)						
1	30	1,01325	0,8588		429,57	3,8981
5	77,81	1,6927	0,59439	376,88	477,65	3,8981
3	1193	7,093	0,59439	1302,4	1722,2	5,0455
4	635,02	1,01325	2,5743		1068,8	5,0455
Пропонуємий цикл ГТУ з ізохорним процесом підведення теплоти з попереднім охолодженням всмоктуємого компресором повітря до 0 °С (цикл 1-6-7-3-4-1)						
1	30	1,01325	0,8588		429,57	3,8981
6	0	1,01325	23,042	413,56	528,77	5,0455
7	30,446	1,4659	0,59439	342,79	429,92	3,7933
3	1193	7,093	0,59439	1302,4	1722,2	5,0455
4	635,02	1,01325	2,5743	807,98	1068,8	5,0455

Використовуючи табличні дані, визначено енергетичні характеристики базового термодинамічного циклу з ізобарним процесом підведення теплоти.

Розраховано:

- питому роботу турбіни l_T
 $l_T = h_3 - h_4 = 1722,2 - 1068,8 = 653,4$ кДж/кг;
- питому роботу компресора l_K
 $l_K = h_2 - h_1 = 655,91 - 429,57 = 226,34$ кДж/кг;
- питому роботу ГТУ
 $l_{ГТУ} = l_T - l_K = 653,4 - 226,34 = 427,06$ кДж/кг;
- питому теплоту, що підводиться в циклі
 $q_1 = h_3 - h_2 = 1722,2 - 655,91 = 1066,29$ кДж/кг;
- питому теплоту, що відводиться в циклі
 $q_2 = h_4 - h_1 = 1068,8 - 429,57 = 639,23$ кДж/кг;
- термічний коефіцієнт корисної дії
 $\eta_t^p = l_{ГТУ} / q_1 = 427,06 / 1066,29 = 0,400544$
- теоретичну витрату палива на 1 кВт·г роботи установки
 $b_t^p = 3600 / (\eta_t^p \cdot Q_H^p) = 3600 / (0,4005 \cdot 45 \cdot 10^3) = 0,1998$ кг/(кВт·г).

Визначено енергетичні характеристики модифікованого термодинамічного циклу ГТУ з ізохорним процесом підведення теплоти без охолодження повітря, яке всмоктується і стискається компресором

- питому роботу компресора
 $l_K = h_5 - h_1 = 477,68 - 429,57 = 48,08$ кДж/кг;
- питому роботу ГТУ
 $l_{ГТУ} = l_T - l_K = 653,4 - 48,08 = 605,32$ кДж/кг;
- питому теплоту, що підводиться в циклі
 $q_1^v = u_3 - u_5 = 1302,4 - 376,88 = 925,52$ кДж/кг;
- термічний коефіцієнт корисної дії
 $\eta_t^v = l_{ГТУ} / q_1^v = 605,32 / 925,52 = 0,6549$;
- теоретичну витрату палива на 1 кВт·г роботи модифікованої установки

$$b_t^v = 3600 / (\eta_t \cdot Q_{H^p}) = 3600 / (0,6549 \cdot 45 \cdot 10^3) = 0,1222 \text{ кг/(кВт·г)}.$$

Нарешті, визначено енергетичні характеристики пропонуємого термодинамічного циклу ГТУ з ізохорним процесом підведення теплоти і з попереднім охолодженням свіжого повітря до температури 0 °С (процес 1-6-7-3-4-6-1).

Розраховано:

- питому роботу компресора в процесі 6-7:
 $l_{\kappa} = h_7 - h_6 = 429,92 - 399,38 = 30,54 \text{ кДж/кг};$
- питому роботу турбіни Іт
 $l_t = h_3 - h_4 = 1722,2 - 1068,8 = 653,4 \text{ кДж/кг};$
- питому роботу ГТУ
 $l_{\text{ГТУ}} = l_t - l_{\kappa} = 653,4 - 30,54 = 622,86 \text{ кДж/кг};$
- питому теплоту, що підводиться в циклі
 $q_1 = u_3 - u_7 = 1302,4 - 342,79 = 959,61 \text{ кДж/кг};$
- термічний коефіцієнт корисної дії
 $\eta_t^v = l_{\text{ГТУ}} / (q_1^v) = 622,86 / 959,61 = 0,6491;$
- теоретичну питому витрату палива на 1 кВт·г роботи модифікованої установки
 $b_t^v = 3600 / (\eta_t \cdot Q_{H^p}) = 3600 / (0,6491 \cdot 45 \cdot 10^3) = 0,1232 \text{ кг/(кВт·г)}.$

3. Аналіз розрахованих даних

Для можливості зіставлення важливих показників ефективності термодинамічних циклів базової, модифікованої і запропонованої ГТУ записуємо їх у порівняльну табл. 2.

Таблиця 2. Зрівняння важливих показників ефективності трьох термодинамічних циклів ГТУ: базового (з ізобарним процесом підведення теплоти), модифікованого (з ізохорним процесом підведення теплоти без охолодження свіжого повітря) і пропонуємого (з ізохорним процесом підведення теплоти і попереднім охолодженням повітря, всмоктуємого компресором)

п/п	Показники ефективності	Розмірність	Термодинамічний цикл		
			базовий (з ізобарним процесом підведення теплоти)	з ізохорним підведенням теплоти	
				без охолодження свіжого повітря	з попереднім охолодженням свіжого повітря до 0 °С
1	Температура газів, що подаються на лопатки турбіни	°С	1193		
2	Питома теплота, що підводиться в циклі	кДж/кг	1068,72	925,52	959,61
3	Питома теплота, що відводиться в циклі	кДж/кг	639,3		
4	Питома робота турбіни	кДж/кг	654,2		
5	Питома робота компресора	кДж/кг	226,33	48,08	30,54
6	Питома робота ГТУ	кДж/кг	427,87	606,12	622,86
7	Термодинамічний ККД	–	0,4005	0,6549	0,6491
8	Теоретична витрата палива на 1 кВт·г роботи установки, b_t	кг/(кВт·г)	0,1998	0,1222	0,1232
9	Відносне зменшення теплоти, що підводиться в циклі	%	–	13,4	9,7
10	Відносне підвищення питомої роботи ГТУ	%	–	41,7	45,6
11	Відносне підвищення теоретичного ККД	%	–	63,5	62,1
12	Відносне зменшення питомої витрати палива, b_t	%	–	63,5	62,2

Аналізуючи наведені в табл. 2 енергетичні характеристики порівнюємих циклів, можна однозначно стверджувати, що запропоновані удосконалення термодинамічного циклу простих відкритих ГТУ (з ізохорним підведенням теплоти) мають багато суттєвих енергетичних переваг над термодинамічним циклом з ізобарним процесом підведення теплоти.

Так, при зменшенні питомої витрати палива в ГТУ з ізохорним підведенням теплоти більше ніж на 60 %, а їх потужність зростає більше ніж на 40 % в порівнянні з циклом з ізобарним процесом підведення теплоти.

Перевага термодинамічного циклу ГТУ з ізохорним підведенням теплоти і попереднім охолодженням повітря над циклом ГТУ без охолодження проявляється в зменшенні потужності компресора, а отже і його масогабаритних показників, на 36,5 %. Решта показників ефективності цих циклів майже співпадають.

Висновок. Модифікувавши термодинамічний цикл простої відкритої ГТУ шляхом заміни ізобарного процесу підведення теплоти ізохорним процесом можна суттєво підвищити її ефективність і потужність. Особливо це актуально для головних енергетичних установок танків, кораблів, торгових суден, газотурбінних установок магістральних газо-перекачуючих станцій тощо.

Література:

1. Лавренченко Г. К., Слинько О. Г., Козловський С. В., Бойчук А. С., Галкін В. М. (2022). Утилізаційна комбінована енергохолодильна установка з повним регенеративним теплообміном. Холодильна техніка та технологія. Т. 58. № 1. С. 50-61.
2. Вассерман О. А., Слинько О. Г., Шутенко М. А. (2020). Інноваційні цикли енергетичних установок. – Одеса: вид-во «Фенікс». 182 с.
3. Lemmon, E. W, Huber, M. L, McLinden, M. O. (2007). NIST Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties. REFPROP, Version 8.0. Gaithersburg.

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ РОЗРАХУНКІВ РОБОТИ КАМЕРИ ЗГОРЯННЯ З ВПОРСКУВАННЯМ ПАРИ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОРІВНЕВИХ МЕХАНІЗМІВ ОКИСНЕННЯ ПАЛИВА

Сербін С. І.

д-р техн. наук, професор кафедри турбін

Шмарков О. А.

аспірант

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Daifen Chen

Professor

Jiangsu University of Science and Technology, Jiangsu, China

Jianming Zhang

Ph. D. Candidate in Department of Computer Engineering
Jiangsu University of Science and Technology, Jiangsu, China

Достовірне відтворення реальних термодинамічних процесів, які відбуваються у камері згоряння, стоїть наріжним каменем під час процесу проектування ГТД. За допомогою сучасних розрахункових CFD комплексів можна провести симуляції процесів горіння у камері згоряння ГТД, але точність таких розрахунків залежить від багатьох факторів, таких як: якість змодельованої сітки, відповідність реальному протіканню хімічних процесів кінетичної схеми горіння палива та чітке розуміння природи процесів для точного налаштування параметрів у рамках CFD комплексу.

Великий простір для досліджень викликаний тенденціями пошуку варіантів застосування різних екологічно чистих видів палива та удосконалення існуючих агрегатів для покращення екологічних показників установок призводить до появи великої кількості досліджень, які поєднують у собі безліч комбінацій існуючих технологій ефективного використання палива. Таке положення справ дає потужний поштовх для розвитку індустрії з одного боку, але одночасно ускладнює етап верифікації отриманих даних у зв'язку з відсутністю достатньої експериментальної бази, яка б слугувала міцним фундаментом для переходу від теоретичних досліджень до практичного застосування обґрунтованих технічних рішень.

Проектування прогресивної енергетичної установки, яка б задовольняла сучасним міжнародним вимогам щодо емісії шкідливих речовин [1], проводилось починаючи зі створення проекту самої установки, створення методики розрахунку її параметрів з розробкою відповідної програми для її симуляції [2] і завершувалося виявленням оптимальних режимів роботи установки з урахуванням можливого застосування на судах типу FPSO [3].

Результати даних досліджень слугували відправною точкою для початку дослідження можливості роботи камери згоряння (КЗ) на водневому паливі.

При попередніх симуляціях роботи КЗ для отримання оціночних даних використовувався механізм окиснення палива, який складається з однієї загальної реакції взаємодії водню з киснем [4]. За даним дослідженням було отримано розподіли температур у медіанному перерізі жарової труби та параметри на виході з камери згоряння.

Наступним етапом був перехід до багаторівневого механізму окиснення палива з урахуванням утворення оксидів азоту [5]. Так, за умови новизни досліджуваного напрямку, що супроводжується відсутністю емпіричних даних щодо роботи камери згоряння установок типу «Водолій» на водневому паливі, для верифікації отриманих даних використовувалося декілька багаторівневих механізмів горіння водневого палива, представлених у різних дослідженнях [6, 7, 8] з подальшим порівнянням отриманих даних.

Аналізуючи результати розрахунків з використанням багаторівневих механізмів горіння водневого палива була відмічена сильна близькість розподілів параметрів вздовж жарової труби камери згоряння та параметрів у вихідному її перерізі. Також ці результати було порівняно з результатами дослідження кінетичного механізму з однією реакцією. Зміну характеру розподілу температур вздовж жарової труби для різних кінетичних схем представлено на рис. 1.

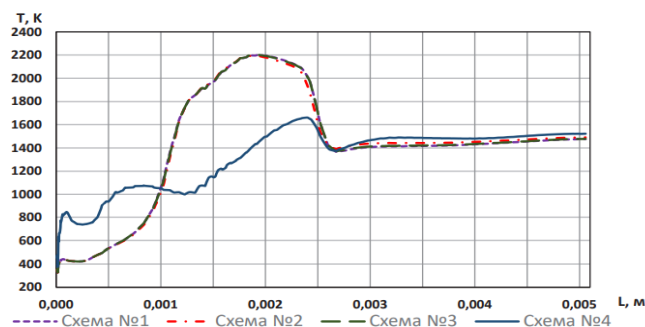


Рис. 5. Зміна температури повздовж жарової труби для різних кінетичних схем

Рис. 1. Зміна температури вздовж жарової труби для різних кінетичних схем [5]

Зміну характеру розподілу параметрів вздовж жарової труби проілюструємо навівши їх розподіли для різних кінетичних схем (рис. 2). Всі розглянуті детальні схеми дають рівень емісії оксидів азоту, який є нижчим за гранично встановлений міжнародними нормами. Також симуляції показали стійку роботу камери без ефекту проскоку полум'я.

Отримані результати дають необхідні підстави для подальшого дослідження обраного напрямку.

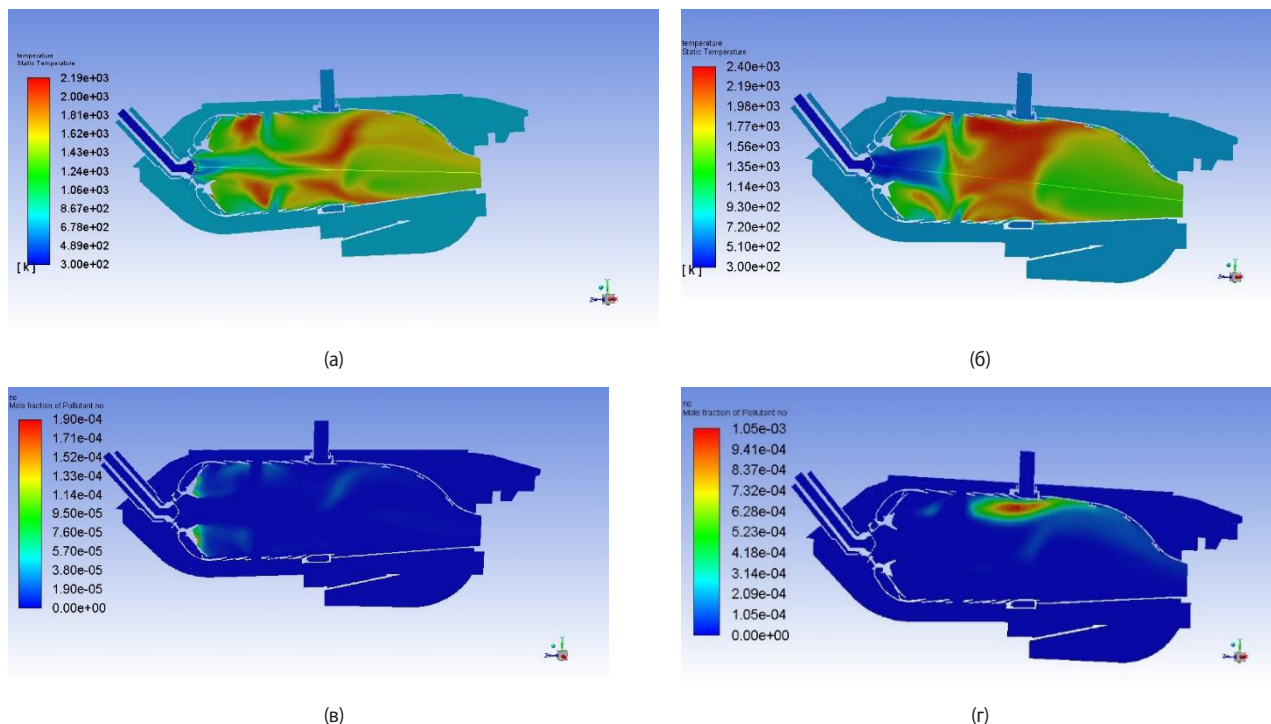


Рис. 2. Розподіли вздовж жарової труби:

(а) – температури при застосованні одноступінчастої моделі окиснення палива [4]; (б) – температури при застосованні детальних кінетичних моделей окиснення палива; (в) – концентрацій оксидів азоту при застосованні одноступінчастої моделі окиснення палива [4]; (г) – концентрацій оксидів азоту при застосованні детальних кінетичних моделей окиснення палива [4]

Література:

1. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32010L0075>, last accessed 2023/11/17.
2. Serbin, S., Shmarkov, O. Parameters of the hybrid gas-steam power plant operating on hy-drogen fuel. Collection of Scientific Works of Admiral Makarov National Shipbuilding University. 2023. 1(490), pp. 103-110. [https://doi.org/10.15589/znp2023.1\(490\).13](https://doi.org/10.15589/znp2023.1(490).13)
3. FPSO MIAMTE MV34 - IMO 9416692, <https://www.shipspotting.com/photos/3483441?navList=moreOfThisShip&imo=9416692&id=3413030>, 2023.
4. Serbin S. I., Shmarkov O. A. Characteristics of combustion chamber of hybrid gas-steam power plant operated on hydrogen fuel for FPSO vessel. Shipbuilding & marine infrastructure. 2023. №1 (17), pp. 22-30. [https://doi.org/10.15589/smi2022.1\(17\).03](https://doi.org/10.15589/smi2022.1(17).03).
5. Shmarkov O. Using detail hydrogen combustion kinetic models in CFD modeling of combustor working processes for FPSO vessels. Shipbuilding & marine infrastructure. 2024. №1(18), pp. 18-26. [https://doi.org/10.15589/smi2024.1\(18\).03](https://doi.org/10.15589/smi2024.1(18).03).

6. Conaire M. O., Curran H. J., Simmie J. M., Pitz W. J., Westbrook C. K. A Comprehensive Modeling Study of Hydrogen Oxidation. International Journal of Chemical Kinetics. 2004. vol. 36, issue 11, pp. 603-622. <https://doi.org/10.1002/kin.20036>.
7. CHEMKIN, Software. CHEMKIN Tutorials Manual. 2011. pp. 274.
8. Drake M. C., Blint R. J. Thermal NOx in stretched laminar opposed-flow diffusion flames with CO/H₂/N₂ fuel. Combustion and Flame. 1989. vol. 76, issue 2, p. 151-167. [https://doi.org/10.1016/0010-2180\(89\)90064-3](https://doi.org/10.1016/0010-2180(89)90064-3).

CFD-МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ ВОДНЮ І ПОВІТРЯ ПРИ РОЗРИВІ ТРУБОПРОВОДУ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА

Лисиця О. Ю., Петухов І. І.

канд. техн. наук, доценти кафедри аерокосмічної теплотехніки
Національний аерокосмічний університету ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
м. Харків, Україна

Використання водню як палива для наземного транспорту та авіації стає глобальною тенденцією, оскільки водень не тільки екологічно чистий, але й має високу теплоту згоряння і швидкість горіння, забезпечує високі показники тепловіддачі та холодоресурс, що покращує ефективність роботи двигунів. Однак низька густина водню, висока стиснуваність, широкий діапазон вибухонебезпечних концентрацій у суміші з повітрям і низька температура в рідкому стані ускладнюють проектування водневих систем, зокрема, паливної системи газотурбінного водневого двигуна. З огляду на те, що водень має межу займистості в діапазоні від 4 до 75 %, навіть незначне його витікання через тріщини чи пошкодження трубопроводу може спричинити пожежу.

Достовірна оцінка наслідків витоку водню в навколишнє повітря через пошкодження конструкції, виявлення зон із вибухонебезпечними концентраціями воднево-повітряної суміші та розробка методів зниження пожежних ризиків є дуже актуальною задачею при проектуванні водневих систем авіаційних двигунів. CFD-моделювання виглядає ефективним та перспективним інструментом для її вирішення.

В даній роботі проаналізовано процес змішування водню з повітрям внаслідок тріщини водневого трубопроводу системи подачі палива. Моделюється витік водню в навколишнє повітря через малий отвір, що є аналогом тріщини в трубі. Обчислено концентрацію компонентів в об'ємі досліджуваної області. Це дозволяє визначити зони з вибухонебезпечними концентраціями водню та можливі місця розташування відповідних датчиків контролю.

Оскільки неможливо точно передбачити місця витоку водневого палива та його кількість, представлена CFD-модель враховує різні швидкості середовищ, що змішуються, і варіанти вентиляції (відсутність руху повітря, вертикальний або горизонтальний потік). Моделювання проводиться на стаціонарному та нестаціонарному режимах. Процес змішування потоків описується системою рівнянь збереження маси, імпульсу та енергії, до яких додається конвективно-дифузійне рівняння в рамках моделі Specious Transport. Для опису турбулентності застосовується модель Realizable k-ε, а для вирішення системи рівнянь використовується Pressure-Based Solver.

Результати моделювання показали, що при бічній вентиляції струмінь водню відхиляється у напрямку потоку, причому це відхилення посилюється із збільшенням швидкості повітря. Без вентиляції струмінь водню має форму циліндра з максимальною концентрацією водню в його середині. При витраті водню 1-12 г/с діаметр цього ядра становить 0,3-0,4 м, а концентрація водню в ньому може досягати 100%. За слабкої або відсутньої вентиляції вибухонебезпечна концентрація має місце у всьому об'ємі. Вимушена вентиляція знизу вгору є більш ефективною. Для витрат водню 1...12 г/с достатньо швидкості повітря 0,2 м/с, щоб обмежити вибухонебезпечну концентрацію лише в ядрі потоку. За бічної вентиляції для цього потрібна швидкість повітря від 2 м/с для витрати водню 1...5 г/с та до 4 м/с для витрати 12 г/с. Час до досягнення рівноважної концентрації водню в повітрі не перевищує 10 секунд.

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОПЕРЕНОСУ В КАМЕРІ ПІДШИПНИКА ГТД

Петухов І. І., Михайленко Т. П.

канд. техн. наук, доценти кафедри аерокосмічної теплотехніки

Ковальов А. В.

аспірант кафедри аерокосмічної теплотехніки
Національний аерокосмічний університету ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
м. Харків, Україна

Зростання параметрів термодинамічного циклу газотурбінних двигунів (ГТД) та мінімізація їх розмірів ускладнюють умови роботи підшипникових вузлів та викликають необхідність підвищення точності розрахунку параметрів робочого процесу. Складність його моделювання визначається наявністю у камері підшипника нерівноважного двофазного повітряно-оливного середовища, яке обертається. Така особливість призводить до зміни структури потоку від повітряно-крапельної у ядрі до практично рідинної у пристінній оливній плівці. Відповідно змінюються і механізми переносу теплоти. Саме вони визначають коефіцієнт тепловіддачі до внутрішньої стінки камери підшипника, який є

найбільш затребуваним параметром при її проектуванні та експлуатації. Сучасні тривимірні гетерогенні CFD-моделі (наприклад, Eulerian [1]) враховують основні фактори робочого процесу, але вимагають значних обчислювальних ресурсів для його розрахунку. При цьому вони не дають достатньо достовірних даних і все ще потребують вибіркового експериментального підтвердження. Наявні критеріальні рівняння [2] для коефіцієнту тепловіддачі лише формально враховують вплив режимних параметрів і узагальнюють результати для конкретної геометрії камери підшипника.

Мета роботи. Розробка математичної моделі теплопереносу у камері підшипника ГТД, яка враховує всі ключові фактори руху та теплообміну повітряно-крапельного потоку, а також пристінкової оливної плівки, яка формується при осадженні крапель, з можливістю використання моделі в інженерних розрахунках.

Перенесення теплоти в ядрі потоку забезпечується краплями оливи, які виникають при аеродинамічному подіренні оливи в місцях її витoku із підшипника та в зоні взаємодії з повітрям наддуву ущільнень. Кожен з потоків крапель має свої вихідні температуру, діаметр та вектор швидкості. Далі за рахунок обертання потоку краплі в цілому рухаються у напрямку стінки. Траєкторії їхнього руху визначаються силами інерції, тяжіння та аеродинамічного впливу. Взаємодія з повітрям визначає також інтенсивність міжфазного теплообміну. Система рівнянь та опис міжфазної взаємодії базується на відповідних базових рівняннях та співвідношеннях механіки гетерогенних середовищ.

Потік крапель забезпечує радіальний перенос теплоти до поверхні плівки, умови її формування, а також подальшу швидкість руху та товщину по периметру стінки. Саме два останні фактори визначають коефіцієнт тепловіддачі до внутрішньої стінки камери підшипника [3, 4]. Особливістю моделі є використання двохшарової схеми для прикордонного шару, що дозволяє описати турбулентні режими течії плівки без спрощень щодо її поперечного профілю швидкості.

Розроблена математична модель враховує всі ключові фізичні процеси та режимні фактори, які на них впливають, а саме:

- утворення крапель оливи, яке визначається обертами валу та витратами повітря через ущільнення;
- температуру, швидкість та об'ємну долю крапель на межі оливної плівки, які крім зазначених вище режимних параметрів визначаються також вихідними температурами фаз;
- розподіл товщини та швидкості масляної плівки по периметру камери, на який додатково суттєво впливають умови відбору потоку в магістралі відкачки та суфлювання;
- граничні режими течії плівки, коли реалізується її «захливання».

Висновки. Запропонований підхід є компромісом між тривимірними CFD-моделями, що вимагають значних обчислювальних ресурсів, і емпіричними критеріальними залежностями, які не базуються на рівняннях механіки гетерогенних середовищ і не враховують особливостей конструкції камери підшипника та умов подачі оливи. Розроблена математична модель позбавлена цих недоліків, що робить її придатною для вирішення практичних інженерних задач у сфері проектування і вдосконалення камери підшипника ГТД. Точність моделі може бути підвищена за рахунок її поелементної ідентифікації на основі експериментальних даних.

Література:

1. Help Ansys Fluent. Release 2021 R1.
2. Busam S., Glahn A., Wittig S. Internal bearing chamber wall heat transfer as a function of operating conditions and chamber geometry. J. Eng. Gas Turbines Power, 2000. No. 122(2). pp. 314-320.
3. I. Petukhov, T. Mykhailenko, O. Lysytsia, A. Kovalov. Study of Oil Film Heat Transfer in Gas Turbine Engine Bearing Chamber. Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air, 2021. GT2021-58964, V001T01A008. <https://doi.org/10.1115/GT2021-58964>
4. Петухов І. І. Математичне моделювання пристінної оливної плівки в камері підшипника ГТД / І. І. Петухов, А. В. Ковальов // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2023. – №4. – С. 43-49.

ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ ОХОЛОДЖЕННЯ ПОВІТРЯ ПРИ СТИСАННІ В КОМПРЕСОРІ ЗАЛЕЖНО ВІД ВОЛОГОВМІСТУ

Бєков Б. А.

аспірант

Шевцов А. П.

д-р техн. наук, професор Навчально-наукового центру морської інфраструктури
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Охолодження повітря під час стискання у компресорах газотурбінних установок є важливим фактором підвищення їх енергетичної ефективності. Одним із ключових параметрів, який впливає на процеси тепломасообміну, є вологовміст повітря. Вибір оптимального способу охолодження залежно від вологовмісту дозволяє знизити витрати енергії на стискання та збільшити ефективність роботи компресорів.

Метою дослідження є підвищення енергетичної ефективності газотурбінного двигуна, шляхом поступеневого охолодження повітря при стисненні в компресорі.

Об'єктом дослідження є поступеневе охолодження вологого повітря в компресорі та його вплив на ефективність суднових газотурбінних установок.

Предметом дослідження є закономірності та параметри процесу охолодження вологого повітря в умовах неізотермічного стиснення.

Методом дослідження є математичне моделювання та розрахунковий аналіз термодинамічних параметрів потоку повітря в умовах неізотермічного стиснення.

Розробка раціонального способу охолодження, який враховує параметри вологого повітря і дозволяє оптимізувати термодинамічні характеристики стиснення визначено шляхом співставлення результатів адіабатного та політропних процесів. Це дало змогу отримати значення щодо випарного охолодження з поверхні направляючих лопаток компресора, а саме зниження температури вологого повітря, кількості теплоти на охолодження, питомий потік води та її швидкість.

Дослідження базується на математичному моделюванні процесів тепломасообміну у компресорі з використанням фундаментальних рівнянь термодинаміки та гідрогазодинаміки. Алгоритм розрахунку реалізований в програмному продукті Excel. Для розрахунків прийнято такі вихідні умови: температура, відносна вологість та тиск повітря.

Отримано наступні результати:

1) Витрати енергії на привід компресора, для адіабатного і політропного процесу з показником політропи 1,2 відповідно знижується з 269,6 кДж/(кг/с) до 140,9 кДж/(кг/с), а ефективний ККД газотурбінного двигуна, при цьому підвищується з 0,358 до 0,533.

2) Зниження витрат енергії на привід компресора забезпечується завдяки зниженню температури повітря в ступенях компресора від нульової $\Delta T_0 = 15,48$ К, до восьмої ступені $\Delta T_8 = 49,67$ К.

3) Питомий потік маси води, що випаровується, для зниження температури повітря складає від 0,00623 кг води/(м² с) повітря для нульової ступені, до 0,021 кг води/(м² с) повітря для восьмої ступені.

4) Швидкість подачі води на поверхню лопатки складає, від 0,371 мм/с для лопатки нульової ступені, до 4,286 мм/с, для лопатки восьмої ступені.

5) Отримані кінцеві та проміжні показники процесів охолодження по ступенях компресора дозволяють обґрунтувати ефективність використання поверхневих та об'ємних тепломасообмінних процесів.

Література:

1. Процеси випарного охолодження в енергетичних установках // Матеріали Міжнародної конференції «Теплофізика і енергетика-2023». – Київ: НАН України, 2023. – С. 45-52.
2. Коваленко С. В. Тепломасообмін у газотурбінних установках / С. В. Коваленко. – Харків: Інжек, 2019. – 256 с.
3. Romakhova G. A. Influence of the Cooling Technology on the Efficiency of Gas-Turbine Power Plants, Power Technology and Engineering, Vol. 56, 2022, pp. 84-87.

СПОСІБ ЗАХИСТУ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА ДЛЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ПРИ РАПТОВОМУ ВІДКЛЮЧЕННІ СПОЖИВАЧІВ

Тарасенко О. І., Литиш О. В.

канд. техн. наук, доценти кафедри кондиціонування і рефрижерації
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Тарасенко А. О.

інженер

Відомо, що слабким місцем газотурбінних двигунів (ГТД) з вільною силовою турбіною є їх робота у разі раптового відключення багатьох споживачів електричної енергії. Відключення споживачів електричної енергії супроводжується підвищенням швидкості обертання вільної силової турбіни що викликає спрацювання аварійного захисту двигуна по перевищенню дозволених швидкості обертання силової турбіни. В випадку спрацювання аварійного захисту закривається стоп-кран, припиняється подача пального і ГТД зупиняється. У випадку автономно працюючої електростанції може припинитися живлення власних потреб і станція «погасає». Станцію яка «погасла» запустити непросто. У випадку коли газотурбінний двигун має у своєму складі ТУК (тепло утилізаційний контур) і температура повітря мінусова ситуація може бути дуже небезпечною. Ситуація буде значно кращою, коли ГТД залишиться в режимі холостого ходу і аварійної зупинки вдасться уникнути. У цьому випадку станція буде нормально працювати, а споживачі, що залишилися, будуть одержувати нормальну електричну енергію.

Таким чином треба так керувати ГТД, щоб не допускати аварійних зупинок і розглядати їх як крайню міру.

Аналіз роботи швидкодіючих регуляторів обертів (натурні випробування), при раптовому повному відключенні споживачів електричної енергії, показує, що регулятор швидко знижує подачу палива до рівня холостого ходу. Знизити подачу палива нижче рівня холостого ходу неможливо тому, що горіння в камері згоряння зірветься і спрацює аварійний захист на погашення. Знизивши подачу палива до рівня холостого ходу регулятор нічого не робить протягом кількох секунд, а оберти вільної силової турбіни зростають і спрацює аварійний захист по перевищенню обертів силової турбіни.

Так послідовність дій має місце коли на генераторі зовсім немає загрузки. При раптовому частковому відключенні споживачів електричної енергії регулятор також швидко знижує подачу палива до рівня холостого ходу і більше нічого не робить. Через нетривалий час швидкість обертання починає знижуватися і регулятор стабілізує швидкість обертання підвищивши подачу палива. Слід відмітити, що при подачі палива на рівні холостого ходу ГТД постачає електричну енергію споживачам за рахунок внутрішньої енергії. Внутрішню енергію можливо підрахувати.

У разі раптового відключення загрузки на генераторі треба підключити до генератора баластний опір який утилізує 5 МДж енергії на кожні 10 МВт потужності. Підключення баластного опору здійснюється через 0,25...0,5 секунди після відключення загрузки на генераторі на 1...2 секунди. При використанні в якості баластного опору чавунної пластини масою 100 кг вона буде нагріта на 100 оС і мати розмір побутового каміну з захисним кожухом.

Література:

1. US 3159487 Steam turbine-gas turbine power plant / J. L. Mangan, T. J. Hiniker. – 1963.
2. Тарасенко А. И. Патент України на винахід №97058. Спосіб аварійного захисту газотурбінного двигуна від перевищення частоти обертання силової турбіни. 2011, бюл. №24.
3. Тарасенко М. А. Сравнительный анализ частичных режимов одновального и многовальных ГТД при изменении температуры наружного воздуха / М. А. Тарасенко, А. И. Тарасенко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2014. – № 9 (116). – С. 74-79.

РОБОТА ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА ДЛЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ В УМОВАХ ЗМІННИХ ТЕМПЕРАТУР ПОВІТРЯ НА ВХОДІ

Тарасенко О. І., Литош О. В.

канд. техн. наук, доценти кафедри кондиціонування і рефрижерації
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Тарасенко А. О.

інженер

Відомо, що слабким місцем газотурбінних двигунів (ГТД) є порівняно малий коефіцієнт корисної дії. Тому газотурбінний двигун доцільно використовувати на електростанціях які працюють у якості ТЕЦ (тепло електричної централі). Це означає, що газотурбінний двигун має у своєму складі ТУК (тепло утилізаційний контур) який має утилізаційний котел, парову турбіну і водонагрівач, який відіграє роль конденсатора. З метою одержати значний ресурс газотурбінний двигун може бути де форсований.

При зниженні температури повітря на вході в газотурбінний двигун ефективність роботи ГТД з ТУК знижується. З метою підвищення ефективності роботи ГТД з ТУК повітря на вході слід підігрівати гарячою (70°С) водою з водонагрівача [1] за допомогою встановленого на вході в ГТД підігрівача повітря. Слід відзначити, що схема ГТД з вільною силовою турбіною менш вразлива до зниження температури повітря на вході в ГТД [2].

Можливо показати що, в умовах електростанції, зниження температури повітря на вході в одно каскадний ГТД нижче номінального зменшить коефіцієнт його корисної дії. Особливість роботи однокаскадного ГТД на електростанції у тому, що двигун повинен видати задану потужність на заданій швидкості обертання. Зменшення температури повітря на вході викличе збільшення масовий витраті повітря через компресор, що в свою чергу викличе зниження температури перед турбіною, а значить і зниження коефіцієнта корисної дії.

У випадку ГТД з вільною силовою турбіною є можливість для зміни швидкості обертання компресора. При підвищенні витрати повітря через компресор він почне вживати більшу потужність, що викличе зменшення швидкості обертання турбокомпресорного контуру. Згідно розрахунків коефіцієнт корисної дії трохи знижується, але натурні експерименти зниження не показали. Коефіцієнт корисної дії залишався постійним при значному (20 °С) зниженні температури.

Слід відзначити, що у випадку ГТД з вільною силовою турбіною може бути потрібен захист згідно [3].

Відомо, що з підвищенням температури повітря на вході в ГТД підвищується температура перед турбіною, що викликає обмеження по максимальній потужності. Особливість роботи ГТД на електростанції у тому, що потужність задана і у випадку коли задана невелика потужність можливо підігріти повітря на вході підігрівачем повітря за рахунок ТУК і підвищити коефіцієнт корисної дії. Слід комплектувати ГТД підігрівачем повітря на вході в двигун і підтримувати температуру повітря на вході на номінальному рівні. При мінусових температурах повітря це захистить двигун від обледеніння і пошкодження фільтруючих елементів на вході повітря в двигун. При використанні ТУК підігрів повітря на вході в двигун забезпечить нормальну роботу утилізаційного котла.

Література:

1. US 3159487 Steam turbine-gas turbine power plant / J. L. Mangan, T. J. Hiniker. – 1963.
2. Тарасенко М. А. Сравнительный анализ частичных режимов одновального и многовальных ГТД при изменении температуры наружного воздуха / М. А. Тарасенко, А. И. Тарасенко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2014. – № 9 (116). – С. 74-79.
3. Тарасенко О. И. Патент України на винахід №97058. Спосіб аварійного захисту газотурбінного двигуна від перевищення частоти обертання силової турбіни. 2011, бюл. №24.

ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ СХЕМИ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА ДЛЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Тарасенко О. І., Литош О. В.

канд. техн. наук, доценти кафедри кондиціювання і рефрижерації
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Тарасенко А. О.

інженер

Відомо, що слабким місцем газотурбінних двигунів (ГТД) є порівняно малий коефіцієнт корисної дії. Тому газотурбінний двигун доцільно використовувати на електростанціях які працюють у якості ТЕЦ (тепло електричної централі). Це означає, що газотурбінний двигун має у своєму складі ТУК (тепло утилізаційний контур) який має утилізаційний котел, парову турбіну і водонагрівач, який відіграє роль конденсатора. З метою одержати значний ресурс газотурбінний двигун може бути де форсований.

При зниженні температури повітря на вході в газотурбінний двигун ефективність роботи ГТД з ТУК знижується. З метою підвищення ефективності роботи ГТД з ТУК повітря на вході слід підігрівати гарячою (70 оС) водою з водонагрівача [1] за допомогою встановленого на вході в ГТД підігрівача повітря. Слід відзначити, що схема ГТД з вільною силовою турбіною менш вразлива до зниження температури повітря на вході в ГТД [2] і дозволяє підвищити швидкість обертання компресорів (при однокаскадній схемі швидкість обертання компресорів дорівнює 3000 об/хв.). Підвищення швидкості обертання компресорів і турбін зменшить їх розмір і металоємність що знизить вартість ГТД.

При використанні схеми ГТД з вільною силовою турбіною виникають наступні проблеми:

1. Запуск ГТД. При однокаскадній схемі запуск здійснюється генератором який працює в режимі двигуна (потрібен спеціальний генератор). Це важко зробити при автономному режимі роботи станції.

2. Аварійне відключення ГТД при раптовому відключенні загрузки на генераторі. При однокаскадній схемі утримати ГТД на режимі холостого ходу відносно легко.

3. Осьові зусилля в вільній силовій турбіні. При однокаскадній схемі осьові зусилля турбіни і компресора значно компенсовані.

З метою спрощення ГТД доцільно здійснити привід компресора низького тиску від парової турбіни ТУК. Така схема дозволить здійснити запуск ГТД за допомогою компресора низького тиску і автономно працюючого утилізаційного котла. У випадку автономної роботи електростанції підтримати роботу утилізаційного котла і задовольнити власні нужди електростанції можливо допоміжним дизель генератором відносно малої потужності.

У разі раптового відключення загрузки на генераторі треба підключити до генератора баластний опір який утилізує 5 МДж енергії на кожні 10 МВт потужності [3]. Підключення баластного опору здійснюється через 0,5...1 секунди після відключення загрузки на генераторі на 1...2 секунди.

Осьові зусилля в вільній силовій турбіні можливо компенсувати зробивши її двох проточною.

Література:

1. US 3159487 Steam turbine-gas turbine power plant / J. L. Mangan, T. J. Hiniker. – 1963.
2. Тарасенко М. А. Сравнительный анализ частичных режимов одновального и многовальных ГТД при изменении температуры наружного воздуха / М. А. Тарасенко, А. И. Тарасенко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2014. – № 9 (116). – С. 74-79.
3. Тарасенко О. І. Патент України на винахід №97058. Спосіб аварійного захисту газотурбінного двигуна від перевищення частоти обертання силової турбіни. 2011, бюл. №24.

СЕКЦІЯ 4. КОНСТРУКЦІЯ ТА МІЦНІСТЬ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ ТА ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

INFLUENCE OF THE WELD BEAD SURFACE QUALITY AFTER THE POST-WELD FINISHING PROCESSES ON ITS CORROSION RESISTANCE

Łastowska O.

PhD, Associate Professor of the Department of Engineering Sciences, Faculty of Marine Engineering, Gdynia Maritime University,
Gdynia, Poland

Jurczak W.

Professor of the Faculty of Mechanical and Electrical Engineering
Polish Naval Academy, Gdynia, Poland

Starosta R.

Professor of the Faculty of Marine Engineering
Gdynia Maritime University, Gdynia, Poland

The maintenance characteristics of gas turbine and internal combustion engines components are fundamentally determined by a system of surface quality parameters encompassing geometrical features, mechanical properties, and surface structural characteristics. This investigation focuses on the interplay between corrosion behavior – a critical factor in maintenance – and the primary surface quality parameters of butt-welded joints after finishing processes. Specifically, the study evaluates and contrasts traditional grinding techniques with an innovative post-weld finishing method.

Corrosion arises from the thermodynamic instability of materials inherent to manufacturing processes, driving them toward a chemically more stable oxidized state over time. Welded joints, in particular, present significant challenges related to corrosion fatigue due to their intrinsic structural complexities, material heterogeneities, and localized stress concentrations. These issues emphasize the critical importance of understanding and optimizing finishing methods for welded joints.

For this study, test samples of AISI 304L and AISI 316L stainless steels, as well as EN AW-5058 H321 and EN AW-7075 T651 aluminum alloys, were subjected to butt welding followed by finishing using both traditional grinding and the innovative method. Electrochemical testing was conducted on these samples in a 3.5 % sodium chloride (NaCl) solution maintained at 20 °C to simulate corrosive environmental conditions. Corrosion rates were determined through Tafel curve extrapolation, and open circuit potential (E_{corr}) measurements were performed using an Autolab PGSTAT 302N potentiostat.

The findings illustrate the advantages of the innovative finishing method, particularly in enhancing corrosion resistance. The study highlights how key surface quality factors – including surface roughness, microstructural integrity, material hardness, and residual stress distribution – play pivotal roles in influencing corrosion behavior. These insights provide a deeper understanding of how advanced finishing methods can mitigate corrosion risks in welded joints, contributing to improved maintenance outcomes for critical machine components.

The study focused on two widely utilized austenitic stainless steel grades, AISI 304L and AISI 316L [1, 2, 3], along with two aluminum alloys, EN AW-5083 H321 and EN AW-7075 T651 [4, 5]. These materials were chosen based on extensive reviews in contemporary scientific literature, which emphasize their distinct welding behaviors and corrosion resistance properties. The chemical composition and mechanical properties of these materials, verified according to the EN 10204-3.1 inspection certificate (mill test certificate), are presented in detail in Tables 1 and 2.

Tab. 1 The chemical composition and mechanical properties of selected stainless steels.

The mechanical properties, [MPa]		Material	Chemical Composition, [%]								
			C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N	Mo
Rm	Rp0.2										
624	316	AISI 304L	0.021	0.425	1.340	0.0313	0.0056	18.214	8.106	0.0363	-
583	268	AISI 316L	0.023	0.390	0.850	0.0310	0.0021	16.700	10.180	0.0250	2.04

Tab. 2 The chemical composition and mechanical properties of aluminum alloys.

The mechanical properties, [MPa]		Material	Chemical Composition, [%]								
			Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti
Rm	Rp0.2										
328 ÷ 336	251 ÷ 257	EN AW-5083 H321	0.28	0.28	0.039	0.61	4.7	0.072	0.0057	0.15	0.018
571 ÷ 572	493 ÷ 499	EN AW-7075 T651	0.07	0.12	1.60	0.04	2.7	0.18	-	5.8	0.05

This diverse range of materials provides a comprehensive basis for evaluating how innovative post-weld finishing method affect corrosion resistance in comparison with conventional grinding [6, 7].

The grinding process was performed using a hand grinder. In contrast, the innovative post-weld finishing technique was executed with the BM25 hydraulic vertical boring machine from Norgesa [7].

After the samples were fabricated, a detailed research methodology was developed, incorporating a series of critical steps arranged in a precise, predefined sequence, as illustrated in the accompanying Fig. 1.

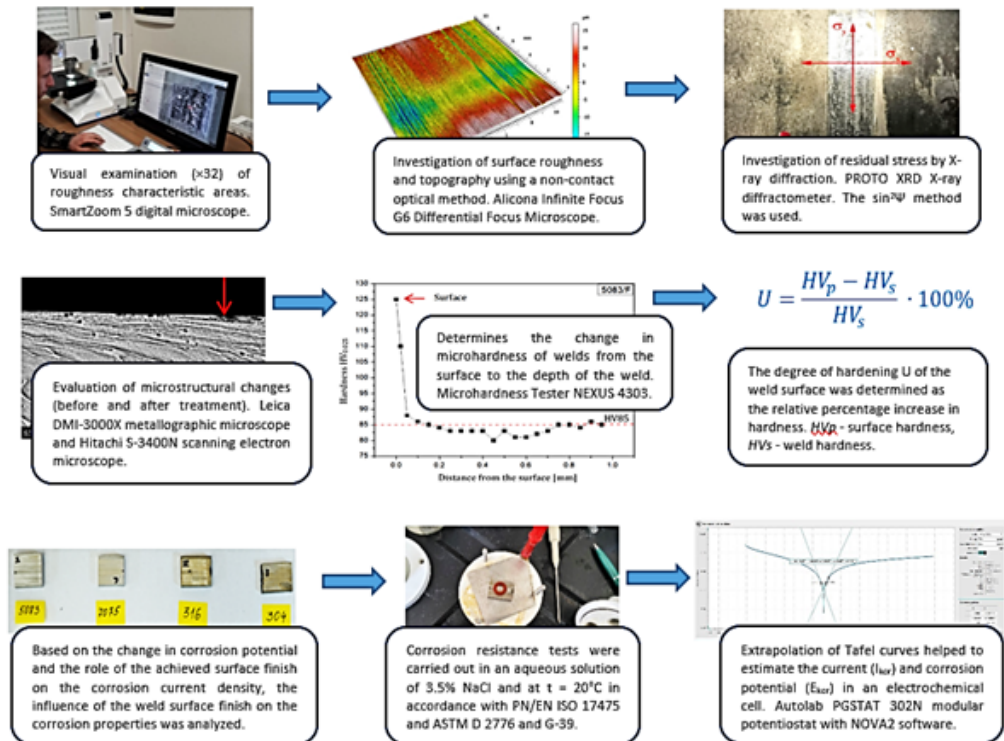


Fig. 1 Research methodology scheme

The Tafel diagram is a critical graphical representation used to depict the relationship between the current generated in an electrochemical cell and the corresponding electrode potential. It consists of two distinct logarithmic curves representing the cathodic and anodic current densities, which correspond to the reduction and oxidation reactions occurring at the electrode surface, respectively. These curves are essential for evaluating electrochemical behavior, offering valuable insights into reaction kinetics and corrosion rates.

To evaluate the corrosion resistance of weld beads both before and after finishing treatments, electrochemical methods were utilized, with Tafel curves serving as the principal analytical framework. By extending the linear portions of the anodic and cathodic branches of the Tafel plot, crucial parameters such as the corrosion current density (i_{corr}) and corrosion potential (E_{corr}) can be determined. These metrics provide a quantitative assessment of the material's corrosion performance. An illustrative example of this analytical process is shown in Figure 2, demonstrating the approach used to extract these fundamental electrochemical parameters.

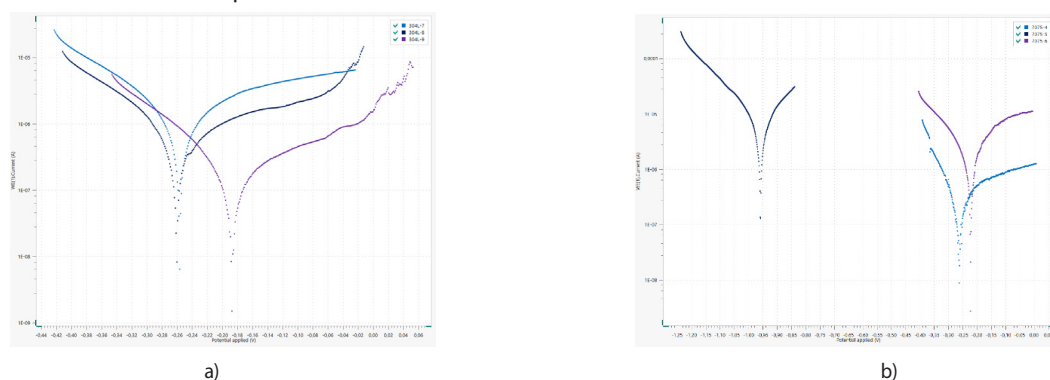


Fig. 2. Comparison of Tafel curves for selected materials (■ – before finishing, ■ – after grinding, ■ – after innovative method): a) AISI 304L, b) EN AW-7075 T651.

Conclusions. To evaluate the impact of mechanical finishing on the corrosion potential of welded joints, the residual stresses aligned with the primary tool movement along the weld axis (denoted as σ_y) were analyzed. Across all material grades examined, a consistent reduction in corrosion potential was observed as residual stress values increased.

The corrosion resistance of the materials studied in this research is predominantly due to the presence of passive oxide layers on their surfaces. These layers act as a protective barrier against corrosive agents. However, as discussed earlier, higher residual stress levels are associated with a decline in the corrosion potential under simulated seawater conditions. This inverse relationship may stem from the reduced integrity or compactness of the passive layer. Chloride ions present in the corrosive medium further exacerbate this effect by destabilizing the passive film.

When the passive layer becomes discontinuous or compromised, it allows direct exposure of the underlying metal to the electrolyte. This exposure accelerates the electrochemical reactions, resulting in an increased corrosion rate for mechanically finished welds. Understanding this behavior is essential for optimizing mechanical finishing processes to enhance the durability and longevity of welded structures in aggressive environments.

References:

1. Evin E., Tomáš M. Formability Prediction of Laser-Welded Stainless Steel AISI 304 and AISI 430. *Metals* 2021;12(1):54, <https://doi.org/10.3390/met12010054>.
2. Łastowska O., Starosta R., Jabłońska M., Kubit A. Exploring the potential application of an innovative post-weld finishing method in butt-welded joints of stainless steels and aluminum alloys. *Materials* 2024; 17(8):1780. <https://doi.org/10.3390/ma17081780>.
3. Yilmaz NF, Kalkan MF. Prevention of weld decay in TIG welded AISI 304 steel pipes. *Emerg Mater Res* 2024; 13(2):1–12, <https://doi.org/10.1680/jemmr.23.00188>.
4. Park C., Nam H., Kang N. Effect of welding current on the mechanical properties of Al 5083 alloy processed using high-current gas metal arc welding. *J Adv Join Process* 2024;100240, <https://doi.org/10.1016/j.jajp.2024.100240>.
5. Torzewski J., Łazińska M., Grzelak K., Szachogluchowicz I., Mierzyński J. Microstructure and mechanical properties of dissimilar friction stir welded joint AA7020/AA5083 with different joining parameters. *Materials* 2022; 15(5):1910, <https://doi.org/10.3390/ma15051910>.
6. Dvirna O., Wiczorska A., Abramczyk N., Lesnau A. Influence of innovative post-weld finishing method on bead surface quality. *Materials* 2023;16(14):5100, <https://doi.org/10.3390/ma16145100>.
7. Dvirna O. The innovative post-weld finishing method and non-standard cutting tool for carrying out this method. *Acta Mech Autom* 2023;18(1):22–8, <https://doi.org/10.2478/ama-2024-0003>.

ПАРАМЕТРИ ДИНАМІЧНОЇ МІЦНОСТІ ОБОЛОНКОВИХ ПЕРФОРОВАНИХ ОБ'ЄКТІВ

Ткач М. Р.

д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри інженерної механіки та технології машинобудування

Галинкін Ю. М.

канд. техн. наук, викладач кафедри інженерної механіки та технології машинобудування

Монахов А. А.

аспірант кафедри інженерної механіки та технології машинобудування

Золотий Ю. Г.

завідувач лабораторії кафедри інженерної механіки та технології машинобудування

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

Оболонкові перфоровані деталі широко застосовуються в сучасній техніці, особливо при створенні конструкцій, таких як резервуари, трубопроводи та ємності. Ці елементи зазвичай піддаються як статичним, так і динамічним навантаженням, які можуть бути викликані як внутрішніми, так і зовнішніми силами. Динамічні навантаження включають вібрації, що виникають під час експлуатації обладнання.

Однією з критичних проблем для оболонкових конструкцій є можливість виникнення різкого збільшення амплітуди, тобто виникнення резонансних коливань, коли частота зовнішніх коливань збігається з частотою власних коливань виробу. Таке явище створює додаткові напруження виробу і суттєво збільшує ймовірність його руйнування. Тому визначення власних частот і форм коливань є важливим завданням, яке допомагає уникнути критичних режимів роботи та підвищити надійність конструкції.

Для визначення власних коливань використовуються як експериментальні, так і теоретичні методи. Експериментальні методи передбачають дослідження реальних об'єктів або їхніх спрощених моделей, тоді як теоретичні методи включають числове моделювання та аналіз, що дозволяє прогнозувати поведінку виробу ще на етапі проектування.

У програмному комплексі SolidWorks, модулі Simulations, проведено розрахунок із застосуванням пульсуючого тиску величиною 1 МПа до внутрішньої циліндричної поверхні перфорованої труби діаметром 105 мм, висотою 86 мм, товщиною стінки 2,48 мм з вирізами. Для діапазону 0...3 ГГц визначено 6 парних форм коливань. Отриманий розрахунок дозволяє перевірити правильність розрахунків шляхом порівняння розрахункового спектру коливань з даними, отриманими експериментально. Окрім того, саме моделювання у програмному комплексі солід SolidWorks отримано дозволяє отримати параметри динамічної міцності. Так при прикладанні зовнішнього навантаження, що

змінюється за синусоїдальним законом з частотою 10 Гц максимальне значення напружень (Von Mises) досягнуто на 40 кроці (0,1 секунди) і становить 42,05 Па для вузла 11284, мінімальне – 0,18 Па для вузла 13836, рис. 1. При цьому амплітуда починається з нуля, за чверть періоду досягає мінімуму, через пів періоду – максимуму і повертається до нуля наприкінці циклу.

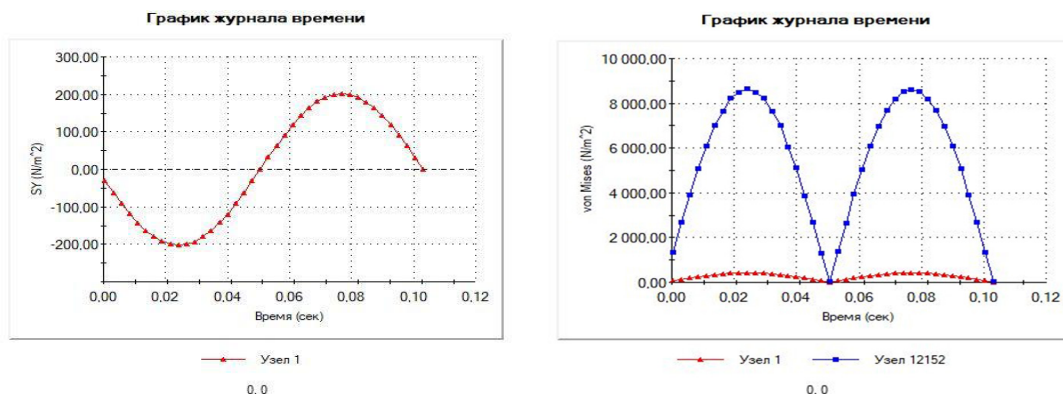


Рис. 1. Діюче зовнішнє навантаження та зміна напруження (Von Mises) для вузла №12152

Такий підхід дозволяє оцінити динамічні характеристики конструкції та виявити критичні частоти, на яких можуть виникати резонансні явища, що впливають на надійність і стійкість об'єкта в експлуатації.

Література:

1. Wei, K. An improved HSFR method for natural vibration analysis of an immersed cylinder pile with a tip mass / Kai Wei, Wancheng Yuan, Najib Bouaanani, Chih-Chen Chang // Theoretical & applied mechanics letters. – 2, 023002 (2012).
2. Torsional vibration of a circular cylinder with an attached splitter plate in laminar flow / Mingjie Zhang a, Xu Wang b, Ole Øiseth // Ocean Engineering. –Volume 236, 15 September 2021, 109514

УДОСКОНАЛЕНА ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТОНКОСТІННИХ ПРОФІЛЬОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ

Новошицький А. В.

канд. техн. наук, доцент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування

Боду С. Ж.

старший викладач кафедри інженерної механіки та технології машинобудування

Фабріцієв Д. В.

аспірант кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Теплообмінні апарати, є обов'язковим і вкрай важливим елементом суднових газотурбінних установок, також вони широко застосовуються в енергетиці, в хімічній, металургійній та інших областях промисловості.

Виробництво тонкостінних профільованих деталей теплообмінних апаратів 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 роликми при дії на неї поздовжнього навантаження розтягу.

Для здійснення можливості виготовлення тонкостінних профільованих деталей теплообмінних апаратів із малопластичних матеріалів запропоновано локальний розігрів ділянок заготовки безпосередньо перед профілювальними роликми лазерним випромінюванням [3], на відміну від розігріву всього перерізу заготовки струмами високої частоти [4].

Технологічний процес виготовлення тонкостінних профільованих деталей [3] зі штабової або листової заготовки передбачає проведення наступних операцій: розміщення заготовки між захватами; деформування і затискання кінцевих ділянок; розтяг заготовки; подача каретки, оснащеної профілювальними роликми та джерелом лазерного випромінювання, до нерухомого захвату; змикання профілювальних роликів і заготовки та включення джерела лазерного випромінювання; переміщення каретки до рухомого захвату; відключення джерела лазерного випромінювання; розвантаження; розмикання профілювальних роликів і захватів; виймання готової деталі, рис. 1.

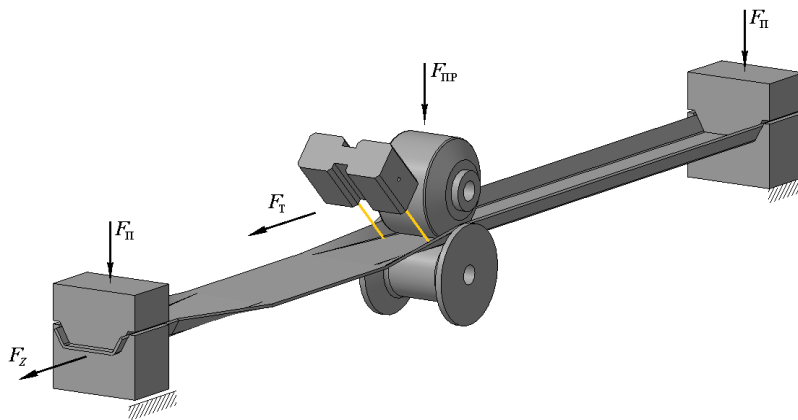


Рис. 1. Технологічний процес виготовлення тонкостінної профільованої деталі з локальним нагрівом ділянок заготовки лазерним випромінюванням

Початок контакту роликів із заготовкою відбувається біля нерухомого захвату в районі кінцевих згинальних деформацій, що виникають у результаті деформування кінцевої ділянки заготовки в захватах силою F_{Π} і наступного додавання сили розтягу F_T . При прикладенні зусиль притиску $F_{\Pi P}$ до профілювальних роликів здійснюється деформування ділянки заготовки відповідно до форми робочих поверхонь роликів. У результаті переміщення роликів під дією зусилля F_T здійснюється послідовне формування профілю деталі.

Створення навантаження розтягу забезпечує оптимальні умови формоутворення профільованої деталі, при його дії полки деталі здобувають прямолінійну форму. Поздовжні пластичні деформації від поперечного вигину заготовки компенсуються в результаті відповідного пластичного розтягу. Це попереджає виникнення поздовжньої зігнутості, а також поздовжньої скрученості навіть при формуванні профільованих деталей з несиметричним поперечним перерізом.

Внаслідок нагріву ділянок заготовки і збільшення їх пластичності необхідний згинальний момент зменшується, також зменшується пружинення. Температуру розігріву вибирають в залежності від механічних властивостей матеріалу штабової заготовки.

Для здійснення можливості виготовлення тонкостінних профільованих деталей теплообмінних апаратів із малопластичних матеріалів профілювальна установка [5], яка додатково оснащується джерелом лазерного випромінювання, що дозволяє здійснювати локальний розігрів ділянки заготовки безпосередньо перед профілювальними роликами для підвищення її пластичності.

Конструктивна схема профілюючої установки представлена на рисунку 2.

У робочій зоні між поздовжніми балками станини 5 розташовуються затискна головка тягнуча 1 і затискна головка нерухома 7. Деформування та фіксація кінцевих ділянок заготовки здійснюється при створенні відповідного зусилля затиску. Нерухома затискна головка кріпиться до поздовжніх балок. Тягнуча затискна головка переміщується по напрямним, прикріпленим до поздовжніх балок. Сила розтягу заготовки створюється при переміщенні тягнучої затискної головки, за допомогою гідроциліндрів 2. Каретка 4 з джерелом лазерного випромінювання та обіймою з профілювальними роликами здійснює човникове переміщення вздовж балок. Привод механізму пересування каретки 6 складається з електродвигуна, черв'ячного редуктора та двоступінчастої ланцюгової передачі.

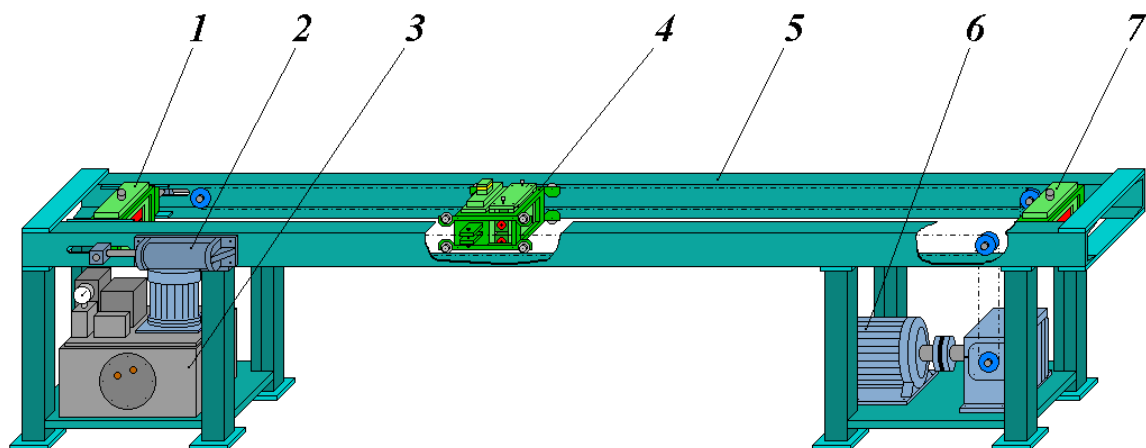


Рис. 2. Конструктивна схема профілювальної установки:

1 – затискна головка тягнуча; 2 – гідроциліндри; 3 – гідростанція; 4 – каретка з джерелом лазерного випромінювання та обіймою з профілювальними роликами; 5 – станина; 6 – механізм переміщення каретки; 7 – затискна головка нерухома

Основні технічні характеристики установки визначаються згідно з розрахунками параметрів технологічного процесу виготовлення профілів гнуттям з поздовжнім розтягом [1], а потужність лазерного випромінювання визначається експериментально.

При виготовленні профільованих деталей з малопластичних матеріалів, запропонована технологія може бути об'єднана з технологічними схемами наведеними в [6, с. 115-122], що дасть можливість одержувати профільовані деталі: підвищеної жорсткості, с плоскими кінцевими ділянками, с періодично повторюваними гофрами, с поздовжніми криволінійними гофрами, зі складною кривизною, рифлені та перфоровані деталі.

Висновок. Запропоновано технологію та устаткування для виготовлення тонкостінних профільованих деталей теплообмінних апаратів з малопластичних матеріалів. Згідно розробленої технології можлива розробка поточної лінії для виготовлення деталей теплообмінних апаратів.

Література:

1. Новошицкий А. В. Технология изготовления тонкостенных профильных элементов судовых конструкций гибкой с продольным растяжением : монография / А. В. Новошицкий. – Николаев : издательство Швеца 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 / С. М. Соловйов, А. В. Новошицкий ; Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова. – № 2001031674 ; заявл. 12.03.01 ; опубл. 15.02.02, Бюл. № 2.
3. Патент на корисну модель. 156422 Україна, МПК В 21 D 5/00, В 21 D 11/20, В 21 D 53/00. Спосіб виготовлення гнутих профілів / А. В. Новошицкий, С. Ж Боду; Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова. – № u202306301; заявл. 25.12.2023; опубл. 19.06.2024, Бюл. № 25/2024.
4. Патент на корисну модель. 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 / О. С. Рашковский, А. В. Новошицкий ; Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова. – № u202003981 ; заявл. 02.07.20 ; опубл. 10.12.20, Бюл. № 23.
5. Декл. пат. 43149А Україна, МПК7 В 21 D 5/00, В 21 D 11/20. Розтяжна машина / С. М. Соловйов, А. В. Новошицкий ; Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова. – № 2001031675 ; заявл. 12.03.01 ; опубл. 15.11.01, Бюл. № 10.
6. Новошицкий А. В. Технология изготовления модульных конструкций малотоннажных судов : монография / А. В. Новошицкий. – Николаев : издательство Швеца В.М., 2021. – 164 с.

СИСТЕМНО-СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ПРАВКИ ТА СТАБІЛІЗАЦІЇ ФОРМИ ДОВГОМІРНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Новошицкий В. А.

канд. техн. наук, доцент, кафедри автомобілів та автомобільного господарства
ВНЗ «Міжнародний технологічний університет «Миколаївська політехніка»
м. Миколаїв, Україна

Новошицкий А. В.

канд. техн. наук, доцент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Основна мета раціональних технологічних процесів обробки – забезпечення заданих характеристик якості базових деталей із необхідною точністю та розмірною стабільністю.

Оптимізація технічних рішень можлива на основі системно-структурного аналізу, який дозволяє встановити застосовність відомих методів редагування та намітити шляхи розробки нових технічних рішень.

Базові довгомірні деталі промислового обладнання працюють при високих швидкостях, навантаженнях, температурах, в умовах абразивного та корозійного зношування в різних робочих середовищах. Забезпечення розмірної стабільності таких деталей є актуальним завданням.

Для виробництва високоточних відповідальних деталей машин розроблено типові технологічні прийоми механічної та термічної обробки.

Типовий технологічний процес включає вибір способу виготовлення заготовок, попередня механічна обробка, термічна, різні види хіміко-термічної обробки, чистова механічна обробка, остаточна обробка, контроль точності виготовлення.

При виробництві деталей відбувається чергування механічної та термічної обробки. На всіх етапах виготовлення деталі передбачається контроль їх точності та правка для випрямлення та стабілізації форми та розмірів.

Методи обробки і правки, що застосовуються в даний час, не виключають можливість неприпустимих викривлень деталей, тому необхідними є теоретичні та експериментальні дослідження щодо забезпечення стабільності форми правлених деталей [1–4].

Удосконалення існуючих методів правки можливе на основі морфологічного аналізу. Морфологічний аналіз – один із евристичних методів системно-структурного аналізу, що дозволяє вдосконалювати існуючі методи правки та знайти безліч нових патентоспроможних рішень.

Морфологічний аналіз методів правки високоточних деталей машин зручніше проводити із застосуванням морфологічної табл. 1, розглядаючи поєднання різних варіантів.

Таблиця. 1. Морфологічна таблиця методів правки деталей машин

Морфологічні ознаки		Варіанти				
		1	2	3	4	5
А	Механічний вплив	вигин	розтяг	стиск	кручення	поверхнєве пластичне деформування
Б	Теплова дія	вилежування	отпуск	загартування	нормалізація	криогенна
В	Фізичний вплив	ультразвук	струми високої частоти	лазерне випромінювання	магнітно-імпульсний вплив	радіоактивне випромінювання
Г	Хімічний вплив	газове середовище	покриття реагентом			
Д	Тривалість	довгострокова	циклічна	епізодична		
Е	Зона впливу	деталь повністю	локальна, в зоні правки	локальна, в інших зонах		

Вертикальною віссю служать морфологічні ознаки – універсальні показники впливу, що характеризують технологію правки та стабілізації форми та розмірів деталі. У горизонтальній осі наведено список можливих варіантів впливів.

Необхідне деформування вигнутої ділянки деталі можливе при різних впливах: механічному, тепловому, променевому, хімічному, які застосовують у технологічних процесах виготовлення деталей. Кожна дія характеризується частотою, тривалістю, зоною, середовищем тощо. За будь-якого впливу відбувається зміна фізико-механічних властивостей матеріалу деталі. Можливе застосування інших фізико-механічних впливів.

Додатковими варіантами, що характеризують умови деформування, контролю точності, транспортування та зберігання деталей може бути спеціальна морфологічна таблиця.

Морфологічна таблиця містить практично всі відомі технічні рішення і дозволяє можливості їх удосконалення та передбачати можливість появи множини нових винаходів.

Відомі методи правки та стабілізації форми та розміток деталей засновані на зазначених видах впливу або їх поєднанні.

Морфологічна таблиця дозволяє провести систематизацію всіх теоретично можливих технічних рішень, створює область нових ідей, з конструкції деталі та технології її виготовлення.

Вибір варіантів для вдосконалення методів редагування проводиться відповідно до морфологічної таблиці. Забезпечення розмірної стабільності високоточних деталей можливе при стабілізації фазового та структурного стану деталі, зменшення залишкових напружень.

Стабілізація фазового та структурного стану можлива при застосуванні операцій термічної стабілізуючої обробки, застосування глибокого криогенного охолодження.

Зменшення залишкових напружень можливе при додаткових деформаціях багатocyклового знакозмінного вигину, знакозмінного кручення або інших варіантах.

Ці методи впливу застосовні після теоретичних та експериментальних досліджень для кожного обраного методу правки відповідно до морфологічної таблиці.

Для забезпечення стабільності форми довгомірних маложорстких деталей після правки вигином, поверхневим пластичним деформуванням, розтягуванням [1-4], місцевим локальним охолодженням, радіоактивним опроміненням необхідно піддавати знакозмінному статичному згину або скручуванню. Така дія згинальних та крутних моментів призводить до переорієнтації та зниження залишкових напружень.

Перед складанням базові довгомірні деталі необхідно піддавати впливу, які приблизно аналогічні умовам роботи в машині. У разі потреби їх слід піддавати редагуванню відповідно до точності форми.

Висновки. Відповідно до запропонованого системно-структурного аналізу можливе вдосконалення відомих та розробка нових технічних рішень щодо відновлення та стабілізації форми базових деталей.

Література:

1. Новошицький В. А. Вплив технологічної спадковості на стабільність форми автомобільних деталей та конструкцій / В. А. Новошицький, А. В. Новошицький // Новітні шляхи створення, технічної експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів : матеріали науково-практичної конференції, 8–11 вересня тези доп. – Одеса : Військова академія, 2015. – С. 174-175.
2. А. с. 414027 (СССР) Способ правки деталей путем изменения температуры в зоне правки. Новошицкий В. А. Опубл. 20.06.74.
3. А. с. 395147 (СССР) Способ правки изогнутых деталей. Новошицкий В. А. Опубл. 15.11.74.
4. А. с. 480482 (СССР) Способ правки прутков. Новошицкий В. А. Опубл. 15.08.75.

ЗАСОБИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ СУДНОВОГО УСТАТКУВАННЯ В СУДНОВИХ УМОВАХ

Свиридов В. І.

канд. техн. наук, доцент кафедри суднового машинобудування та енергетики

Сенчин Н. Д., Коновалов Е. О.

магістранти гр.6220м

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

Безпечна експлуатація, будь якого устаткування, це надійність та передумова прогнозування будь яких відмов, які можуть виникнути та загрожувати не тільки надійності суднової техніки, а і життю екіпажу та судна в цілому.

Аналіз літератури. В умовах експлуатації в основному застосовується функціональне технічне діагностування суднових двигунів, механізмів та інших суднових пристроїв. При цьому обов'язково контролюють і вимірюють не тільки кількісні значення параметрів того чи іншого механізму з наступною обробкою, а і й з аналізом всіх отриманих нами результатів.

Технічне забезпечення такого діагностування включає в себе спеціальним вимірювальні прилади та апаратуру, а й системи контролю параметрів. Найбільш ефективні (з погляду ранньої діагностики) автоматизовані системи контролю, менш ефективні, але дешеві й досить універсальні для отримання результатів є ручні апаратні засоби, так звані експрес-методи.

Ціль досліджень. Визначити та експериментально перевірити умови технічної діагностики корабельних машин і механізмів під час їх експлуатації для запобігання їх руйнуванню.

Постановка задачі. Підвищення надійності суднових машин і механізмів в експлуатаційних умовах що дає наявність на судах приладів і систем технічного діагностування.

Найбільш ефективні (з погляду ранньої діагностики) автоматизовані системи контролю, менш ефективні, але дешеві й досить універсальні – ручні апаратні засоби, експрес-методи.

До основних видів діагностичної інформації відносять: спектр вібрації елементів конструкцій; спектр акустичних коливань; лінійні зсуви амортизованих механізмів і пристроїв, встановлених на рухливій підставці; значення параметрів, що характеризують функціонування системи; зміни складу дотичних середовищ; дані візуального контролю; дані дефектоскопії.

Крім прямого виміру температури вузлів контрольно-вимірювальними приладами (термометрами різного типу), обертів ротора турбоагнітача, іноді для оцінки технічного стану застосовують віброочутливі датчики, що оцінюють технічний стан того чи іншого устаткування.

Для безрозбірного діагностування вузлів суднових механізмів, застосовується один з найпоширеніших методів контролю це ендоскоп – оптичний пристрій, що представляє собою оптичні трубки, або гнучкі світловоди. За допомогою цього приладу ми можемо проводити огляд внутрішніх частин механізмів (фотографування), вводячи оптичні трубки в картер, оглядові вікна, у канали й т.п.

Діагностування устаткування з використанням систем контролю дозволяє оцінювати параметри робочих процесів, вимірювати температурні показники, вібрацію підшипникових вузлів та інших складових. Така велика інформація, дає нам можливість при експлуатації, частково локалізувати область передбачуваного дефекту, перейти від констатації факту погіршення технічного стану двигуна до пошуків дефектів у конкретних вузлах та кінцевому стані зупинити той чи інший механізм, та виконати регламентні роботи по усуненню виявленого дефекту, чим запобігається руйнування дослідного механізму.

Підвищення надійності суднових машин і механізмів в експлуатаційних умовах дає наявність на судах приладів і систем технічного діагностування.

В теперішній час існує велика кількість різних діагностичних приладів і систем, які доцільно використовувати для функціонального діагностування різних суднових машин і механізмів.

Відомо, що ротори машин і механізмів обертаються в підшипниках котіння, або підшипниках ковзання. Підшипники, найбільш механічно навантажені елементи і, як правило, вони визначають ресурс роботи машин і механізмів. Тому в суднових експлуатаційних умовах діагностуванню підшипників та підшипникових вузлів приділяється особлива увага та контроль. Проведений аналіз показує, що принцип дії більшості з них заснований на аналізі сигналу вібрації працюючих суднових машин і механізмів та агрегатів.

Висновки. Діагностування устаткування з використанням систем контролю дозволяє оцінювати параметри робочих процесів, вимірювати температурні показники, вібрацію підшипникових вузлів та інші складові.

Так як найбільш відповідальним вузлом, що лімітує ресурс устаткування є підшипниковий вузол, практично всі види дефектів та несправностей вузлів та деталей устаткування визначають за параметрами вібрації.

Література:

1. 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.
2. Розвиток та оптимізація систем контролю атомних електростанцій з ВВЕР: монографія. В. І. Скалозубов, Д. В. Білей, Т. В. Габла та ін, під ред. В. І. Скалозубова. Чорнобиль, Ін-т проблем безпеки АЕС НАН України, 2008, 512 с.

3. Яворський І. М. Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань. Львів, ФМІ НАНУ, 2013, 804 с.
4. ISO 13373-1:2002. Condition monitoring and diagnostics of machines. Vibration condition monitoring. Part 1: General procedures.
5. ISO/DIS 13373-2. Condition monitoring and diagnostics of machines. Vibration condition monitoring. Part 1: Processing, presentation and analysis of vibration data.

НАДІЙНІСТЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПІДШИПНИКОВИХ ВУЗЛІВ СУДНОВИХ ГАЗОТУРБОАГНІТАЧІВ

Свиридов В. І.

канд. техн. наук, доцент кафедри суднового машинобудування та енергетики

Садовський П. Е., Маханько В. Д.

магістранти гр.6220м

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

Відомо, що підшипники найбільш механічно навантажені елементи, як правило, вони визначають ресурс роботи машин і механізмів. Тому в суднових експлуатаційних умовах діагностуванню підшипників приділяється особлива увага. Проведений аналіз показує, що принцип дії більшості з них заснований на аналізі сигналу вібрації працюючих суднових машин і механізмів та агрегатів.

Мета дослідження – провести аналіз існуючих методів вібродіагностування підшипників котіння та ковзання суднових газотурбонагнітачів і визначити, найбільш оптимальний метод контролю для цього устаткування.

Проведемо аналіз основних методів вібродіагностування суднового устаткування. Діагностика підшипників котіння по спектру що огинає вібросигнали. Це один з найбільш складних методів діагностики підшипників, якщо порівнювати їх між собою з погляду трудомісткості, математичної обробки й фізичної інтерпретації одержаних результатів.

Метода базується на двох досить простих передумовах.

По-перше, залежно від того, на якому елементі підшипника котіння з'явився дефект (внутрішня й зовнішня обійми, тіло котіння, сепаратор), частота проходження ударів в сигналі (періодичність «обкатування» дефекту при роботі підшипника), буде змінюватися. Ця частота однозначно пов'язана з геометричними розмірами підшипника й частотою обертання підтримуваного ротора.

По-друге, після кожного удару в підшипнику будуть виникати вільні загасаючі коливання, що тривають досить тривалий час. Ці коливання повинні бути широкополосними, займати широкий діапазон частот, що необхідно для відпрацювання методу від перешкод, за допомогою смугових фільтрів.

Реально, обробка вібросигналів проводиться в такий спосіб. За допомогою смугового фільтру (аналогового, або цифрового) із усього сигналу виділяється вузький діапазон частот. При цьому питання про конкретний вибір потрібної смуги частот віддається на вибір користувачеві, що відразу ж затрудняє роботу навіть фахівцеві середньої кваліфікації, не говорячи вже про початківців. Отриманий сигнал детектується цифровим детектором (будується огинаюча сигналу), а від неї береться звичайний спектр.

Результуючий діагноз, про стан підшипника, робиться на підставі аналізу співвідношення амплітуд сигналів у спектрі огинаючих сигналів. Важливо чітко розуміти те, що отриманий спектр будується не по всім сигналам, а тільки по його вузькополосній вібрації. Тому амплітуди приводяться не в «точних» значення віброприскорення, а в одиницях його модуляції сигналу. Це також істотно ускладнює інтерпретацію результатів і підсумкову діагностику.

Крім перерахованих вище недоліків у даного методу є ще один досить істотний недолік, що утруднює коректне визначення залишкового ресурсу підшипника. Якщо дефект виникає на обіймі підшипника, а це трапляється найбільш часто, то на першому етапі його розвитку спостерігається пропорційний ріст вібраційних ознак. На деякому етапі розвитку дефекту починається такий процес, коли по спектру огинаючих сигналів, ознака розвитку дефекту (рівень модуляції сигналу підшипниковими сигналами) починає знижуватися. Дефект розростається, а діагностика дає поліпшення стану підшипника. Через якийсь час це «поліпшення стану підшипника» припиняється й відновлюється пропорційність між ступенем розвитку дефекту і його ознак у спектрі, що огинає. Найбільш неприємним тут є те, що ця «аномальна зона діагностики» може займати до половини загального часу від моменту виникнення дефекту до виходу підшипника з ладу.

Фізична картина цього явища досить проста. На першому етапі розвитку дефекту обійми, вся енергія удару виникає в зоні контакту одного тіла котіння із зоною дефекту. В міру розростання зони, виникає така ситуація, що тіло котіння проходить зону дефекту, але сила удару зменшується за рахунок того, що в цей час ротор спирається на два інших тіла котіння, розташованих з двох сторін зони дефекту.

Оскільки вони обкочують обійму поза зоною дефекту, сила удару зменшується і може, що спостерігається на практиці, знизиться у два - три рази. Результат цього зрозумілий – система діагностики дає пропорційне поліпшення стану підшипника котіння. Його основне призначення - контроль стану найбільш відповідальних і дорогих підшипників. Тільки для них можна провести весь комплекс заходів, пов'язаних з періодичним, досить частим контролем, а також з визначенням коректних норм і границь стану. Для масового обстеження великої кількості підшипників метод

малопродатний, тому, що дозволяє впевнено виявляти дефекти підшипників тільки на досить пізніх етапах їхнього розвитку. На початковій та середній фазах розвитку дефектів вірогідність одержуваних діагнозів зменшується до 30...50 %, чого явно недостатньо. Діагностика підшипників котіння по спектру вібросигналу. У цьому методі передбачається використовувати для діагностики дефектів підшипників «звичайні» спектри вібросигналів. Виконано досить багато практичних досліджень, які цілком переконливо (зовні) показали можливість застосування такого підходу. При уважному розгляді представлених результатів, досить добре видно, що достовірна діагностика цим методом виходить у тому випадку, коли дефект досить сильно розвинений. В основному це відбувається тоді, коли залишковий ресурс підшипника становить 20...40 %, а строк експлуатації перевищує кілька тижнів, або місяців.

Практичне застосування даного методу є ще більш складним, чим використання методу діагностики по спектру, що огинає. Проблема полягає в тому, що в «класичному» спектрі вібрації дефектного підшипника дуже важко визначити амплітуду, звичайно в спектрі вібросигналу їх просто немає. Саме процедури смугової фільтрації, детектування й одержання спектра, що огинає, призначені для виявлення підшипникових сигналів. В «класичному» спектрі поява й розвиток дефектів підшипників призводить до появи деяких досить високочастотних зон (однієї або декількох), у яких спектр «піднімає».

Висновки. Проведено порівняння потужності сигналу у двох частотних діапазонах. Цей метод відносно недавно почав застосовуватися на практиці, про що свідчить наявність друкованої інформації та кількох доповідей на конференціях, присвячених особливостям його використання. Подальше вдосконалення та розвиток цього методу, ймовірно, дадуть вагомий результат, що дозволить йому зайняти гідне місце серед прикладних методів.

Література:

1. 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.
2. Розвиток та оптимізація систем контролю атомних електростанцій з ВВЕР: монографія. В. І. Скалозубов, Д. В. Білей, Т. В. Габла та ін, під ред. В. І. Скалозубова. Чорнобиль, Ін-т проблем безпеки АЕС НАН України, 2008, 512 с.
3. Красильников О. І. Моделі шумових сигналів у системах діагностики теплоенергетичного обладнання. К., Ін-т технічної теплофізики НАН України, 2014, 118 с.
4. Яворський І. М. Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань. Львів, ФМІ НАНУ, 2013, 804 с.
5. ISO 13373-1:2002. Condition monitoring and diagnostics of machines. Vibration condition monitoring. Part 1: General procedures.
6. ISO/DIS 15242-1. Rolling bearings. Measuring methods for vibration. Part 1: Fundamentals.

НАДІЙНІСТЬ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК НА СУДНОВИХ ДВИГУНАХ

Свиридов В. І.

канд. техн. наук, доцент кафедри суднового машинобудування та енергетики

Казанніков Д. Д., Романішин Д. А.

магістранти гр.6220м

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

Газотурбінні установки (ГТУ) є важливою складовою суднових двигунів, завдяки своїй високій ефективності та потужності. Однак їх експлуатація пов'язана з низкою технічних викликів, які впливають на надійність роботи. Надійність ГТУ в суднових двигунах є критично важливою через специфічні умови морських експлуатацій та потребу у безперервному забезпеченні руху. Розглянемо основні аспекти, що впливають на надійність експлуатації ГТУ на суднових двигунах, а також методи підвищення ефективності та зменшення ризиків відмов.

Мета дослідження – особливості експлуатації ГТУ в морських умовах. У морських умовах ГТУ піддаються значним навантаженням, що спричинені специфікою середовища (висока вологість, солоність, змінні температури). Корозія металевих елементів, механічне зношення підшипників, вплив високих температур – всі ці фактори призводять до зниження надійності установки.

Однією з основних причин зниження надійності ГТУ є забруднення повітряного потоку частками пилу та солі, які потрапляють до турбіни. Ці елементи негативно впливають на лопатки компресора і турбіни, що може призвести до зниження ефективності роботи, зниження потужності двигуна та зростання витрати палива. Таким чином, для підвищення надійності необхідно забезпечувати якісне очищення повітряного потоку перед його попаданням до установки.

Головними факторами, що впливають на надійність ГТУ, є:

1. Температурні навантаження. Під час роботи турбіна нагрівається до дуже високих температур, що підвищує ризик термічної деформації матеріалів та їх передчасного старіння. Для зниження ризику відмов у зв'язку з температурними навантаженнями необхідно використовувати сучасні термостійкі матеріали, а також забезпечувати ефективну систему охолодження.

2. Забруднення робочого середовища. Для захисту від корозії та зносу лопаток компресора рекомендується застосовувати спеціальні покриття та періодично проводити очищення від сторонніх елементів.

3. Механічні навантаження. Швидкість обертання турбіни та компресора створює значні навантаження на підшипники та інші елементи. Зношення та мікрореформації можуть призводити до зниження ефективності та відмов.

Профілактичне обслуговування, зокрема заміна підшипників та ретельна діагностика механічних частин, можуть суттєво підвищити надійність.

Методи підвищення надійності ГТУ.

1. Розробка нових матеріалів. Використання спеціалізованих високотемпературних сплавів та захисних покриттів на лопатках компресора та турбіни дозволяють підвищити стійкість до корозії і температурних навантажень.

2. Автоматизація та моніторинг. Впровадження систем моніторингу параметрів роботи ГТУ (температури, тиску, вібрацій) дозволяє виявляти відхилення на ранніх стадіях. Сучасні автоматизовані системи також можуть допомагати оператору судна приймати рішення про необхідність технічного обслуговування або зниження навантаження для уникнення відмови.

3. Регулярне технічне обслуговування. Профілактичне обслуговування є ключовим фактором у забезпеченні довготривалої надійності ГТУ. Періодична заміна мастил, щоденне очищення повітряних фільтрів, інспекція критичних вузлів допомагає зменшити ризик виникнення проблем під час експлуатації.

4. Очищення та фільтрація повітря. Для запобігання корозійним процесам та захисту турбіни від абразивного впливу частинок рекомендується встановлення систем фільтрації повітря, що знижує ризик попадання пилу та солей до внутрішніх елементів установки.

Висновок. Надійність експлуатації газотурбінних установок на суднових двигунах є ключовим аспектом для забезпечення безперервності та безпеки руху суден. Успішне використання ГТУ залежить від контролю за параметрами робочого середовища, застосування сучасних матеріалів, впровадження систем моніторингу та регулярного обслуговування і дозволяє знизити ризики відмов.

Література:

1. Пшенічний О. І., Чорний В. М. Газотурбінні двигуни суден: Основи теорії та експлуатації. Київ: Видавництво Київського національного університету, 2019.
2. Іванов С. М. Надійність та безпека експлуатації суднових газотурбінних установок. Одеса: Морський інститут технологій, 2021.
3. Попов О. В., Сидоренко П. К. Теоретичні основи експлуатації газотурбінних установок у морських умовах. Журнал «Морська інженерія», № 3, 2020, С. 112-121.
4. Чепіль О. Технічне обслуговування та діагностика суднових газотурбінних установок. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018.
5. Кравченко М. В., Самойлов О. П. Системи автоматизованого контролю роботи газотурбінних установок. Дослідження в галузі морської техніки, № 5, 2022, С. 54-62.

ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОРШНЕВИХ ДВЗ НА ГАЗОВОМУ ПАЛИВІ

Вульчин Е. Р., Гайченя Р. О.

магістранти

науковий керівник – **Грабовенко О. І.**, ст. викладач кафедри енергетичного машинобудування

Первомайський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Первомайськ, Україна

В останні 15-20 років практично у всіх розвинених країнах широко почали застосовувати когенераційні установки для одночасного вироблення електричної та теплової енергії з повним коефіцієнтом корисної дії близьким до 90 %. Як приводний двигун в когенераційній установці застосовується поршневий газовий двигун, що має суттєві переваги в порівнянні з дизельним двигуном: екологічність, економічність, високі ресурсні показники. Однак, при експлуатації газового двигуна за певних умов має місце детонація у його циліндрах, яка призводить до виходу з ладу колінчатих валів, корінних та шатунних підшипників, втулок та кришок робочих циліндрів, шатунів та інших деталей. Не є винятком і газові двигуни виробництва підприємств ТДВ «Первомайськдизельмаш», Jenbacher (Австрія). Так, за період з 1980 на підприємстві ТДВ «Первомайськдизельмаш» випущено близько 8000 одиниць дизельних двигунів типу ЧН 25/34 і ЧН 26/34 і зафіксовано всього чотири поломки колінчатих валів здебільшого через грубе порушення умов експлуатації. Тобто, дана поломка не була типовою для дизельних двигунів. У той же час за період з 1995 р. було випущено близько 80 газових двигунів типу ГЧН 25/34, але вже трапилось кілька випадків поломок колінчатих валів – фото на рис. 1 та 2.



Рис. 1. Вигляд шатунної шийки колінчатого валу двигуна типу ГЧН 25/34 після поломки



Рис. 2. Вигляд щоки колінчатого валу двигуна типу ГЧН 25/34 після поломки

При поломці колінчатого валу утворюється тріщина, що проходить через щоку та галтелі коліна або ж через канал для підведення масла до шатунного підшипника. На рис. 3 і 4 показані фото колінчатого валу двигуна Jenbacher 420 після його поломки.



Рис. 3. Вигляд колінчатого валу газового двигуна Jenbacher 420 після поломки



Рис. 4. Вигляд щоки колінчатого валу двигуна Jenbacher 420 після поломки

Тобто, поломки колінчатих валів на газових двигунах відбуваються набагато частіше, ніж на дизельних двигунах. Крім колінчатих валів на газових двигунах відбуваються поломки інших важливих деталей циліндро-поршневої групи. На рис. 5 і 6 наведено фотографії з пошкодженнями втулки робочого циліндру газового двигуна 6ГЧН 25/34 та поршня двигуна Jenbacher 420.



Рис. 5. Руйнування втулки робочого циліндру двигуна 6ГЧН 25/34



Рис. 6. Задир поршня двигуна Jenbacher 420

Однією з основних причин, що призводять до пошкоджень деталей газових двигунів, слід вважати виникнення детонаційного горіння палива (детонації). Характерними лише для газових двигунів стали поломки втулки циліндра та поршня.

Перша поломка втулки циліндра сталася на одному з газових двигунів 6ГЧН 25/34 під час експлуатації у Замовника після незначного напрацювання мотогодин (менше 1000 годин). Вихід з ладу втулки циліндра стався через її механічне руйнування та утворення наскрізної вертикальної тріщини в стінці (див. рис. 5), що поширюється від верхнього бурта втулки до нижнього пояса під гумові ущільнюючі кільця.

Через порушення форми та розмірів отвору зруйнованої втулки циліндра стався задир поршня з наступним руйнуванням його тронка (рис. 7).



Рис. 7. Обрив тронка поршня

В процесі розслідування причин аварії двигуна з'ясувалося, що безпосередньо перед цим в циліндрах прослуховувалися стукіт, характерний для детонаційного згоряння газоповітряної суміші, що характеризується високою швидкістю поширення фронту полум'я в камері згоряння (350 ... 400 м/с) [3], яка в кілька сотень разів перевищує нормальну швидкість горіння газоповітряної суміші. При цьому детонація супроводжується різким зростанням тиску газів в циліндрі двигуна. При експериментальному доведенні двигуна встановлено, що тиск у циліндрі при детонації зростав у 1,4...1,5 рази. Тому для забезпечення подальшої безаварійної роботи газових двигунів було категорично заборонено їх експлуатацію з ознаками явища детонації [1]. Так як детонація двигуна викликається в основному його перегріванням або перевантаженням, то найбільш простий спосіб уникнути детонації - це знизити навантаження на нього.

Другою поломкою, характерною лише для двигуна, що працює на паливному газу, стало руйнування перемички між канавками під поршневі кільця (рис. 8).



Рис. 8 Руйнування перемички між канавками під поршневі кільця

Зазначена поломка поршня сталася на газодизель-генераторі ГДГА-500, що працює на природному газі із запальною дозою дизельного палива.

І знову причиною руйнування перемички в поршні стала детонація в циліндрах двигуна, яка виникла через порушення регулювання паливної апаратури, що забезпечує подачу запальної дози в циліндри двигуна.

Висновки. 1. При створенні та експлуатації газових двигунів необхідно враховувати можливу появу детонації в циліндрах двигуна та впливу її в першу чергу на міцність деталей циліндро-поршневої групи. 2. Для оцінки міцності поршня та втулки циліндра газового двигуна потрібно уточнення існуючих методик розрахунку з метою врахування впливу детонації на їхню міцність.

Література:

1. Руководство по эксплуатации, 375-0000РЭ. Газовые двигатели 6ГЧН 25/34.
2. Руководство по эксплуатации. Дизели 6ЧН, 8ЧН, 8ЧНП25/34 и дизель-генераторы ДГА, ДГРА.
3. Генкин П. Н. Газовые двигатели. «Машиностроение» М., 1977.

**ІНТЕГРАЦІЯ СПАДЩИНИ МАШИНОБУДІВНОГО НАВЧАЛЬНО-НАУКОВОГО ІНСТИТУТУ НУК
В ПІДГОТОВКУ ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИХ ФАХІВЦІВ**

Наливайко В. С.

канд. техн. наук, професор НУК, доцент кафедри двигунів внутрішнього згоряння, установок та технічної експлуатації

Гогоренко О. А.

канд. техн. наук, доцент, в.о. завідувача кафедри двигунів внутрішнього згоряння, установок та технічної експлуатації
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Машинобудівний навчально-науковий інститут має глибоку історичну спадщину, яка є невід'ємною складовою його ідентичності. З моменту заснування механіко-технічного училища у 1904 році, навчальний заклад пройшов довгий шлях розвитку, перетворившись на сучасний центр підготовки інженерно-технічних фахівців. Важливу роль у формуванні освітнього середовища інституту відіграє не лише технічна база, але й його культурна та історична спадщина, яка формує зв'язок між поколіннями, надихає студентів і сприяє розвитку інноваційних підходів у навчанні.

Символами історії інституту є не лише його архітектурні об'єкти, як-от навчальний корпус, а й збережені традиції, відновлені артефакти, такі як історичний фонтан у внутрішньому дворі, та унікальні ініціативи, як створення меморіальних пам'ятних знаків. Усе це свідчить про важливість інтеграції історичних аспектів у сучасні освітні процеси. Тема інтеграції спадщини Машинобудівного навчально-наукового інституту є особливо актуальною в контексті підготовки інженерів, які мають не лише професійні компетенції, але й розуміння культурної цінності минулого, що формує їх як гармонійних особистостей і свідомих фахівців.

Від часу заснування механіко-технічного училища у 1904 році у дворі навчального корпусу було облаштовано фонтан, який став важливою частиною архітектурного ансамблю закладу. Фонтан, виконаний у вигляді бетонної чаші діаметром близько трьох метрів, привертая увагу всіх, хто відвідував двір училища. У центрі чаші струменіла вода, створюючи м'який шум, який додавав спокійної атмосфери та був природним центром тяжіння для студентів і викладачів.

Під час Другої світової війни навчальний корпус зазнав значних пошкоджень через обстріли німецьких військ під час окупації Миколаєва. Фонтан також постраждав від руйнувань. Після звільнення міста розпочалася відновлювальна робота, і фонтан було відновлено разом з іншими архітектурними елементами навчального корпусу.

З роками фонтан став символом непохитності і відродження навчального закладу. Він був не лише естетичним об'єктом, але й важливим місцем зустрічей і спілкування. Випускники минулих років часто поверталися до цього куточка, щоб згадати свої студентські часи. Фонтан став своєрідним символом зв'язку між поколіннями, з'єднуючи колишніх студентів із теперішніми, а минуле з майбутнім.

У середині 80-х років під час будівельних робіт у внутрішньому дворі кафе «Вітерець» чаша фонтану була частково пошкоджена. Попри символічне значення фонтану для багатьох поколінь студентів та викладачів, його відновлення не включили в план ремонтних робіт, фонтан засипали землею, і він поступово зник з пам'яті більшості тих, хто щодня проходив повз це місце.

Однак це забуття не торкнулося випускників минулих років, які, повертаючись до альма-матер на ювілейні зустрічі, із сумом виявляли, що улюблене місце їхніх студентських зустрічей зникло. З кожним роком це питання піднімалося дедалі частіше: куди подівся фонтан і коли його відновлять?

Ностальгія за минулим і прагнення зберегти спогади про студентські роки згодом поширилися і серед викладачів та співробітників Машинобудівного інституту. Тож питання відновлення фонтану стало особливо актуальним, оскільки воно символізувало бажання повернути втрачене, відновити зв'язок з історією та традиціями інституту, який залишався вірним своїм цінностям і місії.

У 2006 році, за ініціативи директора інституту Горбова В. М., було прийнято рішення відродити історичний фонтан. Для реалізації цього амбітного проєкту була створена робоча група, до складу якої увійшли ентузіасти своєї справи: Бондаренко М. С., Димо Б. В., Єремець В. В. і Наливайко В. С. Ці люди не лише поділяли ідею відновлення фонтану, але й доклали максимум зусиль, щоб створити нове місце, яке б поєднало в собі повагу до минулого та сучасні естетичні ідеали.

Розробка проєкту вимагала ретельного планування та врахування багатьох факторів. Група ентузіастів працювала над концепцією зони відпочинку, яка мала стати сучасним простором для студентів, викладачів і співробітників Машинобудівного інституту. Основною ідеєю було створити куточок, де можна було б не лише відпочити, але й набратися натхнення, насолоджуючись природою.

Одним із ключових елементів цієї зони мала стати альпійська гірка. У центрі альпійської гірки було вирішено розмістити новий фонтан, який став би сучасною інтерпретацією старого. Вода, що б'є з каменю, мала символізувати неперервність життя, розвиток і оновлення, а також зв'язок із минулим, адже фонтан – це не просто прикраса, а місце, яке нагадує про історію, про людей, які навчалися і працювали тут раніше. Проєкт отримав підтримку як з боку керівництва університету, так і з боку співробітників інституту, що показало важливість збереження і відновлення традицій, які були втрачені, але ніколи не забуті.

Матеріальною основою для реалізації цього проєкту стали не лише особисті кошти членів робочої групи, а й значна підтримка всієї спільноти Машинобудівного інституту. Цей проєкт став справжнім прикладом того, як колективний дух, взаємодопомога та відданість справі можуть об'єднати людей для досягнення спільної мети. Викладачі та співробітники інституту активно долучилися до збору коштів, вносячи добровільні внески, щоб допомогти відродити місце, яке було важливим не тільки для них самих, а й для майбутніх поколінь.

Суттєву допомогу надали також випускники інституту, які, відчувачи глибокий зв'язок зі своєю альма-матер, вирішили внести свій вклад у відновлення фонтану. Працівники морського порту, серед яких було чимало колишніх студентів інституту, взяли на себе організацію доставки будівельних матеріалів. Вони привезли пісок і масивні гранітні валуни, які стали основою для створення альпійської гірки. Директор Первомайської філії НУК, Брендюля М. Ф., також не залишився осторонь. Він організував доставку машини з якісним гранітом із Первомайська, що дозволило значно покращити вигляд нової зони відпочинку. Вагомий внесок у проєкт зробив випускник кафедри турбін Кашуба М. В. Він взяв на себе відповідальність за виготовлення лавок, які стали важливою частиною нової зони відпочинку. Ці лавки стали не тільки функціональним елементом простору, але й місцем для спілкування, роздумів і насолоди навколишньою природою.

Головним завданням при створенні альпійської гірки було досягнення гармонії між природними елементами та ландшафтным дизайном, щоб кожен відвідувач міг відчути справжню красу природи в самому серці інституту. Вибір та розташування каменів стало ключовим етапом цього процесу. Кожен камінь мав не лише естетичне значення, а й символізував стійкість, надійність і довговічність, які притаманні як природі, так і самому інституту.

Процес укладання каменів був кропітким і вимагав не лише фізичної сили, а й творчого підходу. Каміні перекладали по кілька разів, підбираючи ідеальне місце для кожного з них, щоб створити враження, ніби вони завжди були частиною цього ландшафту.

Особливої уваги заслуговував фонтан, який став центральним елементом альпійської гірки. Він був спроектований у вигляді струмка води, що м'яко витікає з каменю. Вода, стікаючи вниз, створювала заспокійливий звук, який додавав затишку й гармонії в це місце. Шепіт води, що падає, нагадував проплинність часу, про незмінність традицій і водночас про оновлення, яке постійно відбувається в природі та житті. Цей фонтан не лише прикрашав гірку, але й створював атмосферу спокою і натхнення, до якої так прагнули творці проєкту.

Простір навколо гірки також був продуманий до дрібниць. Його засіяли газонною травою, яка створювала контраст із кам'яною текстурою і зробила зону відпочинку ще привабливішою для відвідувачів. На цьому зеленому килимі розташувалися кущі ялівцю кількох видів, що додавало різноманіття і текстури до загального вигляду гірки. Ялівці були вибрані не випадково – ці рослини відомі своєю витривалістю і здатністю залишатися зеленими протягом усього року, що символізує постійність і життєву силу.

Влітку 2009 року випускник Машинобудівного факультету Торубара В. В., пристрасний дайвер і знавець історії, разом із групою однодумців здійснив підводну експедицію в Очаківському лимані. Під час цього занурення на дні лиману було виявлено неймовірну знахідку – старовинний якір, який, за припущеннями експертів, належав турецькому кораблю середини XIX століття. Зрозумівши цінність знахідки, Торубара вирішив подарувати якір Машинобудівному інституту. Після обговорення з адміністрацією інституту було вирішено створити меморіальний пам'ятний знак, який би став символом єдності між традиціями суднобудування та мореплавства.

Ідея створення пам'ятного знаку знайшла відгук серед співробітників інституту. За розробку макета взявся Ніколаєв С. І. Його концепція отримала одностайне схвалення – було вирішено залишити проєкт майже без змін, адже він втілював ідею міцності та стійкості, які символізували професії суднобудівника та моряка. Художнє рішення пам'ятного знаку базувалося на контрасті матеріалів і форм: на чорній гранітній плиті встановили брилу рожевого граніту. До цієї брили нахилено шток якоря.

Окремо варто згадати девіз, обраний для цього знаку: «*Navigare necesse est!*» — «Мореплавство необхідне!». Ці слова відображали невідворотну потребу в освоєнні морів, яка протягом століть рухала вперед не лише мореплавців, але й тих, хто будував для них кораблі.

Відкриття пам'ятного знаку в травні 2010 року стало важливою подією для інституту. На урочистому заході зібралися ректор Рижков С. С., викладачі, студенти, випускники та гості, які змогли відчути гордість за свій навчальний заклад.

Інтеграція історичної спадщини Машинобудівного навчально-наукового інституту в процес підготовки інженерно-технічних фахівців є не лише даниною поваги до минулого, але й дієвим засобом формування сучасного інженера. Відновлення історичних об'єктів, збереження пам'яток та використання їх у навчальних цілях створюють платформу для розвитку творчого мислення, командної роботи та усвідомлення культурної відповідальності.

Досвід відновлення фонтану у внутрішньому дворі, створення меморіального пам'ятного знаку та залучення випускників до цих ініціатив демонструють, як збереження традицій стає рушієм для формування освітнього середовища, яке базується на спадкоємності поколінь. Цей підхід сприяє підвищенню мотивації студентів, формує в них глибше розуміння своєї ролі як спадкоємців і продовжувачів традицій закладу вищої освіти.

Література:

1. Сто років Машинобудівному навчально-науковому інституту: шлях до успіху / В. С. Наливайко, О. А. Гогоренко, С. І. Сербін = One hundred years of the Mechanical Engineering Educational and Scientific Institute: the way to success / V. Nalyvaiko, O. Gogorenko, S. Serbin. – Миколаїв : Іліон, 2024. – 292 с.
2. Горбов В. М. Машиностроительный институт. Страницы истории / В. М. Горбов, Б. В. Дымо, В. С. Наливайко, С. И. Сербин; под общ. ред. проф. С. И. Сербина. – Николаев: НУК, 2014. – 150 с.
3. Горбов В. М. Время собирать камни. В 2-х книгах. Книга 2 / В. М. Горбов. – Николаев: Издатель Торубара В. В., 2019. – 362 с.

РОЛЬ ІНСТРУМЕНТІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У НАУКОВОМУ ПИСЬМІ

Патлайчук О. В.

канд. філософських наук, доцент кафедри психології, філософії та соціально-гуманітарних дисциплін
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Використання інструментів штучного інтелекту, таких як чат-боти з генеративним штучним інтелектом (ChatGPT та ін.), стає все більш популярним для створення наукових текстів [1, 2]. Незалежно від того, подобається вам це чи ні, треба поглянути в очі тому факту, що зараз багато людей використовують ці системи у науковому письмі [3, 4]. Замість того, щоб чинити опір цьому чи витратити час на звинувачення, кращим вибором буде етичне використання цих потужних інструментів як особистих помічників для підвищення продуктивності та якості роботи.

Використання чат-ботів з генеративним штучним інтелектом є потужним інструментом, який допомагає науковцям ефективніше писати в першу чергу оглядові роботи. Ось кілька причин, чому доцільно використовувати їх, щоб підвищити свій рівень майстерності в написанні рецензій, прискорити процес написання та заощадити час [5, 6].

1. Чат-боти (ChatGPT та ін.) можуть допомогти у проведенні оглядів літератури.

У виборі теми: чат-боти можуть допомогти науковцям вибрати підходящу тему для огляду літератури, генеруючи відповідні ключові слова та пропонуючи пов'язані та значущі галузі досліджень. Наприклад, науковець міг би ввести запит «Які новітні напрямки досліджень у галузі виробництва енергії?» і чат-бот може створити список відповідних ключових слів і областей досліджень.

У пошуку літератури: чат-боти можуть допомогти у проведенні пошуку літератури, створюючи релевантні пошукові запити та пропонуючи відповідні бази даних і ресурси.

У виборі статей: чат-боти можуть допомогти вченим вибрати релевантні статті для огляду літератури, генеруючи резюме та надаючи контекст для кожної статті.

У цитуванні та посиланні: чат-боти можуть допомогти у точному цитуванні та посиланні на джерела, генеруючи відповідний формат цитування та пропонуючи пов'язані статті для цитування.

Підсумовуючи, слід сказати, що інструменти штучного інтелекту можуть допомогти науковцям у проведенні оглядів літератури, допомагаючи їм вибрати відповідні теми, провести пошук літератури, вибрати статті, точно цитувати та посилатися на джерела. Автоматизуючи багато трудомістких і виснажливих завдань, пов'язаних із рецензуванням літератури, чат-боти з генеративним штучним інтелектом можуть допомогти проводити більш комплексні та ефективні рецензування, що призводить до кращої якості подібних рукописів.

2. Чат-боти можуть допомогти у розробці плану та структури роботи.

У створенні підтем: чат-боти можуть створити список підтем, пов'язаних з основною темою. Наприклад, ChatGPT може запропонувати до основної теми роботи «Роль газових турбін в енергетиці» такі підтеми, як «Газові турбіни на стаціонарних електростанціях», «Газові турбіни для транспорту» та «Газові турбіни для механічного приводу».

В організації підтем: чат-боти можуть допомогти науковцям краще організувати підтеми в логічну структуру для оглядової статті. Наприклад, ChatGPT може запропонувати організувати підтеми за основними заголовками, такими як «Вступ», «Газові турбіни на стаціонарних електростанціях», «Газові турбіни для транспорту» та «Газові турбіни для механічного приводу».

3. Чат-боти можуть допомогти у додаванні деталей.

Чат-боти з генеративним штучним інтелектом можуть допомогти науковцям додати більше деталей до плану, пропонуючи ключові моменти та відповідну літературу для кожної підтеми.

4. Чат-боти можуть допомогти покращити стиль написання.

В аналізі тексту: чат-боти можуть аналізувати текст і надавати пропозиції щодо його покращення. Наприклад, ChatGPT може ідентифікувати та виділяти граматичні помилки, неоднозначні структури речень або повторювані фрази.

У пропонуванні покращень: чат-боти можуть запропонувати покращення тексту на основі результатів аналізу. Наприклад, ChatGPT може запропонувати перефразувати речення для подальшого покращення ясності, використовуючи більш точну наукову термінологію або уникаючи непотрібних жаргонів.

У наданні прикладів: чат-боти можуть надати приклади добре написаних наукових статей або речень, які ілюструють запропоновані покращення. Наприклад, ChatGPT може запропонувати приклади статей із чітким і лаконічним стилем написання або надати речення, у яких технічні терміни використовуються точно та в контексті.

У зворотньому зв'язку: науковці можуть включити пропозиції та приклади, надані чат-ботами, у свої роботи. Вони також можуть переглянути запропоновані зміни та внести будь-які необхідні корективи, щоб переконатися, що зміни відповідають їхньому стилю та тону написання.

Підсумовуючи, слід сказати, що інструменти штучного інтелекту можуть допомогти науковцям удосконалити їхній стиль письма, аналізуючи їхні тексти, надаючи пропозиції щодо покращення та пропонуючи приклади добре написаних наукових статей або речень. Використовуючи пропозиції чат-ботів з генеративним штучним інтелектом, науковці можуть підвищити ясність, точність і ефективність своїх наукових робіт, що призведе до вищої якості рецензійних рукописів і більшої ефективності.

5. Чат-боти можуть бути корисним для людей, які не є носіями англійської мови, при написанні оглядових статей.

У граматиці та структурі речень: чат-боти можуть надати пропозиції щодо правильної граматики та структури речень, що може бути особливо корисним для неносіїв англійської мови, які можуть мати проблеми з цими аспектами написання англійською. Модель може запропонувати альтернативи для побудови речень і може виявити помилки в синтаксисі чи граматиці.

У словниковому запасі: чат-боти можуть запропонувати відповідний вибір лексики та надати синоніми та альтернативи для слів, які можуть допомогти неносіям англійської мови знайти найкращі слова для вираження своїх ідей.

У перекладі: чат-боти також можуть бути корисними для написання текстів мовами, відмінними від англійської, але на основі англомовних літературних джерел. Модель у цьому випадку може допомогти в перекладі тексту з однієї мови на іншу, надаючи пропозиції щодо структури речень і лексики цільовою мовою.

Однак, незважаючи на те, що чат-боти з генеративним штучним інтелектом можуть бути корисними для тих, для кого англійська мова не є рідною, важливо зауважити, що вони не призначені для заміни повного розуміння літератури та концепцій у цій галузі. Тим, для кого англійська мова не є рідною, все одно слід переглядати та критично оцінювати тексти, створювані подібними чат-ботами, щоб забезпечити їх точність і зв'язність. Також доцільно використовувати додаткові джерела перекладу, щоб переконатися у якості створеного чат-ботом тексту.

Підсумовуючи, слід сказати, що використання таких інструментів штучного інтелекту, як чат-боти типу ChatGPT, може значно підвищити як ефективність, так і якість написання науковцями оглядових статей. Чат-боти з генеративним штучним інтелектом можуть допомогти пришвидшити процес написання, полегшити співпрацю між авторами та допомогти покращити стиль написання.

Література:

1. Open AI. ChatGPT: optimizing language models for dialogue. URL: <https://openai.com/blog/chatgpt/> (дата звернення 27.07.2024).
2. Kurian N., Cherian M., Sudharson N., Varghese K., Wadhwa S. AI is now everywhere. Br. Dent. Journal. 2023. Vol. 234. P. 72.
3. Hutson M. Could AI help you to write your next paper? Nature. 2022. Vol. 611. pp.192-193.
4. Hu G. Challenges for enforcing editorial policies on AI-generated papers. Account Res. 2023. Vol.23. pp.1-3.
5. Thorp H. ChatGPT is fun, but not an author. Science. 2023. Vol.379. P.313.
6. Else H. Abstracts written by ChatGPT fool scientists. Nature. 2023. Vol. 613. P. 423.

POTENTIAL RISKS OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TOOLS IN THE EDUCATIONAL PROCESS

Patlaichuk O. V.

Associate Professor of Psychology, Philosophy & Social Sciences Department
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine

In the last decade, technological advances in artificial intelligence have led to several significant developments in its widespread use. These AI breakthroughs have introduced the world to powerful content generation models that allow users to create anything from digital media products to instant writing samples with simple text queries. Over the past few years, interest in the use of artificial intelligence tools has increased dramatically around the world. ChatGPT, a chatbot launched in November 2022 by OpenAI, has set a record as the fastest growing consumer app in history with approximately 100 million monthly active users just 4 months after its debut [1].

The rapid growth in the use of ChatGPT has spread to the field of education and captured the imagination of students and teachers alike. OpenAI claims that with ChatGPT, educators can model best practices for students by incorporating AI tools into the classroom and curriculum. In turn, students can better understand this powerful new technology and use it to improve productivity, understanding, and creativity.

At the same time, researchers note that the use of chatbots with generative artificial intelligence in the educational process has certain potential risks [2].

1. Poor quality, lack of quality control, disinformation.

ChatGPT is designed to produce text that appears to be credible, but in many cases the information it provides is made up. Users are often unaware that ChatGPT is not an Internet search engine, reference librarian, or even Wikipedia; it is not designed to present factual information. Instead, it is programmed to predict which words best fit together to generate plausible-sounding text [3]. As such, several educators and content experts have already found flaws in the mathematical and scientific output ChatGPT produced [4]. Educators have also found that ChatGPT will fabricate citations and reference lists that look real, but in fact do not exist [5].

Assuming that ChatGPT will provide reliable, credible, accurate, and trustworthy output is a risk that can impede, and in some cases even harm, teaching and learning. For instance, a student might turn to ChatGPT to learn how to solve a complex math problem, but if ChatGPT fabricates its response, the student might learn the wrong information. Or a teacher might turn to ChatGPT to design a lesson plan related to solving a complex science equation and end up presenting the wrong information to students. While some schools are already turning to ChatGPT and AI to serve as substitute teachers, AI technologies are clearly not yet intelligent enough to serve as a substitute for the vast pedagogical content knowledge that teachers have.

2. Algorithmic bias.

Researchers noted that ChatGPT is “multilingual but monocultural” [6] because it has been trained on English-language texts, with the cultural biases and values embedded in them, and then aligned with the values of a fairly small group of US-based contractors. If teachers ask ChatGPT to write feedback for, or even grade, student writing without realizing that ChatGPT is trained on text that privileges certain ways of thinking, knowing, and using language, then students may be unfairly graded or given feedback that silences their unique, culturally relevant ways of writing. That is, privileging ChatGPT-generated text as “correct,” can perpetuate systemic bias and discrimination and force students to assimilate their writing to the culture of white normative discourse rather than encouraging students to incorporate their own creative ways of expression into their writing.

3. Deception in academic work.

The issue is that the results of the work of AI tools can be passing output as one’s own. This may not be a problem in preparing message templates and other routinary tasks, such as job applications and resumes. But it would be unacceptable for an academic exercise. Why? Because the whole point is to learn the skills of information gathering, judgment, and synthesis, expressing thoughts in one’s words with fresh insights. Hardly any of this occurs when all one does is to enter a prompt. That’s why in this context, ChatGPT use is fraudulent. It’s not supposed to replace thinking or learning to think for oneself.

The unscrupulous may argue that ChatGPT has rendered these research skills obsolete, justifying the sort and time-saving measures. But even when putting deception aside, the majority of people would still disagree, for the same reasons we insist on school-children learning math skills, despite the ubiquity of 100% accurate calculators (a degree of reliability ChatGPT cannot reach). Overdependence on technology has the perverse effect of deskilling which stymies the very capacity for innovation.

So the main ethical issue does not lie on whether the output is original or new (which it can very well be), but that one misappropriates the work of another, misrepresenting it as one’s own, while failing to develop and demonstrate competence. On the one hand, there is no person to steal the output from, and on the other, ChatGPT does not only collect facts, but actually generates texts. In any case, deception by falsely representing an academic work is a breach of honesty and integrity. It’s copying, cheating, and lying.

4. Personal data violation, social surveillance, and privacy violation.

Additional risks of using ChatGPT include giving away personal data and sensitive information. OpenAI’s privacy policy for ChatGPT indicates that the company collects a lot of information from the user, including log data, usage data, cookies, device information, IP address, interactions with the site, and date and time of use. The policy states that this information may be shared with vendors and service providers, law enforcement, affiliates, and other users. While users can request to have their data deleted, OpenAI will not delete any prompts a user inputs. So, if a user inputs a sensitive prompt (like asking about a medical condition or mental health issue), OpenAI keeps a permanent record of that input.

This also means that if a teacher asks ChatGPT to write an email to a student about their grade on a project or produce any other kind of educational record that includes protected student information, then OpenAI will have a permanent copy of that data which is a potential violation of the Family Educational Rights and Privacy Act. Additionally, the Privacy Policy specifically states that since OpenAI is collecting data on all users, the users cannot be under 13 years old (because that would violate the Children’s Online Privacy Protection Act). Meanwhile, the Terms of Use state that users must be 18 or older to use ChatGPT. Asking students younger than 18 years old to use the tool would violate the Terms of Use. Using ChatGPT without reading the privacy policy and terms of use can create additional risks – both legal and ethical – for teachers and students alike.

5. Widening socio-economic inequalities.

One additional risk worth considering is that ChatGPT may widen the digital divide. OpenAI has recently moved to a pricing plan, where users who pay for access are provided with unrestricted use and faster response times, and users who continue to use the free version may be limited in when and how they use the tool. As mentioned previously, some schools and districts have also resorted to banning ChatGPT on school-owned devices and school wifi. Some countries still do not have access to ChatGPT. While Microsoft is currently integrating ChatGPT into its search engine Bing to ensure long-term public access to the tool (Mehdi, 2023), individuals and countries that have reliable Internet will more easily be able to access the tool than those who do not. This will undoubtedly expand the digital divide between those who can access and learn how to use the tool and those who cannot [7].

While these are just a few of the currently identified risks of using ChatGPT, it is clear that AI tools, like any new technologies, require a critical interrogation before use in education in order to mitigate potential risks and harms.

References:

1. Hu K. CHATGPT sets record for fastest-growing user base - analyst note. Reuters. URL: <https://www.reuters.com/technology/chatgpt-sets-record-fastest-growing-user-base-analyst-note-2023-02-01/>.
2. Trust T., Whalen J., Mouza C. Editorial: ChatGPT: Challenges, opportunities, and implications for teacher education. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*. 2023. Vol. 23(1). P. 1-23.
3. May J. ChatGPT is great – you’re just using it wrong. *The Conversation*. URL: <https://theconversation.com/chatgpt-is-great-youre-just-using-it-wrong-198848>.

4. Brumfiel G. We asked the new AI to do some simple rocket science. It crashed and burned. NPR. URL: <https://www.npr.org/2023/02/02/1152481564/we-asked-the-new-ai-to-do-some-simple-rocket-science-it-crashed-and-burned>.
5. Smerdon D. Why does ChatGPT make up fake academic papers? By now, we know that the chatbot notoriously invents fake academic references. A THREAD [Tweet]. URL: <https://twitter.com/dsmerdon/status/1618816703923912704?s=20&t=kQgsesSFXuJMamcUOrtsqQ>.
6. Rettberg J. ChatGPT is multilingual but monocultural, and it's learning your values. URL: <https://jilltxt.net/right-now-chatgpt-is-multilingual-but-monocultural-but-its-learning-your-values/>.
7. Tate T., Doroudi S., Ritchie D., Xu Y., Uci M. Educational research and AI-generated writing: Confronting the coming tsunami. EdArXiv. URL: <https://doi.org/10.35542/osf.io/4mec3>.

ОЦІНКА ЯКОСТІ ПІДГОТОВКИ ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАХІВЦІВ У ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Мастепан М. А.

канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри автомобільного транспорту

Кривошеєв А. А.

здобувач вищої освіти

Донбаська національна академія будівництва і архітектури
м. Івано-Франківськ, Україна

Ознака професійності випускника – кваліфікація. Цей показник має комплексний характер. Основна оцінка рівня підготовленості фахівця до виконання професійних функцій у виробничому процесі підприємства дається Екзаменаційною комісією при захисті випускної атестаційної роботи.

Для закладу вищої освіти доцільно визначати знання, процеси формування творчого потенціалу здобувачів вищої освіти в процесі навчання. Це необхідно закладу вищої освіти для розробки стратегії розвитку, удосконалення власного навчального процесу.

Вимоги до якості системи підготовки інженерно-технологічних фахівців повинні бути визначені та встановлені у вигляді характеристик, показників, критеріїв, які піддаються моніторингу, спостереженню, оцінці якості процесу навчання самим навчальним закладом для забезпечення можливості удосконалення навчальних планів, навчальних програм підготовки.

Характеристика рівня підготовки може бути кількісною (наявність можливості вимірювання показників результатів навчання) або якісною (можливість порівнювати результати навчання з базовими, кращими в системі освіти результатами підготовки).

До обов'язкових характеристик рівня навчального процесу в закладах вищої освіти, зазначених в нормативних документах [1, 2], відносяться:

- кадрове забезпечення підготовки;
- матеріально-технічна база навчального закладу;
- наявність і відповідність навчально-методичних матеріалів;
- інформаційне забезпечення навчального процесу;
- наукова робота випускової кафедри та міжнародні зв'язки.

Важливим напрямком підвищення рівня підготовки інженерно-технологічних фахівців є залучення здобувачів освіти, ще під час навчання, до розробки технічних, технологічних рішень щодо розвитку процесів виробництва підприємств, на яких вони будуть працювати після закінчення навчання.

Такими розробками, техніко-технологічного, кадрового, нормативного забезпечення процесів виробництва можуть бути:

- удосконалення існуючих, розробка і впровадження окремих складових частин технологічних процесів, технічного забезпечення на базі практичного аналізу виробничих процесів під час проходження практики, курсового та дипломного проєктування;
- розробка раціоналізаторських пропозицій, способів, рішень, заходів по ефективному використанню матеріальної бази підприємства;
- участь в розробці і затвердженні освітніх, програмних документів, що регламентують процес підготовки інженерно-технологічних фахівців.

Економіко-математичну модель оцінки досягнутого індивідуального професійного рівня випускника закладу вищої освіти за період навчання можна представити рівнянням лінійної регресії:

$$K_v = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_5 x_5 \quad (1)$$

де – середній бал за всі роки навчання в закладі вищої освіти;

x_1 – кількість розроблених студентом технічних рішень по вдосконаленню технологічного устаткування, обладнання та запропонованих під час виробничих практик до впровадження на підприємствах;

x_2 – кількість технологічних розробок, в удосконаленні яких брав участь студент (при виконанні договірних науково-дослідницьких робіт кафедри з підприємствами, робіт по удосконаленню лабораторної бази випускової кафедри, та кафедр, що забезпечують спеціальну підготовку фахівців);

x_3 – навички організовувати виробничий процес підприємства (кількість випадків виконання функцій бригадира, майстра дільниці під час проходження виробничих практик);

x_4 – навички проводити економічні обґрунтування техніко-технологічних рішень (кількість економічних обґрунтувань, виконаних в курсових проектах і атестаційній роботі на замовлення підприємств);

x_5 – стаж роботи за спеціальністю до вступу в навчальний заклад;

b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 – коефіцієнти, що характеризують рівень значимості складових параметрів x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 математичної моделі.

Коефіцієнти b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 визначаються за результатами експертних опитувань фахівців підприємств галузі.

Інформація про професійний рівень випускників навчального закладу може бути використана: для оцінки якості навчального процесу; при розробці стратегії удосконалення організації практичної підготовки здобувачів вищої освіти; для забезпечення ефективного використання випускників на виробництві та покращення взаємозв'язків навчального закладу з підприємствами.

Література:

1. Закон України: Про вищу освіту. Відомості Верховної Ради (ВВР), 2014, № 37-38, ст. 2004.
2. Постанова Кабінету Міністрів України № 1117 (від 23.12.2015) «Про затвердження форми сертифіката про акредитацію освітньої програми, порядку оформлення, переоформлення, видачі, зберігання та обліку таких сертифікатів».

ОРГАНІЗАЦІЙНІ ВИМОГИ ДО ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ОЦІНКИ ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАХІВЦІВ

Мастепан С. М.

канд. техн. наук, доцент кафедри технічної експлуатації і сервісу автомобілів
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
м. Харків, Україна

Сучасні технології підготовки інженерно-технологічних фахівців в закладах вищої освіти (ЗВО) повинні базуватися на особистісно-орієнтованому підході, який передбачає диференційований підхід до навчання здобувачів вищої освіти за їх баченням майбутньої професійної діяльності. Такий підхід передбачає врахування освітньої траєкторії та створення особистого освітнього результату.

Відповідно до орієнтованого на студента навчання випускник зацікавлений в фактичній оцінці ефективності навчання: оцінка повинна ґрунтуватися на формуванні циклу заходів по організації навчання і оцінці його результатів як в навчальному закладі, так і на підприємстві (рис. 1).

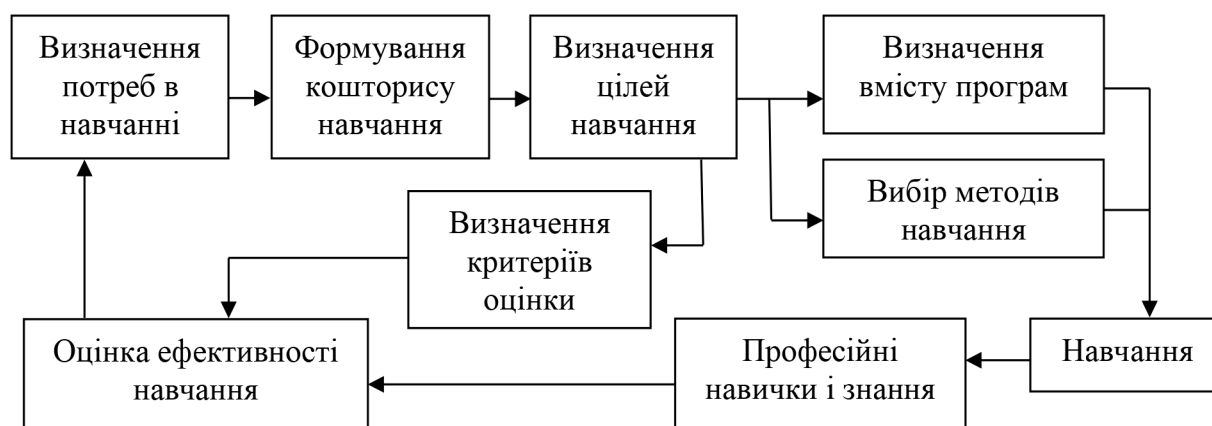


Рис. 1. Процес оцінки рівня підготовки фахівця

Такі заходи включають:

- виявлення потреби підприємств в фахівцях даної спеціальності в довгостроковій перспективі та відповідного планування навчального процесу;
- розробка навчальних заходів в ЗВО;
- оцінка ефективності конкретного навчального заходу в системі процедур навчання здобувачів вищої освіти;
- коригування освітнього процесу, навчальних планів, робочих програм дисциплін, програм виробничих практик.

Оцінка ефективності освітніх програм, навчального плану, робочих програм дисциплін здійснюється в системі тактичного і стратегічного планування за рекомендаціями Блума і Киркпатріка [1] (див. рис. 1).

Правильне формування та реалізація такої моделі дозволить забезпечити ефективне навчання здобувачів вищої освіти.

Важливим елементом навчання є майбутня оцінка фахівців за місцем роботи, яка проводиться за різними напрямками (рис. 2).

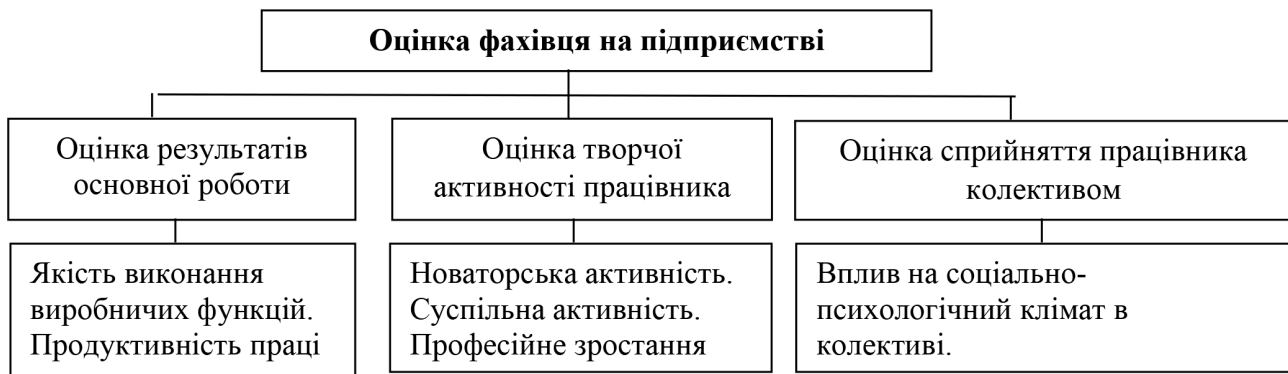


Рис. 2. Напрямки оцінки фахівця

Продуктивність праці колективу при оцінці керівника не завжди можлива. Загальна методологія оцінки керівника (рис. 3) виходить із того, що праця керівників оцінюється, насамперед за результатами роботи підлеглого йому підрозділу (органу управління). Конкретний набір критеріїв (показників) такого роду оцінки досить різноманітний і залежить від посади керівника, характеру діяльності підрозділу (виробничий підрозділ, функціональний відділ, проектні роботи) й інші.

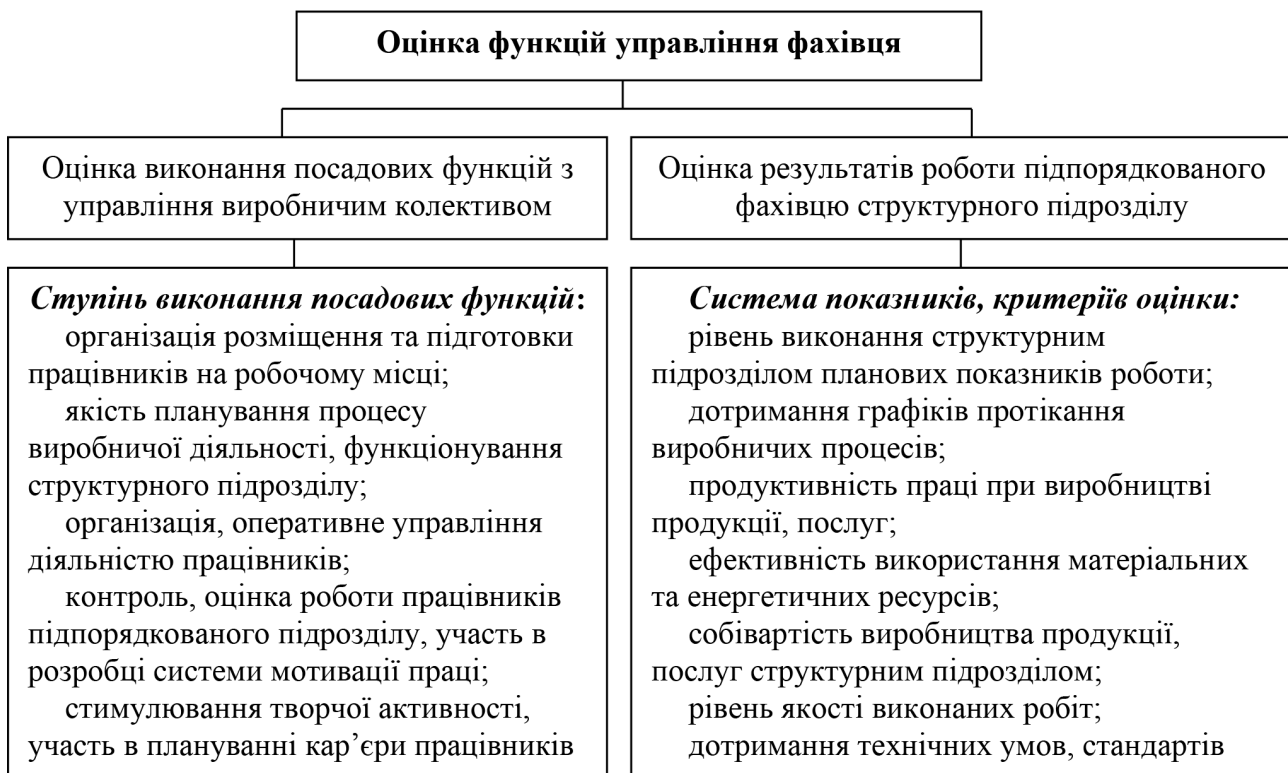


Рис. 3. Методологія оцінки фахівця як керівника

Конкретні методи оцінки праці фахівців на підприємстві можна розділити на три групи: кількісні (продуктивність праці, час виконання операції тощо), якісні (оцінка продукції споживачами при дискусії) і комбіновані методи (метод стимулюючих оцінок, тестування).

Література:

1. Винничук Р. О., Космина Ю. М. Оцінювання ефективності програм навчання персоналу в контексті організаційної поведінки. [Електронний ресурс] - Режим доступу до статті: http://www.ej.kherson.ua/journal/economic_09-1/22.pdf.

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ В ІНЖЕНЕРНІЙ ОСВІТІ: СВІТОВИЙ ДОСВІД ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДЛЯ УКРАЇНИ

Новошицький А. В.

канд. техн. наук, доцент кафедри інженерної механіки
та технології машинобудування

Боду С. Ж.

ст. викладач кафедри інженерної механіки та технології машинобудування

Поліщук М. Я.

зав. лабораторії кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Інженерна освіта потребує радикальних змін для підготовки фахівців, здатних впоратися з викликами цифровізації, сталого розвитку та штучного інтелекту. Сучасні інженери мають працювати в умовах складних, багатофакторних завдань, які потребують міждисциплінарних навичок, критичного мислення та управління проектами. Університети світового рівня, такі як Массачусетський Технологічний університет (MIT), Гарвард, провідні технічні виші Швеції та Японії, розробляють інноваційні підходи, що інтегрують теорію з практикою, цифрові технології та проектне мислення. Приклади активного навчання та проектного підходу демонструють ефективність цих інновацій у відповіді на вимоги часу:

- CDIO (Conceive, Design, Implement, Operate). У MIT та Гарварді ця модель охоплює весь цикл проекту, від розробки ідеї до її реалізації. Студенти беруть участь у міждисциплінарних проєктах, співпрацюючи з промисловими партнерами, що розвиває навички командної роботи і проектного управління [1, 2].
- Активне навчання Active Learning та модель TEAL. У MIT формат TEAL замінює лекції заняттями в малих групах з використанням цифрових інструментів для моделювання та симуляцій, що поглиблює розуміння матеріалу та підвищує ефективність навчання [3, 4].
- Мейкерспейси. Студенти працюють у лабораторіях швидкого прототипування з 3D-принтерами, лазерними різакми тощо. Це дає змогу використовувати знання на практиці, що особливо важливо для формування інженерних навичок.
- Перевернутий клас (Flipped Classroom). У Гарварді студенти опановують теорію онлайн, а на заняттях з викладачем зосереджуються на вирішенні практичних завдань та обговоренні їх у групі. Домашні завдання часто пов'язані з підготовкою мініпроєктів, що дає студентам можливість поглиблено вивчати матеріал у власному темпі та застосовувати його на практиці у класі..
- Проектне навчання (Project-Based Learning). У MIT студенти вирішують реальні задачі в партнерстві з компаніями, здобуваючи практичні навички та досвід взаємодії з професіоналами.
- Онлайн-платформи для навчання MIT OpenCourseWare (OCW) та інші онлайн-платформи надають студентам доступ до курсів і лекцій провідних професорів університету в будь-який час. Це дозволяє студентам гнучко керувати своїм навчальним процесом і повторювати матеріал за потреби [5].
- Навчальний план за принципом «Lifelong Learning» (неперервне навчання). Шведські ЗВО підтримують концепцію «навчального плану на все життя». В Швеції студентів заохочують до саморозвитку та вивчення нових дисциплін протягом усієї кар'єри. Наприклад, в університетах Лунді та Уппсали пропонуються курси і програми для випускників, щоб вони могли повертатися за оновленими знаннями у міру розвитку кар'єри.
- Наукові дослідження з ранніх етапів. У провідних університетах, таких як Токійський університет та Університет Кіото, студенти залучаються до наукових досліджень з перших курсів. Навіть студенти бакалаврату беруть участь у наукових проєктах та виконують дослідження під керівництвом викладачів. Це розвиває їх аналітичні навички та здатність працювати з інноваційними технологіями та методами.
- Focus on Kaizen and Continuous Improvement. Фокус на кайдзен та безперервному вдосконаленні. Культура безперервного вдосконалення – кайдзен – лежить в основі японського підходу до навчання та технічного розвитку. Студенти навчаються аналізувати та покращувати процеси та рішення, незалежно від масштабу завдання. У поєднанні з високою дисципліною це розвиває здатність виявляти та усувати недоліки, а також досягати високого рівня якості у роботі.
- Кафедри за інтересами (Zemi). «Zemi» (ゼミ, семінар) – це унікальна японська форма навчальної групи, де студенти об'єднуються навколо певних наукових інтересів під керівництвом викладача (University of Tokyo, Kyoto University, Tokyo Institute of Technology, Osaka University, Waseda University та ін.). Кожна «земі» має свою тему досліджень, і студенти поглиблюються в спеціалізовані галузі. Це щось середнє між науковим гуртком та дослідницькою лабораторією, де студенти можуть розробляти та захищати свої ідеї. Система «земі» допомагає студентам отримати підтримку та розвиватися в команді з людьми, захопленими схожими темами.
- Менторство. У MIT та Гарварді менторство відіграє ключову роль у підготовці студентів. Досвідчені інженери та професори надають персоналізовану підтримку студентам, допомагаючи їм справлятися з навчальними труднощами та розвивати кар'єрні навички.

– Використання технологій віртуальної та доповненої реальності. Віртуальна і доповнена реальність активно використовуються для моделювання складних, небезпечних або дорогих процесів та створення інтерактивних навчальних симуляцій.

Сучасні реалії вимагають від університетів швидкої адаптації до нових викликів. Обмежене фінансування може стримувати інновації, але існують дієві стратегії для підтримки якості освіти та конкурентоспроможності закладів навіть за таких умов.

Основні напрями розвитку:

- Відкриті ресурси. Впровадження безкоштовних освітніх матеріалів та онлайн-платформ знижує витрати й розширює доступ до знань.
- Партнерства. Спільні проєкти з бізнесом і закордонними партнерами сприяють обміну досвідом та інвестиціям, розширюючи можливості для студентів і викладачів.
- Сучасні методики. Перехід від класичних методів до підходів, що ґрунтуються на практичних навичках, ігрових елементах та інтерактивних технологіях, підвищує мотивацію та ефективність навчання.
- Інноваційна культура. Підтримка студентських проєктів і стартапів, а також розвиток інноваційної діяльності викладачів створюють умови для реалізації новаторських ідей.

Деякі з інноваційних методів навчання впроваджені на нашій кафедрі Інженерної механіки та технології машинобудування. Наприклад, студенти кафедри беруть участь в розробці та проектуванні металорізального устаткування і технологічного оснащення. Так було спроектовано та виготовлено діючий зразок компактного токарного верстата, що в подальшому став використовуватись в навчальному процесі. Також за участю студентів було спроектовано та виготовлено головку для прецизійного розточування отворів, пристосування для обробки різьб підвищеної точності та інші типи верстатного оснащення, які потім використовуються в лабораторії.

Робота в лабораторії металорізальних верстатів дозволила оволодіти теоретичним комплексом знань щодо призначення, технологічних можливостей, налагодження, будови та принципів роботи токарних, свердлильних, фрезерних та шліфувальних верстатів, відповідних ріжучих та вимірювальних інструментів, технологічного оснащення та верстатних пристосувань. Також студенти кафедри отримали реальні практичні навички роботи на відповідному устаткуванні.

Такий підхід до навчання не тільки дозволяє ґрунтовно оволодіти теоретичними знаннями та практичними навичками, але й дарує студентам справжнє задоволення від усвідомлення, що вони самостійно створили функціональний та корисний пристрій. Це забезпечує глибоку залученість до навчального процесу, пробуджує інтерес до інженерії, формує відповідальність та гордість за результати своєї праці.

Досвід провідних університетів світу показує ефективність проєктного навчання, онлайн-платформ і технологій віртуальної реальності, які не тільки покращують освітній процес, але й роблять навчання доступнішим.

Навіть за умов обмежених ресурсів, українські виші можуть успішно інтегрувати інновації завдяки відкритим ресурсам, партнерствам і системному підходу. Адаптація світового досвіду дозволить готувати спеціалістів, які відповідають потребам сучасного ринку праці.

Література:

1. CDIO – CDIO Initiative <https://www.cdio.org>
2. Crawley, E., Malmqvist, J., Ostlund, S., Brodeur, D., & Edström, K. (2014). Chapter 8: Adapting and implementing a CDIO approach. In *Rethinking engineering education*. pp. 181-207. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05561-9_8
3. Dourmashkin, Peter; Tomasik, Michelle; Rayyan, Saif (2020), Mintzes, Joel J.; Walter, Emily M. (eds.), "The TEAL Physics Project at MIT", *Active Learning in College Science: The Case for Evidence-Based Practice*, Cham: Springer International Publishing. pp. 499-520.
4. TEAL (Technology-Enhanced Active Learning) – MIT TEAL.
5. MIT OpenCourseWare – MIT OCW <https://ocw.mit.edu/>

ЗМІСТ

ВСТУП	3
ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ	4
Сербін С. І. ПЛАЗМОХІМІЧНІ СИСТЕМИ ДЛЯ СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ.....	4
Тимошевський Б. Г., Ткач М. Р. ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ У СКЛАДІ ПЛАВУЧИХ ЕЛЕКТРОГЕНЕРУЮЧИХ СТАНЦІЙ	5
Чередніченко О. К. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ В ЕНЕРГЕТИЧНИХ МОДУЛЯХ ПЛАВУЧИХ ОБ'ЄКТІВ ОФШОРНОГО НАФТОГАЗОВИДОБУТКУ	7
Korobko V. V. DESIGN FEATURES OF THERMOACOUSTIC SYSTEMS FOR LOW-TEMPERATURE WASTE HEAT RECOVERY	9
Митрофанов О. С., Гогоренко О. А., Проскурін А. Ю., Мошенцев Ю. Л., Тимошевський Б. Г. НАПРЯМКИ НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ КАФЕДРИ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ, УСТАНОВОК ТА ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	11
СЕКЦІЯ 1. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ДВИГУНОБУДУВАННЯ	13
Воїнов О. П., Самохвалов В. С., Кобалава Г. О. ПРО ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ.....	13
Колбасенко О. В., Димо Б. В., Анастасенко С. М. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СПАЛЮВАННЯ ОРГАНІЧНИХ ПАЛИВ ЗАСТОСУВАННЯМ ВОДОПАЛИВНИХ ЕМУЛЬСІЙ.....	14
Погорлецький Д. С. ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ПАЛИВОПІДГОТОВКИ СУДНОВОГО МАЛООБЕРТОВОГО ДВИГУНА	15
Nikolaiev O. L., Polishchuk V. A., Li Yonghong. MANUFACTURING TECHNOLOGY IMPROVEMENT OF BEVEL-TOOTH WHEELS AND BEVEL GEARS.....	17
Dzygar A. K., Pohorletskyi D. S., Gritsuk I. V., Khudiakov I. V. ASPECTS OF MARINE FUEL OILS SULPHUR REDUCTION.....	18
Дрозд О. В., Алтухов Є. П., Бондаренко А. О., Вігулярний С. С. ГІБРИДНІ СИСТЕМИ НА БАЗІ СУДНОВИХ ДВЗ: ПОЄДНАННЯ ТРАДИЦІЙНИХ І НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ	22
Нікіфоров Р. А., Павловський М. В., Колесников О. В. ЕКОЛОГІЧНІ ВИКЛИКИ ТА ШЛЯХИ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ СУДНОВИХ ДВЗ: ПОГЛЯД НА МАЙБУТНЄ.....	24
Герус Є. С., Єложенко О. О., Єременко І. І., Колесников О. В. ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ СУДНОВИХ ДВЗ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ВОДНЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ	25
Шалапко Д. О., Кухаренко О. О., Ратушний С. І. ОСНОВНІ НАПРЯМИ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ГОЛОВНИМ СУДНОВИМ ДВИГУНОМ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ	27
Дрозд О. В., Іванько О. І., Крамар Р. Г. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВИХ ДВЗ ЗА ДОПОМОГОЮ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ.....	29
Плахотник Ю. О., Мишако Є. Є., Шалапко Д. О. РОЛЬ СИСТЕМИ РЕКУПЕРАЦІЇ ЕНЕРГІЇ В ПІДВИЩЕННІ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВИХ ДВЗ	30
Доценко С. М., Свідерський А. А., Самарін М. Л., Рідош Я. В. АНАЛІЗ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ ПОДАЧІ ЗАПАЛЬНОГО ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА ГАЗОДИЗЕЛЯ	31
Шаповалов Ю. О., Семенов М. М., Смірнова О. О., Степанок М. Ф. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕКОНОМІЇ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ КАТЕГОРІЇ ПЗ У РЕЖИМІ ПРОСТОЮ ТА ХОЛОСТОГО ХОДУ.....	33
Калініченко І. В., Степаненко Ю. О. ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСНИХ ПОКАЗНИКІВ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА ПРИ ЗМІНІ ВМІСТУ СІРКИ В ПАЛИВІ	35
Грич А. В. АНАЛІЗ СХЕМИ РАЦІОНАЛЬНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ПРИПЛИВНОГО ПОВІТРЯ ДЛЯ ГАЗОВОГО ДВИГУНА АВТОНОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.....	37
Грич А. В. ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА СИСТЕМА КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ГАЗОВИХ ДВИГУНІВ В СКЛАДІ АВТОНОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ КАСКАДНОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ	39
Гудима А. О. ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СЕУ	41
Матвієнко В. В. ОСОБЛИВОСТІ ПРИВОДУ ЯКІРНО-ШВАРТОВНИХ МЕХАНІЗМІВ.....	43
Maksym Poshyvai, Nataliia Benedychuk, Vadym Voloshchuk. APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE I N THE DESIGN OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES	45
Шаповалов Ю. О., Семенов М. М., Богдан А. П., Міхай Г. М. АНАЛІЗ СИСТЕМ ВОДОПІДГОТОВКИ ДЛЯ ПЕРЕСУВНОЇ ГАЗОТУРБІННОЇ УСТАНОВКИ	46

Поліщук Д. В. ПОЛІПШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРОРОЗРЯДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	48
Лісовал А. А. ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ В УКРАЇНІ В ЕНЕРГЕТИЦІ ТА НАЗЕМНОМУ ТРАНСПОРТІ	50
Olena V. Lytosh. HERMETIC COMPRESSORS FOR AUTONOMOUS AIR CONDITIONERS OF AMPHIBIOUS VESSELS	50
Olena V. Lytosh. HERMETIC REFRIGERATION MACHINES FOR PROVISION STORAGE ROOMS	52
Olena V. Lytosh., Anatolii Prylutskyi. HEATING, VENTILATION AND AIR CONDITIONING SYSTEMS OPTIMIZATION AND AUTOMATION	53
Личко Б. М., Шостак В. П., Кісаров-Дагнер О. Л. ПРОПУЛЬСИВНА УСТАНОВКА ТРАНСПОРТНИХ СУДЕН МАЙБУТЬОГО	55
Гогоренко О. А., Козленок А. А. ПЕРЕВАГИ, ОБМЕЖЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ ІЗ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ	56
Алтухов П. М. ПРОБЛЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ І ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ ПАЛИВНИХ ФОРСУНОК СУЧАСНИХ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ	58
Vasyl Nalyvaiko., Roman Avdiunin., Yevhenii Truslyo. TWO-STROKE INTERNAL COMBUSTION ENGINE USING SPOOL VALVE DEVICE FOR GAS EXCHANGE CONTROL	59
Дудар О. Ю. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПОВІТРЯНОГО ЗМАЩЕННЯ КОРПУСУ СУДНА ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ БАЛКЕРА «DIETRICH OLDENDORFF»	60
Столярчук В. В., Золотко О. Є. ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕАКТИВНОГО ДЕТОНАЦІЙНОГО ДВИГУНА	62
Кузнецов Г. В. ВИКОРИСТАННЯ ГІБРИДНИХ ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧИХ СИСТЕМ У СКЛАДІ КОРАБЕЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК	63
Кузнецов В. В., Шевцов А. П. ОЦІНКА ТЕПЛОГІДРАВЛІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛООБМІННИХ ЕЛЕМЕНТІВ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ПРИ ЗОВНІШНЬОМУ ОБТІКАННІ ТРУБ РІЗНОГО ПЕРЕРІЗУ	65
Гогоренко О. А., Мошенцев Ю. Л., Немченко А. В. ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОБОТИ ОХОЛОДЖУВАЧІВ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ НА РЕЖИМАХ З ВИПАДАННЯМ ВОЛОГИ	67
Нікончук С. В., Єлеонська О. С. ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ТРУБОПРОВІДІВ СИСТЕМ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗРІДЖЕНОГО ГАЗУ ДЛЯ СУДЕН FSRU	69
Ihor Prudnikov., Andreii Andreiev. THE FEASIBILITY OF USING ULTRA-DISPERSED SOFT METAL POWDER ADDITIVES IN MARINE DIESEL ENGINE OIL	71
Zabrodin S., Polehenko V., Bondarets O., Kaushan D. ANALYSIS OF MODERN FUEL SUPPLY SYSTEMS FOR MEDIUM-SPEED MARINE INTERNAL COMBUSTION ENGINES	73
Фролов Н. С., Табаковський А. І., Анпілогов І. І., Качалов В. О. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГАЗОВОГО ПАЛИВА В ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНАХ	74
Лубковський К. О., Огородник А. В., Мацан І. І., Лук'яненко І. Д. СУЧАСНІ НАПРЯМКИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ ВИСОКООБЕРТОВИХ ДВИГУНІВ	75
Пілецький В. О., Глушков В. Є., Кухарчук Я. О. ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ В СУЧАСНИХ СУДНОВИХ ДВИГУНАХ	76
Чередніченко О. К., Коробейнікова Н. В., Косоруков Є. Є. БАГАТОВИМІРНА КЛАСИФІКАЦІЯ ПЛАВУЧИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ	77
Гаврилюк О. А., Рябінін Є. О., Хахно Д. О. АНАЛІЗ СПОСОБІВ ЗМЕНШЕННЯ РІВНЯ ТОКСИЧНОСТІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ СУДОВИХ ДВИГУНІВ	79
Воронцов Д. І., Грузін В. В., Сизоненко А. В., Дружина А. П. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВОДОПАЛИВНИХ ЕМУЛЬСІЙ В ПОРШНЕВИХ ДВИГУНАХ	80
СЕКЦІЯ 2. РОБОЧІ ПРОЦЕСИ В ДВИГУНАХ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ТА УСТАНОВКАХ	81
Міщенко М. Т., Чучуменко Б. С. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОБАВКИ ВОДНЮ НА ПАРАМЕТРИ ЗГОРЯННЯ В БЕНЗИНОВОМУ ДВИГУНІ	81
Andrieiev A. A., Andrieieva N. B. ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF CHARGE AIR TEMPERATURE ON THE PERFORMANCE OF LOW-SPEED MARINE DIESEL ENGINES	83
Andrieiev A. A., Andrieieva N. B., Bashak M. M. DETERMINING RATIONAL PARAMETERS FOR INTERMEDIATE COOLING OF CHARGE AIR IN MARINE INTERNAL COMBUSTION ENGINES	85
Andrieiev A. A., Andrieieva N. B., Nechai O. I. IMPROVING LSD EFFICIENCY THROUGH CHARGE AIR COOLING WITH A THERMAL TRANSFORMER	87

Ліньков О. Ю., Шевченко О. С. ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОПРОЦЕСОРА ДЛЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ЗМІНИ ТИСКУ В ПАЛИВНІЙ СИСТЕМІ ВИСОКОГО ТИСКУ ДВИГУНА	89
Мінчев Д. С., Варбанець Р. А., Кучеренко Ю. М., Братченко П. В. ВИПРОБУВАЛЬНИЙ СТЕНД НА БАЗІ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА	90
Доценко С. М., Казимічук В. М., Грицик В. І. АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА НА СУМІШІ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА ТА СОЄВІЙ ОЛІЇ.....	92
Калініченко І. В., Русанов О. О. ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПОДАЧІ ПАЛИВА ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ТОКСИЧНИХ ВИКИДІВ У ВІДХІДНИХ ГАЗАХ ДВЗ.....	94
Калініченко І. В. ТЕПЛОНАСОСНІ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ СУДНОВИХ ДВЗ.....	96
Кузнецов В. В., Кузнецова С. А. ЕФЕКТИВНІСТЬ УТИЛІЗАЦІЙНИХ КОТЛІВ З КОНТРОЛЬОВАНИМ ВІДРИВОМ ПОТОКУ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК.....	98
Остапенко О. В. ВДОСКОНАЛЕННЯ ТРИГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ НА БАЗІ ГПД ВИКОРИСТАННЯМ СТУПЕНЕВОГО АБСОРБЦІЙНО-АДСОРБЦІЙНОГО ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРА.....	99
Швець І. А., Чередніченко О. К. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СОЄВОЇ ОЛІЇ В ЯКОСТІ ПАЛИВА ДЛЯ СЕРЕДНЬООБЕРТОВИХ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ	101
Кравченко С. С., Ободець Д. К. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ДВОТАКТНОГО ДВИГУНА З КРИВОШИПНО-КАМЕРНОЮ ПРОДУВКОЮ.....	102
Корогодський В. А., Хомутов М. А., Авраменко А. Р., Стрижак Г. О., Кананикін О. В., Орлов М. А. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВНУТРІШНЬОГО СУМІШОУТВОРЕННЯ ПРИ ЗМІНІ ТИСКУ ВПОРСКУВАННЯ НА ДВОТАКТНОМУ ДВИГУНІ З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ	106
Нестер О. В. ПЕРСПЕКТИВИ ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ ДВЗ ШЛЯХОМ ПЕРЕХОДУ НА ВОДНЕВЕ ПАЛИВО	109
Вахник С. О. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ФЕНОМЕНОЛОГІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЗГОРЯННЯ ПАЛИВА У ДИЗЕЛІ	110
Митрофанов О. С., Познанський А. С., Проскурін А. Ю. ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗГОРЯННЯ СИНТЕЗ-ГАЗУ В ПОРШНЕВИХ ДВИГУНАХ	113
Дратман С. С., Сарабун А. А., Купінець Л. К. АНАЛІЗ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВИХ ДИЗЕЛЬНИХ УСТАНОВОК КОНТЕЙНЕРОВОЗІВ СЕРІЇ НММ NURI.....	116
Боду Д. Ж. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНОЇ ТЕПЛОТИ ШЛЯХОМ ЗНИЖЕННЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ	118
Доценко С. М., Мусурін В. Ю., Хомич М. В. ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ БІОЛОГІЧНОГО ПАЛИВА НА ІНДИКАТОРНІ ПОКАЗНИКИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА	120
Ampilogov P., Iovenko V., Kovalchuk O., Kogdenko Y. ANALYSIS OF POSSIBLE WAYS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF MARINE ENGINES	121
Познанський А. С., Новіков В. В., Писарев В. М., Манзенко В. Я., Марченко А. М., Рябчевський Р. В. СУЧАСНІ МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ	123
Познанський А. С., Марченко М. В., Сторожук В. В., Сухий Р. В., Федоркова І. М., Скирда І. В. ПІДВИЩЕННЯ ПОТУЖНОСТІ АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАКИСУ АЗОТУ	125
Kostiantyn Huryn ., Andreii Andreiev. IMPROVING FUEL EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL COMPATIBILITY OF MARINE DIESEL ENGINES THROUGH FUEL TREATMENT WITH MAGNETO-HYDRODYNAMIC ACTIVATORS.....	127
СЕКЦІЯ 3. РОБОЧІ ПРОЦЕСИ В ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНАХ ТА УСТАНОВКАХ.....	129
Козирко О. А. АКТУАЛЬНІСТЬ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ ТИПУ VOX COOLER В СИСТЕМАХ ОХОЛОДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ	129
Патлайчук В. М. ЕНЕРГЕТИЧНА УСТАНОВКА З НУЛЬОВИМИ ВИКИДАМИ НА ОСНОВІ ЦИКЛУ АЛЛАМА	132
Патлайчук В. М. АНАЛІЗ ВИТРАТ НА ПІДГОТОВКУ КИСНЮ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ, ВИКОНАНОЇ ЗА ЦИКЛОМ АЛЛАМА	134
Мелейчук О. С., Ванєєв С. М., Корольов С. К. СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ І ХАРАКТЕРИСТИК СТРУМІННО-РЕАКТИВНИХ ТУРБІН	136
Козловський А. В. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАЗМОХІМІЧНОГО СТАБІЛІЗАТОРА, ПРИЗНАЧЕНОГО ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ПРОЦЕСІВ В КАМЕРІ ЗГОРЯННЯ ГТД.....	138
Halina Kobalava., Oksana Drozd., Oleksandr Meshenko. EVALUATING GAS TURBINE PLANT EFFICIENCY WITH WATER INJECTION TECHNOLOGY	138
Лавренченко Г. К., Слинько О. Г., Бойчук А. С., Козловський С. В. ГАЗОТУРБІННА УСТАНОВКА З ІЗОХОРНИМ ПРОЦЕСОМ ПІДВЕДЕННЯ ТЕПЛОТИ	141

Сербін С. І., Шмарков О. А., Daifen Chen., Jianming Zhang. ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ РОЗРАХУНКІВ РОБОТИ КАМЕРИ ЗГОРЯННЯ З ВПОРСКУВАННЯМ ПАРИ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОРІВНЕВИХ МЕХАНІЗМІВ ОКИСНЕННЯ ПАЛИВА	144
Лисиця О. Ю., Петухов І. І. CFD-МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ ВОДНЮ І ПОВІТРЯ ПРИ РОЗРИВІ ТРУБОПРОВОДУ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА	146
Петухов І. І., Михайленко Т. П., Ковальов А. В. УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОПЕРЕНОСУ В КАМЕРІ ПІДШИПНИКА ГТД	146
Бєков Б. А., Шевцов А. П. ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ ОХОЛОДЖЕННЯ ПОВІТРЯ ПРИ СТИСКАННІ В КОМПРЕСОРИ ЗАЛЕЖНО ВІД ВОЛОГОВМІСТУ	147
Тарасенко О. І., Литош О. В., Тарасенко А. О. СПОСІБ ЗАХИСТУ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА ДЛЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ПРИ РАПТОВОМУ ВІДКЛЮЧЕННІ СПОЖИВАЧІВ	148
Тарасенко О. І., Литош О. В., Тарасенко А. О. РОБОТА ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА ДЛЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ В УМОВАХ ЗМІННИХ ТЕМПЕРАТУР ПОВІТРЯ НА ВХОДІ	149
Тарасенко О. І., Литош О. В., Тарасенко А. О. ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ СХЕМИ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА ДЛЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.....	150
СЕКЦІЯ 4. КОНСТРУКЦІЯ ТА МІЦНІСТЬ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ ТА ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ	151
Łastowska O., Jurczak W., Starosta R. INFLUENCE OF THE WELD BEAD SURFACE QUALITY AFTER THE POST-WELD FINISHING PROCESSES ON ITS CORROSION RESISTANCE	151
Ткач М. Р., Галинкін Ю. М., Монахов А. А., Золотий Ю. Г. ПАРАМЕТРИ ДИНАМІЧНОЇ МІЦНОСТІ ОБОЛОНКОВИХ ПЕРФОРОВАНИХ ОБ'ЄКТІВ	153
Новошицький А. В., Боду С. Ж., Фабріцієв Д. В. УДОСКОНАЛЕНА ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТОНКОСТІННИХ ПРОФІЛЬОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ	154
Новошицький В. А., Новошицький А. В. СИСТЕМНО-СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ПРАВКИ ТА СТАБІЛІЗАЦІЇ ФОРМИ ДОВГОМІРНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....	156
Свиридов В. І., Сенчин Н. Д., Коновалов Е. О. ЗАСОБИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ СУДНОВОГО УСТАТКУВАННЯ В СУДНОВИХ УМОВАХ	158
Свиридов В. І., Садовський П. Е., Маханько В. Д. НАДІЙНІСТЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПІДШИПНИКОВИХ ВУЗЛІВ СУДНОВИХ ГАЗОТУРБОНАГІТАЧІВ	160
Свиридов В. І., Казанніков Д. Д., Романішин Д. А. НАДІЙНІСТЬ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК НА СУДНОВИХ ДВИГУНАХ.....	160
Вульчин Е. Р., Гайченя Р. О. ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОРШНЕВИХ ДВЗ НА ГАЗОВОМУ ПАЛИВІ	161
СЕКЦІЯ 5. ІННОВАЦІЇ В СИСТЕМІ ПІДГОТОВКИ ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАХІВЦІВ.....	164
Наливайко В. С., Гогоренко О. А. ІНТЕГРАЦІЯ СПАДЩИНИ МАШИНОБУДІВНОГО НАВЧАЛЬНО-НАУКОВОГО ІНСТИТУТУ НУК В ПІДГОТОВКУ ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИХ ФАХІВЦІВ.....	164
Патлайчук О. В. РОЛЬ ІНСТРУМЕНТІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У НАУКОВОМУ ПИСЬМІ	166
Patlaichuk O. V. POTENTIAL RISKS OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TOOLS IN THE EDUCATIONAL PROCESS	167
Мастепан М. А., Кривошеев А. А. ОЦІНКА ЯКОСТІ ПІДГОТОВКИ ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАХІВЦІВ У ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ.....	169
Мастепан С. М. ОРГАНІЗАЦІЙНІ ВИМОГИ ДО ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ОЦІНКИ ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАХІВЦІВ	170
Новошицький А. В., Боду С. Ж., Поліщук М. Я. ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ В ІНЖЕНЕРНІЙ ОСВІТІ: СВІТОВИЙ ДОСВІД ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДЛЯ УКРАЇНИ.....	172
ЗМІСТ	174

Наукове видання

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПРОБЛЕМИ ДВИГУНОБУДУВАННЯ

VIII Міжнародна науково-технічна конференція
05-06 грудня 2024 року

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

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ (українською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск О. А. Гогоренко
Дизайн , верстка Л.М. Струкачової

Формат 60×84 1/8. Ум. друк. арк. 16,5. Тираж 100 пр. Зам. № 1402-25
ВИДАВЕЦЬ І ВИГОТОВЛЮВАЧ
Товариство з обмеженою відповідальністю фірма «Ліон».
54007, м. Миколаїв, вул. Бузника, 5/1
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1506 від 25.09.2003 р.



**Науково-дослідна частина
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова**

**Просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025
Тел.: (0512) 70-91-04; <http://conference.nuos.edu.ua>
e-mail: conference@nuos.edu.ua**