ISSN 1815-6770

Міністерство освіти і науки України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»

Суднові енергетичні установки

Науково-технічнийзбірник

Випуск 40

Одеса
2020

ББК 39.46
С 169
УДК 629.123.066

Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вып. 40. - Одеса: НУ «ОМА», 2020. -169 с.

Збірник присвячений проблемам суднової енергетики, проектування, модернізації й експлуатації суднових енергетичних установок, методам підвищення ефективності й надійності використання суднових технічних засобів.

Для науковців і фахівців.

Редакційна колегія: д.т.н., доц. С.В. Сагін (редактор); к.т.н., проф. М.О. Колегаєв; д.т.н., проф. М.В. Міюсов; д.т.н., проф. В.М. Захарченко; д.т.н., проф. В.А. Голіков;д.т.н., проф. С..І. Горб; д.т.н., проф. В.В. Будашко; д.т.н., проф. О.А. Онищенко; д.т.н., проф. В.В. Афтанюк; д.ф.-м.н., проф. О.В. Малахов; д.т.н., проф. П.С. Суворов; д.ф.-м.н., проф.С.В. Козицький; д.т.н., проф. І. М. Гвоздева; к.т.н, доц. Ю.І. Журавльов;к.т.н, доц. Ю.В. Заблоцький; к.т.н, доц. В.Г. Солодовніков; к.т.н, доц.А.В. Печенюк; doctor in technical sciences, Senior Lectures Class A, Bendahmane Boukhalfa (Algeria)

Адреса редакційної колегії: 65029, Одеса, вул. Дідріхсона, 8, національний університет «Одеська морська академія» (НУ «ОМА»), кафедра ТМС.

Контактні телефони редакції (048) 733-49-24, 733-23-52.

e-mail: ivanovich1zh@gmail.com

Комп'ютерна верстка Журавльов Ю.І.

Затверджене вченою радою НУ «ОМА», протокол №11 від 25.06.2020.

©Національный університет "Одеська морська академія", 2020

Зміст

*Сагін С.В.*Зниження механічних втрат у суднових середньообертових дизелях 5
*Заблоцький Ю.В.*Підвищення економічності роботи суднових дизелів.....12
*Мацкевич Д. В.*Забезпечення реологічної стійкості суднових моторних мастил 17
*Ткаченко І. В.*Розробка технології розділення і очищення вод, що містять нафту 24
*Polovinka E.M., Yakovenko A.YU.*Development of operational control systems for marine diesel engines working processes based on combined measuring transducers 31
*Половинка Є.М. Слободянюк М.В.*Статистичні моделі характеристики паливоподачі суднового середньобертового дизеля.....42
*Руснак Д. Ю., Сагін С. В.*Забезпечення екологічних вимог при ультразвуковій десульфурізації вуглеводних палив 49
*Величко С.С., Веретенник О.М.*Підвищення ефективності імпульсної системи наддуву суднових дизелів.....55
*Афтанюк В.В., Гаврілкін О.Є., Афтанюк А.В., Стороженко Д.В.*Компьютерне моделювання біологічного забруднення корпуса судна 58
*Тимків О.В., Денісов В.Г., Гнатюк Б.І.*Сучасні засоби діагностування суднових систем 65
*Кардаш В.П., Шліхта О.М.*Підвищення економічних та екологічних характеристик суднового двигуна шляхом зміни складу надувного повітря.....70
*Корбан В.Х., Корбан Д.В., Ревенко В. Ю.*До проблеми зменшення перешкод від атмосферних опадів при радіолокаційному спостереженні об'єктів судновою РЛС 79
*Солодовніков В. Г.*Забезпечення технічного стану суднових дизелів шляхом кавітаційної обробки палива 88
*Демідова Н.П.*Виробництво та зберігання водню 95

*Козьміних М.А., ЧепільО.О.*Аналіз можливостей використання етану в якості палива суднових двигунів 103
*Ольшамовський В.С., Стоянов Д.О.*Перспективи використання ЕС −вентиляторів в суднових системах вентиляції і кондиціонування повітря 109
*Лалетін Є.Л.*Аналіз навантажувальних характеристик суднових кермових машин 117
*Стукаленко О. М., Макаренко Л. М.*Дослідження використання фрикціону з постійним опором у здвоєному поліспасті 121
*Козицький С. В., Кіріян С. В.*Особливості поведінки наночастинок при взаємодії з парами тертя 127
*Опришко М.О.*Застосування нанотехнологій в суднобудуванні 134
*Григор'єва О.С.*Застосування наноматеріалів у захисних покриттів від корозії і обрастання суднових конструкцій..... 139
*Богач В.М., Довиденко Ю.М., Слободянюк І.М.*Особливості лубрикаторних систем дизельних двигунів MAN-B&W 144
*Журавльов Ю.І., Костюченко Є.Ф.*Підвищення ефективності технічного обслуговування і ремонту сполучень вал-підшипник ковзання на основі моделювання їх пошкоджень 152
*Мельник О.А.*Вид і елементи режиму термічної обробки суднових колінвалів 162
Правила оформлення і подання рукописів для збірника «Суднові енергетичні установки» 166

10.31653/smf340.2020.5-11

Сагін С.В.
Національний університет «Одеська морська академія»

ЗНИЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВТРАТ У СУДНОВИХ СЕРЕДНЬООБЕРТОВИХ ДИЗЕЛЯХ

Постановка проблеми в загальному вигляді. Механічні втрати енергії при передачі корисної (індикаторної) потужності від суднового двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) до споживача лежать у широких межах і можуть становити 6...10 % – у разі експлуатації ДВЗ на номінальному режимі, і до 100 % – під час експлуатації на холостому ходу. Рівень механічних втрат оцінюється механічним коефіцієнтом корисної дії (ККД). Мінімізації цих втрат і забезпечення мінімальних значень протягом тривалого часу є актуальним завданням, на розв’язання якого спрямовано наукові дослідження, що проводяться як дизелебудівними корпораціями, так і окремими науково-виробничими фірмами та інститутами [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Конструкційні та технологічні заходи, що забезпечують зниження механічних втрат енергії під час експлуатації суднових ДВЗ, розглядалися в різних роботах. При цьому увага приділялася модифікації поверхонь циліндро-поршневої групи, забезпеченню мінімальної витрати палива, загальній методології оцінки енергетичних витрат, регенерації властивостей робочих поверхонь основних елементів дизеля.

Постановка завдання. Аналіз досвіду проектування та експлуатації суднових пропульсивних комплексів, що забезпечують мінімальний рівень механічних втрат, показує, що їх вдосконалення доцільно вести за наступними напрямками:

- підвищення стійкості роботи деталей кривошипно-шатунного механізму (КШМ) і підшипників руху;
- зниження втрат енергії за рахунок підвищення пружнодемпфуючих властивостей мастильного матеріалу, що забезпечує процеси змащування і охолодження КШМ і підшипників, а також працездатний стан колінчастого валу і лінії валопроводу;
- мінімізація гідравлічних втрат і контактних навантажень у паливній апаратурі високого тиску;
- розвиток методів діагностики технічного стану вузлів і деталей дизеля, а також функціональних характеристик робочих рідин, що забезпечують отримання корисної роботи;

▪ удосконалення методів, що сприяють зниженню термічних і динамічних навантажень на рухомі і нерухомі деталі дизеля і валопроводу.

Найбільшим доступним в умовах експлуатації вже існуючого енергетичного обладнання є оптимізація роботи циркуляційних систем мащення.

Виклад основного матеріалу дослідження.З ряду методів, що є найбільш прийнятними для суднових умов (з технологічної та фінансової точки зору), є використання оптимального доливання мастила в систему і застосування поверхнево активних речовин (ПАР) [2].

Вплив інтенсивності доливання моторного мастила в загальний об’єм циркуляційної системи мащення на механічні втрати енергії можливо оцінити за зміною механічного ККД дизеля для різних умов експлуатації (різних умов поповнення системи мащення свіжим мастилом). Для цього виконувалось вимірювання механічного ККД на різних режимах роботи дизелів 6EY22AW (що відповідають 35-ти, 50-ти, 65-ти і 80-ти %-ому навантаженню) за різної інтенсивності поповнення системи мащення: 1-ий дизель – через 100, 2-ий – через 25, 3-ий – через 10 годин роботи. На кожному з досліджуваних режимів ($0{,}35N_{е ном}$, $0{,}5N_{е ном}$, $0{,}65N_{е ном}$, $0{,}8N_{е ном}$) дизелі експлуатувалися рівний проміжок часу, який залежно від навантаження суднової електростанції становив 1,5...2,5 години. Зміна навантаження на двигуни за цей час не перевищувало ±2,5 %, а отриманий масив значень механічного ККД дозволяв із високою точністю визначити його середнє значення. Схема системи циркуляційного мащення дизелів надана на рис. 1.

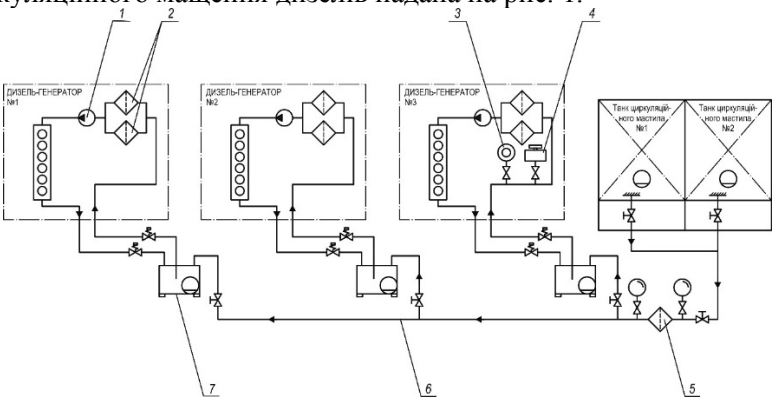


Рис. 1. Схема модернізації циркуляційної системи мащення суднових дизелів 6EY22AW фірми Yanmar під час проведення експерименту:

1 – мастильний насос; 2 – мастильний фільтр тонкого очищення; 3 – магістраль відведення парів мастила і повітря; 4 – витратомір; 5 – дозатор присадки; 6 – мастильний фільтр грубого очищення; 7 – відділювач мастила; 8 – магістраль підведення мастила

Були отримані значення, узагальнені у вигляді табл. 1, за результатами якої побудована діаграма, що наведена на рис. 2.

Таблиця 1.Зміна механічного ККД суднових дизелів 6EY22AW фірми Yanmar за різних умов експлуатації

Умови експлуатації	Навантаження на двигун			
	$0{,}35N_{e\text{ном}}$	$0{,}5N_{e\text{ном}}$	$0{,}65N_{e\text{ном}}$	$0{,}8N_{e\text{ном}}$
Двигун № 1 (поповнення через 100 годин)	0,743	0,803	0,842	0,872
Двигун № 2 (поповнення через 25 годин)	0,806	0,821	0,862	0,882
Двигун № 3(поповнення через 10 годин)	0,823	0,837	0,873	0,891

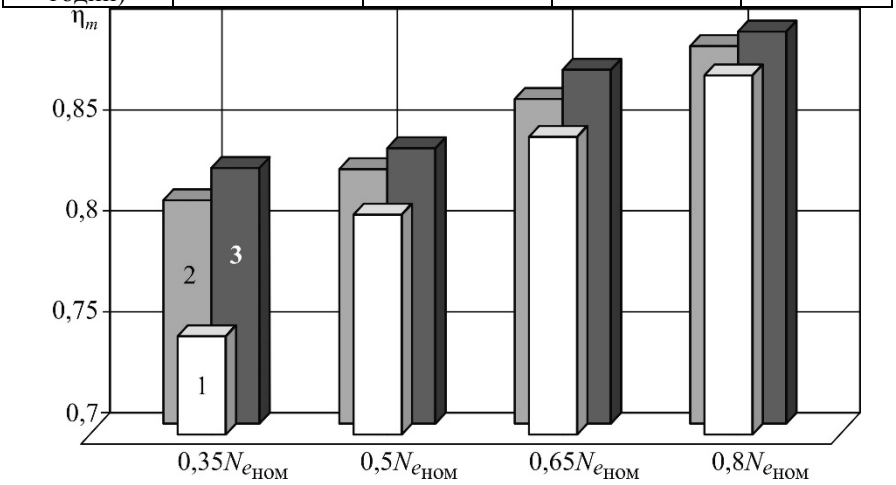


Рис. 2. Зміна механічного ККД суднового дизеля 6EY22AW фірми Yanmar за різної інтенсивності доливання мастила:

1 – через 100 годин роботи; 2 – через 25 годин роботи; 3 – через 10 годин

Наведені в таблиці 1 і на рис. 2 результати підтверджують зниження механічних втрат енергії при скороченні часу між доливанням мастила в обсяг циркуляційної системи.

Для визначення впливу ПАР на механічні втрати суднових середньообертових дизелів експерименти отримали наступне продовження [3]. Як і в попередній серії експериментів, дизелі експлуатувалися на рівновеликому навантаженні (250...750)±(15...45) кВт, однакову кількість часу 12...15 годин/добу.

Технологічна послідовність проведення експериментів полягала в наступному. Перший дизель був «контрольним», і після заміни мастила в його системі мащення інших технічних заходів з ним не проводилося, і відповідно до вимог заводу-виготовлювача його експлуатація здійснювалася протягом 100 годин роботи без проміжного поповнення мастила в системі. За цей період експлуатації кількість мастила в циркуляційній системі дизеля не знижувалась нижче гранично допустимого значення. Система мащення другого дизеля поповнювалася свіжим мастилом через кожні 10 годин роботи до верхнього рекомендованого в картері дизеля, що відповідало максимально можливому обсягу мастила в системі. Даний період поповнення було визначено в якості оптимального під час проведення попередніх експериментів. Система мащення третього дизеля спочатку заповнювалася мастилом з поверхнево активною присадкою (ПАП), що містить у своєму складі солі міді. Оптимальна концентрація присадки становила 0,1 % від обсягу мастила в системі мащення і була встановлена за допомогою попередніх оптичних і триботехнічних досліджень [3]. Крім того, через кожні 10 годин роботи здійснювалося поповнення циркуляційної системи мащення даного дизеля мастилом з такою ж концентрацією ПАП, як і в загальному обсягусистеми, що забезпечувалося і контролювалося за допомогою дозуючого пристрою і витратоміра (позиції 5 і 6 на рис. 1).

Аналогічно попередній серії експериментів, для кожного дизеля в діапазоні навантажень (0,35...0,8)$N_{е ном}$ виконувалося визначення механічного ККД. Результати цих експериментів наведені в таблиці 2 танадані на рис. 3.

Таблиця 2. Зміна механічного ККД суднових дизелів 6EY22AW фірми Yanmar за різних умов експлуатації

Умови експлуатації	Навантаження на двигун			
	$0{,}35N_{e\text{ном}}$	$0{,}5N_{e\text{ном}}$	$0{,}65N_{e\text{ном}}$	$0{,}8N_{e\text{ном}}$
Робота системи в штатному режимі (поповнення через 100 годин)	0,743	0,803	0,842	0,872
Поповнення системи через 10 годин роботи	0,823	0,837	0,873	0,891
Поповнення системи через 10 годин роботи і добавка ПАП	0,852	0,864	0,887	0,906

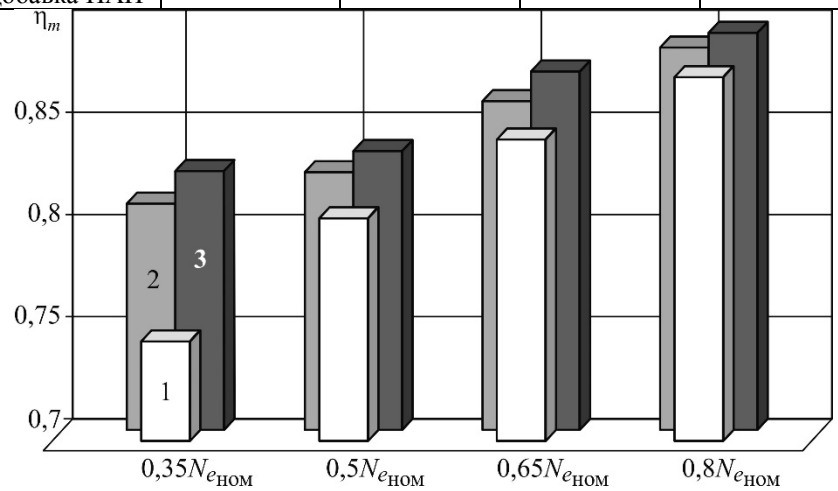


Рис. 3. Зміна механічного ККД суднового дизеля 6EY22AW фірми Yanmar за різної інтенсивності доливання мастила:
1 – робота системи мащення в штатному режимі; 2 – поповнення системи мащення через 10 годин роботи; 3 – поповнення системи мащення через10

годин роботи і додавання поверхнево активної присадки

Висновки і перспективи подальших досліджень.Із цілого ряду методів зниження механічних втрат у суднових середньообертових дизелях найбільш прийнятними для суднових умов (з технологічної та фінансової точки зору) є використання оптимального доливання мастила в систему циркуляційного мащення і застосування поверхнево активних речовин. Перший (доливання мастила) рекомендовано заводом-виготовлювачем, але, як правило, розроблено для номінального режиму роботи дизеля за умови його експлуатації за стандартних умов. Другий (застосування присадок) не має широкого розповсюдження через необхідність додаткових досліджень та розробки спеціальних рекомендацій, що враховують особливості експлуатації дизелів на різних експлуатаційних режимах, а також у випадках зміни одного сорту палива на інший.

Зниження механічних втрат оцінюється прямо-пропорційним зростанням механічного ККД дизеля. Цей параметр при роботі дизеля 6EY22AW без використання ПАП у циркуляційній системі мащення та при нормативному терміні поповнення системи мастилом дорівнює 80,3±0,2 %. Вибір оптимального режиму поповнення циркуляційної системи, а також додавання в загальний обсяг циркуляційної системи поверхнево-активної присадки з оптимальною концентрацією (визначення якої здійснюється попередніми лабораторними дослідженнями), сприяє збільшенню механічного ККД дизеля – тобто зниженню механічних втрат та збільшенню ефективної потужності.

При оптимальному поповненні циркуляційної системи (яке відповідно до експериментальних досліджень складає 10 годин) та додаванням дообсягу циркуляційної системи мащення ПАП (з оптимальною концентрацією 0,1 % за загальним обсягом системи) можливо 5,8…11,1 %-е зниження механічних втрат, що для суднового дизеля 6EY22AW забезпечує досягнення значення механічного ККД на рівні 89,1±0,2 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сагин С. В. Определение триботехнических характеристик поверхностей по степени упорядоченности пристенных слоев углеводородных жидкостей / С. В. Сагин, Ю. В. Заблоцкий // Проблеми

техніки : наук.-виробн. журнал. – 2011 . – № 3. – Одесса: ОНМУ. – С. 78-88.

2. Sagin S. V. Estimation of Operational Properties of Lubricant Coolant Liquids by Optical Methods / S. V. Sagin, V. G. Solodovnikov // International Journal of Applied Engineering Research. – 2017. – Vol. 12. – Num. 19. – P. 8380-8391.

3. Поповский А. Ю. Оценка эксплуатационных свойств смазочно-охлаждающих жидкостей судовых технических средств / А. Ю. Поповский, С. В. Сагин // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сборник. – 2016. – Вып. 22. – С. 66-74.

10.31653/smf340.2020.12-16

Заблоцький Ю.В.
Національний університет «Одеська морська академія»

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОСТІ РОБОТИ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

Постановка проблеми в загальному вигляді.Отримання корисної роботи у будь-якому тепловому двигуні супроводжується витратами палива (рідкого або газоподібного), яке є джерелом енергії. За різними оцінками, витрати на паливо можуть досягати до 35…40 % від загальних витрат на обслуговування суднової енергетичної установки. Використання палива в судновій енергетиці неможливо без його попередньої обробки, при цьому забезпечується видалення з палива механічних домішок та води, а також підтримання необхідної в’язкості палива, за якої можливі його рух у системі та впорскування в циліндр дизеля. Одним із методів підготовки палива до використання є його хімічна обробка, яка забезпечується за рахунок введення в нього паливних присадок [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання присадок до палива, як правило, вивчається для автомобільної техніки та стаціонарної енергетики. Можливість запровадження такого методу підготовки палива, як його хімічна обробка (тобто використання присадок) у суднову енергетику обмежується автономністю роботи морських суден та неможливістю безперешкодно отримати необхідні присадки в портах, у яких здійснюється бункеровка. Відсутність окремих танків, заздалегідь призначених для збереження присадок до палива, змушує до їх перевезення в окремих ємностях, що не передбачено обмеженим простором машинного відділення. Усе це негативно впливає не лише на можливість використання присадок до палива, але й на можливість проведення експериментальних досліджень, які сприятимуть визначенню оптимальних режимів їхнього використання [2].

Постановка завдання. На даний момент конструктивне і технологічне виконання суднових дизелів досягло своєї досконалості, що забезпечує мінімальні енергетичні втрати та питомі витрати палива даних типів теплових двигунів порівняно з іншими (паровими котлами та газовими турбінами). Тому використання присадок до палива вважається одним із шляхів підвищення паливної

економічності дизелів. У зв'язку з цим метою дослідження було визначення впливу паливних присадок на економічність та експлуатаційні показники роботи суднового дизеля.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження в умовах морського судна дедвейтом 51200 тонн були виконані на судновому дизелі 6N21L фірми Yanmar з наступними основними характеристиками: тип – рядний з водяним охолодженням; 4-тактний, з газотурбінним наддувом; діаметр циліндра – 0,21 м; хід поршня – 0,29 м; частота обертання – 720 хв$^{-1}$ (об/хв); кількість циліндрів – 6; номінальна потужність – 680 кВт.

До складу суднової енергетичної установки входило три названих дизелі, що використовуються в якості дизель-генераторів. Це дозволило два дизелі використовувати для проведення експериментів, а один залишати в якості «контрольного». Схема паливної системи дизелів наведена на рис. 1. Паливна система «контрольного» дизеля (КД) не зазнала модернізації. Паливна система «експериментальних» дизелів (ЕД) дообладнати витратоміром 6 і дозатором присадки 7. Така організація подачі присадки до паливної системи забезпечувала необхідну дисперсію і рівномірний рівень її розчинення в паливі. Під час проведення експерименту концентрація присадки в паливі обиралась з рекомендованого фірмою-виробником діапазону та приймалася рівною 1:2000, 1:4000, 1:6000, 1:8000 до загального обсягу палива, що знаходилось у витратній цистерні.

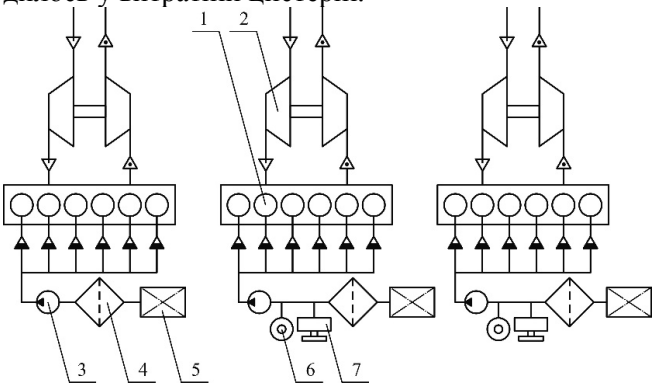


Рис. 1. Паливна система суднового дизеля 6N21L фірми Yanmar (фрагмент): *1* – дизель; *2* – газотурбокомпресор; *3* – насос, що підкачує паливо; *4* – паливний фільтр тонкого очищення; *5* – витратна цистерна; *6* – витратомір; *7* – дозатор присадки

У разі, коли дизелі працювали в паралельному режимі з будь-якої зі схем підключення: КД-ЕД, КД-ЕД-ЕД, ЕД-ЕД, навантаження на кожен з них становило Ne=300...600 кВт і підтримувалося на однаковому рівні з відхиленням ±10 кВт [4].

Потужність дизелів Ne визначалася за виразом Ne=Ng/ηg (де Ng – потужність генератора, кВт, ηg – коефіцієнт корисної дії генератора). Значення Ng знімалося з ватметра, розташованого на панелі керування дизель-генератора, а величина ηg приймалася з паспортних характеристик дизель-генератора і становила ηg=0,915. Для розрахунку величини питомої ефективної витрати палива be за вимірником рівня (розташованим на кожній витратній цистерні) визначалася поточна витрата палива Gп та величина питомої ефективної витрати палива be. Було встановлено, що використання палива з присадкою сприяє зниженню даного показника у всьому діапазоні експлуатаційних навантажень (рис. 2).

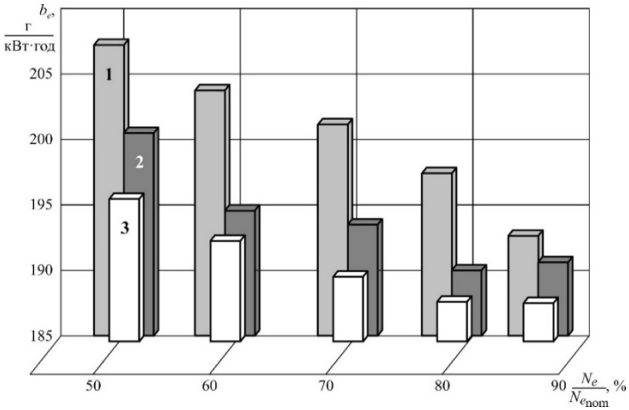


Рис. 2. Зміна питомої ефективної витрати палива be суднового дизеля 6N21L при різних значеннях його відносної потужності Ne/Nenom:
1 – «контрольний» дизель (без використання паливної присадки);
2, 3 – «експериментальні» дизелі (при використанні паливної присадки з концентрацією 1:2000 і 1:6000 відповідно)

Експериментально отримані результати, що підтверджують зниження питомої ефективної витрати палива із використанням паливних присадок, свідчать про інтенсифікацію процесу сумішоутворення і згоряння палива. Це призводить до більш повного

використання його теплотворної здатності та зниження кількості палива, що догоряє на ході розширення і у випускному колекторі. При цьому відзначимо, що для різної концентрації присадки в базовому паливі спостерігається різна величина зниження питомої ефективної витрати палива. На наш погляд, це пояснюється тим, що частина вільних радикалів присадки залишається незадіяною в розриві внутрішньо молекулярних зв'язків палива й активації його горючих складових [4].

Наслідком поліпшення процесу згоряння палива і зміщення його протікання на лінію ізохорного підведення тепла також є зниження температури випускних газів. Це пов'язано з тим, що застосування присадок до палива сприяє перебігу процесу згоряння в циліндрі дизеля не лінією розвитку ланцюгової реакції, що веде до детонації, а лінією розвитку стаціонарного горіння.

Наведені результати свідчать про більш якісне сумішоутворення і згоряння, а також більш повне використанні теплотворної здатності палива з присадкою.

Висновки і перспективи подальших досліджень.Таким чином, наведені результати дозволяють зробити наступні висновки.

1. Одним із методів покращення експлуатаційних властивостей палива є використання паливних присадок, які можуть вводитися до паливної системи в різних точках: відстійному танку, витратному танку, паливних магістралях, а також перед його безпосередньою подачею в циліндр дизеля (перед паливним насосом високого тиску).

2. Експериментально отримані результати, що підтверджують зниження питомої ефективної витрати палива під час використання паливних присадок, свідчать про інтенсифікацію процесу сумішоутворення і згоряння палива. Це призводить до більш повного використання його теплотворної здатності та зниження кількості палива, що догоряє на ході розширення та у випускному колекторі. При цьому відзначимо, що для різної концентрації присадки в базовому паливі спостерігається різна величина зниження питомої ефективної витрати палива. На наш погляд, це пояснюється тим, що частина вільних радикалів присадки залишається незадіяною в розриві внутрішньо молекулярних зв'язків палива й активації його горючих складових. Експериментально підтверджено, що під час використання паливних присадок на різних режимах роботи суднового чотиритактного дизеля можливо досягти зниження питомої витрати палива від 2,6 до 4,8 %. При цьому максимальне

підвищення паливної економічності відбувається в діапазоні 50...60 % навантаження дизеля, тобто режимів, що характеризуються найбільшим експлуатаційним періодом роботи, а також підвищеною тепловою напруженістю.

3. Концентрація присадки має оптимальне значення, визначається експериментально і залежить від характеристик дизеля і використовуваного палива. Визначення оптимальної концентрації можливе безпосередньо на судновому дизелі відповідно до розроблених технологічних схем та з використанням запропонованих рекомендацій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сагин С. В. Применение ультразвуковой обработки топлива для снижения сернистого износа двигателя / С. В. Сагин, Солодовников В. Г. // Технические науки — от теории к практике. Сб. ст. по материалам XXXV междунар. науч.-практ. конф. № 6 (31). – Новосибирск : «СибАК», 2014. – С.42-48.

2. Zablotsky Yu. V. Enhancing Fuel Efficiency and Environmental Specifications of a Marine Diesel When using Fuel Additives / Yu. V. Zablotsky, S. V. Sagin // Indian Journal of Science and Technology, Published by Indian Society of Education and Environment. – December 2016. – Vol. 9. – Iss. 46. – P. 353-362. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i46/107516.

3. Спиркин В. Г. Экологические проблемы применения топлив с присадками / В. Г. Спиркин, И. И. Ткачев, П. А. Татарышкина // Вестник национального авиационного университета, 2009. – Т. 1. – № 38. – С. 68-79.

4. Заблоцкий Ю. В. Повышение топливной экономичности и экологических параметров работы судовых дизелей при использовании присадок к топливу / Ю. В. Заблоцкий, А. А. Куропятник // Austria-science, 2017. – № 2.– С. 83-88.

10.31653/smf340.2020.17-23

Мацкевич Д. В.
Національний університет «Одеська морська академія»

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕОЛОГІЧНОЇ СТІЙКОСТІ СУДНОВИХ МОТОРНИХ МАСТИЛ

Постановка проблеми в загальному вигляді. Під час експлуатації двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) морських і річкових суден здійснюється безперервний і періодичний контроль не тільки показників, що характеризують робочий цикл дизеля (тиску і температури в характерних точках, частоти обертання, потужності, температури випускних газів), але також експлуатаційних і реологічних характеристик моторного мастила [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У зв'язку зі збільшенням тиску і температури циклу, підвищенням крутного моменту, зміною конструкції, ускладненням умов експлуатації, підвищенням часу роботи сучасних дизелів на максимальних навантаженнях умови роботи мастил як в лубрикаторних, так і в циркуляційних системах мащення, стали більш жорсткими. Водночас терміни заміни мастил безперервно збільшуються завдяки поліпшенню їх експлуатаційних властивостей. Визначення оптимальної періодичності заміни мастил є трудомісткою тривалою роботою, спочатку визначається заводом-виробником, коригується за результатами експлуатації та тягне за собою фінансові та експлуатаційні витрати [2]. Тому актуальним є розв'язання завдання регенерації експлуатаційних характеристик мастила в процесі його експлуатації [3].

Постановка завдання. Повна заміна мастила в суднових умовах вимагає виведення двигуна з експлуатації, причому цей період включає не тільки саму процедуру заміни мастила, але й очищення поверхонь тертя від експлуатаційних забруднень. Виконання цього завдання для головних двигунів відбувається під час стоянки судна і може бути заздалегідь заплановано з урахуванням рейсового завдання, характеристик вантажу і майбутніх вантажних операцій. У зв'язку з постійною зміною навантаження суднової електростанції для дизелів, що виконують функції допоміжних, тривалий виведення з експлуатації спрогнозувати досить важко. Тому для їх систем мащення найбільш ефективним є процес періодичного доливання мастила.З урахуванням вищевикладеного метою дослідження було

визначення оптимальних термінів заміні чи поповнення мастилом об'ємів системи мащення, які сприятимуть регенерації та підтриманню у встановлених межах експлуатаційних характеристик моторного мастила.

Виклад основного матеріалу дослідження.Дослідження виконувалися для суднового моторного мастила Castrol TPL 203 з наступними основними характеристиками:

- клас в'язкості за SAE – 30,
- густина при 15°С – 920 кг/м^3;
- в'язкість при 40°С – 102 сСт;
- лужне число – 20 мгКОН/г;
- призначення – забезпечення змащування циліндро-поршневої групи і кривошипно-шатунного механізму тронкових двигунів при їх роботі на важкому паливі.

Мастило Castrol TPL 203 використовувалося в циркуляційній мастильній системі суднових дизелів 6EY22AW фірми Yanmar, що мають такі основні характеристики:

- тип – чотиритактний;
- число циліндрів – 6 (розташування рядне);
- номінальна потужність – 885 кВт;
- частота обертання – 900 об/хв;
- діаметр циліндра – 220 мм;
- хід поршня – 320 мм.

У таблиці 1 наведені дані щодо зміни експлуатаційних і реологічних характеристик мастила. При цьому параметр «реологічна стійкість» визначається як збільшення в'язкості у граничному шарі мастила порівняно з об'ємною в'язкістю і не входить до числа параметрів, рекомендованих для моніторингу фірмою виробником.

Таблиця 1. Зміна експлуатаційних та реологічних характеристик моторного мастила Castrol TPL 203 під час експлуатації

Показник	Базове значення	Час експлуатації, години			
		25	50	75	100
В'язкість (кінематична) при 50°С, сСт	102	109	114	118	121
Реологічна стійкість,%	+10,36	+8,76	+6,38	+5,95	+5,44
Густина при 20°С, кг/м^3	920	897	881	853	846

Як видно з таблиці 1, значення всіх параметрів погіршуються і з плином часу та наближаються до максимально допустимих бракувальних показників. Таким чином, підтримка регламентованого часу доливання мастила в систему виводить двигун на межу надійної роботи системи, а в критичній ситуації може призвести до аварії. Саме тому виникає необхідність пошуку оптимальних термінів поповнення мастильної системи новим мастилом [4].

У зв'язку з цим під час досліджень ставилося завдання раціонального збільшення частоти доливання мастила в систему, яка визначалася шляхом контролю експлуатаційних і реологічних характеристик мастила. Його розв'язання здійснювалося безпосередньо в суднових умовах, при цьому допоміжна енергетична установка судна складалася з трьох однотипних дизелів 6EY22AW фірми Yanmar, що дало можливість проведення паралельних експериментів з різною інтенсивністю поповнення мастила в об'єм циркуляційної системи.

Схема суднової циркуляційної системи мащення дизелів 6EY22AW фірми Yanmar, що відповідає проведеним експериментам, показана на рис. 1.

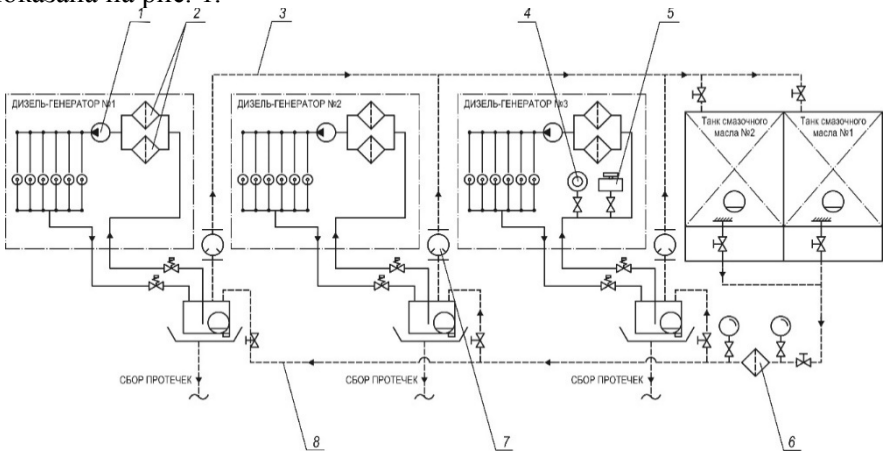
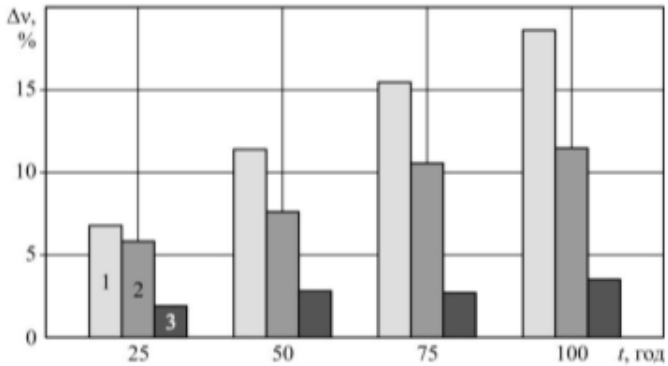


Рис. 1. Схема модернізації циркуляційної системи мащення суднових дизелів 6EY22AW фірми Yanmar під час проведення експерименту: 1 – мастильний насос; 2 – мастильний фільтр тонкого очищення; 3 – магістраль відведення парів мастила і повітря; 4 – витратомір; 5 – дозатор присадки; 6 – мастильний фільтр грубого очищення; 7 – відділювач мастила; 8 – магістраль підведення мастила

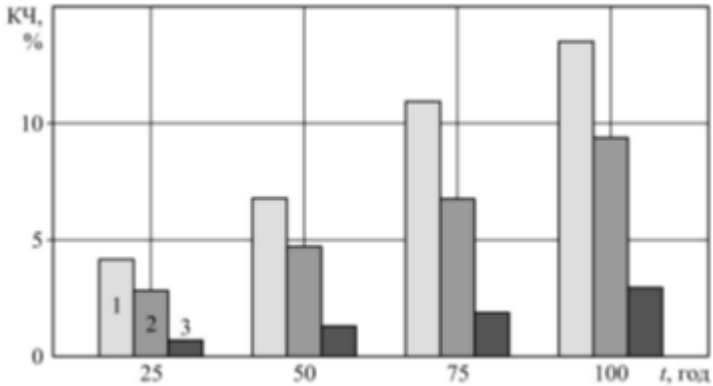
Дизелі працювали навперемінки з практично однаковим навантаженням, діапазон якої змінювався в досить широких межах

(250...750 кВт), з однаковим часом експлуатації протягом доби (12...15 годин). Перший дизель-генератор залишався «контрольним» і зміни в частоті доливання мастила в систему на ньому не проводилися. Таким чином, даний дизель працював 100 годин без поповнення системи мащення. За даний період часу кількість мастила в системі не опускалася нижче граничного рівня, а експлуатація двигуна проводилася з дотриманням усіх вимог, що пред'являються. У систему мащення другого дизель-генератора мастило до верхнього допустимого рівня доливалось через кожні 25 годин роботи. У систему мащення третього – через кожні 10 годин при одночасному додаванні поверхнево-активної присадки [2]. Результати, що отримані під час експерименту, наведені на рис. 2, на якому зміна параметрів наведена у відсотках.

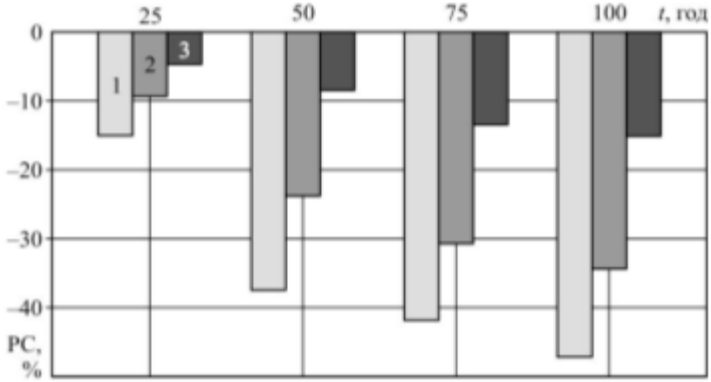


а)

б)



в)



г)

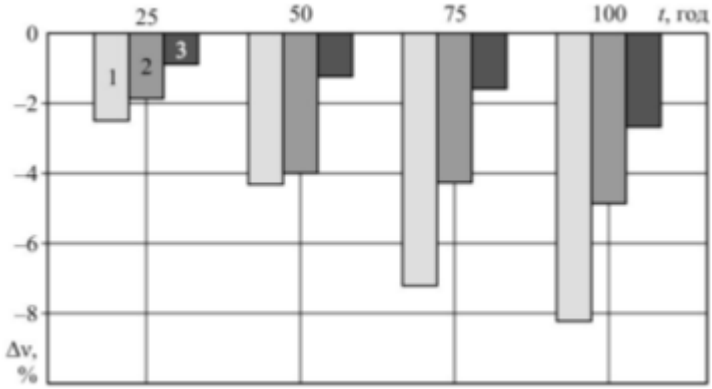


Рис. 2. Зміна характеристик моторного мастила під час експлуатації при різній інтенсивності доливання мастила:
1 – через 100 годин роботи; 2 – через 25 годин роботи; 3 – через 10 годин роботи з додаванням поверхнево-активної присадки;
а) в’язкість; б) кислотне число; в) реологічна стійкість; г) густина

Висновки і перспективи подальших досліджень. З наведених результатів можна зробити наступні висновки.

1. При інтервалі доливання мастила 100 годин (час, який рекомендується заводом-виробником) в’язкість мастила поступово збільшує до 18,63 % (при максимально можливому збільшенні цього показни-

ка 20 %), що виводить дизель на межу надійної роботи. Аналогічна тенденція спостерігається з іншими реологічними показниками моторного мастила – густиною, кислотним числом, реологічною стійкістю.

2. Збільшення інтенсивності доливання мастила сприяє більш повільному відхиленню основних якісних показників моторного мастила від базового значення, насамперед в'язкості, яка при зміні інтенсивності доливання зі 100 до 25 годин зростає на 11,76 %.

2. Найбільш ефективним способом регенерації експлуатаційних та реологічних характеристик моторного мастила є скорочення інтенсивності доливання мастила до 10 годин з одночасним використання поверхнево-активної присадки. При цьому зростання в'язкості здійснюється лише на 3,92 % при знаходженні інших показників (реологічної стійкості, густини та кислотного числа) у діапазоні рекомендованих та можливих значень.

3. Слід також відзначити кращий технічний стан основних поверхонь дизелів, що мають більш інтенсивний долив мастила. Наприклад, під час проведення планових моточисток дизелів було встановлено, що деталі циліндрової групи і підшипників руху «експериментальних» дизелів мають менші утворення нагарів і шорсткість поверхонь ніж «контрольний» дизель, що свідчить про більш якісний процес їх мащення.

4. Наведені результати свідчать про позитивний вплив збільшення інтенсивності доливання мастила в систему мащення з одночасним використанням поверхнево-активної присадки на його експлуатаційні характеристики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Поповский А. Ю. Комплексная оценка эксплуатационных характеристик смазочных углеводородных жидкостей / А. Ю. Поповский, С. В. Сагин // Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сборник. – 2014. – Вып. 20. – С. 74-83.

2. Sagin S. V. Estimation of Operational Properties of Lubricant Coolant Liquids by Optical Methods / S. V. Sagin, V. G. Solodovnikov // International Journal of Applied Engineering Research. – 2017. – Vol. 12. – Num. 19. – P. 8380-8391.

3. Мацкевич Д. В. Диагностирование структурного состояния углеводородных жидкостей по их электрической прочности /

Д. В. Мацкевич, С. В. Сагин // Проблеми техніки: наук.-виробн. журнал, 2012. – № 2. – Одесса: ОНМУ. – С. 38-46.

4. Мацкевич Д. В. Поновлення реологічних характеристик мастильних матеріалів суднових дизелів / Д. В. Мацкевич // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 38. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 116-126.

10.31653/smf340.2020.24-30

Ткаченко І. В.
Національний університет «Одеська морська академія»

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ РОЗДІЛЕННЯ І ОЧИЩЕННЯ ВОД, ЩО МІСТЯТЬ НАФТУ

Постановка проблеми в загальному вигляді.На даний час під час експлуатації всіх типів суден постає проблема виникнення, збору, зберігання і подальшої переробки вод, що містять нафту (ВМН). Сепарація таких вод, до складу яких в основному входять невикористані в теплових двигунах (дизелях, котлах і турбінах) важкі фракції палива і мастила, є складним технологічним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Усі відомі методи, які розроблені для очищення ВМН та які використовують густинну стратифікацію і механічне розділення, характеризуються невисокою якістю очищення і можуть застосовуватися тільки на стадії попередньої сепарації [1]. З іншого боку, методи, які забезпечують значення концентрації нафтопродуктів на виході з системи очищення менше 15 мг/л, характеризуються одним загальним недоліком – складністю своєї технічної реалізації і великими витратами (економічними, енергетичними, матеріальними) на поточне обслуговування [2].

Постановка завдання.Таким чином, незважаючи на велику кількість досліджень та технологічних рішень, що забезпечують очищення ВМН, існує нерозв’язана проблема – відсутність метода очищення, за допомогою якого можливо забезпечити остаточну концентрацію нафтопродуктів менш ніж 15 мг/л при одночасній мінімальній витраті енергії на цю технологічну операцію.

Виклад основного матеріалу дослідження.Типовими складовими суднових ВМН є нафта і її важкі компоненти [3]. У загальному випадку вони являють собою розчин високомолекулярних сполук у низькомолекулярних. У суміші з водою вони є звичайною дисперсною системою.

На процес розподілу суднових ВМН у статичному режимі на складові впливає багато чинників – концентрація, розміри частинок, їх механізм взаємодії між собою. У такій дисперсній системі, як суднові ВМН, дисипація енергії, яка спричиняється опором сил

в'язкісного походження, зазвичай витрачається за такими трьома напрямками:

• зміна в'язкості, яка проявляється в дисперсному середовищі;

• компенсація взаємодії дисперсійного середовища, що рухається зі зваженими частинками;

• компенсація структурних змін, які спричиняються взаємодією частинок дисперсної фази.

Проведений аналіз головних компонент суднових ВМН, їх основних реологічних властивостей, а також методів і пристроїв, що застосовуються для їхнього зберігання, транспортування та переробки, вказав на необхідність розробки принципово нової технології щодо їх відділення від основної водної компоненти. Одним із варіантів подібного підходу може бути використання та управління основними гідромеханічними характеристиками рухомого середовища. Перевага пропонованого гідродинамічного підходу є перспективною і з економічної точки зору. Енергетичні витрати на гідромеханічне емульгування води з нафтопродуктами в 10...15 разів менше, ніж під час використання технології ультразвукової кавітації [4].

Під час проведення експериментів необхідно вивчити характер руху потоку всередині двох каналів, загальна схема яких представлена на рис. 1.

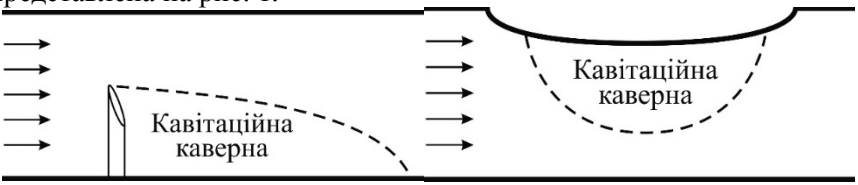


Рис. 1. Форми прохідного перетину кавітатора

У другому випадку каверна має утворюватися на увігнутій стінці каналу за рахунок локальної зміни градієнта тиску за довжиною. Один із варіантів координатних характеристик верхньої стінки такого каналу показаний на рис. 2. При цьому нормування координат проводилося на радіус вхідного каналу R і половину довжини l увігнутої частини. Поздовжня вісь координат збігається з нижньою стінкою, а вертикальна проходить через початок зміни кривизни верхньої стінки.

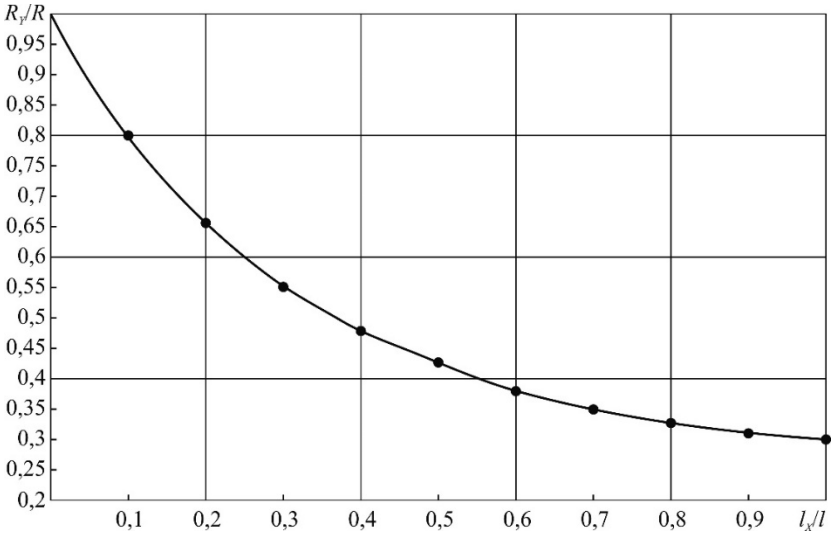


Рис. 2. Координатні характеристики каналу

З метою розв’язання зазначених проблем була розроблена установка, принципова схема якої показана на рис. 3. Принцип її роботи заснований на автоматичному контролі і регулюванні основних гідродинамічних характеристик потоку суднових ВМН, які циркулюють по замкненому контуру [3].

Установка працює в такий спосіб: до сервісного танка 1 суднові ВМН надходять з різних технологічних ділянок судна. До основного переліку таких ділянок відносяться: носові, кормові та центральні колодязі, різні танки для збору залишків палива і мастила, а також танки збору промивної води (у разі її використання на суднах, що перевозять нафтопродукти).

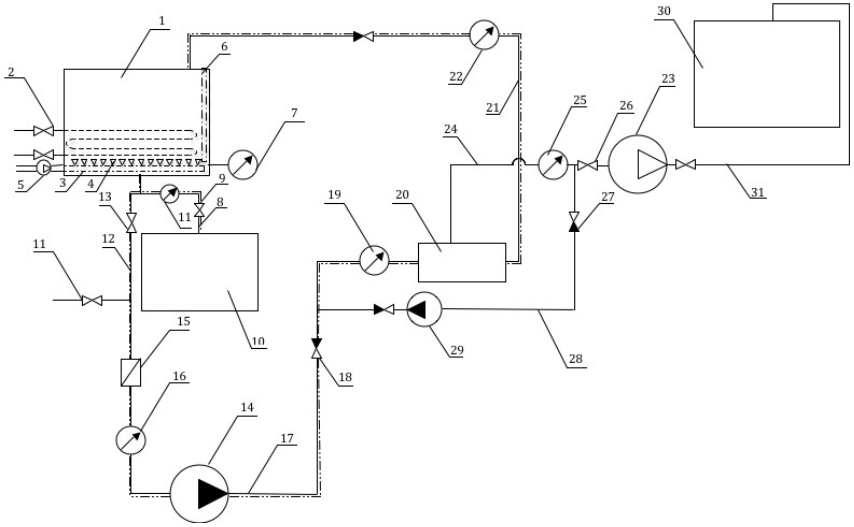


Рис. 3. Принципова схема суднової установки з очищення ВМН:
1 – сервісний танк; 2 – змійовиковий підігрівач; 3 – повітряний трубопровід; 4, 9, 13, 18, 26, 27 – автоматичний клапан; 5, 23 – компресор; 6 – поплавковий рівнемір; 7 – термометр; 8, 17, 21, 24, 28, 31 – трубопровід; 10 – збірний танк; 11 – вимірювач концентрації нафти; 12 – лінія основного контуру обробки суднових ВМН; 14 – відцентровий насос; 15 – система фільтрації (сітка); 16 – вакуумметр; 19 – манометр; 20 – кавітатор; 22, 25 – датчик концентрації; 29 – шестерінчастий насос;
30 – конденсаційний танк

Сервісний танк 1 укомплектований змійовиковим підігрівачем 2. З метою інтенсифікації процесу попереднього розподілу в танку 1 використовується повітряна завісь, що створюється бульбашками, які рухається з прокладеного по дну танка 1 повітряного трубопроводу 3. Для автоматичної підтримки витрати повітря на постійному рівні на трубопроводі 3 встановлена серія автоматичних клапанів 4. Під час експлуатації судна завжди має місце випадання твердого осаду з суднових ВМН. Зазвичай рівень відкладень у період між очищеннями танка (у середньому від 7 до 9 місяців) може досягати до 10 % від його висоти. З цієї причини магістраль подачі повітря 3 встановлюється відносно дна на відстані 14…17 % висоти танка. Стисле повітря подається до повітряного трубопроводу 3 за допомогою компресора 5. Для контролю за рівнем наповнення і температурою суднових ВМН у танку 1 використовуються поплавковий рівнемір 6 і термометр 7 [2].

Для відбору світлої води після попереднього процесу флотації на висоті 5…7% верхнього рівня танка 1 приєднується трубопровід 8. На ньому встановлюється автоматично керований клапан 9. По лінії 8 світла вода з малою концентрацією нафтопродуктів надходить у збірний танк 10. Для керування клапаном 9 на відвідному трубопроводі 8 встановлений вимірник концентрації нафти 11. При перевищенні встановленого граничного значення концентрації нафтопродуктів цей датчик подає сигнал на закриття клапана 9 і на відкриття встановленого на лінії основного контуру обробки суднових ВМН 12 автоматичного клапана 13. З танка 1 суднові ВМН відбираються за допомогою відцентрового насоса 14. На вході в насос встановлена фільтраційна сітка 15 і вакуумметр 16. Фільтраційна сітка 15 призначена для затримання великих забруднювальних речовин і предметів (ганчір'я, папір, металева стружка тощо) і забезпечує безперебійну і тривалу експлуатацію насоса 14. За допомогою показів вакуумметра 16 можна зробити висновки про ступінь забруднення фільтраційної сітки 15 і контролювати вакуум, створюваний насосом 14 на лінії всмоктування.

На трубопроводі 17, тобто на лінії нагнітання за насосом 14, для керування витратними характеристиками оброблюваного потоку суднових ВМН встановлено автоматично керований вентиль 18. Також за насосом встановлений манометр 19, який в автоматичному режимі надає дані про величину тиску в робочому контурі сепараційної установки. На основному робочому трубопроводі 12 за допомогою фланцевого з'єднання встановлений основний технологічний елемент суднової сепараційної установки – кавітатор 20. На виході з кавітатора 20 відокремлені продукти, що містять нафту, потрапляють у трубопровід 21. На ньому встановлений блок вимірювання концентрації водної компоненти в продуктах, що містять нафту 22. Трубопроводом 21 суміш надходить назад до сервісного танка 1. Під час роботи установки датчик концентрації 22 показує ступінь очищення суднових ВМН і контролює процес їх відділення. Якщо концентрація водної компоненти не знизилася до заданого рівня, то процес відділення триватиме за описаним замкненим контуром обробки. Циркуляція суднових ВМН повинна підтримуватися доти, доки датчик 22 не покаже заданий ступінь очищення води.

У результаті процесу холодного кипіння, що зумовлюєтьсякавітацією всередині кавітатора, виходить холодна водяна пара. З кавітатора 20 вона відбирається за допомогою компресора 23 трубопроводом 24. На лінії всмоктування 24 перед компресором 23 встановлений датчик вимірювання концентрації нафтопродуктів у водяній парі 25. Також на лінії всмоктування встановлений автоматично регульований клапан 26. Управління цього клапана здійснюється від датчика концентрації 25 . Якщо концентрація нафтопродуктів у водяних парах перевищує задане значення, то датчик 25 подає сигнал до автоматичного клапану 26 – і він закривається. У цьому випадку водяну пару необхідно піддавати додатковій санітарно-гігієнічній обробці. Отримані продукти нафтохімії зі збірного танка 1 можна також використовувати в енергетичних потребах судна в якості вторинних енергетичних ресурсів.

Для управління всією захисно-регулювальною автоматикою сепараційної установки передбачається установка електронного щита.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Виконані дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1) розроблений новий метод сепарації дозволяє очищувати суднові води, що містять нафту з вихідною концентрацією води на рівні менше 5 млн$^{-1}$, що забезпечує міжнародні вимоги відносно запобігання забрудненню морського середовища з суден;

2) нафтопродукти (паливо і моторне мастило), які видаляються з суднових вод, що містять нафту розробленим способом суперкавітації, можуть використовуватися як вторинне джерело енергії, яке спрямовується на енергетичні потреби судна (як правило, для роботи суднової котельної установки);

3) розроблена установка для сепарації суднових вод, що містять нафту, характеризується малими енергетичними витратами і забезпечується стандартними витратами на технічну експлуатацію, технічне обслуговування та ремонт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Малахов А. В.Гидродинамическая технология обработки судовых льяльных вод / А. В. Малахов, И. В. Ткаченко, О. Е. Гугуев, А. А. Мусорин // Проблеми техніки: наук.-виробн. журнал, 2009. – Одесса. – № 3. – С. 76-82.

2. Ткаченко И.В. Очистка нефтесодержащих вод морских судов методом гидродинамической суперкавитации потока / И. В. Ткаченко // Universum: Технические науки. – 2018. – Вып. 3(48). – С. 59-62.

3. Ткаченко И. В. Метод отделения водной компоненты от нефтесодержащих примесей в судовых льяльных водах, основанный на гидродинамическом процессе суперкавитации / И. В. Ткаченко // Проблеми техніки: наук.-виробн. журнал. – 2010. – №3. – С. 59-70.

4. Поповский А. Ю. Оценка эксплуатационных свойств смазочно-охлаждающих жидкостей судовых технических средств / А. Ю. Поповский, С. В. Сагин // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сборник. – 2016. – Вып. 22. – С. 66-74.

10.31653/smf340.2020.31-42

PolovinkaE.M., YakovenkoA.YU.
National University “Odessa Maritime Academy”

DEVELOPMENT OF OPERATIONAL CONTROL SYSTEMS FOR MARINE DIESEL ENGINES WORKING PROCESSES BASED ON COMBINED MEASURING TRANSDUCERS

The central question when creating measurement systems is the development of measuring converters. For fuel injection process control fuel pressure check converters are used. Existing systems use autonomous sensors of various types that require additional structural elements that influence the process of fuel injection in the system of fuel supply inclusion. Promising is the creation of systems with combined converters, based on the basic constructive elements. Creating this kind of measurement systems is the subject of development and research, the results of which are presented in this report.

One of the promising directions of development of systems of control of working processes of diesel engines is the use of combined transducers on the basis of the structural elements of the engine. This solution does not require the use of separate sensors and provides continuous monitoring of the considered parameters.

The automated analysis of characteristics of processes with integration into the overall alarm monitoring system (AMS)of the engine, and the prospect of creating an adaptive system of control, ensuring optimum engines control ispossible.

The Ship Power Plant Department of the National University “Odessa Maritime Academy” developed the measuring system to control workflows based on the combined transducers. As the basic variant made tracking the fuel injection. The most informative for this process is the pressure in the fuel high-pressure pump (HPFP).

Research conducted in relation to marine medium speed engine CHN25/34. Fuel injection equipment has the following basic parameters:

high pressure fuels pump spool type with regulation on the end of fuel injection;

plunger diameter and stroke 16 mm;

uncooled injection valve, number of nozzles 9 of Ø 0,35 mm.

From the injection pump elements as the base element for the combined transmitter adopted with a fixing stud for connecting the flange of

the pump with the plate of the camshaft casing was chosen. The stud takes the force caused by fuel pressure.

The measuring converter is assembled usingwire strain sensors elements. The drawing of the stud, machined for mounting of the strain sensors, and a general view of the measuring converterassembly shown in Fig.1, 2. The converter is called a "stud sensor" - «S-S».

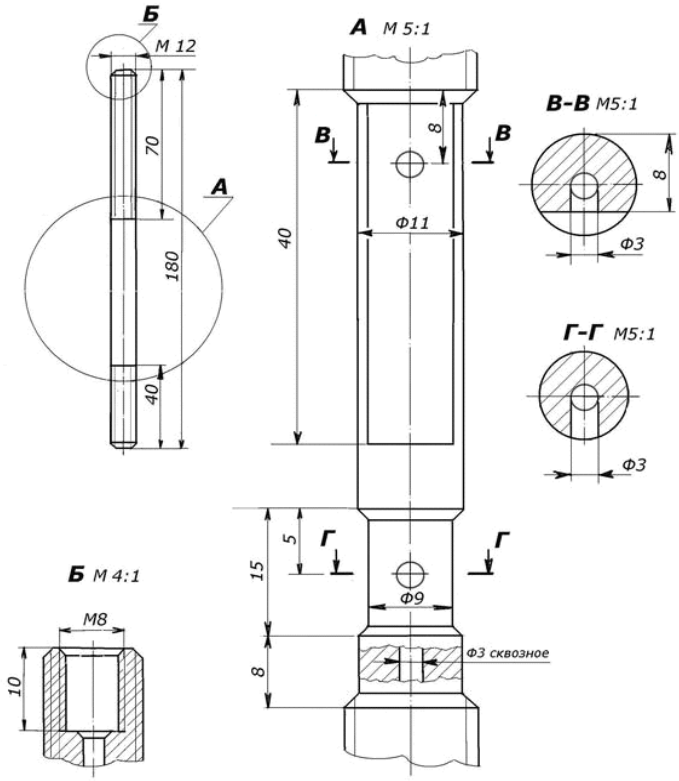


Fig. 1. Stud, prepared for the installation of strain sensors

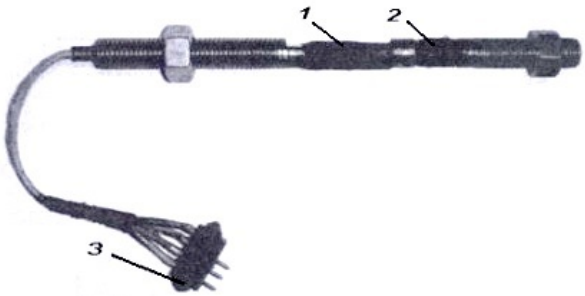


Fig. 2. "Stud sensor" - «S-S»assembly: 1-active sensors,2 - Compensation sensors, 3 - electrical connector

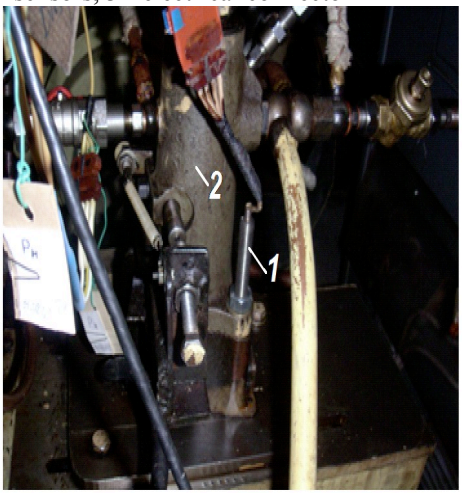


Fig. 3. Fuel pressure stud sensor («S-S»)on a engineless injection pump stand: 1 — stud sensor - «S-S», 2 — HPFP

The basic metrological characteristics of measuring system with the combined gauge of pressure are certain by tests at the engineless stand. Comparison of oscillograms of pressure in HPFP, are recorded with basic and combined sensors. The placement of the "«S-S»" stud sensor on the HPFP when tested on engineless stand is shown in the photograph Fig. 3.

The recording of the pressure oscillogram is performed (Fig. 4, 5) simultaneously by two sensors: a conventional strain gauge mounted on the fuel injection pump union nipple$p_н$and a «S-S» studsensor - $p_ш$.

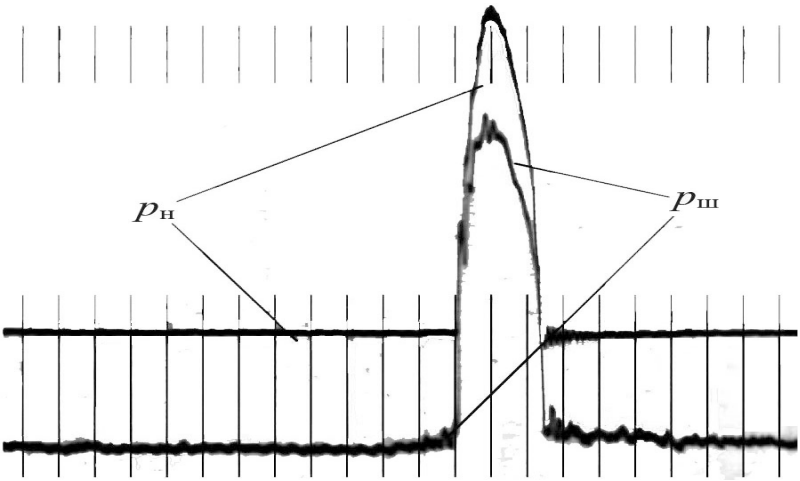


Fig. 4. Oscillogram of the fuel supply when n_p=46 rpm, m = 27

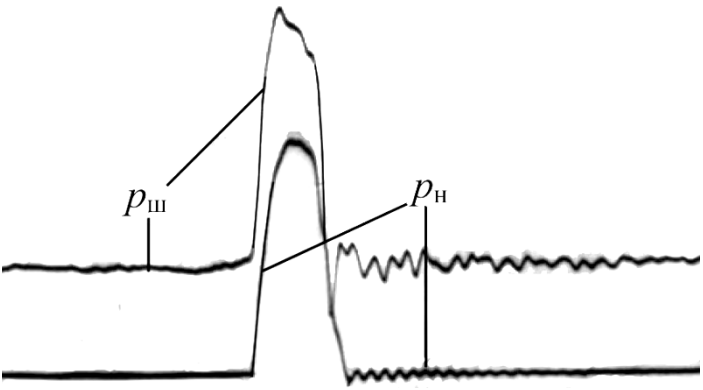


Fig. 5. Oscillogram of the fuel supply when n_p=248 rpm, m = 32

Modes in which the trials were carried out correspond to the full operating frequency range of fuel equipment of the engine.

Visual assessment of the fuel pump pressure рн and deformations рш, recorded by «S-S» stud sensor curves indicates acceptable for the practice informativeness of the latter. A similar conclusion is obtained for the result of the frequency analysis of the oscillograms.

Conducted testing and analysis of obtained data allowed to draw the following basic conclusions.

As the base parts to create a combined high-pressure fuel injection pump sensor can be used a pump drive stud.

The parameters of the elements of the developed measuring system are coordinated with a significant margin for deflections, including their limit values.

Data of fuel injection control parameters received for the base and experimental sensors are equivalent for all operating conditions, except the minimum frequency of rotation with fractional injection.

The further works on the implementation of control systems of working processes with combined transducers was the development of an experimental shipboard version of such a system.

Sensors structurally corresponded to data of engines on which tests of System Control Diesels (SCD) were provided. These are middle speed 6D30/50 two-stroke engines with the following characteristics: diameter of a cylinder is 300 mm, a piston stroke of 500 mm; rated frequency of rotation 300 RPM; rated power is 441 kW.

The electronic module with the basic function of tensometric amplifier is created. A recording apparatus is manned. The software for monitoring of SCD is worked out. Measuring sensors are designed and made for two parameters: fuel pressure in HPFP and gases pressure in a cylinder.

Gauges structurally corresponded to data of engines, on whom tests DCS were provided.

Work is executed on two vessels- sea tows mv "Mars" and "Typhoon" where the specified diesel engines are used as the main ones. On the first check of assemblability of sensors and initial start of DCS is carried out.

On mv "Typhoon" full-scale start of system is carried out.. Components of tested experimental variant DCS are presented in the photo of fig. 6.

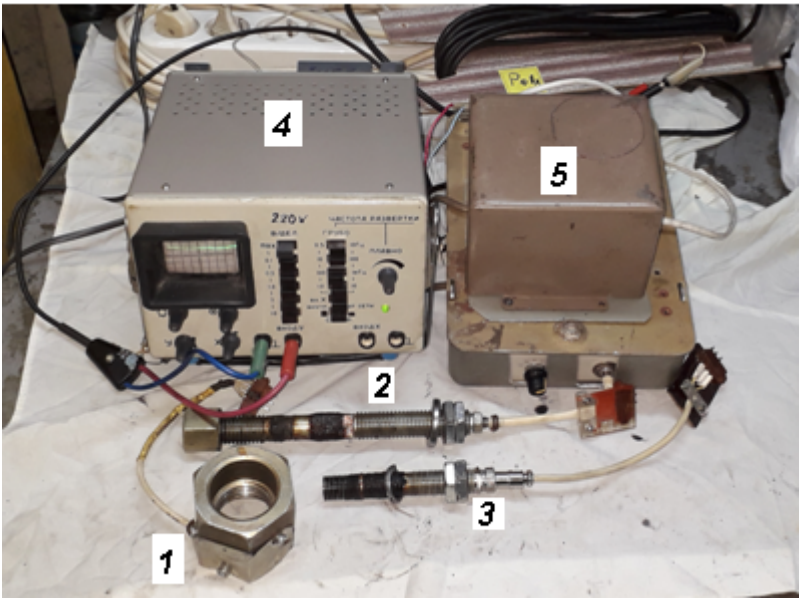


Fig. 6. Structure of a control system of diesels on the basis of the combined pressure transformers: 1- *pressure sensor of gases (nut) N-S*; 2 -fuel pressure sensor in HPFP the main S-So (long stud); 3 - fuel pressure sensor in HPFP-short stud S-Sк; 4 – oscillograph; 5 – amplifier for sensors

The system consisted of two variants of the fuel pressure sensor in the fuel injection pump 2, 3 - a combination of measuring sensors based on the fuel pump mounting studs. One of them, the main «S-So» of greater length, was created on the basis of a stud for fastening the pump head; the other shortened one «S-Sк» combines the functions of mounting the injection pump flange.

For record of pressure of gases the gauge 1 on the basis of nut «N-S»of fastening of a cylinder cover is executed.

The system includes also an oscillograph 4 for registration of controllable processes andthetensometric amplifier 5. For parameters recording the personal computer is used also.

Accommodation of sensors on the engine 6Д30/50 m/v« Typhoon» is shown on Fig.7, 8.

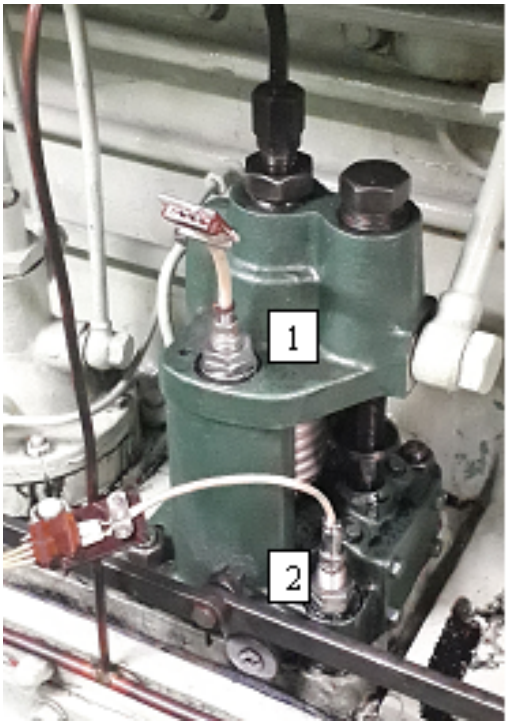


Fig. 7. Fuel pressure sensor on HPFP:1 - the basic «S-So» long stud sensor , 2 - «S-Sк»short stud sensor

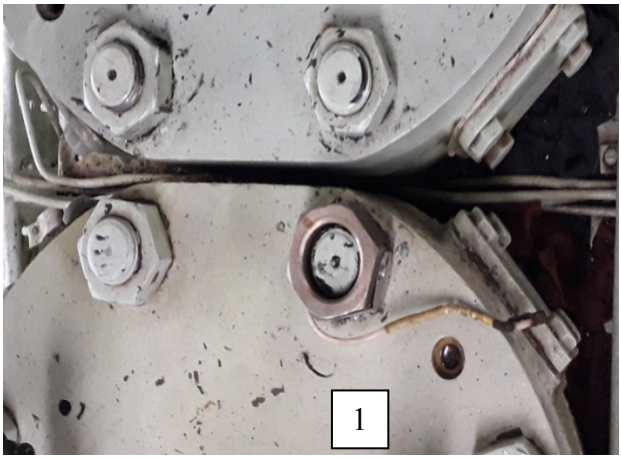


Fig. 8. The gauge of pressure of gases on a cylinder cover: 1 - the nut pressure

sensor

The gas pressure in the cylinder and the fuel in the injection pump were recorded sequentially through a single channel in two modes:

▪ idling (with zero pitch angle of CPP turn) at frequency of rotation 200 RPM;

▪ at 300 RPM with zero pitch angle and shaftgenerator load of 8 kW.

During the tests, the following parameters were recorded:

▪ gas pressure in cylinder by«N-S » sensor;

▪ fuel pressure in high pressure pump main sensor;

▪ fuel pressure in high pressure pump with a «S-Sк» short sensor.

Oscillograms of pressure in fuel injection pump and gas pressure photographing from the screen of an analog oscilloscope. Recording was carried out continuously for several revolutions. The oscillograms below are a sample of many oscillograms. Along on the photos are their copies.

An example of recording the pressure of gases made with a PC is shown in Fig.9. The diagram clearly shows the characteristic points: the pressure at the time of the beginning of the visible combustion, the maximum pressure of combustion. You can appreciate the dynamic workflow.

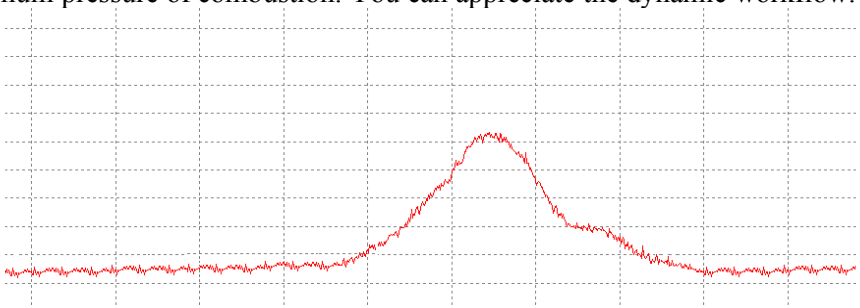


Fig. 9.Gases pressure record on the personal computer

The remaining oscillograms (Fig. 10-15) were obtained by filming-from the screen of oscilloscope. Of these, the first four reflect the fuel pressure in the HPFP. The recording was made with two sensors: "S-S": main "S-So" Fig. 10, 11 and shorter length "S-Sк" Fig. 12, 13.

Record "S-So" is preferable, both in terms of signal level and in the absence of significant interference. Obviously, a large load on this sensor determines its greater sensitivity.

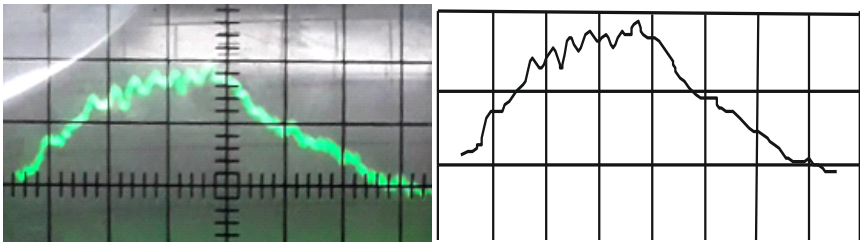


Fig. 10. The fuel pressure by idling at 200 rpm - "S-So"long stud sensor

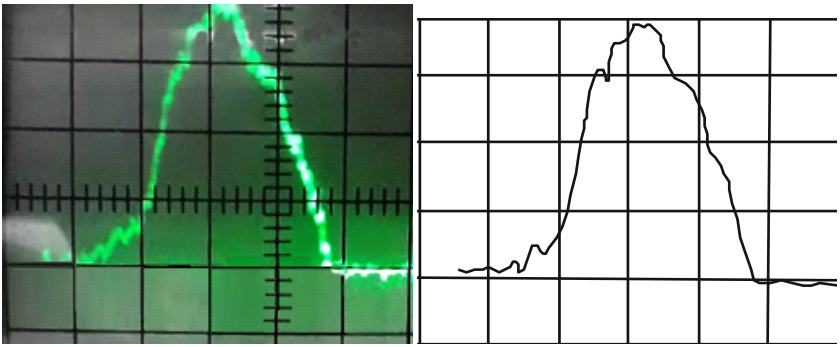


Fig. 11. Fuel pressure at 8 kW, 300 rpm - "S-So "long stud sensor

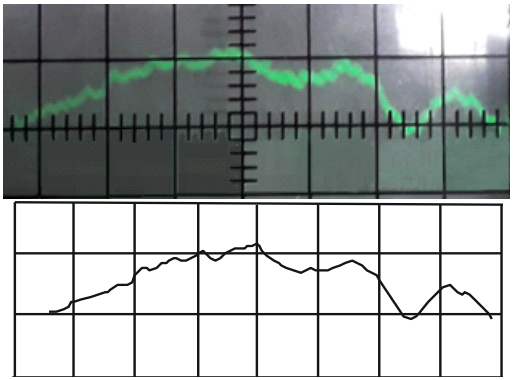


Fig.12 Fuel pressure by idling at 200 rpm - "S-Sк" short stud sensor

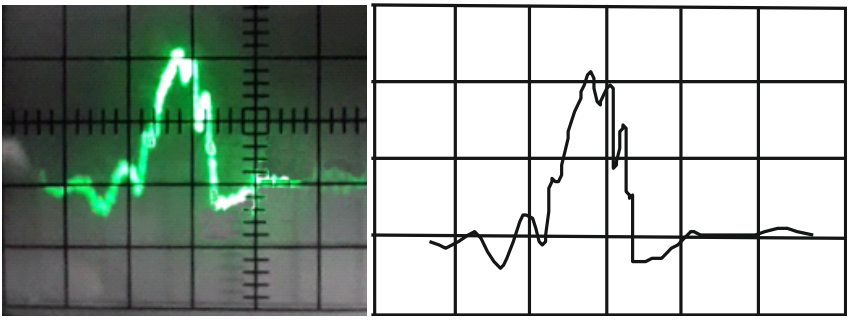


Fig.13. Fuel pressure at 8 kW, 300 rpm - "S-Sк" short studsensor

When recording the injection process in a high-pressure pump and working process, it is possible to transform oscillograms for a more detailed analysis of individual sections or to obtain the required form when documenting it. This is achieved by varying the scanning frequency and scale when displaying an oscilloscope. Additional features in this area arise when editing an image on a computer.

Oscillograms of the working process in the cylinder (Fig. 14, 15) are developed indicator diagrams. The quality of registration provides obtaining the necessary information about the characteristics of the processes that form the working cycle: compression, combustion, expansion.

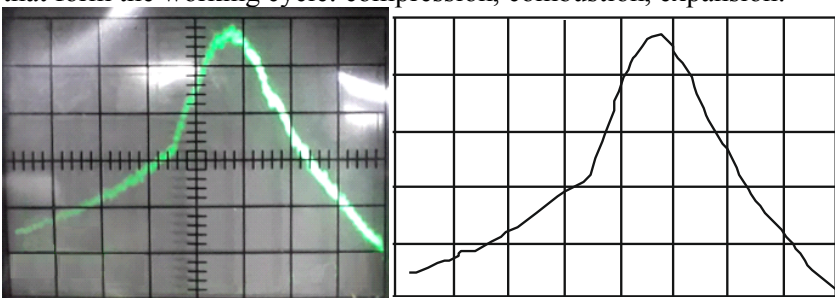


Fig.14. Pressure of gases by idling at 200 rpm - "N-S" nut sensor

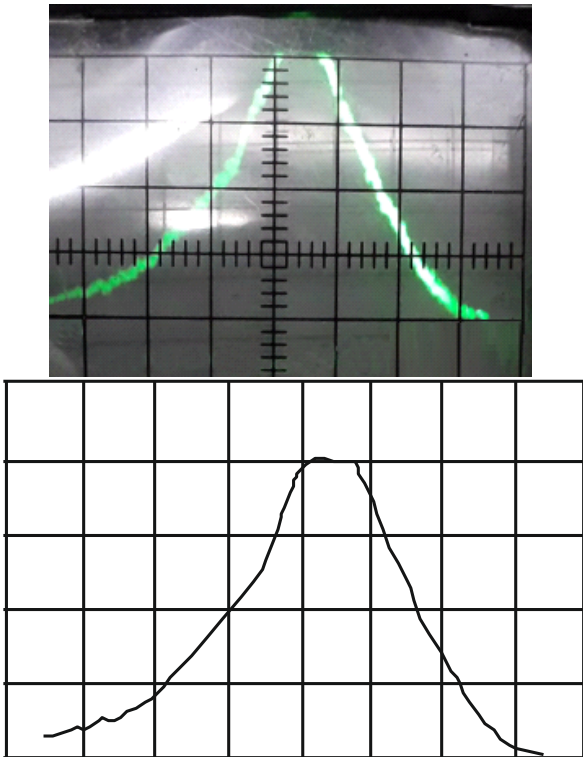


Fig.15. Gas pressure with a load of 8 kW at 300 rpm - "N-S" nut sensor

Conclusions

As the base parts to create a combined high-pressure fuel injection pump sensor can be used a pump drive stud.

The parameters of the elements of the developed measuring system are coordinated with a significant margin for deflections, including their limit values.

Data of fuel injection control parametersreceived for the base and experimental sensors are equivalent for all operating conditions, except the minimum frequency of rotation with fractional injection.

The ship tests of experimental SCD variants on the basis of combined measuring converters have confirmed at a qualitative level (without numerical parameters) the possibility of its use for the registration of fuel supply and the working process of ship diesel engines.

10.31653/smf340.2020.42-48

Половинка Є.М. Слободянюк М.В.
Національний університет «Одеська морська академія»
Інститут Військово-Морських Сил Національного університету
“ОМА”

СТАТИСТИЧНІ МОДЕЛІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАЛИВОПОДАЧІ СУДНОВОГО СЕРЕДНЬОБЕРТОВОГО ДИЗЕЛЯ

Дослідження показують [1, 2, 3, 4], що судові дизельні установки піддаються впливу коливального навантаження природного й технологічного походження. Вивчення впливу коливань на окремі вузли й системи дизеля, у тому числі на паливну систему представляється актуальним при формуванні й оцінці моделі процесу паливоподачі [5, 6, 7, 8, 9, 10].

Моделювання процесів у паливній системі високого тиску дозволяє визначити взаємозв'язок параметрів паливоподачі з режимними й регулювальними факторами. Це дозволить у подальшому формувати рекомендації в області поліпшення процесу паливоподачі, витрат палива й оптимальність експлуатаційних режимів у цілому.

Сучасні дизельні установки обладнані різними паливними системами високого тиску, які потребують обґрунтованих налаштованих параметрів.

Метою доповіді є формування й оцінка характеристик статистичних моделей паливоподачі суднового середньобертового дизеля.

Традиційно, характеристики систем паливоподачі дизелів у графічному виді й у формі аналітичних моделей, подаються у статистичній обробці експериментальних даних, з оформленням результатів у формі регресійних залежностей. У даній роботі наведено саме такий підхід, який здійснений при аналізі результатів виміру параметрів паливоподачі суднового середньобертового дизеля, а дані отримані у ході безмоторних динамічних стендових випробувань. Умови експерименту відповідають навантажувальній [11] і швидкісній [12] характеристикам.

Експериментальні гідродинамічні показники на навантажувальній і швидкісний характеристиках отримані в ході проведення експериментального дослідження паливної системи високого тиску дизеля 6ЧН25/34 на безмоторному стенді. Пристрій і характеристики безмоторного стенда викладені в роботі [13].

У ході експериментального дослідження вимірювальною системою реєструвалися:

− тиск палива в штуцері паливного насоса $p_н$;

− тиск палива на вході у форсунку $p_{ф.вх}$;

− тиск у паливному каналі форсунки $p_{ф.к}$;

− хід голки розпилювача (форсунки) z;

− визначалася частота обертання розподільного валу $n_р$;

− фіксувався кут повороту розподільного валу φ;

− вимірявся час t;

– переміщення рейки паливного насосу високого тиску (ПНВТ) $m_р$;

– затягування голки форсунки при випробуваннях склала 70 бар.

Рух рейки ПНВТ задавався циклограмою вихідних даних.

Методика дослідження включає статистичний аналіз на навантажувальній і швидкісний характеристиках.

Статистичний аналіз гідродинамічних показників на навантажувальній характеристиці виконаний за експериментальним даними, представленими у роботі [11].

Отримані експериментальні дані, в умовах динамічних випробувань при фіксованому положенні параметрів керування електродвигуном безмоторного стенда показали, що коливання навантаження викликані переміщенням рейки ПНВТ, були пов'язані зі зміною частоти обертання розподільного валу. Граничні зміни частоти обертання $n_р$склали 233÷255 об/хв, що відповідає 9% або ± 4.5% від середнього значення.

Графік ходу експерименту показано на рис. 1.

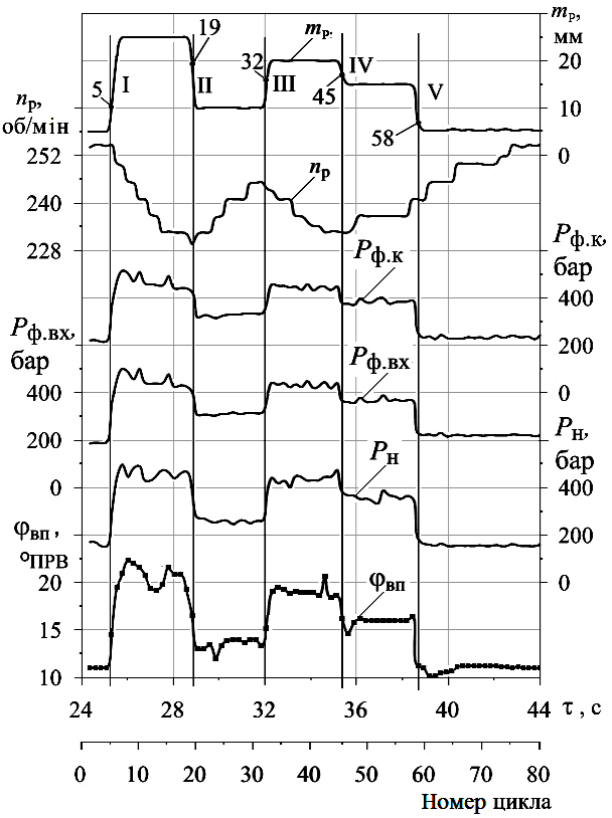


Рис. 1. Параметри паливоподачі на режимі навантажувальної характеристики при динамічних випробуваннях:

I – 5–25 мм; II – 25–10 мм; III – 10–20 мм; IV – 20–15 мм; V – 15–05 мм;

5, 19, 32, 45, 58 – номера циклів при переміщенні рейки

Для оцінки статистичної значимості зміни $n_р$ в отриманому діапазоні проведено аналіз спільного впливу положення рейки $m_р$і $n_р$ на величину кута упорскування $\varphi_{вп}$. За допомогою пакета STATISTICA отримано двохфакторнє регресійне лінійне рівняння щодо факторів $\varphi_{вп=}7{,}4168 + 0{,}49322m_р + 0{,}0050825n_р$. Статистичні параметри моделі представлені в табл.1, 2.

Для оцінки значимості частоти обертання розглянемо два показника: рівень значимості p і критерій Ст'юдента t.

Таблиця 1

Одномірні критерії значимості для $\varphi_{вп}$					
Ефект	SS	Ступені волі	MS	F	p
Вільн.член	1,6728	1	1,6728	9,561	0,003074
$m_р$	438,8614	1	438,8614	2508,426	0,000000
$n_р$	0,0494	1	0,0494	0,2823	0,597274
Помил.	9,9724	57	0,1750	-	-

Таблиця 2

Оцінки параметрів						
Ефект	$\varphi_{вп}$ Парам.	$\varphi_{вп}$ Ст.помил.	$\varphi_{вп}$ t	$\varphi_{вп}$ p	$\varphi_{вп}$ Бета (?)	$\varphi_{вп}$ Ст. помил.2
Вільн.член	7,4168	2,39861	3,0921	0,0307	-	-
$m_р$	0,4932	0,00985	50,0842	0,0	0,9997	0,01996
$n_р$	0,0051	0,00957	0,5313	0,5313	0,0106	0,01996

Величина p= 0,597 неприйнятна, при заданому p= 0,05, а прийнятна при t= $\sqrt{F}$= $\sqrt{0,2823}$ = 0,531 << $t_{табл}$ = 12,7.

Таким чином, вплив коливання частоти обертання на кут упорскування незначний, тому подальший аналіз слід проводити для одного фактору навантажувальної характеристики – положення рейки ПНВТ $m_р$.

Аналогічні результати отримані й для інших параметрів паливоподачі $p_{ф.к}$ й $p_н$ – тиску в паливному каналі форсунки й тиску палива в штуцері паливного насоса.

Дослідження статистичних параметрів впливу взаємозв'язку характеристик упорскування палива при роботі системи паливоподачі показали нелінійну залежність ($p_н$, $p_{ф.к}$) від $m_р$, що послужило підставою для побудови однофакторної моделі другого порядку у формі регресійного рівняння $p_н = f(m_р, m_р^2)$, $p_н$ = 12,454 + 30,272$m_р$-0,47403$m_р^2$. Статистичні параметри даного регресійного рівняння наведені в таблицях: одномірні критерії значимості табл.3; оцінки параметрів табл.4; 'SS моделі й SS залишків', що характеризують модель у цілому табл.5.

Статистичні дані моделі $p_н = f(m_р, m_р^2)$

Таблиця 3

Одномірні критерії значимості для $p_н$					
Ефект	SS	Ступені волі	MS	F	p
Вільн.член	425,0	1	425,0	4,097	0,047655
$m_р$	104825,3	1	104825,3	1010,448	0,00
$m_р^2$	23519,2	1	23519,2	226,710	0,00
Помил.	5913,3	57	103,7	-	-

Таблиця 4

Оцінки параметрів						
Ефект	$p_н$ Парам.	$p_н$ Ст.помил.	$p_н$ t	$p_н$ p	$p_н$ Бета (?)	$p_н$ Ст.помил.2
Вільн.член	12,454	6,153269	2,0241	0,047655	-	-
$m_р$	30,272	0,952339	31,7875	0,0	1,833541	0,057681
$m_р^2$	-0,47403	0,031483	-15,0569	0,0	-0,868498	0,057681

Таблиця 5

SS моделі й SS залишків для $p_н$											
Залежна змінна	множина R	множина R2	Скоригована R2	SS моделі	cc моделі	MS моделі	SS залишку	cc залишку	MS залишку	F	p
$p_н$, бар	0,9964	0,9928	0,9925	810051	2	405025	5913,25	57	103,74	3904,2	0,0

Формування й аналіз моделі $p_{ф.к}=f(m_р,\ m_р^2)$ виконаний за аналогічною методикою. Модель однофакторного регресійного рівняння другого порядку має вигляд: $p_{ф.к}= 124,69 + 24,354m_р- 0,4326m_р^2$.

Формування й аналіз моделі $\varphi_{вп}=f(m_р)$ виявилося достатнім однофакторного лінійного рівняння першого порядку $\varphi_{вп} = 8,6895 + 0,48992m_р$.

Усі статистики, що характеризують значимість вище наведених рівнянь та їх коефіцієнти, задовольняють критичним значенням F – критерію йt– статистики. Отже, моделі кута упорскування й тиску палива у форсунці є значущі.

Статистичний аналіз гідродинамічних показників на швидкісній характеристиці виконаний за експериментальними даними, представленими у роботі [12].

Аналіз статистичних моделей для швидкісної характеристики представлений залежностями: $\varphi_{вп}=f(n_р)$; $p_н=f(n_р)$; $p_{ф.к}=f(n_р)$. Сформовані моделі рівняння простої регресії першого порядку: $\varphi_{вп}=5{,}84418+0{,}050926n_р$; $p_н=-25{,}853+2{,}2756n_р$; $p_{ф.к}=-40{,}332+2{,}1818n_р$, статистично значимі (за критерієм Фішера).

Висновки

Результати моделювання показали статистичну значимість і можливості використання для оцінки швидкісної та навантажувальної характеристик суднового середньобертового дизеля.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Патрахальцев Н.Н. Влияние переходных процессов в топливной аппаратуре дизеля на его динамические качества / Н.Н. Патрахальцев, М.Н. Пономарёв, А.А. Савастенко // Вестник РУДН, сер. Инженерные исследования. – 2003. №1. – С. 15-18.

2. Патрахальцев Н.Н. Влияние переходных процессов в топливной аппаратуре на динамические свойства дизеля //Известия ВУЗов. - Машиностроение. – 1987. № 4. – С. 65- 0.

3. Овчаренко С.М. Влияние переходных процессов на расход топлива дизелем в эксплуатации / С.М. Овчаренко, П.С. Корнеев, В.А. Четвергов // Известия Транссиба. 2012. №1(9). С. 27-32.

4. Хомич А.З. Экономия топлива и теплотехническая модернизация локомотивов / А.З. Хомич, О.И. Тупицын, А.Э. Симсон – М: Транспорт, 1975. – 264 с.

5. Щегло В.А. Функциональное диагностирование топливной аппаратуры в перспективной системе гибкого ремонтно-обслуживающего воздействия / В.А. Щеглов // Вестник науки и образования Северо-Запада России 2016, Т. 2, № 4. С. 1 - 7.

6. Блинов П.Н. Применение математической модели процесса топливоподачи топливной аппаратурой тепловозных дизелей для многовариантных расчетов / П.Н. Блинов, А.П. Блинов // Известия Транссиба №3(19). 2014. С. 2 - 7.

7. Фомин, Ю.Я. Топливная аппаратура дизелей [Текст] / Ю.Я. Фомин, Г.В. Никонов, В.Г. Ивановский – М. : Машиностроение, 1982 – 168 с.

8. Блинов А.П. Разработка математической модели совместной работы топливной аппаратуры высокого давления и регулятора частоты вращения коленчатого вала дизеля / А.П. Блинов, П.Н. Блинов, П.А. Бернс // Известия Транссиба №3(31). 2017. С. 12 - 22.

9. Троицкий А.В. Компьютерное моделирование топливоподачи в судовом среднеоборотном четырехтактном дизеле / А. В. Троицкий // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. 2009. № 2. С. 188-191.

10. Иванченко А.А. Проблемы и опыт математического моделирования экологических и эксплуатационных показателей судового высокооборотного дизеля м482 / А.А. Иванченко, И.А. Щенников // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2016. №3 (37). С. 166-173.

11. Половинка Э.М. Нагрузочная характеристика системы впрыскивания топлива судового среднеоборотного дизеля в условиях динамических испытаний / Э.М. Половинка, Н.В. Слободянюк // Technologyauditandproductionreserves. – 2018. – № 6/1(44). – С. 41-49.

12. Половинка Э.М. Скоростные характеристики системы топливоподачи судового среднеоборотного дизеля на переменных режимах / Э.М. Половинка, Н.В. Слободянюк // Молодий вчений. – 2016. – № 3(43). – С. 735-740.

13. Сайт Державного підприємства Український інститут інтелектуальної власності (УКРПАТЕНТ), назва корисної моделі: Стенд для дослідження і регулювання паливної апаратури дизелів, номер - u201805581 [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=255858.

10.31653/smf340.2020.49-54

Руснак Д. Ю., Сагін С. В.
Національний університет «Одеська морська академія»

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ВИМОГ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВІЙ ДЕСУЛЬФУРІЗАЦІЇ ВУГЛЕВОДНИХ ПАЛИВ

У XXI столітті на більшості торгівельних суден в якості джерела енергії для теплових двигунів продовжують використовувати вуглеводні палива. Найбільш розповсюдженими типами суднових теплових двигунів є дизелі, які у сукупності з корпусом, гребним валом та гвинтом складають пропульсивний комплекс. На суднах дизельні двигуни бувають головні, допоміжні та аварійні. Паливом для малообертових (МОД) і середньообертових двигунів (СОД) є важке паливо (це побічний продукт перегонки нафти який має великий відсоток сірки у складі) та дизельне паливо (дистилят, вміст сірки в якому мінімальний) [1].

В малообертових двигунах проблема з використанням важкого палива вирішена тому, що на них конструктивно передбачена циліндрова система мащення, вона в свою чергу нейтралізує дію сірчаної кислоти яка утворюється під час взаємодії сірки та кисню. Інше питання вже середньообертові двигуни де відсутня циліндрова система мащення. Саме через це середньообертові двигуни є більш вразливі до дії сірчистої корозії.

Елементний хімічний склад палива – це склад хімічних елементів з яких утворюється паливо, виражений в масових частках, або у масових відсотках. Паливо має досить високе число елементів у своєму складі, але не дивлячись на це елементний хімічний склад палива виражається залежністю [2].

$$Cp + Hp + Op + Np + Sp + Ap + Wp = 100\%,$$

що демонструє його основні горючі речовини: сірку (S), водень (H), вуглець (C), а також кисень (O), і азот (N), всі вони перебувають в складних високомолекулярних зв’язках, і так само не горючі мінеральні домішки. Під час згоряння вони перетворюються в золу і вологу (W)[3].

Підвищена частота обертання СОД зменшує час, який відводиться для впорскування, сумішоутворення, і згоряння палива в

циліндр (у порівнянні з МОД). Цей факт є причиною сірчаної корозії, і сірчаного зносу механізму випускного клапану, паливної апаратури, циліндропоршньової групи (ЦПГ).

У фірмах MAN-Diesel & Turbo і Wärtsilä-Sulzer публікують інформацію, що найбільшу кількість відмов припадає на деталі ЦПГ, паливну апаратуру, і випускні клапани. Досить логічно припустити, що це, перш за все, можна зв’язати з якістю підготовки палива та його властивостізгоряння. Основний вплив на стан цих деталей роблять механічні домішки що містяться у паливі (карбоїди, карбени, частки не органічного походження), меркаптанові сполуки сірки, різні види солі що містить вода (особливо морська), усі вони під час згоряння перетворюються в золу. Доречно було б врахувати той факт, що існуючі на борту суден системи паливо підготовки в їх «штатному» комплектуванні не можуть забезпечити повну очистку від всіх описаних домішок. Достатньо добре вирішено на сьогоднішній день питаннязменшення у паливі механічних домішок і води, і меншою є успішність видалення золи, а практично жодним чином не вирішено питання очищення від сірки.

Сірка є частиною численної групи сірковмісних гетероатомних з'єднань. Палива поділяються на: з малим вмістом сірки (вміст сірки 0,01…0,5 % по масі); з великим вмістом сірки (вміст сірки до 3,5 %). Сірка як правило знаходиться у високо киплячих фракціях нафти (це більше 400° С), менш частіше у низько киплячих. Сірка є небажаним хімічним елементом в паливі з точки зору екології та сірчаної корозії.

На сьогоднішній день вирішено завдання зниження сірчистого зносу деталей двигунів внутрішнього згоряння стосовно МОД, що мають окрему лубрикаторну систему мащення. При цьому треба лише знайти оптимальне співвідношення між кількістю сірки в паливі і кількості лужних присадок що є у мастилі. СОД мають загальну систему змащення, тому використання мастила з підвищеним вмістом лугу не доцільне. В першу чергу з економічної точки зору, через високу вартість. По друге через їх експлуатаційні параметри, які є гіршими, вони дають менший опір при нормальних навантаженнях. Тому можна казати про те, що у випадку з СОД єдиним методом боротьби з наслідками впливу сірчистого палива є його додаткова обробка перед впорскуванням у циліндр, що до речі сприяє згодом зниженню сірчистого зносу [4].

Враховуючи це необхідно брати до уваги, що повинен бути комплексний підхід до видалення сірчаних домішок з палива. Треба

пам’ятати, що будь-яка фізична дія на паливо призводить до зміни усіх його компонентів.

Один з ефективних методів є використання палива з вмістом сірки 0,01…0,1 %. Однак на сьогоднішній день нафтопереробні заводи не в змозі забезпечити таким паливом усіх охочих. Справедливо буде зазначити про значну вартість цього палива, через це не всі можуть його придбати. Не мало важливим є те, що далеко не всі порти в змозі зберігати таке паливо. Враховуючи сказане частіше за все СОД використовують палива з вмістом сірки 2,5…3,5 %. Використання таких палив призводить до підвищеного корозійного зносу деталей ЦПГ, тому необхідна є додаткова паливо підготовка, в якості якої можливо використовувати ультразвукову кавітаційнуобробку. Використання ультразвукової системи дозволяє знизити знос поршневих кілець и циліндрових втулок приблизно в 2,3…3,7 рази. Дуже важливо що також зменшується вміст оксидів сірки у випускних газах випускного тракту дизеля в 2,3…2,7 рази, що покращує технічний стан ЦПГ так само як і його випускної системи. Що важливо для персоналу знижується на 35…40 % трудомісткість робіт з обслуговування дизеля. Впровадження на морських суднах результатів попередніх досліджень дозволило поліпшити на 3,5…4,8 % економічні, та на 7,3…9,6 енергетичні показники суднового СОД. Вдосконалення системи паливо підготовки СОД можливе за рахунок проведення кавітації методом ультразвуку, що сприяє розриву C – S зв’язків і десульфурізації палива.

Розглянемо особливість кавітаційної обробки палива на суднах. Суднове паливо є високомолекулярною, гетерогенною рідиною, у якому під час впливу атмосферного тиску і нормальної температури молекули складно орієнтуються. Методкавітації є одним з найпоширеніших методів розриву міжмолекулярних зв’язків, під час якого відбувається утворення розривів палива в результаті місцевого спаду тиску. Якщо в наслідок великих локальних швидкостей відбувається зниження тиску, то кавітація вважається гідродинамічною, а якщо це відбувається за допомоги проходження в паливі акустичних хвиль то вона називається акустичною, або ультразвуковою. Ефект кавітації супроводжується мікровибухами під дією ультразвуку, і механічними зрізами та зіткненням під впливом сотень ріжучих пар, які рухаються на зустріч з високою лінійною швидкістю[5]. Під час розповсюдження ультразвукової

хвилі розтягуючи зусилля в паливі в області розрядження хвилі приводять до появи розривів, тобто дрібних анти кавітаційних бульбашок які заповнені газом і парою. Це додатково сприяє ультразвуковій кавітації. Бульбашки кавітацій утворюються в момент, коли підходить до фази хвилі ультразвуку. Як правило кавітаційні бульбашки короткочасні: під час стиснення майже всі вони закриваються. Тобто можна казати, що кавітаційні бульбашки закриваються одразу після дії ультразвукової хвилі. Достовірним результатом досліджень є те, що ультразвукові хвилі можуть змінювати агрегатний стан палива, також диспергує і емульгує його, може змінювати швидкість дифузії, а також кристалізації розчинення речовин, пришвидшує технологічні процеси, активізує реакції. Хвилі великої амплітуди які проходять через паливо, утворюють так звані області стиснення і розрядження. При достатньо великому розрядженні виникає так званий «негативний тиск», що приводить до розриву палива. Порожнечі як правило займає газ, який потрапляє туди через дію дифузії від навколишнього палива, а також з парами палива. Оскільки після розрядження наступає стиснення, різко зростає тиск на пухирець, це призводить до «схлопування» бульбашок. Під час цього процесу виникають хвилі високої інтенсивності.

Ультразвукова кавітація є досить ефективним способом концентрації енергії звукових хвиль низької щільності в високу густину енергії, це пов’язано з пульсаціями кавітаційних бульбашок і зменшенням радіусу навколо них R до мінімально можливого $R_{\min}$ «схлопування». Будування кавітаційних зон відбувається в наступній послідовності, ще їх називають «кавітаційні бульбашки» в паливному середовищі. Під час фази розрідження акустичної хвилі в паливі утворюється розриви у вигляді порожнин, вони в свою чергу заповнюються насиченими парами палива. У фазі стиснення під дією підвищеного тиску і сил поверхневого натягу порожнина закривається, а пари палива конденсуються на кордоні розділу фаз. Через стінки порожнини в ній дифундує розчинений в паливі газ, який потім піддається сильному адіабатичному стисненню[6].

Відповідно до вимог MARPOLглава VI, з 1 січня 2020 року вміст сірки в паливі, що використовується на морських суднах, не повинен перевищувати 0,5 %. Використання такого палива є досить дорогим. Тому деякі компанії пішли на те щоб знизити викид сірки в випускних газах завдяки скруберам. Спосіб ультразвукового

очищення палива є доцільним і на сьогоднішній день у поєднанні зі скрубером. Через те, що використання установки дозволяє знизити знос деталей дизеля. Відпрацьовані пари сірки з установки у простому вигляді викидаються в атмосферу, але наступний спосіб дозволяє не викидати гази в атмосферу, а пропускати їх через скрубер (рис. 1). Гази які проходять через скрубер проходять через спіраль та орошаються водою. Осад який утворюється під час роботи дренується у спеціальний танк для зберігання. Це дасть можливість, підвищити надійність двигуна, та зберегти довкілля.

Рис. 1. Схема скруберного очищення

Результат досліджень використання системи ультразвукової паливо підготовки показує що ефективність системи доведено меншим зносом паливної апаратури, ЦПГ, випускних клапанів циліндра, випускного тракту та інше. Зменшується лакоутворення, та зменшується вплив сірчаної корозії. Модернізація системи дозволить

підвищити надійність двигуна та збереже довкілля. І ця модернізація змогла б повністю відповідати усім вимогам MARPOL. Забруднену воду можна здавати у порту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sagin S. V. The investigations of the influence of ultrasonic fuel processing on sulfur wear of details in cylinder group of marine diesel engines / S. V. Sagin, V. G. Solodovnikov// European Science and Technology : material of the XVI international research and practice conference, Munich, March 14th – 15th, 2017. – Munich, Germany 2017. – P. 61-74.

2. Sagin S. V. Estimation of Operational Properties of Lubricant Coolant Liquids by Optical Methods / S. V. Sagin, V. G. Solodovnikov // International Journal of Applied Engineering Research. – 2017. – Vol. 12. – Num. 19. – P. 8380-8391.

3. Солодовников В.Г. Применение дополнительной ультразвуковой обработки топлива в топливных системах судовых дизелей // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті : Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції MINTT-2018, 29-31 травня 2018 р. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2018. – С. 362-365.

4. Солодовніков В Г. Використання ультразвукової обробки в модульних схемах побудови суднових систем паливопідготовки /В Г. Солодовніков // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. Вип. 38. – Одеса : НУ «ОМА», 2018. – С. 158-168.

5. Sagin S. V. Decreasein mechanical losses in high-pressure fuel equipment of marine diesel engines / S. V. Sagin // Materialsof the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”. Part 1. August 31, 2019. Beijing, PRC. – P. 139-145. DOI. 10.34660/INF.2019.15.36258

6. Руснак Д. Ю. Підвищення ефективності використання палива методом ультразвукового очищення / Д. Ю. Руснак, Ю. М. Довіденко // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті : Матеріали науково-технічної конференції молодих дослідників «Суднові енергетичні установки : експлуатація та ремонт», 21.11.2019. – Одеса : НУ «ОМА», 2019. – С. 314-320.

10.31653/smf340.2020.55-57

Величко С.С., Веретенник О.М.
Національний університет «Одеська морська академія»

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІМПУЛЬСНОЇ СИСТЕМИ НАДДУВУ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

У роботі показаний вплив ступеня радіальності на характеристики радіально-осьової турбіни працюючої в умовах нестаціонарного потоку імпульсної системи наддування комбінованого двигуна.

На основі аналізу ряду статей показано, що турбіна турбокомпресора впливає на показники економічності та потужності комбінованого двигуна.

Актуальним є розробка методу, що дозволяє проводити вибір оптимальної геометрії проточної частини, що забезпечує компромісний розв'язок для всіляких нестаціонарних впливів з боку двигуна. На основі якого може бути запропонований комплексний підхід до проектування проточної частини радіально-осьової турбіни, що працює в складі комбінованого двигуна.

На основі серії проведених розрахунків по моделі на середньому радіусі, характеристик турбін з різними геометричними кутами закручення лопаток, показане, що найбільш високий ККД мають турбіни зі ступенем реактивності, що перебуває в діапазоні ρ=0.4 0.5.

Іншим дуже важливим параметром, що характеризують проточну частину радіально-осьової турбіни, є ступінь радіальності μ. Неправильний вибір ступеня радіальності веде до відриву потоку, падінню пропускної здатності турбіни й збільшенню витрати палива.

Проведені дослідження із впливу ступеня радіальності на ефективність радіально-осьової турбіни турбокомпресора ТКР-14С-27 працюючої в умовах нестаціонарного потоку двигуна.

Прийнятий діапазон зміни значень ступені радіальності: μ = 0.4, 0.52, 0.6..

У результаті проведених розрахунків побудовані проточні частини робочих коліс із прийнятими значеннями ступеня радіальності. Побудовані зовнішні і внутрішні лінії меридіонального обводу. Результати побудови наведені на рис. 1.

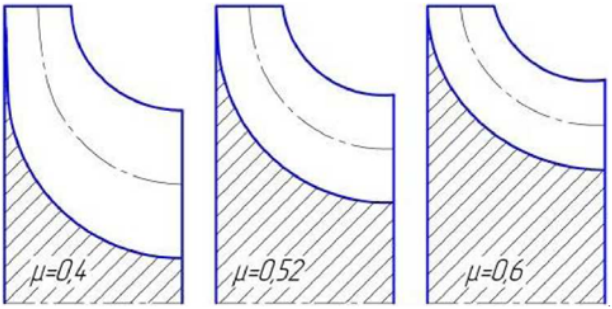


Рис. 1. Побудова обводів проточної частини робочого колеса турбіни

Розрахунки показали, що зі збільшенням ступеня радіальності μ,зменшуються: площа перетину на виході з робочого колеса F2 ступінь конфузорності каналу j .

Були зроблені дослідження характеристик турбіни ηT, частки тепло перепаду на робочому колесі Q, зміни втрат у робочому колесі ξРК, зміни втрат з вихідною швидкістю ξВ залежно від зміни коефіцієнта напору НТ (0,5…3,5), і різним ступенем радіальності μ (0.4, 0.52, 0.6).

При збільшення значення коефіцієнта напору НТ збільшується оптимальне значення ступеня радіальності μ.

Зі зменшенням ступеня радіальності μ у всьому діапазоні зміни коефіцієнта напору НТ зростають тепло перепад на робочому колесі НТР/НТМАХ, втрати в робочому колесі ξРК, зменшуються втрати з вихідною швидкістю ξВ .

Імпульс тиску газів на вході в турбіну при зміні ступеня реактивності міняється незначно. Це можна пояснити тим, що зміна ступеня радіальності приводить до зміни площі перетину на виході з робочого колеса F, однак на формування імпульсу більшою мірою впливає площа перетину на виході із соплового апарата.

Порівняльна оцінка коефіцієнта використання розташовуваної енергії імпульсу ηTU залежно від відносного розташовуваного тепло перепаду НТР/НТМАХ (рис.2), ефективної потужності турбіни NT для різних значень ступеня радіальності показала, що для роботи турбіни на малих тепло перепадах, з погляду коефіцієнта використання імпульсу ηTU найбільш ефективні турбіни з меншим ступенем радіальності μ, за критерієм ефективної потужності турбіни NT, найкращої є турбіна з підвищеним ступенем радіальності μ.

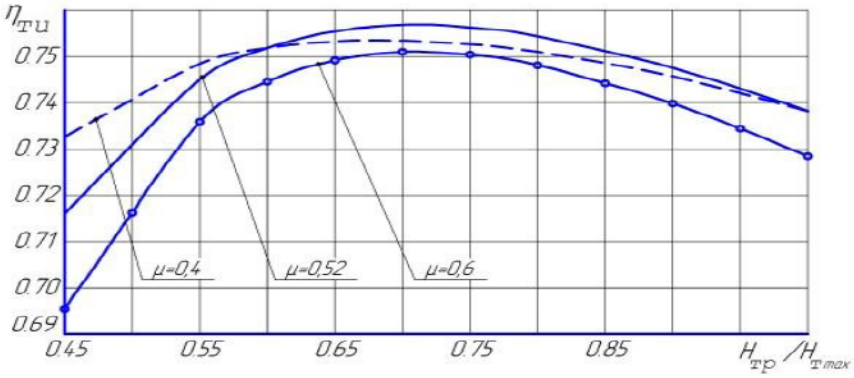


Рис. 2. Зміна ефективності використання імпульсу залежно від відносного розташовуваного тепло перепаду

У якості оптимальних можуть бути прийняті параметри турбіни зі ступенем радіальності $\mu = 0.52$. Ця турбіна виходить на компромісний варіант між коефіцієнтом використання розташовуваної енергії імпульсу ηTU і ефективною потужністю турбіни NT.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проблемы проектирования проточной части центростремительной турбины, работающей в составе импульсной системы наддува КДВС/ В.А. Лашко, А.В. Пассар// Актуальные проблемы создания, проектирования и эксплуатации современных двигателей внутреннего сгорания: Сб.науч. тр- Хабаровск: Изд-во Хабар, гос. техн. ун-та.- 2004. - Вып. 3. - 119-125.
2. Межерецкий А.Д. Турбокомпрессоры судовых дизелей. – Л.: Судостроение, 1971. – 192 с.
3. Васильев-Южин Р.М. Исследование совместной работы дизеля и агрегатов воздухоснабжения при изменении внешних условий // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: Высшая школа, 1977. – Вып. 25. – С. 42-49.
4. Комплексный подход к проектированию проточной части турбины импульсной системы наддува поршневых двигателей/ В.А. Лашко, А.В. Пассар// - Математическое моделирование. Сборник научных трудов НИИКТ. - Хабаровск. - 2000. - С. 119-128.

10.31653/smf340.2020.58-64

Афтанюк В.В., Гаврілкін О.Є., Афтанюк А.В., Стороженко Д.В.
Національний університет «Одеська морська академія»

КОМПЬЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БІОЛОГІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯКОРПУСА СУДНА

Відомо, що біологічне забруднення (biofouling,біофулінг) може негативно впливати на гідродинаміку корпусу суден, збільшуючи необхідну потужність головних двигунів і витрату палива, погіршуєманевреність судна.

Сучасна розробка покриття проти біологічного забруднення - це міждисциплінарна робота із залученням хіміків, морських біологів, гідродинаміків тощо з різними пріоритетами, хоча загальною метою є ефективний екологічний контроль за антропогенними забрудненнями.

Процес біологічного забруднення можна згрупуватипо ключовим стадіям росту, які включають початкове накопичення адсорбованої органіки, поселення та ріст першопохідних бактерій, що створюють матрицю біоплівки та наступну послідовність мікро- та макро-структур (рис. 1). Покриття зрілих забруднень, яке включало б смертність та еміграцію видів, не показано[1].

На рис. 1 наведено часове накопичення біологічного забруднення, що містить чотири основні стадії: перша – створення кондицій (умов для біологічного обростання); друга – прикріплення; третя – створення колонії; четверта – зростання.

Послідовність біологічного обростання не передбачувана через експлуатацію субстратних ніш вищими організмами. Формування біоплівки часто є попередником подальших забруднень з боку макроорганізмів. Послідовність біологічного обростання була експериментально випробувана шляхом видалення початкових шарів водоростей, що призводить до обмеженого подальшого забруднення [2].

Для комп’ютерного моделювання гідродинаміки корпусу судна з урахуванням біологічного забруднення раціонально на першому етапі розробити моделі ділянок корпусу з різним рівнем забруднення, для чого необхідно визначити ступінь обростання.

Інформацію щодо розмірів та ступеню обростання корпусу судна можна отримати на підставі експериментальних досліджень [3, 4], та біологічних досліджень [5].

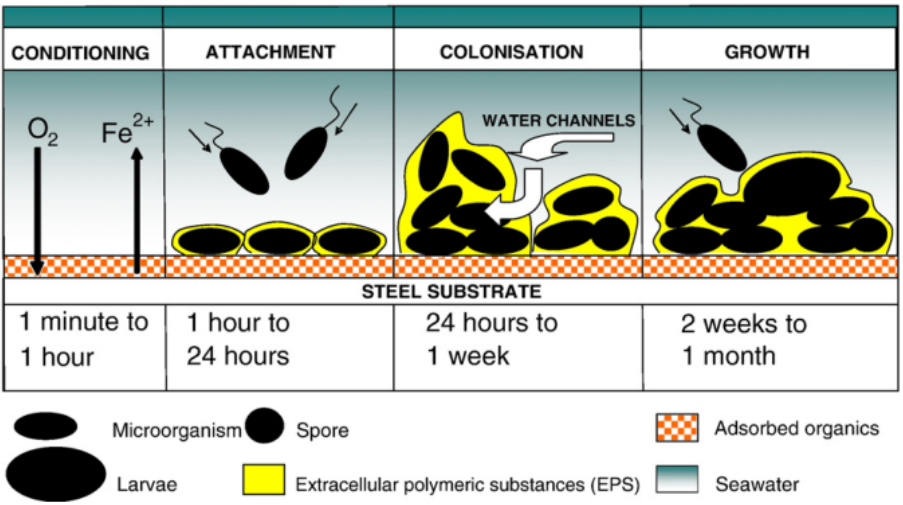


Рис. 1 –Схема критичних стадій біологічного обростання [1]

Біоплівки забезпечують середовище існування для понад 400 видів морських форм життя [3].

За даними [4] розміри біологічних накопичень (на другій стадії) можуть мати середню шорсткість R_a = 5–10 мкм.

В дослідженнях [3] наведені дані по процесу накопичення біологічного забруднення. Дослідження проводилися при 21 °С, провітрювали, по черзі 14/10 годин між світлим/темним, 35 днів зростання/7 днів обертання, товщина плівки становить 0,1-0,2 мм,

На четвертій стадії розвитку біологічного обростання на корпусі судна утворюються розвинуті комплекси молюсків та водоростей. Визначення розмірів молюсків в залежності від термінів розвитку наведені в [5].

Рис. 2 – Макроводорості, личинки безхребетних морських тварин, інших безхребетних[3].

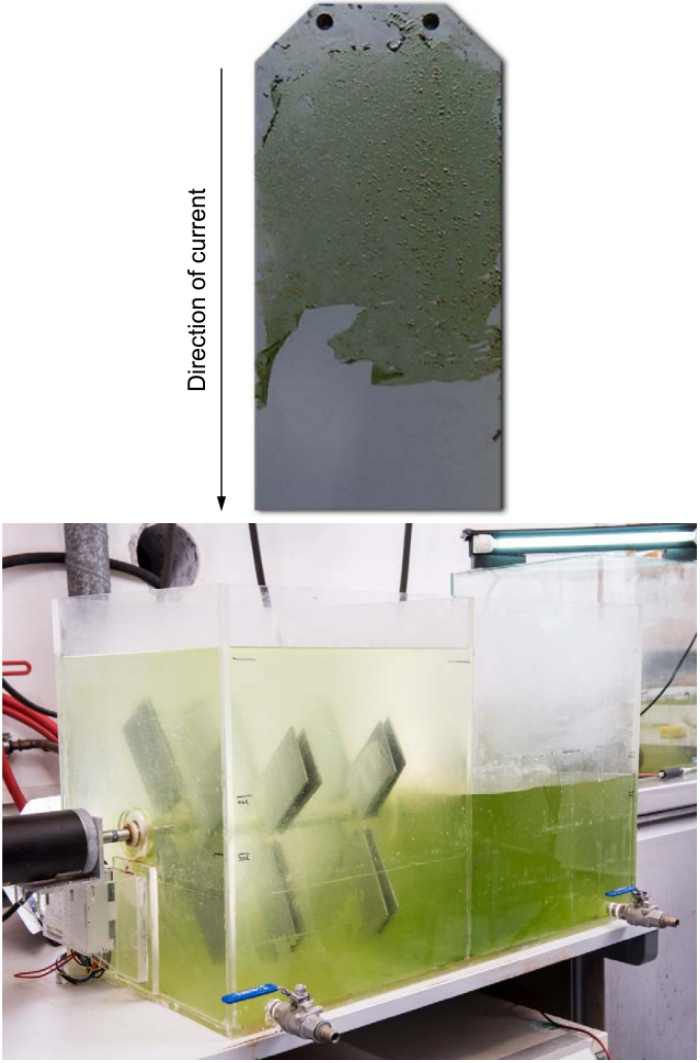


Рис. 2 –Експериментальні дослідження біологічного забруднення [4]

Існують три стандартних вимірювання молюсків: висота - відстань по перпендикуляру до поздовжньої осі раковини від

верхівки до найбільш виступаючої точки черевного краю, довжина - відстань по поздовжній осі раковини між найбільш віддаленими один від одного крапками переднього і заднього країв і опуклість (або товщина) - відстань між найбільш віддаленими бічними точками (рис. 3)[5].

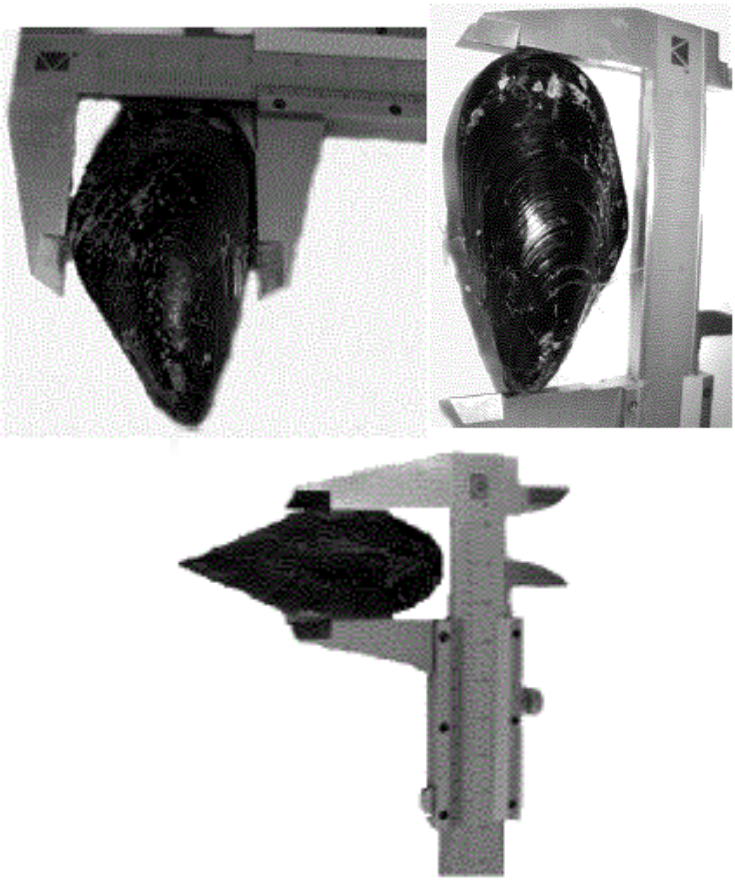


Рис. 3 – Виміри розмірів молюсків за допомогою штангенциркуля [5]

При середньому розмірі мідій вік 0,5 року - 24,4 мм, молюски ростуть в середньому 4 мм/міс. Після першого року темпи зростання сповільнюються і склаають 2 мм/міс. Від 1,5 до 2 років він був дещо

нижчим - 1,7 мм/міс. Лінійний ріст у 2,5 - 3,5 річних мідій склав 0,58 мм/місяць[5].

На підставі визначених розмірів молюсків можна розробити модель молюска (рис. 4) и комплексу молюсків (рис. 5).

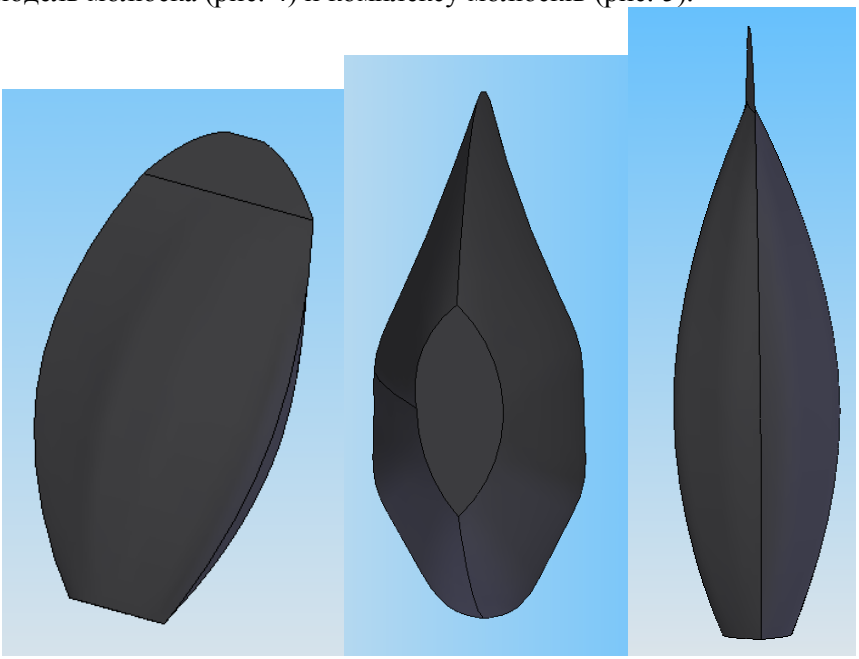


Рис. 4 – Твердотільна модель молюсків

Для проведення гідродинамічних комп’ютерних дослідів впливу біологічного обростання на опір корпусу судна необхідно розробити більш повні моделі комплексів молюсків на підставі фактичного обстеження суден.

Модельовані поверхні можуть динамічно піддаватися розвитку біоплівки,що утворюються в морських або лабораторних умовах.

Також необхідно розробити модель гідродинамічного стенду, що включає занурені частину корпусу та проточну частину каналу.

Виконання дослідів дозволить визначати опор корпусу судна в залежності від ступеню біологічного забруднення на базі детального аналізу шорсткості.

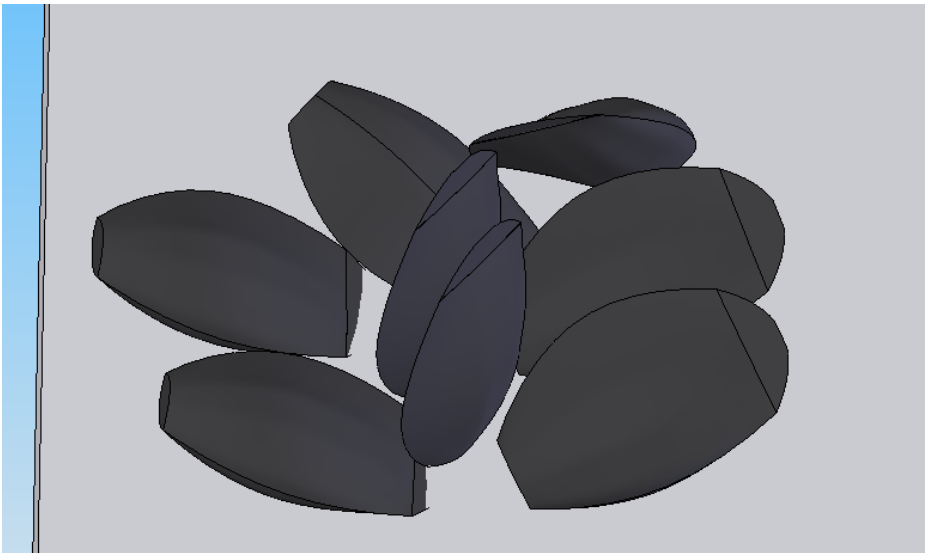


Рис. 5 – Фрагмент комплексу молюсків на корпусі судна

ЛІТЕРАТУРА

L.D. Chambers, F.C. Walsh, R.J.K. Wood, K.R. Stokes, World Maritime Technology Conference, ICMES Proceedings, The Institute of Marine Engineering, Science and Technology, March 2006.

M.J. Dring, The Biology of Marine Plants, Edward Arnold (Publishers)Limited, London, 1982.

Source: Matériaux & Techniques 93, 27-41 (2005) Hors Série: Biofilms et altérations des matériaux : de l'analyse duphénomène aux stratégies de prévention, D. Haras.

Stefan Silber. How we're giving ships a cloak of invisibility. October 5, 2017, Essen.

Холодов В.И., Пиркова А.В., Ладыгина Л.В. Выращивание мидий и устриц вЧерном море / под. ред. В.Н. Еремеева; Национальная академия наук Украины,Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского. – Севастополь. - 2010. -424 с.

L.D. Chambers, K.R. Stokes, F.C. Walsh, R.J.K. Wood. Modern approaches to marine antifouling coatings / Surface & Coatings Technology 201 (2006) 3642–3652.

The Chemical Hazards Response Information System (CHRIS) - United States Cost Guard, Washington, DC, 1999. – 181 p.

10.31653/smf340.2020.65-69

Тимків О.В., Денісов В.Г., Гнатюк Б.І
Національний університет «Одеська морська академія»

СУЧАСНІ ЗАСОБИ ДІАГНОСТУВАННЯ СУДНОВИХ СИСТЕМ

Огляд існуючої проблеми

Головне призначення сучасного діагностування полягає в безперервному автоматичному контролі технічного стану об'єкта, своєчасному виявленні відхилень контрольованих параметрів від нормативних значень, ідентифікації та локалізації дефектів, виробленні стратегії подальших дій і прогнозування ресурсу. Системи автоматичного контролю і діагностування створюються на базі новітніх інформаційно-обчислювальних засобів, програмна частина яких спирається на фундаментальні і прикладні математичні методи.

Сьогодні існує велика кількість спеціалізованої апаратури, яка використовуються для отримання належної інформація для діагностування різноманітних пристроїв. Поруч з спеціальними пристроями також розвиваються альтернативні. Різні програми на звичайних смартфонах сьогодні можуть виконувати широкий спектр задач: починаючи з виміру габаритів об’єктів, закінчуючи серце биттям, кров’яним тиском і т.д..

Крім основних завдань, у смартфонів є багато додаткових можливостей. Наочним прикладом є використання телефону в якості термометра. Вбудовані можливості операційної системи Android не містять такої можливості, але незалежні розробники створили багато програм, що дозволяють приблизно визначати температуру в приміщенні. Більшість таких програм є абсолютно безкоштовними.

Важливо відзначити, що точність таких вимірювань невисока. Це обумовлено використанням температурного датчика, призначеного для реєстрації перегріву вбудованих компонентів, а не навколишнього середовища.

Оскільки для вимірювання температури використовується інтегрований датчик, розглянуті додатки мають не найвищою точністю. Для правдоподібних свідчень рекомендується дотримуватися кількох правил.

1. Необхідно запускати попередню калібрування, якщо така опція є в додатку.

2. Перед запуском програми телефон повинен діяти (хоча б 10 хвилин), щоб внутрішні компоненти охололи. Якщо мобільний пристрій стояло на зарядці або тривалий час перебувало в руках власника, вимірювання будуть помилковими.

Вбудований датчик температури в телефоні не здатний видавати точні результати вимірювань - показники будуть варіюватися в межах 3-7 градусів за Цельсієм. Якщо дотримуватися інструкції, можна досягти точності до 3 градусів. Для цього необхідно виконати калібрування і не користуватися смартфоном протягом деякого часу до початку вимірювань, щоб компоненти гаджета були нагріті.

Більшість термометрів вимірюють температуру як в Цельсіях, так в Фаренгейтах.

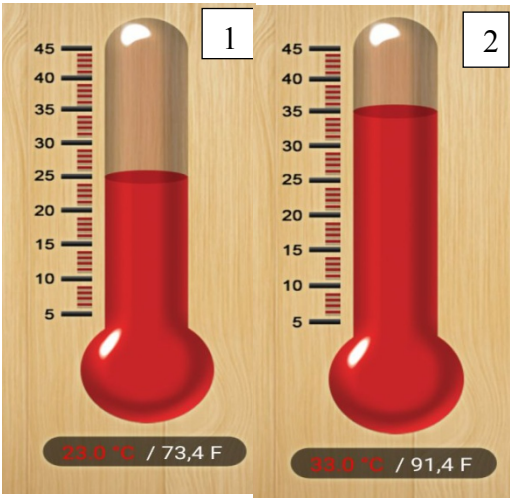


Рис. 1. Порівняння температури через деякий час

Акселерометр - це прилад, за допомогою якого вимірюється прискорення. Спочатку будова акселерометра була досить складна, а сам датчик - великим. Звичайно, така конструкція не може бути застосована для мобільних пристроїв. Тому в них сьогодні застосовується мініатюрний чіп з інертною масою всередині. Три таких прилади, об'єднані в одну систему і зорієнтовані по осях дозволяють отримувати інформацію про стан предмета в тривимірному просторі.

Коли відбувається струс, нахил або поворот об'єкту, в який вбудований акселерометр, інертна маса реагує на силу інерції. Зі

збільшенням інтенсивності і сили нахилу, повороту або струсу збільшується радіус деформації пружини. Потім грузик приймає свою колишню позицію, завдяки пружині. Спеціальний датчик фіксує рівень зміщення інертної маси від її положення в стані «спокою». Потім ці дані перетворюються в електричний сигнал, і передаються на обробку електронікою, і програмним забезпеченням. Завдяки отриманим даними програма може «вирахувати» зміни в фізичних змінах розташування об'єкта.

Ще є таке поняття, як вісь чутливості приладу. Якщо вісь тільки одна, датчик зможе передати дані про зміну положення об'єкта в просторі тільки в межах чутливості осі. Щоб збільшити чутливість датчика, і отримати точні дані про силу та напрямок нахилу об'єкта, необхідно дві, а ще краще три осі. Об'єднавши в один прилад відразу три осі, можна обчислити положення об'єкта в тривимірному просторі.

Акселерометр має дві основні частини корпус, прикріплений до об'єкта, чиє прискорення ми хочемо виміряти і якась маса, яка будучи прив'язана до корпусу все ще може рухатися. Як тут пружина з важким металевим кулькою. Якщо ви рухаєте корпус вгору, то кулька відстає через розтягнення пружини.

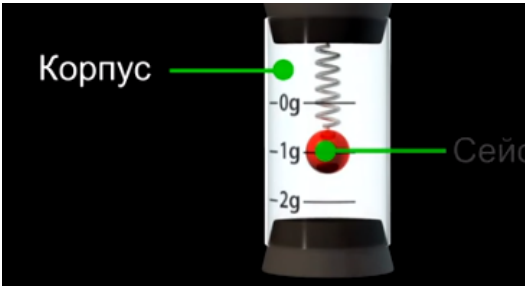


Рис.2. Простий пристрій для визначення швидкості переміщення в просторі

Якщо ми виміряємо наскільки це пружина розтягнулася, мизможемо порахувати силу гравітації. легко помітити, що три таких штуки зможуть визначити орієнтацію тривимірного об'єкту. Поки вісь z перпендикулярна до осі гравітаційної сили, тільки пружина з кулькою на осі x буде розтягуватися.

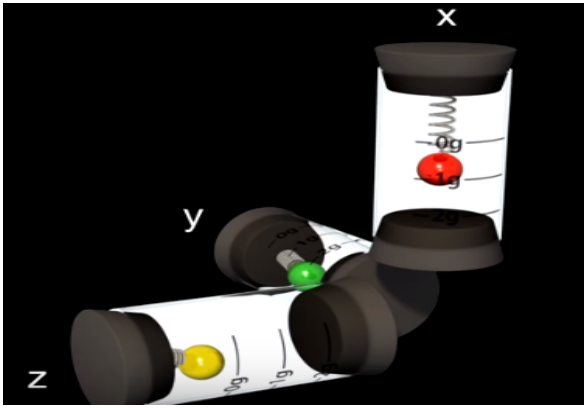


Рис.3.Акселерометр з трьома осями

Тепер повернемо так, щоб вісь z дивилася вгору. Тоді тільки одна пружина в акселерометрі, яка знаходиться вздовж цієї осі, буде розтягуватися. У телефоні чіп влаштований складніше, ніж модель з пружиною кулькою. Але він використовує той же принцип всередині чіпа, що і кульки. Інженери створили крихітні акселерометри з кремнію. Вони звичайно ж мають корпус, який закріплений до телефону і гребенчату частину, яка здатна рухатися вперед і назад. Ця сейсмічна маса еквівалентна кулі: в цьому випадку замість пружини використовується гнучкість тонкого кремнію, прикріпленого корпусу.

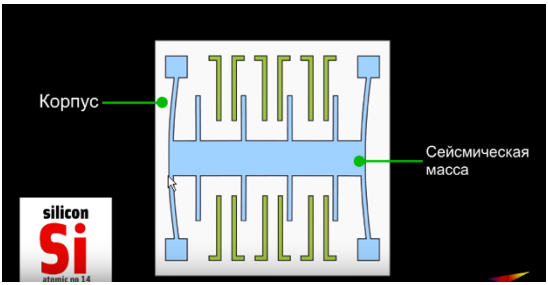


Рис.4. Чип акселерометра вбудованого у смартфоні

Висновки

1. Проаналізувавши значні обсяги інформації, ми провели ретельний аналіз. Виходячи з результатів проведеної роботи, можна

прийти до висновку, що існує безліч аналогових програм для телефонів, які можу виконувати функції спеціалізованих пристроїв. Однак, точність вимірювань залишається сумнівною.

2. З розглянутих пристроїв тільки додаток Moasure може показувати достовірні відомості. Але при цьому, сам додаток необхідно використовувати в парі з спеціальним пристроєм. Програми, які встановлюються на смартфон безпосередньо залежать від якості виконання вимірників на самому телефоні. Залежно від складності вимірювань, дані будуть більш-менш коректні.

3. Люксметри мають високу погрішність, а, отже, використання їх на смартфоні в якості засобів діагностики - неприпустимим.

4. Використання акселерометрів є допустимим. При його використанні можна говорити про правильність роботи того чи іншого механізму. Але слід мати на увазі, що акселерометри, або інші програми, що вимірюють переміщення пристрою в просторі залежать від якості чіпа, який буде обчислювати програма тому звертати увагу на його якість виконання. Смартфон також можна використовувати для вимірювання температури, але звертати увагу, що при найбільш точної калібрування, похибка вимірювання завжди буде коливатися від 2-4 °С.

Підсумувавши, можна сказати, що зараз ведуться різні дослідження в різних областях, де засобом діагностування може виступати смартфон. Для поліпшення показань необхідно вдосконалити датчики, які вбудовані в пристрій, а також розробка більш складних технологічно програм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методы и средства технического диагностирования судовых энергетических установок : монография / В. Г. Денисов; Одес. нац. мор. акад. - О. : Фенікс, 2008. - 304 с. - Библиогр.: с. 279-297 - рус.

2. Мониторинг процесса изнашивания судовой энергетической установки / А. В. Тымкив, В. Г. Денисов // Судовые энергетические установки. – 2014. – Вып.33. -С.88-95. - Режим доступу:http://nbuv.gov.ua/UJRN/seu_2014_33_12

3. Методы и средства диагностирования судовой энергетической установки / А. В. Тымкив, В. Г. Денисов // Судовые энергетические установки. - 2014. - Вып.32.- С. 113-123. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/seu_2014_32_18

10.31653/smf340.2020.70-78

Кардаш В.П., Шліхта О.М.
Національний університет «Одеська Морська Академія»

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДНОВОГО ДВИГУНА ШЛЯХОМ ЗМІНИ СКЛАДУ НАДУВНОГО ПОВІТРЯ

Проблеми захисту навколишнього середовища від забруднень актуальні для всієї енергетики, в тому числі і суднової. Викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами суднових дизелів щорічно складають мільйони тонн. Основним міжнародним документом, що регламентує екологічні параметри роботи суднових енергетичних установок, є конвенція MARPOL.

У конвенції МАРПОЛ 73/78 передбачено заходи, щодо скорочення і запобігання забруднення морського середовища, як нафтою і нафтопродуктами, так і іншими речовинами, шкідливими для мешканців моря, що перевозяться на суднах або утворюються в процесі їх експлуатації.

Правові норми, тобто інструкції, щодо запобігання забруднення атмосфери з суден містяться в Додатку VI до Конвенції МАРПОЛ 73/78.

В Додатку встановлені межі емісії оксидів сірки та азоту від енергетичної установки судна і забороняють неконтрольовану емісію речовин, що руйнують озоновий шар атмосфери [1-3].

Провідні лідери дизелебудування MAN B&W. Wartsila, Hyundai, Mitsubishi, CAT та іншіоснащують свої двигуни дорогими системами організації та контролю запалення палива, новітнім високотехнологічнимобладнанням, що знижує кількість шкідливих викидів.

В останні роки це призвело до збільшення застосування дизелів з безпосереднім уприскуванням палива і електронним управлінням, що дозволяє отримати точне і виключно гнучке визначення параметрів упорскування палива, значно поліпшити експлуатаційні якості, підвищити надійність, знайти резерви щодо підвищення технічного рівня: тільки такий шлях дозволяє виконувати широкий ряд технічних вимог, що пред'являються сучасним дизелям.

Сучасні методи зниження шкідливих викидів суднових дизелів, являють сьогодні наукомісткі технології кращих світових інститутів.

Так фірма MANB&W інтенсивно працює у напрямку використання технології рециркуляції відпрацьованих газів EGR (ExhaustGasRecirculation) стосовно великих малообертових двигунів, отримані багатообіцяючі результати в зниженні викидів NOx дизельних двигунів, як стверджує фірма, на десятиріччя. Наприклад , при степіні рециркуляції 15-20 % відбувається зменшення викидів NOx до 60-80 %.

Першим кроком до зниження викидів NOx, на думку фірми Wartsila, є застосування «внутрішніх заходів» по двигуну, щоб відповідати чинним обмеженням. Ці заходи включають застосування більш високого ступеня стиснення, «пізднього» впорскування палива одночасно з використанням зміненої конструкції розпилювача і адаптованих фаз газообміну. Вони є простими і ефективними, та не впливають на надійність двигуна [4-5].

Іншою технологією зниження емісії NOx, на думку фірми Wartsila, є введення води в камеру згоряння. Емульгування палива (водопаливних емульсій) піддавалося тривалому вивченню. Гнучкість у налаштуванні двигунів RT- flex з системою CommonRail полегшує їх адаптацію до введення емульгованого палива. Використовувані в даний час насоси та їх виробники роблять можливим зниження емісії NOx на 20 % по відношенню до існуючих обмежень Рівень 1. Як альтернатива, вода може бути безпосередньо вприснута в камеру згоряння окремо від палива.

Фірма MANDiesel здійснила дослідну експлуатацію своїх середньообертових двигунів з селективним каталітичним відновленням (SCR - SelectiveCatalyticReduction) відпрацьованих газів і технологією подачі вологого повітря в циліндри двигуна (HAM - HumidAirMotor). Впровадження цих заходів дозволило отримати значне зниження викидів окислів азоту (NOx) до меж рівня TierIII вимог Міжнародної морської організації (IMO - InternationalMaritimeOrganization), які набирають чинності після 2016 для прибережних районів плавання морських суден.

Також для запобігання димності на вихлопі недавно фірмою MAN була розроблена система «LambdaControlSystem »

Цикл Міллера скорочує такт стиснення за рахунок такту впуску, зберігаючи рух поршня вгору і вниз однаковим по швидкості (як у класичному циклу Отто). Для цього Міллер запропонував два різних підходи: або закривати впускний клапан істотно раніше закінчення такту впуску (або відкривати пізніше початку цього такту).

Цікавою є так само можливість використання « хімічного » наддуву із застосуванням азотних палив і монотоплів , що створює можливість організувати робочий цикл дизеля без використання кисню атмосферного повітря або часткове його використання (анаеробний цикл) [6-8].

На даний момент становить інтерес використання методу зміни складу повітря в дизельних двигунах. Збільшення вмісту кисню в реагуючій суміші паливо - окислювач призводить до скорочення часу згоряння палива і можливості спалювати більше палива при тій самій стехіометрії (щодо кисню до палива). Це дає можливість потенційного збільшення термічного ККД і питомої потужності дизеля [9-11].

Згідно з дослідженнями, проведеними університетом Мічігану (США) достатнього підвищення (10 %) вихідних характеристик ДВС можна досягти в результаті відносно невеликого підвищення концентрації кисню до 23 %, в той час як 90 % поліпшень можна досягти при 35 %. При концентрації кисню в надувочному повітрі від 23 % до 35 % циліндрова ефективна потужність збільшується від 10 до 90 % при різних навантаженнях. При зниженій подачі палива потужність збільшується навіть більш, приблизно на 12 % і 110 % при тих же концентраціях відповідно. Таке підвищення потужності супроводжується підвищенням середньоефективного тиску і зниженням питомої ефективної витрати палива. Очікуване збільшення термічного ККД викликано більш високою швидкістю горіння, особливо під час фази дифузії. Однак, незважаючи на переваги використання збагаченого повітря максимальний тиск згоряння підвищувався від 3 % до 35 %, хоча таке підвищення Pz було менше підвищення циліндрової потужності.

Результати дослідження впливу збагаченого надувного повітря на робочі характеристики ДВС:

1. На повному навантаженні при збільшенні вмісту кисню в повітрі від 21% до 35 % і при збереженні постійного співвідношення кисень - паливо, среднєефективний тиск зріс до 90 %, а питома витрата палива знизилася на 15%.

2. Пізнє уприскування палива справив позитивний вплив, надавши значний вплив на максимальний тиск згоряння, при цьому не сильно погіршивши значення потужності й витрати.

3. Викиди NOx, пораховані на основі адіабатичної температури полум'я, збільшилися майже в 4 рази при вмісті кисню в повітрі від 21 % до 35%. Також регулювання кута випередження упорскування

може сприяти невеликого зниження викидів, проте необхідні інші способи боротьби з NOx для відповідності стандартам викидів.

4. Регулюючи максимальний тиск кутом уприскування палива можна досягти значно більших успіхів в збільшенні потужності двигуна при використанні збагаченого повітря в порівнянні з іншими методами. До того ж, при утилізації підвищеної теплоти відпрацьованих газів ідея використання збагаченого повітря стає ще більш привабливою.

5. Оскільки необхідні зміни в системі впуску двигуна не становлять складності, дана установка може без зволікань використовуватися в складі енергетичної установки [12].

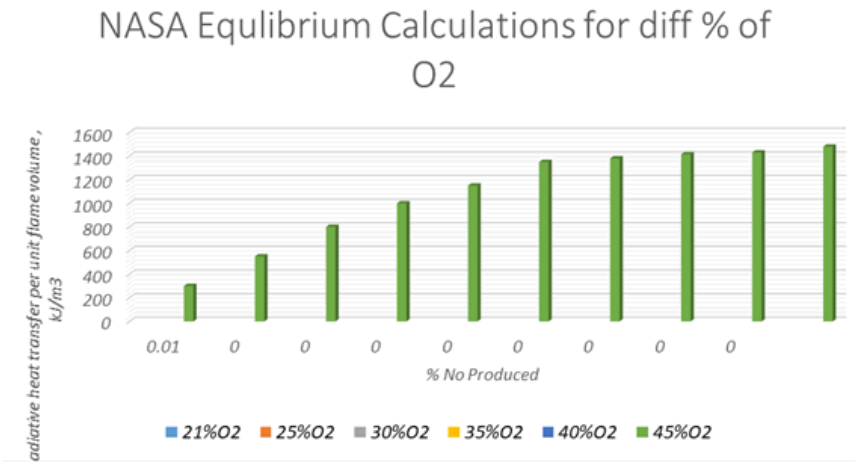


Рис. 1. Залежність викиду окислів азоту від процентного змісту кисню

Більш високий викид окислів азоту, обумовлений підвищеною температурою згоряння, є головним недоліком використання збагаченого повітря. Вивчивши інформацію про існуючі методи зниження шкідливих викидів, вимоги МАРПОЛ до викидів та хімії шкідливих речовин пропонуємо наступний метод:

Якщо використовувати подачу повітря, збагаченого азотом, в циліндри двигуна після періоду затримки самозаймання, це призведе до екзотермічної реакції окислення азоту. В результаті чого сповільнюється процес перетворення хімічної енергії палива в теплову, знизиться зростання температури і тиску в камері згоряння. Це призведе до зниження «жорсткості» роботи двигуна, збільшення

періоду початкового горіння (II) (Рис 2.) А потім, подавати повітря, збагачене киснем в момент початку період основного горіння (III), можна досягти повноти згоряння палива, підвищення потужності, зменшення питомої витрати палива, зниження шкідливих викидів з відпрацьованими газами і відкладень на проточній частині турбонагнітача. Збільшення вмісту кисню суміші паливо - окиснювач, яка реагує і на нашу думку, призведе до підвищення якості згоряння палива і можливості спалювати більше палива при тій же стехиометріі (кисень до палива). Це дасть можливість потенційного збільшення термічного ККД, питомої потужності дизеля і керувати процесом згоряння палива. При збагаченні повітря киснем викиди видимого диму, твердих частин і незгорілих вуглеводнів зменшаться в результаті більш повного згоряння в значно ширшому діапазоні навантажень.[13-15].

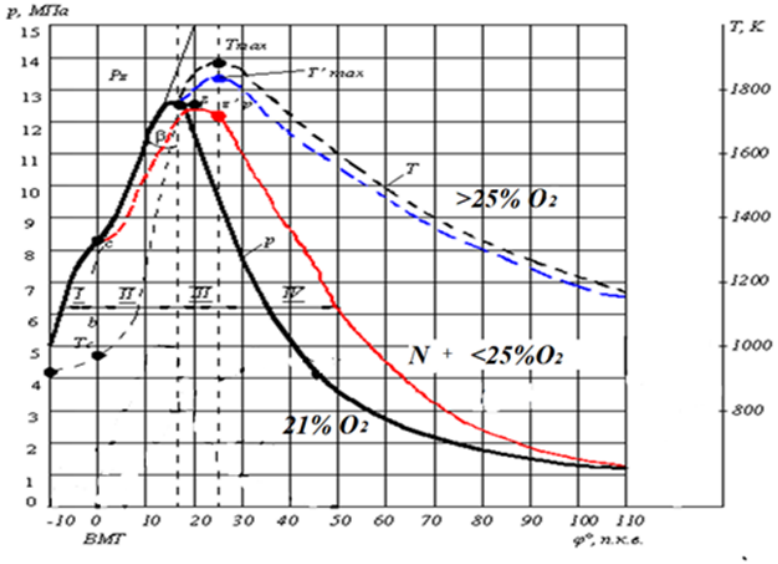


Рис 2 .Індикаторна діаграма роботи суднового двигуна з додаванням азоту та збагаченого киснем повітря

Технічні характеристики установки розділення повітря, у складі СЕУ, дозволяють отримувати повітря, збагачене киснем до 40 % за об'ємом. Збільшення вмісту кисню в реагуючій суміші паливо - окислювач на нашу думку призведе до підвищення якості згоряння

палива і можливості спалювати більше палива при тій же стехіометрії (щодо кисню до палива).

Збагачене киснем повітря, можна отримати за допомогою мембранної установки розділення повітря. В основі роботи мембранної установки лежить принцип виборчої проникності: волога, CO_2 і кисень O_2 проникають через стінку мембрани легше, ніж азот N_2, таким чином, первісна суміш газів розділяється на два потоки - азот N_2 і збагачений 40% кисень O_2.

Для реалізації такого циклу пропонується схема (рис.3) та (рис.4) , до складу якої входить живильні компресори для закачування стиснутого повітря через фільтри попередньої підготовки повітря, мембранні модулі, що розділяють повітря на N_2 та O_2 , що за допомогою прискорювальних пристроїв закачують гази до резервуарів із тиском 200 Бар відповідно, також передбачається деяка модернізація двигуна з додаванням системи подачі азоту і збагаченого киснем повітря , а саме форсунки , контрольні пристрої об’ємного впорскування та електронного блоку управлінням подачею.

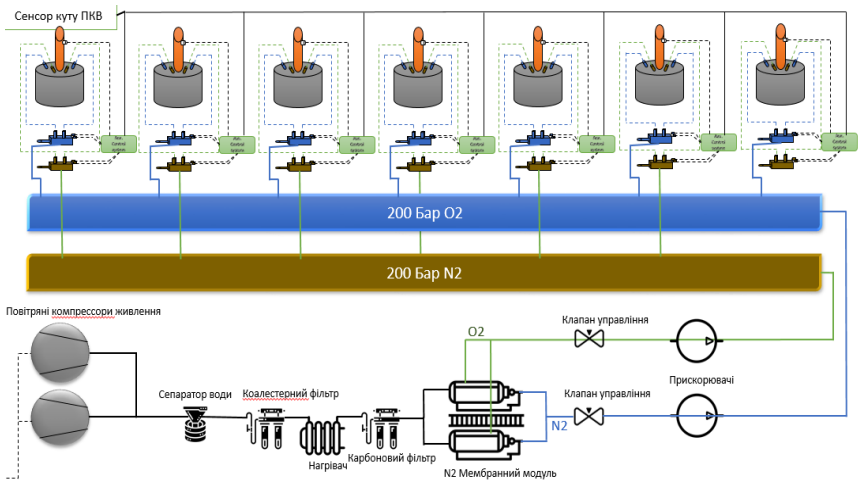


Рис. 3. Принципова схема генерації Азоту та збагаченого киснем повітря

Оскільки необхідні зміни в системі наддуву двигуна не становлять складності, дана схема установки може без зволікань використовуватися у складі енергетичної установки.

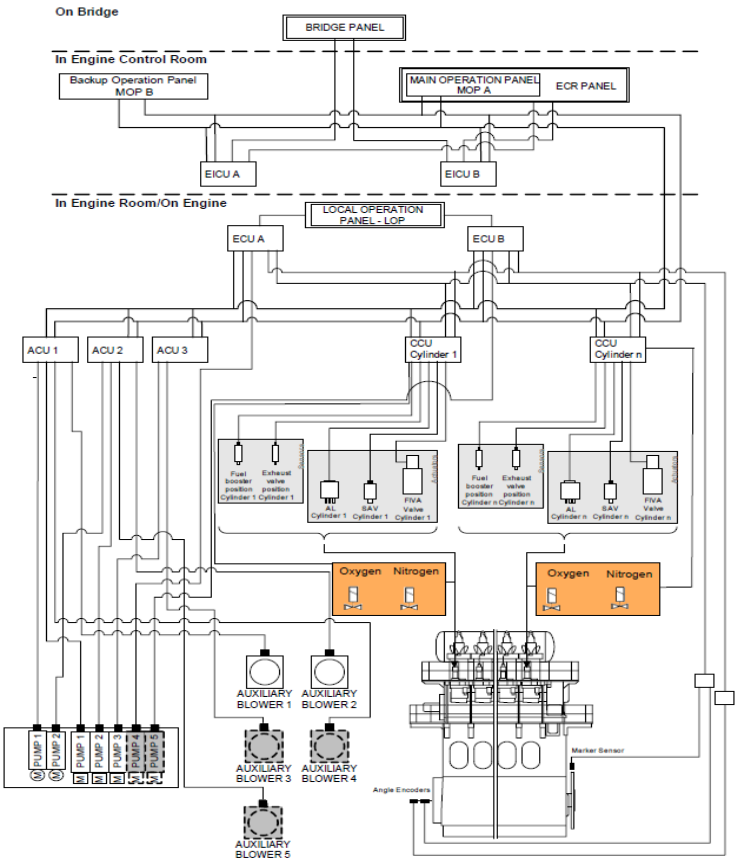


Рис. 4 Схема впровадження пропонованої установки в систему управління двигуном з електронним управлінням фірми MAN.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Додаток I та II Конвенції МАРПОЛ 73/78 про “Правила запобіганнязабруднення нафтою” та ”Правила запобігання забруднення шкідливими речовинами , які перевозяться наливом” ,1981. – 361 с.
2. Приложение к Резолюции МЕРС 177(58): Технический кодекс по выбросам окислов азота от судовых дизельных двигателей. – 1997. – С.10.
3. Альфредович В.В. Токсичность двигателей внутреннего сгорания: метод. пособие. – Минск. – БНТУ. – 2016. – С. 54.
4. Андрусенко С.Е., Матвеев Ю.І. Вісник АГТУ, Морська техніка та технології,2012р. Видавництво- Вістник,35с.
5. Белоусов Е.В. Нові підходи організації робочих процесів в ДВЗ, конференція ХДМА, 2012р.-4с.
6. Пелепейченко В.І. Показники теоретичного циклу ДВЗ з хімічним наддувом / В.І. Пелепейченко, А.О. Каграманян // Двигунии внутрішнього згоряння. - 2009. - № 1. - С. 28-34.
7. Промтов М.А., Анализ методов снижения вредных веществ в отработанных газах судовых дизелей (обзор), Тамбов, 2015, С-9.
8. Самсонов В.И., Худов Н.И. Двигатели внутреннего сгорания морских судов: учебник для высших учебных заведений – 2-е издание. М.: Транспорт . – 1990. – 368 с.
9. Краснова Е.В. Улучшение экологических характеристик водородного дизеля усовершенствованием рабочего процесса: дис. на соискание уч. ст. кан. техн. наук. Москва – МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2015 . – С. 417-420.
10.Пронин Е.Н. Использование сжиженного природного газа на водном транспорте: Санкт-Петербург. – Наука. – 2016. – С. 3-8.
11.Окунев В. Н. «Перспективные технологии нейтрализации оксидов азота в отработавших газов энергетических установок». РаботыII Международного научно-технического семинара «Использование,проектирование и эксплуатация судовых ДВС» 2007 р. // – СПб.: ИПЦ СПГУВК, 2008. – с. 245 – 250.
12.Assanis D.N. et al., Study of using oxygen-enriched combustion for locomotive diesel engine, Journal of engineering for gas turbines and power Y.2001, vol. 123,No.
13.Голубев М.В. Совершенствование процессов фильтрации и охлаждения отработавших выхлопных газов судовой дизельной установ-

ки: дис. На соискание уч. ст. кан. техн. наук. Одесса-ОНМА.-2016.-С.157-164
14.Костюченко Д.С., Кардаш В.П. Использование в двигателях внутреннего сгорания воздуха, обогащенного кислородом. III Всеукр. студ. науч. конф. // «Сучасні проблеми морського транспорту та безпеки мореплавства».-Херсон: издат. ХДМА. -2013.- 259-265.
15.Шліхта О.М., Кардаш В.П. Підвищення енергоефективності робочого процему суднового двигуна. Матеріали науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт»,21.03.2019-22.03.2019.-Одесса: НУ “ОМА”,2019.- 232-237.

10.31653/smf340.2020.79-87

Корбан В.Х., Корбан Д.В., Ревенко В. Ю.
Національний університет «Одеська морська академія »

ДО ПРОБЛЕМИ ЗМЕНШЕННЯ ПЕРЕШКОД ВІД АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ ПРИ РАДІОЛОКАЦІЙНОМУ СПОСТЕРЕЖЕННІ ОБ'ЄКТІВ СУДНОВОЮ РЛС

Постановка проблеми в загальному вигляді. Суднові РЛС при радіолокаційному спостереженні навігаційних об'єктів використовують робочі електромагнітні хвилі двох діапазонів: діапазон *X* і діапазон *S*. Діапазон *X* використовується в основному при ясній погоді, а діапазон *S* при наявності сильного тумануіінтенсивного дощу.

Якщо зона інтенсивного дощу (від 25 мм/год і більше) займає всю область до навігаційного об'єкта (об'єкт знаходиться в зоні дощу), то радіолокаційне спостереження навігаційних об'єктів судновою РЛС буде утруднено через появу луна-сигналів дощу на її індикаторі.

До теперішнього часу відсутня єдина точка зору щодо оптимальної робочої довжини хвилі, при якій вплив перешкод від дощу був би найменшим, виходячи з відомого рівняння:

$$N = \frac{\sigma}{R^2 Q_г Q_в \tau \eta}, \qquad (1)$$

де N - відношення потужності луна-сигналунавігаційного об'єкта, що спостерігається, до середньої потужності луна-сигналу дощу;

σ - ефективна площа розсіювання навігаційного об'єкта, м^2;

R - відстань до навігаційного об'єкта, км;

$\theta_г$ - ширина діаграми спрямованості антени суднової РЛС в горизонтальній площині, град.;

$\theta_в$ - ширина діаграми спрямованості антени суднової РЛСу вертикальній площині, град .;

τ - тривалість випромінюваного імпульсу, с;

η - ефективна площа розсіювання атмосферного утворення, м^2.

Тривалість луна-сигналу дощу значно перевищує тривалість випромінюваного імпульсу і визначається радіальною протяжністю зони дощу. По мірі поширення випроміненого імпульсу в зоні дощу, луна-сигнали утворюються від нових областей дощу. Відповідно до

цього на індикаторі суднової РЛС луна-сигнали дощу маскують луна-сигнали навігаційного об'єкта, що знижує, а при великій інтенсивності дощу і повністю зменшує, радіовидимість навігаційних об'єктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.Методи боротьби з атмосферними перешкодами при радіолокаційному спостереженні навігаційних об'єктів розглянуті різними авторами [1-5], де проведено їх поділ на три основні групи: прямі методи, при яких параметри суднової РЛС вибираються з умови поліпшення співвідношення між корисним і заважаючим ефектом; спеціальніметоди регулювання в приймальному каналі, що дозволяють підвищити його динамічний діапазон і зменшити ймовірність перевантажень; методи селекції, засновані на використанні додаткової апріорної інформації про навігаційні об'єкти та джерела перешкод в процесі первинної обробки луна-сигналу.

Реалізація першої групи методів боротьби з атмосферними перешкодами представляє дуже складне технічне завдання важко здійсненне на практиці.

Друга група методів заснована на усуненні перевантажень в приймальному тракті суднової РЛС шляхом автоматичного регулювання посилення приймача і застосування логарифмічних підсилювачів. Реалізація другої групи методів боротьби з атмосферними перешкодами може розглядатися як допоміжний засіб, що вирішує приватні завдання підвищення перешкодозахищеності суднової РЛС.

Найбільш ефективними для боротьби з атмосферними перешкодами на практиці виявляються методи селекції, в основу яких покладені відмінності доплеровських зрушень корисного сигналу і сигналу, що заважає, а також залежність поляризації луна-сигналів від геометричних параметрів навігаційного об'єкта [6-9].

Постановка завдання. Поляризаційна селекція луна-сигналів навігаційного об'єкта при наявності луна-сигналів атмосферного утворення є найбільш ефективною в суднових РЛС, яка до теперішнього часу недостатньо досліджена. Відповідно до цього метою даної роботи є обґрунтування методу використання поляризаційної селекції для боротьби з атмосферними перешкодами при радіолокаційному спостереженні навігаційних об'єктів судновою РЛС на шляху судна.

Виклад матеріалу дослідження. Будемо виходити з переходу від двох довжин хвиль, які в даний час використовуються в суднової РЛС (3 см і 10 см), до однієї довжині хвилі 5 см, яка дозволяє отримати луна-сигнал навігаційного об'єкта при наявності атмосферних перешкод, що перевищує рівень власних шумів приймального пристрою за рахунок незначного ослаблення атмосферними перешкодами. Із застосуванням поляризаційних параметрів електромагнітної хвилі з'являється можливість здійснювати поляризаційну селекцію луна-сигналів навігаційного об'єкта на тлі луна-сигналів атмосферних перешкод, тобто здійснювати радіовидимість навігаційного об'єкта судновою РЛС.

Відбита від радіолокаційного обсягу (навігаційний об'єкт в зоні атмосферного утворення) електромагнітна хвиля є частково поляризованою, ортогонально поляризовані компоненти, якої на вході приймальної антени суднової РЛС не є повністю монохроматичними і не відповідають умовам неполяризованої хвилі. Параметри поляризаційної структури плоскої квазімонохроматичної частково поляризованої хвилі є випадковими функціями часу і простору. Тоді міру когерентності частково поляризованої хвилі у вигляді ступеня поляризації на основі теореми Стокса [10,11] можна отримати шляхом її поділу на повністю поляризований і неполяризований потоки. У неполяризованого електромагнітного поля плоскої хвилі повністю відсутній переважний напрямок її електричного вектору. У повністю поляризованого поля амплітуда електричного вектору не залежить від часу, що свідчить про повну когерентність його декартових проекцій. Однак, в загальному випадку для частково поляризованої хвилі її електричне поле є як частково поляризованим, так і частково когерентним в просторі.

Важливу роль при прийомі луна-сигналу частково поляризованої хвилі грає ступінь поляризації сумарного потоку, а також формування потоку випромінювання із заданими поляризаційними властивостями. Нехай навігаційний об'єкт, що спостерігається судновою РЛС, знаходиться в зоні випадаючих опадів. Луна-сигнали від навігаційного об'єкта і опадів, що випадають, формують два некорельованих частково поляризованих потоки. При цьому вектори сумованих і сумарного енергетичних потоків запишуться у вигляді матриць:

$$E^{(1)}(t)=\begin{vmatrix}E_1^{(1)}(t)\\E_2^{(1)}(t)\end{vmatrix}, \tag{2}$$

$$E^{(2)}(t)=\begin{vmatrix}E_1^{(2)}(t)\\E_2^{(2)}(t)\end{vmatrix}, \tag{3}$$

$$E(t)=E^{(1)}(t)+E^{(2)}(t)=\begin{vmatrix}E_1^{(1)}(t)+E_1^{(2)}(t)\\E_2^{(1)}(t)+E_2^{(2)}(t)\end{vmatrix}, \tag{4}$$

деE (t)-амплітудиортогонально поляризованих компонентелектромагнітної хвилі.

При практичному здійсненні поляризаційної селекції виникає необхідність у формуванні потоку випромінювання із заданою поляризацією. Для вирішення поставленого завдання антена суднової РЛС повинна бути з керованими параметрами електромагнітної хвилі на випромінювання, а складові потоки випромінювання порушуватися в антенної системі генератором випадкового шуму для створення неполяризована хвилі.

Узагальнимо параметричний опис поляризаційних властивостей плоских квазімонохроматичних хвиль за допомогою параметрів Стокса на випадок суми двох корельованих потоків випромінювання антеною суднової РЛС. Так як в реальних умовах радіолокаційного спостереження навігаційного об'єкта в зоні атмосферних опадів поляризація відбитої хвилі змінюється випадковим чином, і хвиля стає частково поляризованою, а її ступінь поляризації можна виразити також через енергетичні параметри Стокса. Електромагнітну хвилю на випромінювання і прийом представимо дійсними параметрами Стокса S_1, S_2, S_3, S_4 у вигляді дійсних матриць:

$$\left[M_{вип}\right]=\begin{bmatrix}S_{1вип}\\S_{2вип}\\S_{3вип}\\S_{4вип}\end{bmatrix},\ \left[M_{від}\right]=\begin{bmatrix}S_{1від}\\S_{2від}\\S_{3від}\\S_{4від}\end{bmatrix}, \tag{5}$$

де параметри Стокса на випромінювання і прийом електромагнітної хвилі представлені у вигляді наступних рівнянь:

$$\begin{aligned} S_{1вип} &= E_x^2 + E_y^2; \\ S_{2вип} &= E_x^2 - E_y^2; \\ S_{3вип} &= 2E_xE_y\cos\Phi_{xy}; \\ S_{4вип} &= 2E_xE_y\sin\Phi_{xy}; \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned} S_{1від} &= \left\langle E_x^2 \right\rangle + \left\langle E_y^2 \right\rangle; \\ S_{2від} &= \left\langle E_x^2 \right\rangle - \left\langle E_y^2 \right\rangle; \\ S_{3від} &= 2\left\langle E_xE_y\cos\Phi_{xy} \right\rangle; \\ S_{4від} &= 2\left\langle E_xE_y\sin\Phi_{xy} \right\rangle. \end{aligned} \tag{7}$$

Перші параметри Стокса S_1 в (6) і (7) представляють собою суми квадратів амплітуд ортогонально поляризованих компонент хвилі, тобто інтенсивності еліптично поляризованої хвилі, випромінюваної і прийнятої антеною суднової РЛС.

Другі параметри Стокса S_2 в (6) і (7) є різницею інтенсивностей ортогональних лінійно поляризованих компонент E_x і E_yелектромагнітної хвилі.

Третій і четвертий параметри Стокса S_3 і S_4в (6) і (7) визначають кореляцію між E_x і E_y. Для луна-сигналу параметри Стокса є усередненими$\langle\ \rangle$ за певний період часу.

Запишемо рівняння взаємозв'язку випромінюваної хвилі з відбиваючими властивостями радіолокаційного об'єму (навігаційний об'єкт в зоні атмосферних опадів) і прийнятої (відбитої) хвилі у вигляді трьох матриць:

$$\begin{bmatrix} S_{1від}(t) \\ S_{2від}(t) \\ S_{3від}(t) \\ S_{4від}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11}(t) & S_{12}(t) & S_{13}(t) & S_{14}(t) \\ S_{21}(t) & S_{22}(t) & S_{23}(t) & S_{24}(t) \\ S_{31}(t) & S_{32}(t) & S_{33}(t) & S_{34}(t) \\ S_{41}(t) & S_{42}(t) & S_{43}(t) & S_{44}(t) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_{1вип}(t) \\ S_{2вип}(t) \\ S_{3вип}(t) \\ S_{4вип}(t) \end{bmatrix} \tag{8}$$

або

$$\left[S_{від}(t)\right]=\left[M_p(t)\right]\cdot\left[S_{вип}(t)\right]. \qquad (9)$$

Матриця відбиваючих властивостей радіолокаційного об'єму є матрицею Мюллера $M_p(t)$, що складається з 16 дійсних коефіцієнтів:

$$\left[M_p(t)\right]=\begin{bmatrix} S_{11}(t) & S_{12}(t) & S_{13}(t) & S_{14}(t) \\ S_{21}(t) & S_{22}(t) & S_{23}(t) & S_{24}(t) \\ S_{31}(t) & S_{32}(t) & S_{33}(t) & S_{34}(t) \\ S_{41}(t) & S_{42}(t) & S_{43}(t) & S_{44}(t) \end{bmatrix}. \qquad (10)$$

При розгляді відбиваючих властивостейрадіолокаційного об'єму візьмемо круговий базис, в якому легко формуються лінійно поляризовані ортогональні компоненти хвилі в просторі з сполученими тимчасовими структурами, що дозволяє при запису матриць не вказувати тимчасову залежність їх коефіцієнтів.

Матриця розсіювання Мюллера є повною характеристикою розсіюючих властивостей навігаційного об'єкта і атмосферного утворення, тому що за допомогою її визначається поляризаційна структура спектра розсіяного сигналу при будь-якому спектральному складі поляризованої випромінюваної хвилі і будь-яких фіксованих умовах радіолокаційного спостереження.

Представлення радіолокаційного розсіюючогооб'єму матрицею Мюллера є універсальним, оскільки за допомогою цих матриць можна визначити розсіяний сигнал при будь-яких комбінаціях, що впливають на розсіювач сигналів, а самі матриці від цих впливів не залежать.

Запишемо матрицю Мюллера з урахуванням того, що радіолокаційний луна-сигнал атмосферного утворення має власний лінійний базис:

$$\left[M_p(t)\right]=\begin{bmatrix} S_{11від}(t)\, S_{12від}(t) \\ S_{21від}(t)\, S_{22від}(t) \\ S_{31від}(t)\, S_{32від}(t) \\ S_{41від}(t)\, S_{42від}(t) \end{bmatrix}. \qquad (11)$$

Для атмосферного об'єкта, що має власний лінійний базис, в матриці розсіювання (11) коефіцієнти $S_{12}(t) = S_{21}(t) = 0$, тобто матриця розсіювання запишеться у вигляді:

$$\left[M_{p(а.о.)}(t)\right] = \begin{bmatrix} S_{11від}(t) & 0 \\ 0 & S_{22від}(t) \\ S_{31від}(t) & S_{32від}(t) \\ S_{41від}(t) & S_{42від}(t) \end{bmatrix}. \quad (12)$$

При наявності в зоні радіолокаційного спостереження судновою РЛС тільки навігаційного об'єкта, що є об'ємним об'єктом, коефіцієнти матриці розсіювання $S_{11}(t) = S_{22}(t)$=0. Тоді матриця розсіювання (11) для навігаційного об'єкта запишеться у вигляді:

$$\left[M_{p(н.о.)}(t)\right] = \begin{bmatrix} 0 & S_{12від}(t) \\ S_{21від}(t) & 0 \\ S_{31від}(t) & S_{32від}(t) \\ S_{41від}(t) & S_{42від}(t) \end{bmatrix}. \quad (13)$$

При радіолокаційному спостереженні навігаційного об'єкта, що знаходиться в зоні атмосферного утворення, реалізується порогова процедура селекції навігаційного об'єкта від атмосферних утворень. При цьому досить випромінити сигнал тільки правої кругової поляризації, для якої матриця випромінюваної хвилі має вигляд:

$$\left[S_{вип}\right] = \begin{bmatrix} S_{1вип}(t) \\ 0 \\ 0 \\ S_{4вип}(t) \end{bmatrix}, \quad (14)$$

а матриця розсіювання навігаційного об'єкта, що знаходиться в зоні атмосферного утворення, в круговому базисі запишеться наступним чином:

$$\left[M_p(t)\right]=\begin{bmatrix} S_{11}(t) & 0 & 0 & S_{14}(t) \\ S_{21}(t) & 0 & 0 & S_{24}(t) \\ S_{31}(t) & 0 & 0 & S_{34}(t) \\ S_{41}(t) & 0 & 0 & S_{44}(t) \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Для виділення луна-сигналу навігаційного об'єкта з сумарного луна-сигналу (луна-сигнал навігаційного об'єкта і луна-сигнал атмосферного утворення) необхідно створити відношення коефіцієнтів матриці (15) $S_{11}(t)/S_{21}(t)$, тобто створити відношення потужності луна-сигналу основного каналу P_x до потужності луна-сигналу перехресного каналу P_y. При формуванні параметрів Стокса, на виході приймача суднової РЛС, селекцію навігаційного об'єкта можна здійснити за допомогою другого параметра Стокса:

$$S_2(t)=E_x^2-E_y^2=P_x-P_y. \quad (16)$$

Різницевий луна-сигнал і буде луна-сигналом навігаційного об'єкта, який подається на індикатор суднової РЛС або дисплей суднового комп'ютера для радіолокаційного спостереження навігаційного об'єкта. При цьому компенсується луна-сигнал атмосферного утворення і здійснюється нормування на компенсацію загасання луна-сигналу по трасі.

Висновки і перспективи подальших досліджень.

1 На підставі аналізу літературних джерел обґрунтована можливість поляризаційної селекції навігаційного об'єкта, що знаходиться в зоні атмосферного утворення, судновою РЛС.

2 Обґрунтовано методику використання матриці Мюллера для аналізу фізичних процесів взаємодії електромагнітної хвилі, випромінюваної і прийнятої антеною суднової РЛС при радіолокаційному спостереженні навігаційних об'єктів, які перебувають у складних умовах атмосферного середовища.

3 Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку радіолокаційної системи з поляризаційною селекцією луна-сигналів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1 Байрашевский А.М. Ничипоренко Н.Т. Судовые радиолокационные системы. – М.: Транспорт, 1982. – 311с.

2 Канарейкин Д.Б. Морская поляриметрия / Д.Б. Канарейкин, В.А. Потехин, Н.С. Шишкин. -Л.: Судостроение, 1968. – 328с.

3Абрамов В.В. Электромеханическая модель помехи от гидрометеоров /В.В. Абрамов // Вопросы радиоэлектроники,вып. 15, 1981. – С. 92-97.

4 Бартон Д.К. Модели мешающих отражений от земной поверхности для анализа и проектирования РЛС/ Д.К. Бартон//ТИИЭР. - 1985. - Т.73, №2. - С.27-35.

5 Красюк Н.П. Влияние тропосферы и подстилающей поверхности на работу РЛС / Н.П. Красюк, В.Л. Коблов, В.Н. Красюк. -М.: Радио и связь, 1988.-213 с.

6 Корбан В.Х. Поляризаційна селекція хмар і опадів / В.Х. Корбан . – Одеса, 2004. – 248 с.

7 Поздняк С.И. Введение в статистическую теорию поляризации радиоволн / С.И. Поздняк, В.А. Мелитицкий. – М.: Изд-во «Советскоерадио», 1974. – 480 с.

8 Канарейкин Д.Б. Поляризация радиолокационных сигналов / Д.Б. Канарейкин, Н.Ф. Павлов, В.А. Потехин. -М.: Советское радио, 1966. – 440с.

9 Брылев Г.Б. Влияние ослаблениярадиоволн на размеры площади радиоэха зон осадков/Г.Б.Брылёв, Ю.Г.Плещеев, В.Д.Степаненко, Г.Ф. Шевела.— В кн.: Радиолокационная метеорология. Л.: Гидрометеоиздат, 1981. -С. 59—63.

10 Теоретические основы радиолокации; [под ред. В.Е. Дулевича]. – М.: «Советское радио», 1978. – 607 с.

11 Справочник по радиолокации. Том 4. Перевод с английского под редакциейМ.М.Вейсбейна. М.: «Советское радио», 1978. – 374 с.

10.31653/smf340.2020.88-94

Солодовніков В. Г.
Національний університет «Одеська морська академія»

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ ШЛЯХОМ КАВІТАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ПАЛИВА

Постановка проблеми в загальному вигляді. Завдання підвищення енергоефективності та економічності суднових енергетичних установках (СЕУ) розв'язується не тільки за рахунок зростання циліндрової потужності і зниження питомої витрати палива, але й за рахунок використання в суднових двигунах внутрішнього згоряння (ДВЗ) палив підвищеної в'язкості. Традиційно подібні палива використовувалися в малообертових дизелях (МОД), що характеризуються підвищеним часом, відведеним на впорскування палива в циліндр, його самозаймання та подальше згоряння. На даний час високов'язкі палива використовуються і в (СОД), що мають більш короткі фази сумішоутворення і згоряння. При цьому (через зсув процесу згоряння на лінію розширення) можливе погіршення технічного стану та експлуатаційних характеристик дизеля. Це підвищує актуальність розв'язання завдань щодо забезпечення якісної підготовки палива для подібного класу дизелів [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання важких палив у суднових дизелях викликало ряд проблем, основними з яких є підвищені зноси деталей циліндропоршневої групи і паливної апаратури, нагар на всіх елементах дизеля, що контактують з продуктами згоряння, збільшення кількості відходів під час паливопідготовки. Розв'язання завдання щодо зниження сірчистого зносу деталей двигунів на даний час повністю виконано для МОД, які мають окрему циліндрову систему змащування. При цьому залишається лише знайти оптимальне співвідношення між вмістом сірки в паливі і змістом лужних присадок у мастилі. Суднові СОД мають загальну циркуляційну систему змащування, застосування мастил з підвищеним вмістом лугу в даному випадку недоцільно як з економічних причин (у зв'язку з їхньою високою вартістю), так і з огляду на їх гірші експлуатаційні параметри (зокрема меншої здатності чинити опір нормальним навантаженням) [2] . Тому для СОД єдиним способом боротьби з наслідком застосування сірчистого палива є його додаткова обробка перед подачею в циліндр, що

сприяє згодом зниженню сірчистого зносу [3]. При цьому необхідно враховувати, що вирішення проблеми з видалення сірчистих домішок із палива повинно бути комплексним, тому що будь-яка фізична дія на паливо призводить до зміни практично всіх його компонентів.

Постановка завдання. Таким чином, незважаючи на широкий спектр наукових досліджень, що спрямовані на розв'язання завдання з підвищення ефективності використання в СЕУ важких палив, існує невирішена проблема, якою є експлуатація суднових СОД на паливах з підвищеною в'язкістю та максимально можливим вмістом сірчистих сполук [4].

Виклад основного матеріалу дослідження. Для успішного застосування в'язких, високо-сірчистих палив у суднових СОД необхідне розв'язання комплексу організаційно-технічних завдань від прийому палива на борт судна до його спалювання в циліндрі дизеля. Система паливопідготовки повинна забезпечувати захист дизеля під час його роботи з використанням сірчистих паливах на всьому діапазоні експлуатаційних режимів.

Одним із методів паливопідготовки, що сприяє зменшенню шкідливого впливу сірки на деталі ДВЗ, є кавітаційна обробка палива ультразвуком. Одним із варіантів застосування кавітаційної обробки палива є дообладнання штатних систем паливопідготовки додатковими модулями, які здійснюють цей процес [5]. Таким модулем була доукомплектована система паливопідготовки суднових СОД 6VDS18, що мають номінальну потужність 390 кВт при частоті обертання колінчастого вала 750 об/хв та у кількості трьох штук складають суднову допоміжну енергетичну установку. Кожний дизель забезпечений автономною системою подачі палива, що дає можливість проводити дослідження для окремого дизеля з паливом, яке пройшло різні етапи підготовки [6]. Паливна система одного з двигунів не піддавалася перекомплектації та експлуатувалася в «штатному» стані, при цьому даний дизель приймався за «контрольний». Паливо до двох інших дизелів подавалося після додаткової кавітаційної обробки. Під час проведення експерименту дизелі експлуатувалися на паливі HFO380. Фрагмент ділянки з дообладнання паливної системи дизелів показаний на рис. 1 [7].

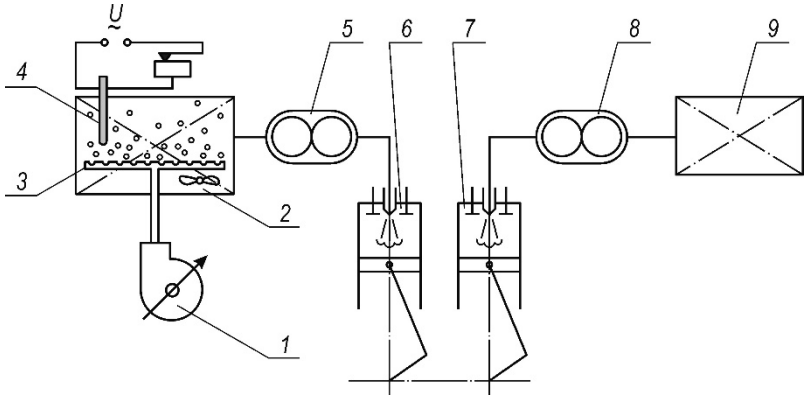


Рис. 1. Схема дообладнання системи подачі палива до двигунів (фрагмент):1 – повітряний компресор; 2, 9 – паливні цистерни; 3 – повітряна магістраль;4 – ультразвукова установка; 5, 8 – паливні насоси; 6, 7 – двигуни

Двигун 7 був «контрольним» та експлуатувався в «штатному» режимі, при цьому паливо, пройшовши стандартну процедуру підготовки, подавалося до нього насосом 8 з цистерни 9. Двигуни 6 були «експериментальними». Паливо до них подавалося насосом 5 з цистерни 2, в якій паливо піддавалося впливу ультразвукових хвиль за допомогою генератора УЗГ-5М з магнітострикційним випромінювачем. При цьому для посилення кавітаційних явищ у нижній частині однієї з цистерн була прокладена додаткова повітряна магістраль 3, нагнітання повітря до якої здійснювалося повітряним компресором 1. При цьому бульбашки повітря, що потрапляють в об’єм палива, були додатковими джерелами кавітаційних зон. Ультразвукова установка 4 експлуатувалася в режимі I=0,4 А із застосуванням магнітострикційного випромінювача в 22 кГц. Дані величини були визначені в попередніх лабораторних дослідженнях і забезпечували найкращі дисперсні показники палива. У паливній цистерні 2, в якій відбувалася ультразвукова обробка палива, додатково встановлювався лопатковий змішувач, що забезпечувало однорідність палива в повному обсязі [8].

Для забезпечення ідентичності експерименту для всіх дизелів проводилася їх попередня підготовка до випробувань. Умови експлуатації дозволяли послідовно протягом 40 годин виконати повну моточистку зазначених дизелів. При цьому на всіх дизелях замінювалися поршнева група (поршні і поршневі кільця) й основні елементи паливної системи високого тиску (прецизійні пари

паливного насоса високого тиску плунжер – втулка і голка – розпилювач форсунки).

Протягом усього часу проведення експерименту здійснювався контроль часу роботи та експлуатаційного навантаження на дизелі. Для досягнення рівномірного розподілу часу роботи дизелів двигуни послідовно переводилися в режим stand-by. Відповідно до технології проведення експерименту різниця в часі роботи дизелів, а також в експлуатаційних навантаженнях на двигуни не перевищувала 4 %, що, з огляду на енергоємність об’єктів, дозволяло вважати умови їх роботи ідентичними. Експлуатація двигунів проводилася на одному й тому ж сорті палива. При цьому засоби автоматичного контролю підтримували в’язкість палива незмінною протягом усього експерименту. Також ідентичним підтримувався сорт циркуляційного мастила, що забезпечує режими змащування, і його експлуатаційні характеристики. Дані заходи дозволили вважати, що виконання експерименту проходить в однакових умовах. Завданням дослідження було визначення зносу циліндрових втулок і верхнього поршневого кільця для «стандартного» палива і палива, що піддалося додатковій кавітаційної обробці. 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 суттєво скорочувало час монтажних робіт, який обмежувався умовами експлуатації. З цих же причин дослідження виконувалися після 170, 360, 580, 780, 1010 годин роботи двигунів. За отриманими даними побудовані номограми (рис. 2), що характеризують зниження зносу розглянутих деталей під час використання додаткової ультразвукової кавітаційної обробки палива.

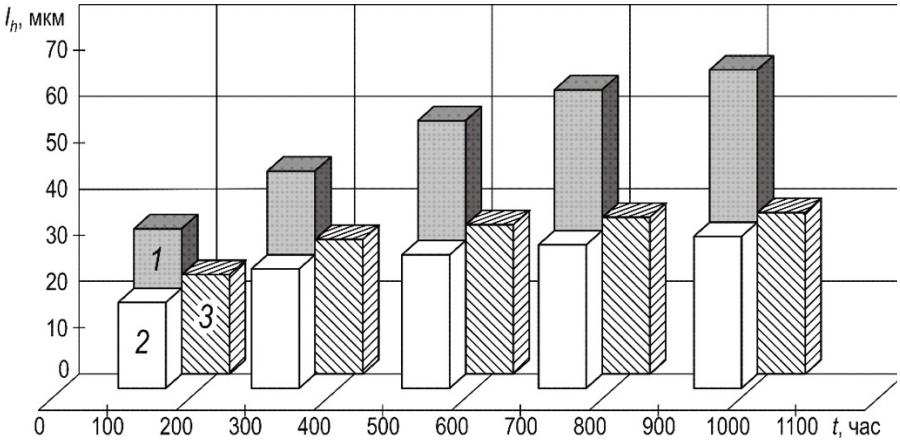


Рис. 2. Знос циліндрових втулок суднового СОД6VDS18 за різних умов експлуатації: 1 – «контрольний» дизель, експлуатація у «штатному стані;

2 – «експериментальний» дизель, експлуатація за умови кавітаційної обробки палива; 3 – «експериментальний» дизель, експлуатація за умови кавітаційної обробки палива з додатковою подачею повітря до зони кавітації

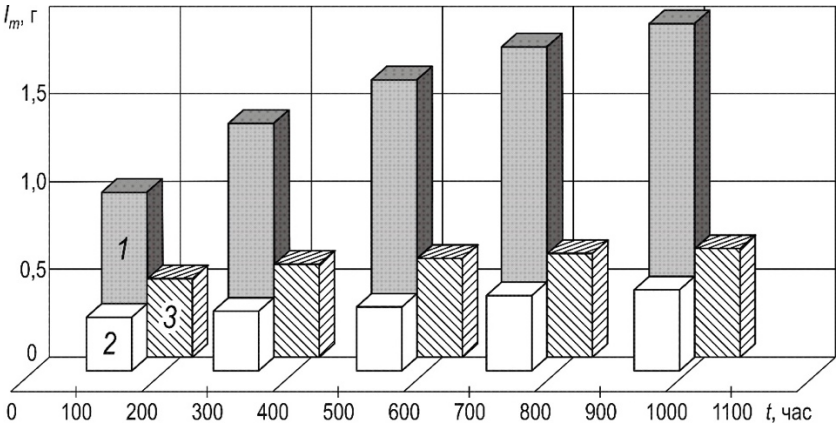


Рис. 3. Знос поршневих кілець суднового СОД6VDS18 за різних умов експлуатації:1 – «контрольний» дизель, експлуатація у «штатному стані; 2 – «експериментальний» дизель, експлуатація за умови кавітаційної обробки палива; 3 – «експериментальний» дизель, експлуатація за умови кавітаційної обробки палива з додатковою подачею повітря до зони кавітації

Висновки та перспективи подальших досліджень. Проведені експериментальні дослідження свідчать про те, що додаткова кавітаційна обробка високов'язкого палива (які можливо проводити як у паралельному, так і в послідовному варіанті) сприяють зниженню в 3,2...4,7 рази сірчистого зносу поршневих кілець і циліндрових втулок дизеля. При цьому найбільше зниження цього параметра спостерігається для поршневих кілець, що особливо актуально, враховуючи важливість даного вузла в забезпеченні не лише якісного перебігу процесів стиснення, згоряння і розширення, але й також надійності роботи трибосполучення поршень-втулка циліндра.

Використання кавітаційної обробки палива доцільно виконувати в сукупності зі стандартними методами паливопідготовки шляхом доповнення штатних схем спеціальним обладнанням. Оптимальні режими роботи цього обладнання визначаються попередніми дослідженнями, які (за умови розробки відповідних технологічних карт) можуть бути виконані безпосередньо судновою машинною командою.

СПИСОКВИКОРИСТАНОЇЛІТЕРАТУРИ

1. Zablotsky Yu. V. Enhancing Fuel Efficiency and Environmental Specifications of a Marine Diesel When using Fuel Additives / Yu. V. Zablotsky, S. V. Sagin // Indian Journal of Science and Technology, Published by Indian Society of Education and Environment. – December 2016. – Vol. 9. – Iss. 46. – P. 353-362. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i46/107516.

2. Сагин С. В. Определение триботехнических характеристик поверхностей по степени упорядоченности пристенных слоев углеводородных жидкостей / С. В. Сагин, Ю. В. Заблоцкий // Проблеми техніки : наук.-виробн. журнал, 2011. – № 3. – Одесса : ОНМУ. – С. 78-88.

3. Заблоцкий Ю. В. Исследование влияния органических покрытий на работу элементов топливной аппаратуры высокого давления судовых дизелей/ Ю. В. Заблоцкий // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2015. – № 35. – Одесса: НУ ОМА. – С. 83-92.

4. Лейбович Л. Растворимость водорода в смесях жидких топлив при атмосферном давлении / Л. Лейбович, Ю. Евстегнеева // Modern Engineering and Innovative Technologies. – 2017. – № 3(05-03). – P. 46-50. https://doi.org/ 10.30890/2567-5273.2018-05-03-032

5. Поповский А. Ю. Оценка эксплуатационных свойств смазочно-охлаждающих жидкостей судовых технических средств / А. Ю. Поповский, С. В. Сагин // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сборник. – 2016. – Вып. 22. – С. 66-74.

6. Поповский А. Ю. Оценка эксплуатационных свойств смазочно-охлаждающих жидкостей судовых технических средств / А. Ю. Поповский, С. В. Сагин // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сборник. – 2016. – Вып. 22. – С. 66-74.

7. Сагин С. В. Применение ультразвуковой обработки топлива для снижения сернистого износа двигателя / С. В. Сагин, Солодовников В. Г. // Технические науки – от теории к практике. Сб. ст. по материалам XXXV междунар. науч.-практ. конф. № 6 (31). – Новосибирск : «СибАК», 2014. – С.42-48.

8. Sagin S. V. Estimation of Operational Properties of Lubricant Coolant Liquids by Optical Methods / S. V. Sagin, V. G. Solodovnikov // International Journal of Applied Engineering Research. – 2017. – Vol. 12. – Num. 19. – P. 8380-8391.

10.31653/smf340.2020.95-102

Демідова Н.П.
Національний університет «Одеська морська академія»

ВИРОБНИЦТВО ТА ЗБЕРІГАННЯ ВОДНЮ

Анотація: у статті розглянуто основні способи отримання водню, із зазначенням їх переваг і недоліків. Розкрито проблематику методів зберігання водню, що пов'язані з його фізико-хімічними властивостями. Представлені найбільш перспективні способи отримання і зберігання водню із зазначенням переваг подальших досліджень в обраних методах.

Ключові слова: водень, отримання водню, зберігання водню, воднева енергетика.

Abstract: in the article I consider the main methods of obtaining hydrogen, indicating their advantages anddisadvantages. The problems of hydrogen storage methods, connected with its physical and chemical properties, are disclosed. The most promising ways of producing and storing hydrogen are presented, indicating the advantages of further research in the selected methods.

Keywords: hydrogen, hydrogen production, hydrogen storage, hydrogen energy.

Анотація: в статье рассмотрены основные способы получения водорода, с указаниемих преимуществ и недостатков. Раскрыта проблематика методов хранения водорода, которые связаны с его физико-химическими свойствами. Представлены наиболее перспективные способы получения и хранения водорода с указанием преимуществ дальнейших исследований в выбранных методах.

Ключові слова: водород, получение водорода, хранение водорода, водородная энергетика.

Водень, як універсальний носій енергії, здавна був привабливим своєю екологічною чистотою, гнучкістю та ефективністю. Сьогодні технології виробництва водню різного ступеня, з практично необмеженою сировинною базою, є досить хорошими. Однак переважна більшість фізичних та хімічних властивостей водню значно перешкоджає розвитку енергії водню. До таких властивостей відносяться: низька густина газоподібного водню, низька температура зрідження,

висока вибухонебезпечність з несприятливим впливом на властивості конструкційних матеріалів [1,2].

Розглянемо основні методи отримання водню:електроліз, реформінг, газифікація, термохімічні цикли, біологічне виробництво.

Виробництво водню шляхом розкладання води під дією електричного струму називається *електролізом*. Перевагами цього способу виробництва є наступні: добре налагоджена і комерційно доступна технологія; ретельно вивчений промисловий процес, придатний для отримання водню з відновлюваних джерел енергії (наприклад, сонячної), що забезпечує повторюваний характер деяких поновлюваних джерел енергії; висока чистота готового продукту. Однак цей метод реалізується з високими витратами на енергію. Крім того, існує конкуренція при прямому використанні відновлюваної електричної енергії [3].

Наступним, добре вивченим, широко застосовуваним способом виробництва водню є *реформінг* (стаціонарний та транспортний) теплове розкладання вуглеводневого палива паром. Перевагою цього методу є низька вартість продукту з природного газу. Однак у цього методу є і свої недоліки, і досить значні дрібномасштабні пристрої не мають комерційної цінності, кінцевий продукт містить домішки; деякі програми вимагають очищення газу; викиди вуглекислого газу; первинне паливо можна використовувати безпосередньо [3].

Газифікація – розкладання важких вуглеводнів та біомаси для подальшої трансформації водню та газів. Ця технологія була широко вивчена для великих вуглеводнів у великих масштабах, вона використовується для твердого та рідкого палива, також було продемонстровано газифікацію біомаси. Цей метод також має свої недоліки: процес не вивчений повністю;невеликі пристрої рідкісні; кінцеві продукти вимагають інтенсивного очищення перед використанням; біомаса використовується як добриво; конкуренція з синтетичними паливами з біомаси.

Виробництво водню за допомогою *термохімічних циклів*, що використовуютьдешеве високотемпературне тепло ядерних реакторів або концентрованої сонячної енергії, має ряд переваг: принципово можливо отримати великі об’єми водню за низькою вартістю та без викидів парникових газів для важкої промисловості і транспорту. Існує міжнародна співпраця в галузі досліджень, розробок та впровадження, але цей процес синтезу є складним і все ще не має комерційної цінності, він вимагає тривалого дослідження матеріалів

(близько 10 років), удосконалення хімічних технологій; вимагає ядерного реактора високої температури або сонячних концентраторів.

*Біологічне виробництво*водню [4] ще вивчається. Цей спосіб виробництва заснований на здатності водоростей та бактерій виробляти водень за певних умов. Звичайно, це може бути чудовим ресурсом, але основні питання: низький рівень накопичення водню з-за малої швидкості; для цього потрібні великі площі; найбільш зручні об'єкти ще не виявлені. Дослідження біологічного виробництва ще тривають.

Детальне вивчення матеріалів методів синтезу водню показало, що використання атомної енергії є дуже перспективним для її майбутнього масового виробництва. У цьому випадку розглядаються два основні методи: використання надлишкової ядерної енергії атомних електростанцій у нічнийчас для накопичення водню, отриманого за допомогою електролізу;використання высокотемпературних реакторів з газовим або металевим теплоносієм для виробництва воднюу процесі термічних циклів. Остання технологія є найбільш економічно вигідною. Концепція, розроблена в СРСР на початку 1970-х років, широкого використання водню, отриманого з води за допомогою ядерних реакторів, отримала назву атомно-водневоїенергетики [5,6].

При отриманні водню в лабораторіях вибирають ті вихідні продукти, водень з яких виділяється найлегше. Здебільшого водень в лабораторіях отримують електролізом водних розчинів KOH або NaOH. На виготовлення електродів йде зазвичай листовий нікель, бо він не піддається корозії при зануренні в розчин лугу. Концентрацію цих розчинів підбирають відповідно до максимального показника їх електропровідності (34% для KOH і 25% для NaOH).

Дисоціація KOH:

$KOH = K^+ + OH^-$

$H_2O \rightleftarrows H^+ + OH^-$

Відомо, що в разі водних розчинів спостерігається конкуренція між іонами розчиненої речовини і води за процес окислення і відновлення. Катіони, що стоять у ряді напруг від літію до алюмінію рухаються до катода, але не відновлюються на катоді, так як йде відновлення води; на аноді йде окислення іона гідроксилу.

Кат(-):$2H_2O + 2e = H_2\uparrow + 2OH^-$

Ан(+):$4OH^- - 4e = O_2\uparrow + 2H_2O$

Сумарне рівняння процесу:

$2KOH + 2H_2O \rightarrow$(електроліз) $\rightarrow 2KOH + 2H_2\uparrow + O_2\uparrow$

Якщо, наприклад, V(ан) = 11,2 л, то хімічна кількість газу (O_2) на аноді:

$n(O_2) = Van/Vm = 11,2/22,4 = 0,5$ (моля).

За рівнянням реакції хімічна кількість газу (H_2) на катоді вдвічі більша, ніж хімічна кількість газу (O_2) на аноді.

$n(H_2) = 2 \cdot n(O_2) = 2 \cdot 0,5 = 1$(моль);

$M(H_2) = 2 \cdot 1 = 2$ (г/моль);

Маса водню:$m(H_2) = n(H_2) \cdot M(H_2) = 2 \cdot 1 = 2$ г.

Отримання водню або його виділення в лабораторних умовах можна охарактеризувати за допомогою наступних реакцій:

1) При дії кислот на метали (кислота розбавлена). Зазвичай використовують цинк в гранулах і 20-30%-ий розчин сірчаної кислоти, з додаванням 2-3 зерняток мідного купоросу для прискорення реакції, яку проводять, як правило, в апараті Кіппа. Чистота водню обумовлена чистотою вихідних продуктів. У водні можуть бути присутніми сліди домішок сірководню, азоту, для видалення яких водень піддають додатковому очищенню. Можна застосовувати замість цинку залізо, наприклад, у вигляді стружки, або інші метали. Замінювати сірчану кислоту на соляну небажано, бо водень буде притягувати хлористий водень. Для реалізації цієї реакції зазвичай використовують цинк і сірчану кислоту. Нижче наведено рівняння для реакції з застосуванням сірчаної кислоти:

$Zn + H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + H_2\uparrow$

2) При взаємодії кальціюі води:

$Ca + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + H_2\uparrow$

3) При гідролізі гідридів, при якому гідриди металів легко розкладаються водою, утворюючи відповідну лугуі водень, наприклад, при гідролізігідриду натрію:

$NaH + H_2O \rightarrow NaOH + H_2\uparrow$

4) При дії на алюміній або цинк лужних розчинів. Отриманий даним способом водень має високий ступінь чистоти. Листовий або амальгований алюміній або алюмінієвий дріт нарізають дрібними шматочками і занурюють в апарат Кіпап, заповнений 10-15% -им розчином лугу.

$2Al + 2NaOH + 6H_2O \rightarrow 2Na[Al(OH)_4] + 3H_2\uparrow$

$Zn + 2KOH + 2H_2O \rightarrow K_2[Zn(OH)_4] + H_2\uparrow$

5) В ході електролізу водних лужних розчинів або розчинів кислот на катоді також відбувається виділення водню, наприклад:

$2H_3O^+ + 2e^- \rightarrow 2H_2O + H_2\uparrow$

Катіони металів з низьким показником електродного потенціалу не відновлюються на катоді, вони залишаються в розчині,а на катоді ж йде електрохімічний процес відновлення водню з молекул води.

6) При електролітичному способі розкладання води:

$2H_2O = 2H_2 + O_2$

Вода в своєму чистому вигляді майже зовсім не проводить струм, тому до неї додають електроліти, наприклад, КОН. В ході електролізу на катоді спостерігаємо за виділенням водню, а на аноді, відповідно – кисню. В даному методі кисень є продуктом побічним, і виділяється він в тій же кількості. Кисень легко видаляється при пропущенні газу через певні каталізатори, водень же, одержуваний електролізом води, являє собою досить дорогий продукт.

7) При взаємодіїводяної париіфіолетового фосфору:

$2P + 8H_2O = 2H_3PO_4 + 5H_2$

Пари фосфору від відновлення в електричній печі фосфату кальцію пропускають над каталізатором з водяною парою при температурі 400-600 °С. Даним методом, як і при зріджуванні (фракційному) коксового газу, отримують водень, який йде на синтез аміаку.

8) Водень отримують розкладанням метану, однак це вимагає наявності високої температури. Крім водню, побічним продуктом буде сажа, що знаходить також широке застосування в промисловому секторі:

$CH_4 = C + 2H_2$

У промисловості є й інші способи, які реалізуються в процесах отримання водню: електроліз водних розчинів солей, взаємодія води з металами, окислення киснем метану (при присутності каталізаторів) і деякі інші. Вихідними сировинними продуктами для виробництва водню можуть бути сміття і навіть біологічні відходи[3, 4].

Стадія зберігання водню являє собою проміжну ланкув його життєвому циклі від виробництва до споживання. Одним з найважливіших технологічних питань енергетики водню є розробка найбільш економічно-ефективних методів зберігання водню.

Як правило, водень зберігається в трьох агрегатних станах: зрідженому, абсорбованому або стисненому. Основні питання, які

необхідно вирішити при розробці технологій зберігання водню, зводяться для забезпечення їх безпеки та рентабельності, які безпосередньо пов'язані з хімічними та фізичними властивостями водню.

До найбільш поширених фізичних методів зберігання водню [3,7], що використовують фізичні процеси (стиснення і зрідження) для переведення газу водню в компактний стан, входять: для стисненого водню - газові балони, стаціонарні масивні контейнери для зберігання (резервуари), трубопроводи; рідкий водень: стаціонарні та транспортні кріогенні контейнери.

До найбільш поширених хімічних методів зберігання водню [3,7], які забезпечуються фізичними або хімічними процесами його взаємодії з матеріалами, відносяться: адсорбція - поглинання газів поверхневимшаром рідини або твердого тіла (активоване вугілля, вуглеводневі наноматеріали);абсорбція – об'ємне поглинання матеріалу (металеві гідриди); методи, засновані на хімічній взаємодії сплавів на водній основі на основі алонатів, фулеренів та органічних гідратів, аміаку, губчатого заліза, алюмінію та кремнію.

Найбільш перспективними методами зберігання водню на сьогоднішній день є:метод з використанням вуглецевих нанотрубок [8]; методзберігання водню в абсорбованому стані [3].

На думку вчених [8], використання вуглецевих нанотрубок може вирішити багато проблем зберігання водню. Такі вуглецеві матеріали, як нановолокна і нанотрубки, досить легкі, мають порожнисту структуру і, отже, можуть використовуватися як контейнер для зберігання водню при збереженні його густини в газоподібному стані. Водень здатний повільно вивільнюватися з наноматеріалів підчас їх нагрівання. Довжина нанотрубок може становити кілька сантиметрів, а діаметр – лише кілька десятків нанометрів. Нанотрубки складаються із згорнутих у трубку однієї або декількох шестикутних графітових площин (графенів) закінчуються в «півсферичній» головці, яку можна розглядати як половину молекули фуллерена [9].

Дослідники з лабораторії Лоуренса у Берклі (лабораторія Берклі) придумали ідеальне рішення для зручного зберігання водню. Вони створили досить недорогий нанокомпозит, здатний поглинати водень з високою швидкістю і повертати його при помірному нагріванні. Більше того, метал, що міститься в композиті, не окислюється і не руйнується з часом.Дуже важливим аспектом є те, що якщо ця ро-

зробка лабораторії в Берклі досягне конвейєра, вона має бути добре сприйнята в енергетичній та транспортній галузях.

Раніше вже були запропоновані у якості ефективних контейнерів для зберігання водню вже пропонувалися металеві гідрати з широким діапазоном вібрацій, а також такі екзотичні матеріали, як полімерна піна або, наприклад, сполуки аміаку, але жоден варіант не став масовим.

EurekAlert повідомляє: новий матеріал складається з великої кількості наночастинок металевого магнію, які рівномірно розподілені по поверхні матриці з поліметилметакрилата. Полімерна матриця гальмує кисень і водяну пару, але при цьому пропускає водень до магнію і випускає його за необхідністю.

Як показують багато досліджень, метод утримання водню в абсорбованому стані є дуже перспективним. Однак більшість сорбційних матеріалів можуть поглинати до 7-8% водню в масовій частці. Тому актуальність розробки шляхів підвищення цього показника є важливим питанням для дослідників у цій галузі.

Значних успіхів у підвищенні сорбційної здатності досягли А/ Філліпс (AdamPhillips) та Б. Шиварам (BellaveShivaram). Вони змогли описати процес синтезу композитного матеріалу на основі металевого титану, в якому поглинаюча здатність досягає 12,4% маси водню. Дослідники наголошують, що їх робота є лише першим кроком у цьому новому напрямку. Поки їм вдалося отримати лише мономолекулярний шар нового матеріалу, і поки не ясно, як із титанової сполуки десорбувати (вивільнити) водень. Як повідомляє Physics World,також необхідно продовжувати пошук нових сполук титану з іншими органічними молекулами (бензол та інші циклічні сполуки).

ВИСНОВОК: пошук методів виробництва водню і, здебільшого, методів зберігання є перспективним напрямком у вивченні цієї проблеми.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Лупачев, Д.А. Хранение водорода (получение и хранение) /Д.А. Лупачев, М.И. смирнов. – М.: Проблемы науки: наука, техника и образование, 2018. – С.73-78.

2. *ГладышеваМ.А.*Доклад«Хранениеводорода»/М.А.Гладышева[Электронныйрес

урс]//Конференция «Старт в науку» МФТИ, 2004. Режим доступа: http://mirznanii.com/a/188820/khranenie-vodoroda/
3. *Levin D.V.* Biohydrogen production: prospects and limitations to practical application/ D.V. Levin, L. Pitt,M. Love. // International Journal of Hydrogen Energy. 2004. V. 29. P. 173-185.
4. *Пономарев-Степной Н.Н.* Атомно-водородная энергетика – пути развития/ Н.Н. Пономарев-Степной, А.Я. Столяревский// «Энергия» № 1, 2004. С. 3-9.
5. *Легасов В.А.* Атомно-водородная энергетика (прогноз развития)/ В.А. Легасов, Н.Н. Пономарев-Степной, А.Н. Проценко и др.// Вопросы атомной науки и техники. Серия Атомно-водородная энергетика, в.1, 1976. С. 5-34.
6. Методы хранения водорода в углеродных нанотрубках [Электронный ресурс]/ XII Международная конференция студентов и молодых ученых «перспективы развития фундаментальных наук» –
7. Режим доступа: http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/19169/1/conference_tpu-2015-C21-089.pdf (дата обращения 09.05.2018).
8. *Ажажа В.М.* Материалы для хранения водорода: анализ тенденций развития на основе данных обинформационных потоках / В.М. Ажажа, М.А. Тихоновский, А.Г. Шепелев и др. // Вопросы атомной науки и техники №1 НАЦ «Харьковский физико-технический институт» г.Харьков, Украина; 2006. С. 145-152.
9. Los Alamos National Laboratory (2004, September 17). Laboratory Grows World Record Length Carbon Nanotube. ScienceDaily. Retrieved December 18, 2013 [Электронный ресурс].
10. Режим доступа: http: // www.sciencedaily.com/releases/2004/09/040917091336.htm/ (дата обращения 10.05.2018).
11. *Елецкий А.В.* Углеродные нанотрубки и их эмиссионные свойства / А.В. Елецкий // Успехифизических наук. Т. №4, 2002. С. 172.

10.31653/smf340.2020.103-108

Козьміних М.А., ЧепільО.О.
Національний університет «Одеська морська академія»

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ЕТАНУ В ЯКОСТІ ПАЛИВА СУДНОВИХ ДВИГУНІВ

Посилення екологічних норм і зростання цін на традиційні види суднового палива є основними рушійними силами для використання природного газу як палива на водному транспорті. Найбільший екологічний збиток від викидів шкідливих речовин, що утворюються в камері згорання поршневих двигунів, доводиться на оксиди азоту (NOx), основну масу яких складає моноксид азоту (NO) [1]. Застосування природного газу дозволяє практично повністю виключити викиди сірки, істотно скоротити викиди оксидів азоту і вуглецю, а також твердих часток.

За оцінками класифікаційного співтовариства DNV-GL до 2020-го року розмір газоходних флоту збільшиться до 1000 суден [2].

Спочатку газове паливо на водному транспорті знайшло практичне застосування на метановозах, де безперервно випаровується вантаж, який доцільно використовувати як паливо енергетичної установки. Однак, існує принципова різниця використання природного газу в якості палива на метановозах, де в основному використовують пари вантажу, і на газоходах, де СПГ відбирають з нижньої частини танка, а потім газифікують.

На сьогоднішній день реалізовані дві технології спалювання газового палива в суднових малооборотних двигунах, які зручно класифікувати по тиску подачі газу в циліндр.

Подача газу під високим тиском здійснюється при положенні поршня поблизу верхньої мертвої точки (ВМТ) і реалізована в двигунах MAN B & W серії ME-GI (marine electronic gas injection). Подача здійснюється через дві окремі газові форсунки, розташовані в кришці циліндра. Для досягнення критичного перепаду тисків на газовій форсунки і в камері згоряння (КС) тиск в газопроводі має становити 150-250 кгс/см2 (в залежності від навантаження). Температура кінця такта стиснення складає 500-600°С, що є недостатнім для надійного запалення метану, з огляду на його високу температуру самозаймання (600°С), у зв’язку з чим перед подачею газового палива необхідна подача малої дози запального палива.

Технологія подачі газу під низьким тиском заснована на спалюванні збіднених газоповітряних сумішей та реалізована в двигунах Wärtsilä XDF і RT-flexDF. Газ подається в циліндр, за допомогою двох гідравлічно керованих форсунок, розташованих в «середній» частині втулки циліндра. В кінці такту стиснення газоповітряна суміш запалюється за допомогою форкамерного упорскування малої дози запального палива. З огляду на стиснення газоповітряної суміші двигуни схильні до детонаційного режиму горіння. Тому ступінь стиснення в двигуні знижена.

Згідно з Міжнародним кодексом з безпеки для суден, що використовують гази або інші види палива з низькою температурою спалаху, який набув чинності з 01.01.17 [4] танки запасу СПГ на борту газоходів можуть бути класу А, В, С (за класифікацією кодексу МКГ) або мембранними.

Для двигунів з низьким тиском подачі газу досить відцентрового криогенного насоса і випарника низького тиску, тоді як для двигуна з високим тиском необхідний насос високого тиску (НВД) плунжерного типу і відповідний випарник. Перевага системи низького тиску подачі газу в цьому випадку полягає в менших енергетичних витратах на стиск парів СПГ, в той час як для двигунів з високим тиском подачі газу необхідний багатоступінчастий компресор високого тиску поршньового типу [5].

Можливий перехід з метану на етан в якості палива вплине на більшість частин вантажно-паливної системи, що обумовлено властивостями розглядаємих речовин (таб.1).

Виробники газових двигунів використовують так зване метанове число для конкретизації вимог до якості газу. МЧ характеризує робочу тенденцію певного газу при використанні в газовому двигуні, що працює в процесі горіння. Чим менший МЧ газу, тим більш чутливим буде газ до процесу горіння.

Таблиця 1 - Порівняння властивостей метану та етану

	Метан CH_4	Етан C_2H_6
1.Температура кипіння (1бар, ^oC)	-161.5	-88.63
2.Густина та агрегатний стан(газ,0^oC)	0.717	1.35
3. Густина та агрегатний стан (рід.,1бар)	422	526
4.Критичний тиск (бар)	46.41	47.83
5.Критична температура (^oC)	-82.45	32.3
6.Температура самозаймання (^oC)	537	472

Необхідною умовою для забезпечення повної потужності двигуна, є здатність газоповітряної суміші протистояти тискувсередині камери згоряння, без попереднього запалювання, оскільки це породжує явище, відоме як «стукання», яке може спричинити шкідливі наслідки для двигуна.МЧ чистого метану становить 100, тоді як МЧ етану дорівнює приблизно 43. Це робить етан природним чином більш чутливим до згаданого явища, ніж метан. Отже, щоб підтримувати постійний запас до його виникнення, при спалюванні етану необхідна робота двигуна при меншому навантаженні, ніж при використанні метану.

Можливість використання етану як палива відповідає стандартам IMO Tier III без необхідності застосуваннятаких пристроїв як EGR або SCR, використовуючи при цьому як паливоСПГ і LEG.Двигуни забезпечені можливістю безперешкодного перемикання між скрапленим природним газом (СПГ), етаном (LEG), легким мазутом (LFO) або важким паливом (HFO).

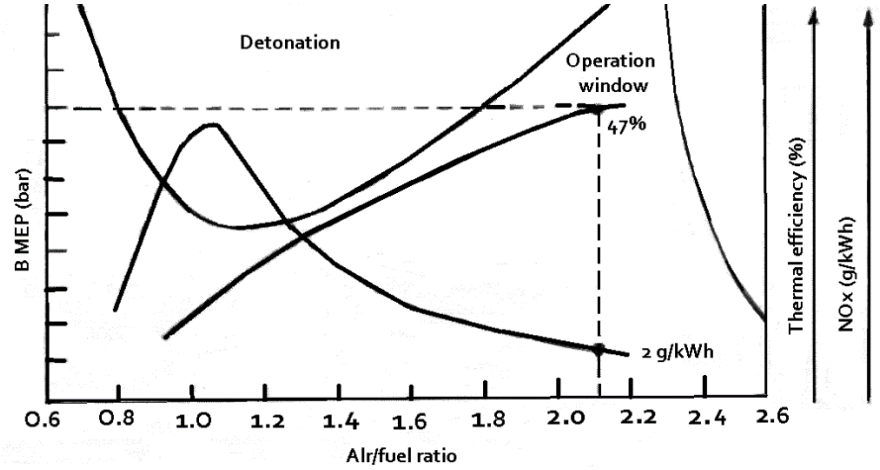


Рис.1 Діаграма створення горючих сумішей для етану

Додатковою перевагою є те, що для його роботи двигуна потрібен відносно низький тиск газу, в межах 5-10 бар. Альтернативні двигуни з двома паливами, що працюють за принципом газового дизеля, потребують тиску газу приблизно 300 бар для метану і навіть більш високого тиску при використанні етану,

Рішення по використанню метану потребує деяких модифікацій обладнання та зменшення потужності.

Початкове налаштування двигуна Wartsila передбачало можливість прийому газів, що мають метанове число вище 70, інакше потужність потрібно буде зменшити, щоб уникнути стуку. Чистий етан характеризується МЧ-43, який, за стандартними розрахунками зменшення, призведе до максимально можливої потужності в 63% від максимальної безперервної.

Оскільки цей варіант був визнаний занадто низькоефективним для гарантування нормальну роботиу судна, було прийняте рішення нового налаштування двигуна і налаштування параметрів горіння, для зменшення можливості самодетонації.

Після випробування та перевірки нової конфігурації мета забезпечення 73% номінальної напруги під час роботи на етані була досягнута з достатнім запасом запобігання удару. Двигуни мають можливість перемикатися між СПГ або ЛЕГ на легке паливо або мазут без перерви в роботі. При роботі в рідкому режимі двигуни все ще здатні доставити 100% номінальної напруги.

Прикладом застосування етану в якості палива для головного суднового двигуна є JSNEOSInvention, найбільший у світі багатофункціональний газовоз, що використовується для перевезення американський сланцевого газу, а саме етану до Європи відповідно з довгостроковим планомінвестицій INEOS.

Сланцевий газ охолоджується до -90°C за перехід в 3800 миль, що, як очікується, займе дев'ять-десять днів. Передбачається що сланцевий газ з США компенсує скорочення постачання газу з шельфу Північного моря.

Підсумовуючинаявний практичний досвід та результати теоретичного аналізу використання етану в якості палива, можливо зробити наступні висновки:

1. Використання скрапленого етану в якостіпалива головних суднових двигунів є одним із варіантів досягнення найбільших довгострокових перевагв напряму скорочення викидів шкідливих речовин в атмосферу та запобігання парникового ефекту.

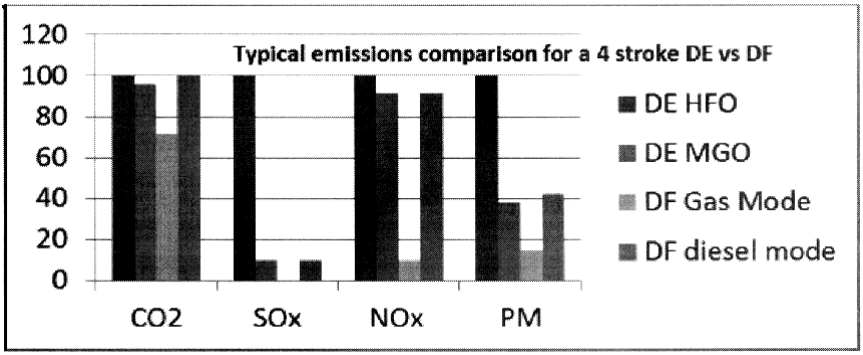


Рис 2. Порівняльна таблиця викидів звичайного ДВС з газодизелем:

*DEHFO – ДВС, який працює на важкому паливі

*DEMGO- ДВС, який працює на легкому паливі

*DFGasMode – газодизель, який працює на етані

*DFdieselmode – газодизель, який працює на легкому паливі

Спалювання етану як палива приносить ті ж переваги щодо дотримання викидів, як при використанні в двигунів з традиційним подвійним паливом (метаном). Слід також зазначити, що, враховуючи нинішній розвиток цін на етан, це може забезпечитидосягнення нижчої ціни на пальне порівняно з метаном, особливо у випадку перевезення етану.

2. При використанні скрапленого етану підвищується економічність експлуатації СЕУ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Чепаліс І.В., Козьміних М.А., Повторне скраплення газів як метод стабілізації тиску в вантажних танках метановозів. НТЗ Суднові енергетичні установки. – Одеса: НУ «ОМА», 2014. – С. 41-47.

2. Тетенко В.Ю., Конструктивні та експлуатаційні особливості. пропульсивного комплексу LNGтанкерів з газопаливним обладнанням. НТЗ «Суднові енергетичні установки».– Одеса: НУ «ОМА», 2019.

– С.169-177.

3. Козьміних М.А., Дулдіер О.П., Системи скраплення газу та вантажні системи суден-газовозів. Одеса: НУ «ОМА», 2018, - С.1-67.

4. Чепаліс І.В., Козьміних М.А., Особливості відновлення оксидів азоту в відпрацьованих газах суднових малооборотних двигунів.Технічні гази, - № 1. Одеса:НУ «ОМА», 2018. - С.44-47.

5. Чепаліс І.В., Козьміних М.А., Проблеми газоподачі в судових малооборотних двигунах.«Річковий та морський флот: експлуатація та ремонт». -Одеса: НУ «ОМА», 2018. - С.169-172.

6. Чепаліс І.В., Козьміних М.А.,Удосконалення системи паливопідготовки середньооборотних газодизелей на судах метановозах.«Річковий та морський флот: експлуатація та ремонт». – Одеса: НУ «ОМА»,2017. -С.44-48.

10.31653/smf340.2020.109-116

Ольшамовський В.С., Стоянов Д.О.
Національний університет «Одеська морська академія»

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЕС -ВЕНТИЛЯТОРІВ В СУДНОВИХ СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦІЇ І КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ

Енергетичні установки, що є на суднах, забезпечують їх рух, роботу суднових систем, життєдіяльність екіпажа і пасажірів. Функціонування таких установок надає вплив на довкілля і володіє своїми специфічними особливостями.Основним судновим джерелом забруднення довкілля є енергетична установка. На її долю доводиться близько 60–80 % всіх токсичних відходів. Це нафтовміщуючі води і викиди відпрацьованих газів дизельних двигунів.

Встановлено, що в газових викидах дизельних двигунів міститься більше 200 компонентів, причому 99÷99,9 % з них складають оксиди азоту (до 5 %), діоксид сірки(до 13 % перш за все із-за важкого високо-в'язкого мазуту, використовуваного як паливо), кисень, діоксид вуглецю і вода. Що залишилися 0,1÷1 % відносяться до токсичних компонентам.За останні роки кількість шкідливих речовин в атмосфері різко збільшується, що привело останніми роками до підвищення середньорічної температури оточуючого середовища. Всі ці зміни видно з нижче приведеногографіка.

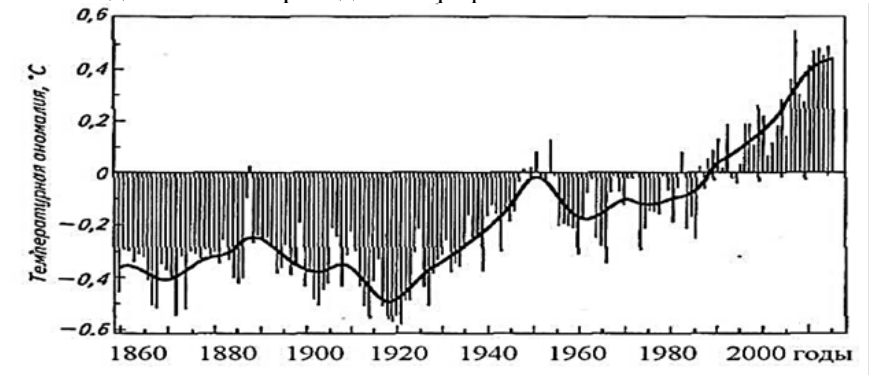


Рис. 1Дані аналізу глобального зростання середньорокової температури земної кулі.

Не випадково захист довкілля і клімату від викидів морських суден грає велику роль, оскільки зростаюче судноплавне сполучення супроводиться збільшенням забруднення довкілля і негативним

впливом на клімат і екологію. Зменшенню забруднення повітря відпрацьованими газами енергетичних установок в даний час приділяється велика увага. Європейський союз підписав Кіотський протокол, який зобов'язав знизити викиди в атмосферу діоксиду вуглецю−CO_2 до 2020 рокумінімум на 20 %. Щоб досягти цієї мети, покликаної не допустити подальшої зміни клімату, ЄС прийняв директиву про продуктикінцевого енергоспоживання(EuP - Energy using Products-Directive), яка 2009 році була перейменована в директиву про продукцію, яка пов'язана з енергоспоживанням (ErP - Energy related Products-Directive).

Ця директива служить основою для визначення можливостей підвищення економічності різних об'єктів, пов'язаних з енергоспоживанням. У червні 2010 року були встановлені обов'язкові граничні показники ефективності для електродвигунів і вентиляторів, незалежно від того, чи працюють вони самостійно або є складовою часткою приладу, установки або системи. Під дію цих нормативів підпадають чисельні області застосування електродвигунів і вентиляторів, в тому числі і судновісистеми вентиляції, холодильні установоки і системи кондиціонування повітря.

Фірмою "Ebm-papst" розроблена технологія " Green Tech EC" в якої виявляються сильні сторони для використання вентиляторів з електроприводом з зовнішним ротором.На відміну від вентиляторів, які використовують змінний струм, мотори Green Tech EC досягають коефіцієнта корисного дії вище 90 %.

EC-двигун - це безколекторний електронно - комутованийдвигун(Electronically Commutated). Його іноді також називають BLDC-двигуном(Bru- shless DC motor), тобто безщітковим двигуном постійного струму. Вентилятори, побудовані на базі даного двигуна, називаються EC-вентиляторами.

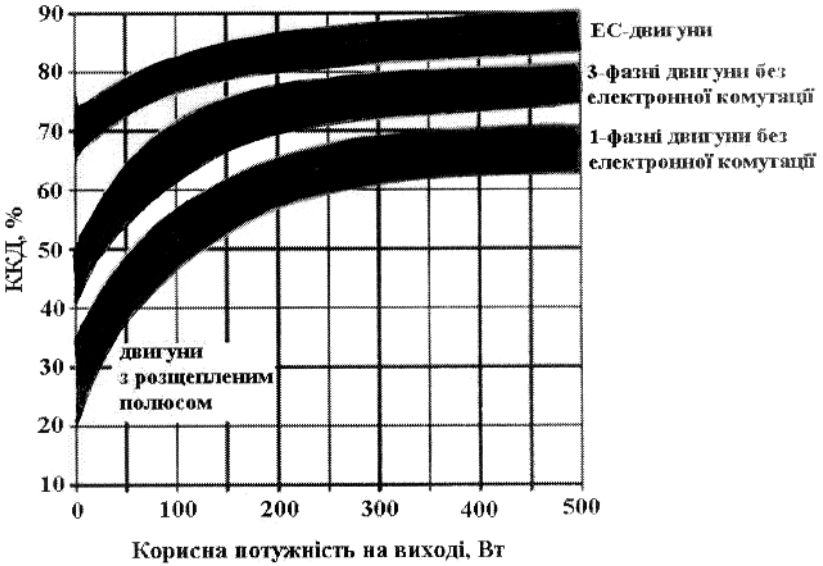


Рис.2 Графік зміни ККДвентиляторів с різними двигунами.

ЄС-двигун має зовнішній ротор, в якому розташовуються сегменти з постійними магнітами. Управління обертанням ротора ЄС-двигуна здійснюється за рахунок контрольованої подачі електроенергії на обмотку статора залежно від положення ротора, яке відстежується за допомогою датчиків Холла, а також заданих параметрів регулювання, що надходять, наприклад, від зовнішніх датчиків відповідного типу у вигляді струмових (4÷20 мА) або потенційних (0÷10 В) сигналів. При цьому вбудований PID-регулятор дозволяє, поряд з пропорційним управлінням, встановлювати швидкість реагування двигуна на зміну керуючого сигналу в залежності від його диференціальних і інтегральних показників. ЕС-двигун в розрізі представлений на рисунку 3.

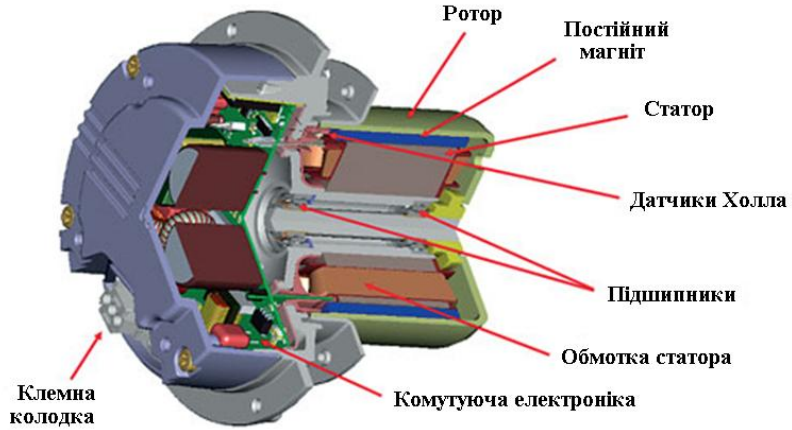


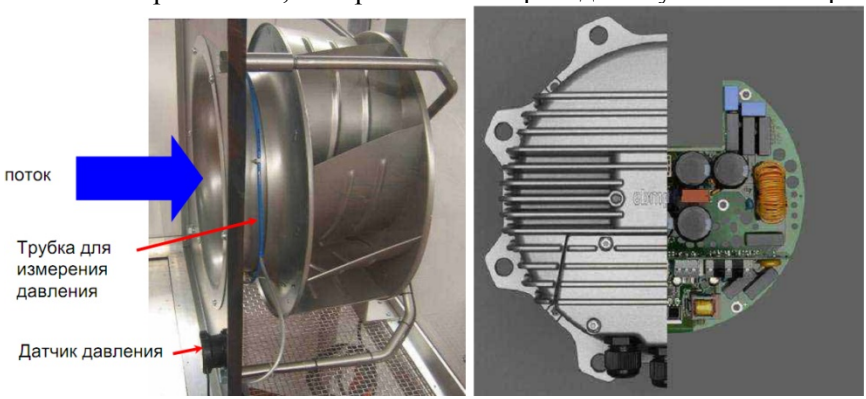
Рис.3 Конструкція енергозберігаючого ЕС-двигуна

Принцип роботи ЕС-двигуна заснований на тому, що в полі, якестворюется вбудованими в ротор постійними магнітами, виконуется управління вектором магнітного поля шляхом зміни напрямку струму в обмотке статора. У кожен момент часу контролер обчислює і подає на обмотку статора полярність струму, яка необхідна для того, щоб забезпечити безперервне обертання ротора із заданою швидкістю. Оскільки ротор ЕС-двигуна є зовнішнім з постійними магнітами, в ньому відсутні теплові втрати, неминучі у разі короткозамкнутого ротора асинхронного двигуна. Звідси високий ККД, що досягає 80-90%. На рисунку2 наводиться порівняння ККД двигунів різного типу, серед яких ЄС-двигун характеризується рекордними значеннями в широкому діапазоні корисної потужності на виході.

ЕС-двигуни можливо підключати до постійного джерела напруги згідно параметрам або через вбудований комутаційний модуль безпосередньо до мережі змінного струму (220 В, 380 В) з використанням стандартного приладового інтерфейсу RS 485 або спеціальної шини ebm BUS які забезпечуют можливість управління вентилятором (або групою вентиляторів до 31 шт. у кожній) за допомогою ПК або КПК. В електродвигуні передбачена видача тривожних і аварійних сигналів, а також забезпечення моніторингу роботи системи.

Слід зазначити, що при роботі ЕС-двигун практично не виділяє тепла, в той час як АС-мотор має робочу температуру + 35 ... + 75 ° С, що накладає додаткове теплове навантаження на контур охолодження. При цьому ЕС-двигуни без додаткового перегріву забезпечу-

ють свою працездатність в широкому діапазоні температури зовнішнього середовища. За даними Ebm Papsttемпература розігріву працюючого ЕС-двигуна на підставі проведеного тестування не перевищує +45 °С. Максимально і мінімально допустимі температури експлуатації ЕС-двигуна складають відповідно від мінус 20 °С до 75°С.Особливо важливим для систем вентиляції та технологічного і комфортного кондиціонування є те, що вони повинні безперервно забезпечуватися гарантованим підпором повітря, Зазначені значення повинні підтримуватися незалежно від мінливих обставин (відкриття дверей, робота обладнання та т. д.) А витяжні системи вентиляції повинні безперервно забезпечуватися гарантованим розрідженням. У першому випадку це досягається превалюванням припливу над витяжкою, а в другому - превалюванням витяжки над припливом, що забезпечується регулюванням витрат повітря за показаннями зовнішніх пресостатів, контролюючих перепад тиску в вентиляторі.



а б

Рис. 4 Вентилятор сконтролем повітряного потоку– а, и блок керування електродвигуном вентилятора - б

Робота контролерів в цих випадках здійснюється за показаннямине двох, як зазвичай, датчиків (термостат і гигростат), а трьохдатчиків, в число яких входить також прессостат. Останній працює в ланцюзі управління ЕС-двигунами. Компактність, низьке енергоспоживання, плавне і точне регулювання, низький рівень шуму, відсутність вібрації, узгодженість з рабочим колесом по аеродинаміці і потужності, а також ряд інших особливостей ЄС-двигунів є причиною все більш зростаючого інтересу до них.

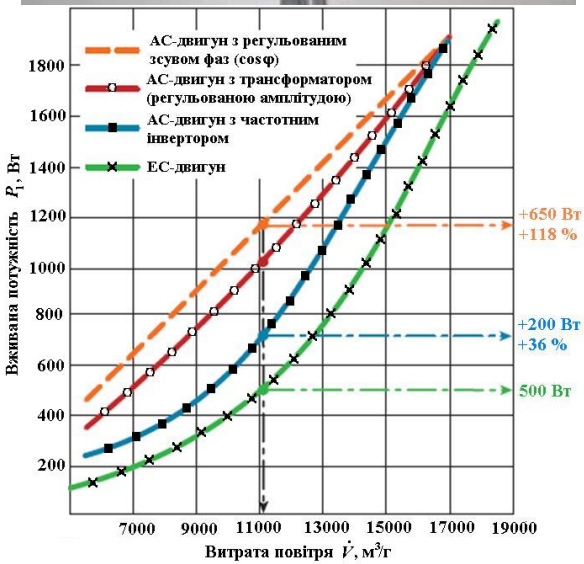


Рис.5Регулятор тиску з вбудова- Рис.6 Зміна споживаної потужності

ним датчикомтиску з різними типами двигунів

Таким чином вдається досягти помітної економії енергії в порівнянні з традиційними моторами змінного струму. Крім цього, швидкість обертання ЕС вентиляторів може регулюватися в залеж-

ності від конкретної потреби. А це має додаткову позитивну сторону: значне підвищення енергозбереження.Перевага в габаритах обумовлено тим, що ЕС-двигуни, є більш компактними в порівнянні з АС-двигунами, повністю вписуються в габарити крильчатки вентилятора, забезпечуючи прямий привід, в той час як вентилятори з АС-двигунами займають значно більше місця,

Завдяки досконалої взаємодії мотора, електроніки і аеродинаміки, вентилятори ЕС вражають не тільки своєю енергоефективністю, а й працюють виключно тихо, це забезпечує система електронної комутації і обтічна конструкція вентилятора, що обертається.Додаткові плюси - це велика надійність і довговічність.

ВИСНОВКИ

Переваги використання ЕС – вентиляторів заключаються в наступному:

-ЕС- вентиляторимають підвищені технічні характеристики –підвищену потужність і ККД при менших габаритах;

-ЕС-вентиляторине створюютьдодаткового шумового навантаження при регулюванні швидкості обертання, рівень звукового тиску зменшується на 6 дБ в порівнянні із старими моделями;

-ЕС-вентилятори вигідно відрізняються додатковим захистом від перегрівання електроніки і двигунів вентиляторів, а також захистом від блокуванняротора, втрати фази і різких стрибків напруги, забезпечуючи безперебійну роботу як в несприятливих умовах довкілля, так і при збоях електроживлення;

- ЕС- вентилятори завдяки вбудованому захисту по електроживленню мають високий моторесурс, що становить більше 80 000 годин;

- ЕС- вентилятори можна комутувати з Modbus, таким чином, спростивши дистанційний контроль над експлуатаційними параметрами вентиляторів;

-нові ЕС- вентиляторипідвищують ефективність роботи теплообмінників.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вишневский Е. П., Чепурин Г. В. Новые европейские стандарты в области ОВК // Сантехника, Отопление, Кондиционирование (С.О.К.) – 2010. – № 2.

2. ЕС-вентиляторы в тепловых насосах // Сантехника, Отопление, Кондиционирование (С. О.К.). – 2008. – № 6.
3. ЕС-вентиляторы для овощехранилищ и грибных камер // Сантех ника, Отопление, Кондиционирование (С.О.К.). – 2010. – № 1.
4. Канальный вентилятор и его привод. Анализ тенденций развития.
5. Р. К. Эсманский, ООО «КлиматВентМаш»
6.EBMPAPST EC- вентиляторы. Управление с помощью регулятора давления. Каталог вентиляторов. 25 с.

10.31653/smf340.2020.117-120

Лалетін Є.Л.
Національний університет “Одеська морська академія”

АНАЛІЗ НАВАНТАЖУВАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДНОВИХ КЕРМОВИХ МАШИН

Припроектуванні й модернізації кермової машини одним з факторів, що впливають на зменшення витрат і підвищення ефективності її роботи,євизначення оптимальногокрутного моменту на баллері керма, який розраховується на основінавантажувальної характеристики.

При помилці в розрахунках навантаження кермової машини, при неправильному виборі марки машини і крутного моменту окремі її вузли і агрегати (гідравлічні циліндри, насоси і т.п.) можуть виявитися в експлуатаціїперевантаженими, або недовантаженими. Це в певній мері впливає на надійність та зниження техніко-економічних і вартісних характеристик судна.

Ціль дослідження - виконання аналізу одержуваних навантажувальних характеристик длярозв'язку питання про доцільність застосування тієї або іншої з них при проектуванні кермового обладнання й виборі гідравлічної кермової машини.

Навантажувальна характеристика кермової машини - графічна залежність моменту на баллері керма від кута його перекладки для певного типу рулів:

$M_б = f(\alpha)$.

Гідродинамічний момент на кермі визначається по формулі:

$$M_\alpha = [C_n k_k k_в \rho V_o^2 Aв(C_Д - k_p)]/2; C_n = C_x \sin\alpha + C_y \cos\alpha$$

де V_o- максимальна швидкість переднього ходу судна при повністю зануреному кермі;

ρ– масова щільність морської води;

C_n – коефіцієнт нормальної сили;

$C_д$, C_x, C_y – коефіцієнти модельних випробувань;

K_p - коефіцієнт компенсації керма;

$K_к$- коефіцієнт впливу корпуса судна;

$K_в$ - коефіцієнт впливу гвинта;

$A_в$ – площа керма;

α - кут повороту керма.

Момент на баллері з урахуванням сил тертя в підшипниках кермового обладнання:

$$M_б = (1{,}2 \div 1{,}3)\, M_\alpha .$$

Розрахунковий (номінальний) момент кермового приводу ухвалюють із обліком його механічного ККД, тобто $M_н = M_б / \eta_м$. За значенням цього моментудля даного судна розраховують кермову машину з обліком її конструктивних особливостей.

Перед виконанням розрахунку навантажувальної характеристики кермового обладнання $M_б = f(\alpha, V, \lambda, k_р)$записуються, розраховуються й обґрунтовуються вихідні дані. До них ставиться наступне: тип керма, розрахункова площа керма A=(0,013 – 0,019) LT, деL-довжина судна, T – осадка судна.;ширина керма b; відносне подовження керма $\lambda_p = h / b \approx h / b_{cp} \approx h^2 / A$(де h – висота пера керма),$\lambda_р$=2-2,5;коефіцієнт компенсації керма$k_р = A_б / A$ ($A_б$- площа балансирної частини керма), за середньостатистичним данимиk$_р$ = 0,2 - 0,3; коефіцієнт впливу корпуса судна $k_к = (1-\psi)^2$, де ψ-коефіцієнт попутного потоку, створюваного корпусом судна(для суховантажних судів з одним гвинтомψ=0,22-0,26); коефіцієнт впливу гвинта $k_в$.

Не приводячи методики розрахунків (вона є в літературі [див.4]), покажемо типові графіки моменту на баллері $M_б$залежно від кута α перекладки керма (кермо балансирне). Вони наведені на рисунку 1. Вихідні дані були наступні: довжина судна L=92,4 м; осадка T=6,3 м; швидкість V=6,8 м/с (13,2 узла); діаметр гвинта D=3,0 м; відносне подовження керма$\lambda_р$=1,5; коефіцієнт компенсації $К_р$=0,2; 0,25; 0,3.

Аналізуючи графіки1 і 2 бачимо, що момент $M_б$ має негативні значення напочатку процесу перекладки керма. Ці значення тим більше, чим більше коефіцієнт $К_р$, що характеризує відносну величину балансирної частини керма.Найбільший момент, що крутить,відповідає характеристиці $M_б$з коефіцієн-том компенсації руля $k_р$=0,2 (крива 3). Він дорівнює630 кНм.

У цьому випадку необхідно поставити на судні кермову машину звеликим крутним моментом.Ця кермова машина мала б високу вартість, великі габарити і велику потужність електродвигунів насосів. Отже, така кермова машина економічно і технічно недоцільна.

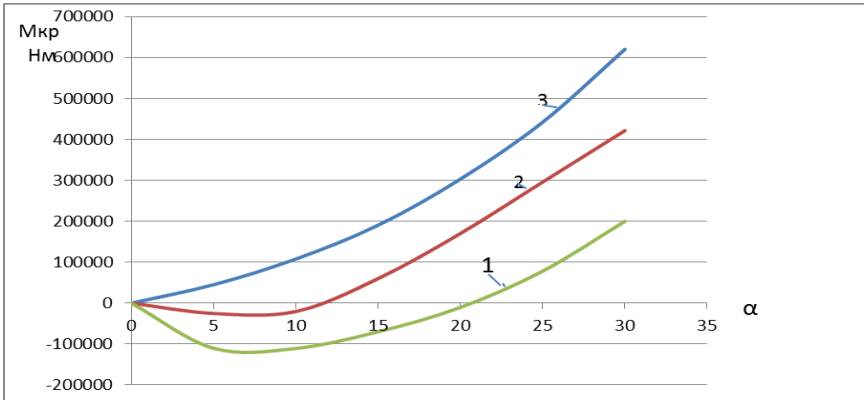


Рисунок 1 - Графіки моменту на баллері$M_б = f(\alpha)$

Менший момент, що крутить, відповідає характеристиці $\boldsymbol{M_б}$при k_P=0,3 (крива 1). Він дорівнює 200 кНм. Однак ця характеристика має значний негативний момент(-120 кНм при α=7º). У такому випадку потрібнаменша по розмірах і вартості кермова машина, але вона не могла б забезпечити гарну керованість судном.

Характеристика $M_б$приk_P=0,25 є найбільш доцільною (крива 2). У цьому випадку кермова машина буде мати момент, що крутить, 420 кНм.

Номінальний крутний момент машини буде рівний:$M_H=M_б/\eta_м$, (де $\eta_м$-механічний ККД рівний (0,85-0,92). Такім чином $M_н$=420/0,92=457 кНм.

Максимальний момент на баллері буде рівень $M_{мах}$=1,5 $M_н$, тобто $M_{мах}$=685 кНм.

Кермову машину вибираємо з урахуванням типу і розмірів судна.

Порівняльна оцінка навантажувальних характеристик обов'язкова при проектуванні. Крім того, у процесі тривалої експлуатації судна можуть бутиситуації, коли потрібно змінити розміри керма або встановити нову кермову машину. У таких випадках необхідно також виконувати наведений вище перевірочний розрахунок кривої моменту на баллері.

ВИСНОВКИ

Для розрахунків навантажувальної характеристикиз ефективним і економічно виправданим крутним моментом на баллері необхідно виконувати наступнє:

-використовуватиоптимальні параметри кермового обладнання, які наведені вище;

- зменшувати неприпустимі негативні значення моменту на баллері, які погіршують керованість кермом, шляхом збільшення (у межах, що допускаються) висоти пера керма. При цьому(при заданій площікерма)зменшується його балансирна частинай відповідновідстань від центру тиску води до осі обертання,що дозволяє зменшити опір води повороту керма;

- одержувати оптимальні значення балансирної площі керма за допомогою коефіцієнта компенсації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1..Александров М.Н. Судовые устройства: Справочник.-Л: Судостроение. 1987.-656 с.

2.Правила класифікації та побудови морських суден. Регістр судноплавства України. – К., 2002.

3. Харин В.М. Судовые гидравлические рулевые машины: Учебное пособие.-Одесса: Феникс. 2005. – 279 с.

4.Судновий гідропривід. Розрахунок і аналіз навантажувальних характеристик гідроприводу рульового пристрою: методичні вказівки для виконання розрахунко-графічної роботи / Укл.В.М.Харін, Є.Л.Лалетін, О.М.Стукаленко.-Одеса: НУ”ОМА”, 2018.-16 с.

10.31653/smf340.2020.121-126

СтукаленкоО. М., МакаренкоЛ. М.
Національний університет «Одеська морська академія»

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ФРИКЦІОНУ З ПОСТІЙНИМ ОПОРОМ У ЗДВОЄНОМУ ПОЛІСПАСТІ

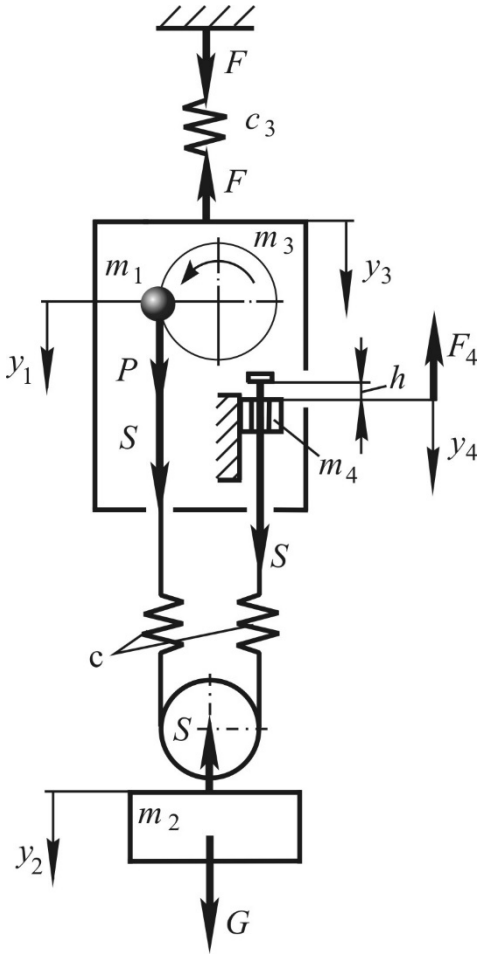


Рисунок 1 – Динамічна модель опускання вантажу після обриву троса безпечного здвоєного поліспаста

Одни з питань під час експлуатації підйомних пристроїв є проблема утримання вантажонесучого органа після обриву троса. У пристроях із напрямними або страхувальними елементами – пасажирських та вантажопасажирських ліфтах, підйомниках, люльках – запобігання падіння передбачається використанням уловлювачів, які вмикаються при перевищенні швидкості опускання більше розрахункової. Для варіантів вільного підвісу із здвоєними поліспастами з двома тросами існують технічні рішення, в яких для вирішення задачі пропонується використання часткового резервування. При обриві одного троса вантаж утримується на другому. Дослідження процесів, що відбуваються у силовому ланцюзі, проводяться з визначенням максимальних динамічних навантажень на конструктивні елементи та визначенням параметрів зрівняльних пристроїв, які забезпечують необхідні умови.

У роботі [1] досліджений випадок використання у здвоєному поліспасті фрикційного зрівняльного пристрою с постійним опором при утримання ватажу після обриву троса під час підйому з основи «з підхопленням». Однак випадки обриву троса відбуваються також і при опусканні вантажу, що є більш гіршим випадком, який специфічний для даного режиму навантаження, з причини наявності початкової швидкості вантажу у напрямку його падіння.

Розглянутий процес утримання вантажу з використанням фрикціону з постійним опором у здвоєному поліспасті під час утримання вантажу після обриву троса при опусканні в режимі генераторного гальмування.

Математична модель процесу розроблена з використанням динамічної моделі, яка представлена на рис. 1, *де* m_1 – маса обертових частин механізму підйому, приведена до поступального переміщення y_1, що співпадає з напрямком переміщення вантажу y_2, кг; m_2 – маса вантажу, кг; m_3 – маса металоконструкції, приведена до вертикальної деформації y_3, відлічуваної від статичного положення за умови відсутності вантажу, кг; c_3– жорсткість металоконструкції в точці прикладення навантаження, Н/м; c– жорсткість поліспастового підвісу вантажу після обриву одного з тросів, Н/м; G – вага вантажу, Н;h – приведена ділянка вільного ходу балансира, м; P – рушійне зусилля піднімального двигуна, приведене до поступального переміщення вантажу, $P = P_0 - \beta \dot{y}_1$, де P_0– зусилля в момент пуску електродвигуна при числі обертів, рівному нулю, Н; β —

коефіцієнт жорсткості механічної характеристики електродвигуна, Н с/м; S – зусилля у поліспастовому підвісі, Н; $F=c_3y_3$ – зусилля, що діє на металоконструкцію, Н ; F_4 = kG– *зусилля опору фрикціона*, Н.

Рух мас для даного випадку розбивається на чотири етапи. На першому етапі відбувається рух мас після обриву шкентеля при виборі слабини у ПП. Після прикладення навантаження до ПП починається другий етап руху мас. На третьому етапі вмикається в роботу фрикціон зрівняльного пристрою. Четвертий етап починається після вимикання фрикціону з роботи.

Рівняння, що описують рух мас на першому етапі, мають вигляд

$$\left.\begin{aligned} &m_3\ddot{y}_3 + c_3y_3 = 0 \\ &m_1\ddot{y}_1 + \beta_1\dot{y}_1 = P_0; \\ &m_2\ddot{y}_2 = G. \end{aligned}\right\}$$

Початкові умови для першого етапу

$$\begin{aligned} t_1 = 0, \quad y_3 &= \frac{G_{\text{гр}}}{c_{\text{м}}}, & \dot{y}_3 &= 0, \\ y_1 &= 0, & \dot{y}_1 &= v_2, \\ y_2 &= \frac{G}{c_3} + \frac{G}{2c}, & \dot{y}_2 &= v_2, \end{aligned}$$

де v_2 – стала швидкість опускання вантажу, м/с.

З урахуванням швидкості вантажу та деформації металоконструкції у момент обриву шкентеля умова переходу до другого етапу

$$v_2t + \frac{gt^2}{2} = h - \frac{G}{2c} + y_1 - (\frac{G}{c_3} - y_3).$$

Рух мас на другому етапі описується системою рівнянь

$$\left.\begin{aligned} &m_3\ddot{y}_3 + c_3y_3 - c(y_2 - y_3 - y_1) = 0; \\ &m_1\ddot{y}_1 + \beta\dot{y}_1 - c(y_2 - y_3 - y_1) = P_0; \\ &m_2\ddot{y}_2 + c(y_2 - y_3 - y_1) = G. \end{aligned}\right\}$$

Зусилля, що діє на поліспастовий підвіс

$$S = c(y_2 - y_3 - y_1).$$

Початкові умови для другого етапу

$$t_2 = 0, \quad y_3 = (y_3)_1, \quad \dot{y}_3 = (\dot{y}_3)_1$$
$$y_1 = 0, \quad \dot{y}_1 = (\dot{y}_1)_1,$$
$$y_2 = (y_3)_1, \quad \dot{y}_2 = (\dot{y}_2)_1.$$

Умова переходу від другого етапу до третього $S = k\,G.$

Рівняння, що описують рух мас на третьому етапі

$$\left.\begin{aligned} &m_3\ddot{y}_3 + c_3 y_3 - c(y_2 - y_3 - y_4 - y_1) = 0;\\ &m_1\ddot{y}_1 + \beta\dot{y}_1 - c(y_2 - y_3 - y_4 - y_1) = P_0;\\ &m_4\ddot{y}_4 - c(y_2 - y_3 - y_4 - y_1) = -k\,G;\\ &m_2\ddot{y}_2 + c(y_2 - y_3 - y_4 - y_1) = G. \end{aligned}\right\}$$

Зусилля в підвісі $S = c(y_2 - y_3 - y_4 - y_1)$. (1.39).

Початкові умови для третього етапу

$$t_3 = 0, \quad y_3 = (y_3)_2, \quad \dot{y}_3 = (\dot{y}_3)_2,$$
$$y_1 = (y_1)_2, \quad \dot{y}_1 = (\dot{y}_1)_2,$$
$$y_2 = (y_2)_2, \quad \dot{y}_2 = (\dot{y}_2)_2,$$
$$y_4 = 0, \quad \dot{y}_4 = 0.$$

Умова переходу до етапу, на якому відбувається рух мас після вимикання фрикціону з роботи $\dot{y}_4 = 0$.Рух мас на четвертому етапі описується системою рівнянь (1). Зусилля у поліспастовому підвісі (2).

Початкові умови для четвертого етапу

$$t_4 = 0, \quad y_3 = (y_3)_3, \quad \dot{y}_3 = (\dot{y}_3)_3,$$
$$y_1 = (y_1)_3, \quad \dot{y}_1 = (\dot{y}_1)_3,$$
$$y_2 = (y_2)_3 - (y_4)_3, \quad \dot{y}_2 = (\dot{y}_2)_3.$$

Результати чисельного розв’язання систем диференціальних рівнянь руху мас для мостового крана вантажопідйомністю 20 т наведені на рис. 2 у вигляді графіків залежностей зусиль у поліспастовому підвісі й у металоконструкції від часу: $S(t)$ і $F(t)$.На графіку ділянка Т1 відповідає стану системи до обриву троса. Ділянка Т2 – рух мас під час вільного падіння вантажу. На ділянці Т3 маси рухаються після прикладення навантаження до підвісу. Ділянка Т4 відповідає стану під час зниження зусилля у підвісі фрикційним пристроєм. На ділянці Т5 відбувається рух мас після поглинання енергії, що з’явилась у системі під час вільного падіння вантажу. Максимальне навантаження на металеву конструкцію виникає ще до ввімкнення в роботу фрикційного пристрою і становить 425 кН, що відповідає коефіцієнту динамічності 2,2. Регламентований запас міцності металоконструкції 1,4 [2].

Висновки і перспективи подальших досліджень.

Аналіз результатів свідчить про те, що застосування фрикціону з постійним опором у зрівняльному пристрої для даної конструкції крана дозволяє знизити динамічні навантаження на вантажний підвіс до величин, при яких коефіцієнт динамічності навантаження підвісу менше існуючих запасів міцності троса. Однак, як і у випадку обриву троса при підйомі вантажу з основи "з підхопленням", коефіцієнт динамічності навантаження металоконструкції більше регламентованого запасу її міцності, що неминуче призведе до її руйнування.

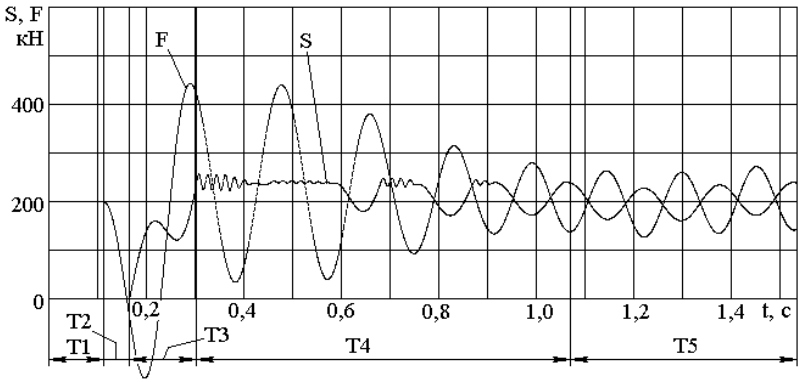


Рисунок 2 – Графіки залежностей *F(t)* і *S(t)* для випадку обриву тросапри опусканні вантажу

Для запобігання аварії крана після обриву троса необхідно розробити нові технічні рішення. Це вимагає подальших досліджень динамічних процесів у силовому ланцюзі крана після обриву троса, та визначення необхідних законів опору руху зрівняльних пристроїв.

Розроблену математичну модель можна використовувати для створення графічної моделі динамічного процесу навантажень на металоконструкцію та вантажний поліспаст при відмові тросаздвоєного поліспаста із постійним опором фрикційного зрівняльного пристрою під час опускання в режимі генераторного гальмування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1.Семенюк В.Ф. Определение динамических нагрузок в мостовом кране, оснащенном безопасным сдвоенным полиспастом с уравнительным фрикционным устройством, при обрыве каната / В. Ф. Семенюк, М. И. Стукаленко, А.М. Стукаленко // Тр. Одес. политехн. ун-та. – Одесса, 1999. – Вып. 1. – С. 44-47.

2.Регістр судноплавства України. Правила щодо вантажопідіймальних пристроїв морських суден.Вид. 2011.

10.31653/smf340.2020.127-133

Козицький С. В., Кіріян С. В.
Національний університет “Одеська морська академія”

ОСОБЛИВОСТІ ПОВЕДІНКИ НАНОЧАСТИНОКПРИ ВЗАЄМОДІЇ З ПАРАМИ ТЕРТЯ

Вступ

Одним з пріоритетних напрямківзбільшення ресурсу експлуатації суд-

нових двигунів та допоміжних механізмів є удосконалення процесів змащення за рахунок впровадження нових технологій. Їх мета підвищити експлуатаційні характеристики вузлів тертя, які визначаються як особливостями конструкції самого вузла, так і мастильного матеріалу. Шляхом введення присадок мікронних розмірів до мастильного матеріалу частково вдається досягти мети.

В кінці минулого століття почалися дослідження характеристик макрооб'єктів при вивченні їх властивостей на молекулярному рівні. Ця область науки і техніки отримала назву нанотехнологія [1, 2]. Матеріали, утворені з наночастинок, проявляють принципово нові фізико-механічні властивості, які викликані зменшенням розміру частинок. Особливість наностану проявляється у впливі наночастинок на макроскопічні параметри матеріалів при їх взаємодії з наночастинками.

Це питання обговорюється в роботі.

Роль поверхневих атомів

У звичайних макроскопічних тілах, з якими ми всі звикли мати справу в повсякденному житті, площа поверхні тіла невелика у порівнянні з його обсягом.Характеристики макроскопічних тіл визначаються фізичними властивостями у об'ємі зразка, хоча численні дослідження встановили, що об’ємні та поверхневі властивості твердих тіл якісно відрізняються.

Властивості нанокристалічних матеріалів значною мірою визначаються внеском приповерхневого шару [1]. Цей внесок може бути оцінений у наближенні для сферичної форми наночастинки, яка має діаметр $\boldsymbol{d}$ і товщину границі розділу $\boldsymbol{\delta}$. Тоді доля часток (атомів, молекул), що знаходяться на поверхні, до загальної кількості часток у об’ємі дорівнює:

$$\frac{\Delta V}{V}=\left[\frac{\pi}{6}d^3-\frac{\pi}{6}(d-2\delta)^3\right]\left(\frac{\pi}{6}d^3\right)^{-1}\approx\frac{6\delta}{d}$$

Отримана формула дозволяє оцінити долю молекул, шо знаходяться на поверхні, в залежності від розміру частинки. Товщина поверхневого шару (границі) наночастинки δ визначається 3-4 моношарами і має величину ~ 0,5 нм. Так, при розмірі сферичної частинки 1000, 100, 50, 20 та 10 нм, частка поверхневих атомів складає 0,3% , 3% , 6%, 15% та 30%, відповідно.

Зміна цього співвідношення, коли велика доля атомів буде знаходитися на поверхні, приводить до переходу від нормального об'ємного стану (при розмірі частинки 1000 нм) до незвичайних станів з новими властивостями (при розмірі частинки 20 - 10 нм). Атоми, що знаходяться на поверхні наночистинок, активно взаємодіють із зовнішнім середовищем, що відіграє визначальну роль у формуванні їх незвичайних фізичних і механічних властивостей.

Дійсно, структурний стан атомів, що утворюють границю (поверхню), відрізняється від структурного розташування атомів у кристалах: деформується кристалічна решітка, атоми мають надлишкову поверхневу енергію і некомпенсовані міжатомні зв'язки. Так, рентгено- і нейтронографічними дослідженнями нанокристалічного ***Pd*** встановлено [1], що густина речовини границь розділу на 20 - 40 % менше густини звичайного ***Pd***, а координаційне число атома, що належить границі розділу, менше координаційного числа атома у звичайному кристалі.

Отже, нанокристалічна частинка розміром 10-20 нм утворена двома структурними компонентами[1]: кристалічним станом, що включає атоми, розташовані усередині частинки, і некристалічним станом шириною ~0,5 нм, утвореним з усіх атомів, розташованих на границі.

Роль поверхневої дифузії

Для збільшення ресурсу пар тертя у мастильний матеріал замість присадок мікронних розмірів вводять нанорозмірні присадки [3]. Поверхневі атоми, яких у наноприсадках велика доля, проявляють велику активність при взаємодії наночастинки з парами тертя. Автори [4] вимірювали дифузію олова в міді при температурі 1000 ^{0}Сі

встановили співвідношення між коефіцієнтом об'ємної дифузії D_v та коефіцієнтом дифузії по границі D_s:

$$\frac{D_s}{D_v} = 8 \cdot 10^5.$$

Автори зазначають, що при зменшенні температури таке співвідношення зростає.

Отже поверхневі атоми мають значно більший коефіцієнт дифузії [4], що суттєво прискорює процес впровадження атомів наночастинок до пар тертя.

3. КВАНТОВІ ЕФЕКТИ

У розмірному масштабі наночастинки перебувають на границі квантового та класичного стану і цей метастабільний і структурно-неоднорідний стан визначає унікальний комплекс їх фізико-хімічних і механічних властивостей [1]. Розмірні ефекти у наноматеріалах можуть мати квантовий характер, коли характерний розмір частинки стає порівнянним з довжиною хвилі де Бройля

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mE}} = \frac{h}{\sqrt{2mkT}}.$$

Оцінка довжини хвилі де Бройля для атома при кімнатних температурах дає значення

$$\lambda = 0{,}2\text{-}0{,}1 \text{ нм},$$

тобто атоми, що знаходиться на поверхні наночастинок, поводять себе як класичні частинки, і їх рух описується рівняннями класичної механіки.

Інша справа з електронами поверхневих атомів. Для електронів така оцінка дає

$$\lambda = 8 \text{ нм},$$

тобто розмір наночастинки у 10-20 нм стає порівнянним з довжиною хвилі де Бройля і для пояснення поведінка електронів у поверхневих атомах необхідно використовувати квантову механіку.

Характерною особливістю квантово-механічної поведінки частинок є тунелювання. Отже процеси тунелювання електронів з наночастинок до пар тертя цілком ймовірні. При тунелюванні електронів з поверхні наночастинок до пар тертя виникає додаткова кулонівська взаємодія між наночастинкою та матеріалом пар тертя, що прискорює процес впровадження атомів наночастинки до матеріалу пар тертя.

4. САМООРГАНІЗАЦІЯ

При диспергування тіла різко зростає активність речовини у твердому стані і швидкість фізико-хімічної взаємодії з навколишнім середовищем [2]. Швидкість такої взаємодії завжди пропорційна величині поверхні і чим більша доля поверхні, тим швидше протікають твердотільні реакції.

Отже, за рахунок великої кількості поверхневих атомів, які мають надлишкову поверхневу енергію при взаємодії наночастинок з парами тертя через їх границю проходить обмін енергією та речовиною. Утворена система “наночастина - пара тертя” стає відкритою термодинамічною системою.

У відкритих системах зміна ентропії складається з двох внесків [5, 6]

$$dS = dS_V + dS_S$$

де $dS_V > 0$ – є приріст ентропії в системі за рахунок процесів які протікають, та dS_S – потік ентропії, обумовлений обміном енергією або речовиною з оточуючим середовищем, і цей доданок не має певного знаку. В такій відкритій системі, яку називають "активним елементом", можливий такий процес, при якому система переходить в стан з меншою ентропією:

$$dS = \left(dS_V + dS_S\right) < 0 .$$

Тобто, у відкритій термодинамічній системі при перерозподіліенергії міжії елементамичастинацієї енергіїможе виявитисявитраченоюна такі перетворення, які приводять до впорядкуванню в системі, як прагнення системи знизити ентропію шляхом самоорганізації дисипативних структур [6].У цих умовах аномально зростають коефіцієнти дифузії та самодифузії, які підсилюють потоки формотворної речовини, що забезпечує самоорганізацію дисипативних структур.

Процеси колективного групування кристалів при нерівноважній кристалізації досліджували автори [5], а їх виникнення пов’язане з утворенням відкритої нерівноважної системи при кристалізації сульфіду цинку.

5. РЕВІТАЛІЗАЦІЯ

Проявом усіх зазначених особливостей поведінки наночастинок, включаючи самоорганізацію, при використанні їх як присадок до мастильних матеріалів є явище ревіталізації.

Ревіталізація дає можливість повернути процес зношування у зворотному порядку і відновити зношену поверхню [3] при введенні нанодисперсного ревіталізанта у мастильний матеріал. Ревіталізант є гель до складу якого входить [3] дуже активна карбоксильна група$COOH$, сумішіоксидів Al_2O_3, SiO_2 і Fe_2O_3 та їх гідратів, або Al_2O_3, MgO і Fe_2O_3 та їх гідратів, або Al_2O_3, CaO і Fe_2O_3 та їх гідратів дисперсністювід100 нм. Зауважимо, що всі згадані речовини знаходяться в нанодисперсній формі та мають інші фізичні властивості, ніж їх макроскопічні аналоги.

На рисунку (1, а) зображено спеціально нанесений дефект у вигляді літери N однієї з площин тертя підшипника ковзання. Зона подряпини – це зона аномальної поверхневої активності, де атоми металу мають некомпенсовані зв'язки, і такі атоми при навантаженні можуть легко відриватися від матриці, що продовжує руйнування поверхні. Настає катастрофічне зношування.

а) б)

Рис.1.

Ревіталізація починається в зоні найбільшого зношування, оскільки саме тут досить надлишкової енергії для початку нового процесу та атоми металу мають найбільшу кількість некомпенсованих зв'язків. Ці зв'язки, як магніти, захоплюють і утримують саме в місцях зношування будівельний матеріал – ревіталізант, який будує нову кристалічну решітку. Таким чином, на старій основі формується нове покриття. Через кілька хвилин після початку ревіталізації на місці подряпини з'являється металокерамічна латка.

На рис. (1,б) зображена поверхня жолоба після 15 хвилин ревіталізації – зникають дрібні подряпини та починається відновлення поверхні, що утворена дефектом. Дефектна зона аномальної активності зникла після 1 години ревіталізації (рис.1, в) за рахунок утворення металокерамічного покриття.

Одночасно зцим відбуваєтьсявзаємна дифузіядвох речовин(металуі металокераміки), яка завершуєпроцес формуваннянового покриття, цементуєі тимсамим остаточнознищуєдефект.І чим більшепроходить часу, тимміцніше і міцнішетримаєтьсянове покриття.

Зауважимо, що ревіталізація спостерігається лише коли компоненти нанорозмірні, і не спостерігається при використанні складових мікронних розмірів. Більш того, кварцовий пісок SiO_2та кристалічний корунд Al_2O_3, які входять до складу присадки у виді мікронних розмірів, є абразивами.

ВИСНОВКИ

1. Механізм взаємодії нанорозмірних присадок принципово відрізняється від дії аналогічних присадок мікронних розмірів.

2. Наноматеріали за рахунок малих розмірів мають велику долю поверхневих атомів з надлишковою поверхневою енергією. В результаті збільшується коефіцієнт дифузії, проявляються квантові ефекти для поверхневих електронів, а система “наночастина-пара тертя” перетворюється у відкриту термодинамічну систему, в якій можуть виникати процеси самоорганізації.

3. Застосування нанорозмірних присадок до мастильних матеріалів збільшує ресурс пар тертя у рази за рахунок відновлення (ревіталізації) поверхні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Наноматеріали і нанотехнології: навчальний посібник /Азарєнков М. О., Неклюдов І. М. та інші – ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2014. – 316 с.

2. Еленин Г. Г. Нанотехнологии, наноматериалы, наноустройства. М: Изд. МГУ, 2015. – 347 с.

3. Режим доступу: http://www. xado.ua/revitalizanti/xado

4. Ишангоджаева М. М. Физическая химия. Диффузия в системах с твердой фазой. /М. М. Ишангоджаева // СПб ТУРП. – СПб. 2012. – 35 с.

5. Козицький С. В., Бачеріков Ю. Ю. Дослідження фізичних властивостей сульфіду цинку, отриманого методом високотемпературного синтезу, що самопоширюється: монографія. – Одеса: Астропринт, 2016. – 272 с.

6. Николис Г., Пригожий И. Самоорганизация в неравновесных системах. М: Мир, 1979. – 512 с.

10.31653/smf340.2020.134-138

Опришко М.О.
Національний університет «Одеська морська академія»

ЗАСТОСУВАННЯ НАНОТЕХНОЛОГІЙ В СУДНОБУДУВАННІ

Зацікавленість до застосування полімерних композиційних матеріалів в суднобудуванні в першу чергу викликана їх високою питомою міцністю, а також корозійною стійкістю, низькою теплопровідністю, немагнітністю, високою ударостойкістью, але найголовніше можливістю проектування і створення нових матеріалів і конструкцій з них.

Отримані конструкції мають поліфункціональні властивості, тобто властивості, що залежать від компонентів матеріалу, з якого вони створені.

Все це дозволяє проектувати не тільки конструкцію із заданого матеріалу, а й сам матеріал.

Таким чином, досягнення в одній конструкції необхідних характеристик по несучій здатності і вібро, звуко-, радіопоглинанню дозволяє знизити не тільки її вагу але і забезпечити підвищення захищеності корабля по фізичним полям. [3]

Добавки часток і волокон в полімерні матриці забезпечує підвищення фізико-механічних властивостей полімерів, а також їх вогнестійкості. Заміна багатьох металічних матеріалів на полімери, армовані наночастками, приводять в суднобудуванні до зменшення маси виробу, зниженню споживання бензину і шкідливих викидів.

Добавки нанокристалів алмазу і вуглецевих нанотрубок в нанокомпозити підвищують міцність і зносостійкість.

Наноматеріали володіють значним спектром властивостей, серед яких: - можливість зв'язуватися з нуклеїновими кислотами, змінювати біоструктури;

- посилені каталітичні властивості;
- підвищені абсорбційні властивості;
- збільшена здатність до акумуляції;
- збільшений хімічний потенціал на міжфазній межі високої кривизни;
- можливість самовистраюватися в певні структури;
- збільшена питома поверхня наноматеріалів.

Завдяки цим властивостям, наноматеріали знайшли застосування в різних галузях промисловості (суднобудування, двигунобудування,

і т. і.) Нанотехнології включають в себе широкий спектр можливостей для будівництва, модернізації та ремонту суден, а також суднових систем і устаткування. Застосування нанотехнологій для будівництва та ремонту суден дозволяють поліпшити маневрованість, ходу і керованість суден. Нанодобавки на основі оксиду цезію вже зараз додають в дизельне паливо, що дозволяє на 4-5% підвищити ККД двигуна і знизити ступінь забруднення вихлопними газами.

Були проведені дослідження властивостей з'єднань пар тертя, отриманих шляхом плазмового напилення при нанесенні фуллерена.

За оцінками зарубіжних експертів, велика частка приросту світового ВВП , пов'язаного із застосуванням нанотехнологій, буде забезпечена саме за рахунок еволюційного удосконалення існуючих виробництв і підвищення якості продукції, що випускається в даний час, для якої відомий ринок і існує споживач. У багатьох випадках це пов'язано з поліпшенням якості матеріалів за рахунок модифікації наночастинками існуючих матеріалів або виробів (наночастинки вводять в обсяг матеріалу або наносять на поверхню). В даний час для цих цілей виробляються металеві, керамічні, вуглецеві, крем'яні, полімерні та інші типи наночасток. [4]

Аналіз нових технологічних рішень показує, що традиційні морські лакофарбові покриття в перспективі можуть бути замінені покриттями, отриманими з використанням НТ, з чудовими бар'єрними властивостями. Їх антикорозійні властивості забезпечує відповідна наноструктура, що блокує доступ агресивних агентів до підкладки, причому одночасно вона збільшує стійкість покриття і до механічних пошкоджень. Передбачається, що в майбутньому товщина морських покриттів, отриманих з застосуванням НТ, може бути багаторазово зменшена. Далі розглянуті наступні види покриттів, одержуваних за допомогою НТ:

- нанотехнологія: 2К
- антиадгезійних;
- протиобростаючих;
- кригостійких для підводної частини криголамів;
- протизаморожувальні для суден.

2К-покриття для суден і катерів - це двокомпонентна суміш, складена на базі хімічної нанотехнології, яке створює стійкий ефект відторгнення води і маслянистих субстанцій від поверхонь, які схильні до серйозних навантажень. Кількість приросли до днища черепашок, морських жолудів, водоростей і інших небажаних

відкладень істотно зменшується, поверхня стає більш стійкою до подряпин, а крім того, оброблене днище набагато легше очищається, причому для цього більше не потрібні агресивні миючі засоби (екстремально кислі або лужні, абразиви).

При послабленні ефекту достатньо почистити дно за допомогою губки і м'якого миючого засобу. Хоча оброблена поверхня все одно буде час від часу потребувати очищення від дрібних забруднень, але великі забруднення, такі як черепашки і морські жолуді легко змиваються потоком води при швидкому ході судна.

переваги:

- • Морські жолуді, мушлі і водорості значно менше пристають до днища
- • Підходить так само для поверхонь, що знаходяться під водою
- • Просте і легке очищення оброблених поверхонь
- • Підходить як для солоних, так і для прісних вод
- • Економічна витрата
- • Екологічно
- Області застосування:
- • Яхти
- • Танкери
- • Річкові судна
- • Круїзні лайнери
- • Морські / океанські судна

Найбільш ефективні антикорозійні пігменти, такі як сполуки шестивалентного хрому, в даний час виключають з рецептур ЛФМ через їх підвищену токсичність. Проблема заміни цих сполук без погіршення якості покриттів дуже актуальна для суднобудування, так як такі пігменти широко застосовуються в антикорозійних суднових ґрунтівках.

1.Прочность суден. Зараз ставиться завдання збільшити ресурс і використання суден, що вимагає підвищення міцності, які забезпечують нові наноматеріали.

2.Жівучість і зниження ваги, яке забезпечують в даний час композити. До них повинні приєднатися наноматеріали.

3.Зменшення тертя, яке можна досягти, переходячи на НТ.

4.Вирішення завдання боротьби з обмерзанням і прилипанням до зовнішньої сторони конструкції судна різної "біологічної живності" за допомогою відшаровування лусочок.[1]

Із всього вище сказаного, можна зробити такі підсумки:

1. Нанотехнології - символ майбутнього, найважливіша галузь, без якої неможливий подальший розвиток цивілізації.

2. Можливості використання нанотехнологій практично невичерпні – починаючи від мікроскопічних комп'ютерів, які вбивають ракові клітини, і закінчуючи двигунами, які не засмічують навколишнє середовище.

3. В подальшому вченим належить розширити безліч запитань, пов'язаних з нанонаукою, і осягнути її найглибші таємниці. Але, незважаючи на це, нанотехнології вже надають дуже серйозний вплив на життя сучасного людства.

4. Великі перспективи несуть в собі і великі небезпеки. В цьому відношенні людина повинна з максимальною обережністю віднестися до небувалих можливостей нанотехнологій, направляючи свої дослідження на мирні цілі. В протилежному випадку вона може поставити під удар своє особисте існування.[2]

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. nanotekhnologiy-v-aviatsii-v-sudostroenii-i
2. studcon – orq – 00003374
3. Композиты в судостроении | Нанотехнологии Nanonewsnetwww.nanonewsnet.ru ›
4. В.А. Орехво, Т.А. Брагинская Нанотехнологии судостроения. «Конгресс Международного форума «Великие реки» 2015 г.» -2015. - с. 66. ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
5. Лякишев Н.П., Алымов М.И. Нанокристаллические материалы конструкционного назначения. В Сб. «Проблемы современного материаловедения.- 2002.- С. 9-15.
6. archive.kpi.kharkov.ua/files/47393
7. library.weld.kpi.ua/sites/default/files/ipip_kl.pdf
8. https://studfiles.net/preview/5349180/page:54/
9. https://vdocuments.mx › Category Documents

10.31653/smf340.2020.139-143

Григор'єва О.С.
Національний університет «Одеська морська академія»

ЗАСТОСУВАННЯ НАНОМАТЕРІАЛІВ УЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ВІД КОРОЗІЇ І ОБРАСТАННЯ СУДНОВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Захист від корозії і обростання є однією з важливих проблемексплуатації суден. На даний час існує велике різноманіття способів захисту: катодний захист, ультразвук, інгібітори корозії, корозіоностійкі матеріали, лакофарбні покриття. Останні спосіб є основними методами підвищення корозійної стійкості суднових конструкцій. На їх частку доводиться більше 80% фінансових витрат на відновлення засобів захисту суден від корозії і обростання в процесі їх експлуатації [1].

Сучасні вимоги до застосування систем лакофарбних покриттів для захисту від корозії різних суднових конструкцій, полягає в скороченні токсичних викидів в навколишнє середовище та підвищення енергоефективності суден.

Повністю відмовитись на суднах від противообростаючих та корозійних покриттів не можливо. Тому розробляють більш екологічні та водостійки матеріали.

Для тривалого захисту судна від дії зовнішнього середовища необхідно, щоб плівка захисного покриття була суцільною, позбавленою пір, зберігала високу адгезію до поверхні, мала мінімальне водопоглинання [1].В першу чергу це відноситься до різних корпусних конструкцій, у тому числі до підводної частини корпусів суден.

Сучасні лакофарбні матеріали (ЛФМ) передбачають невеликий зміст функціональних добавок в рецептурному складі, що містять нанофазу. Їх застосування передбачає прискорення синтезу лакофарбних матеріалів, оптимізує процес нанесення, підвищує зносостійкість, фізико-механичні і протикорозійні властивості.

До сучасних розробок захисних покриттів відносять емалі на водній основі, наповнені наночастками. Наночастки в полімерному покритті збільшують його твердість зчеплення між молекулами полімеру. Також такі композити з наночастками (близько 5-6% від полімеру) збільшують час проникнення води і кисню через покриття до поверхні металу.

Використання як нанонаповнювача шаруватого алюмосиликата (монтмориллонита) у водних епоксидних, акрилових системах, призначених для захисту сталевих поверхонь, дозволяє зменшити тривалість висихання покриття, поліпшити механічні властивості − стійкість до стирання, абразивну стійкість, адгезію, водостійкість [2, 3]. Застосування наночасток (~20 нм) діоксиду кремнію в двокомпонентній поліуретановій системі дозволяє поліпшити стійкість до дряпання і стирання, підвищити твердість, збільшити зміст сухого залишку без істотної зміни властивостей реологій, без погіршення прозорості або утворення "апельсинової кірки" із-за поганого розливу [3]. Використання водного колоїдного кремнію для модифікації водоосновного поліуретанового ЛФМ дозволяє створювати прозоре, високоефективне покриття [3]. Додавання 3% (по масі) нанорозмірних часток діоксиду титану (5-10 нм) до водоосновного поліакрилового грунту покращує його антикорозійні властивості [3].

Застосування нанорозмірного матеріалу діоксиду кремнія SiO_2в складі композиційних матеріалів досить поширена. Хімія та технологія отримання наночастинок на основі кремнію на даний час добре вивчені, до того ж оксиди кремнію мають високу адсорбційну здатністьта підвищену адгезією.

Діоксид кремнію вводився до складу розчину полімеру (SAS-150) у вигляді ацетонового зола виробництва ТОВ "Компас" з середнім розміром часток 26,7 нм [4].

Результати проведених авторами [4] досліджень, представлені на рис. 1–2,показали можливість оптимізації властивостей покриттів на основі SAS-150 при наповненні нанорозмірним SiO_2. Наявність оптимальних концентрації діоксиду кремнія, які по зносостійкості і відносній твердості складають 1-3%, а по прозорості 1-5% мас.

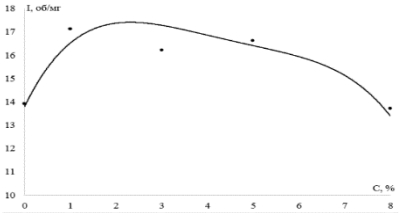


Рис.1. – Залежність відносної твердості покриттів на основі стірол–акрилового сополімеру по Перзосу (відн. од.) від концентрації

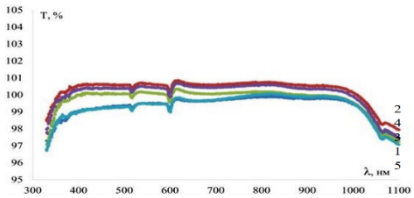


Рис. 2. –Спектр світло пропускання покриттів на основі SAS-150 з різним вмістом наночастинокSiO_2 у складі композиції: 1 – 0%, 2 – 1%, 3

Обростання підводної частини судна викликає значну перевитрату палива і збільшення вартості перевезення вантажу. Тому актуальними залишаються також розробки сучасних засобів продовження міждокового періоду судна[5].

Сучасні технології дозволяють розробити та застосовувати захисні композиції яким властивіпротиобрастаюча дія, тобто додають речовини біоциди. Найбільш поширеними є окисли міді, миш'яку, ртуті, та оловмісні, які є забруднювачами середовища. Практичне застосування даного методу вимагає витрат великої кількості біоцидів, тому економічно обґрунтоване тільки у випадку використання дешевих сполук.

Найбільш ефективними визнані протиобростаючі покриття фірми International Marine Coatings (AkzoNobel) серії Intersleek 700 і серії Intersleek 900. Продукт Intersleek 700 є силіконовим протиобростаючим покриттям, яке може використовуватися для захисту суден різного призначення і класу і не містить токсинів (біоцидів) [5, 6]. Покриття дозволяє отримувати гладкі, рівні, такі, що очищаються, поверхні зовнішньої обшивки корпусу з низькою шорсткістю. Може наноситися поверх існуючого протиобростаючого покриття. Перевагою застосування покриття є: зниження витрати палива і підвищення ходових якостей [6, 7].

І у безбіоцидних покриттях, і в покриттях з біоцидами перспективне застосування нанотехнологій, наприклад, отримання наноструктурованих поверхонь, або застосування наноречовин, що діють на нанорівні [8]. Наноречовина характеризується особливим розподілом в нім атомів і електронів, що надає наночастці речовини особливі властивості: мінімальний об'єм, максимальну поверхневу енергію, особливу енергетику, тощо, на відміну від з'єднань аналогічної хімічної структури з частинками великих розмірів. На даний час в світовій практиці відомі протиобростаючі системи покритів, які не містять біоциди, з наноструктурованою поверхнею, яка ефективно протистоїть обростанню морськими організмами.

Так, застосовують у складі протиобростаючих матеріалів безбіоцидні дії гібридних сполук, наповнених нанокомпонентами. Наприклад, отримані покриття, утворені наночастками TiO_2, приготовані на поверхні нержавіючої сталі. Наночастки TiO_2 мали діаметр 15-18 нм, та утворювали покриття завтовшки 375 нм, були досліджені золь-гелевым методом і гідрофобізіровани шаром фторалкілсілана (контактний кут змочування водою

гідрофобізірованного покриття склав 150°), який має властивість до саморганізації. Морфологія поверхні і структура покриття досліджені методами скануючої електронної мікроскопії і рентгенофазового аналізу. За даними електрохімічних вимірів, покриття проявили відмінну корозійну стійкість в хлорідному розчині при кімнатній температурі [8].

До перспективних біоцидних наповнювачів, можна а віднести також наночастинки срібла (~5÷40 нм). Лакофарбні матеріали і покриття, при додаванні наночасток срібла, мають унікальні антисептичні властивості.Біоцидна активність такого захисного покриття зберігається на увесь час його служби. Вказані ЛКМ екологічно безпечні для людей і довкілля, можуть застосовуватися для захисту металевих і неметалічних поверхонь[9].

Висновки.

На даний час залишається актуальність використання наноструктурних добавок в технології ЛФМ для виробництва покриттів специфічного призначення.Використання наномодифікаторів дозволяє збільшувати антикорозійні характеристики ЛФМ, а от же і збільшенню терміну служби виробів, що покриваються. Застосування функціональних добавок наночасток в полімерних матеріалах, має враховувати їх оптимальні концентрації, при яких досягається істотне поліпшення експлуатаційних характеристик без зміни їх оптичних властивостей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇЛІТЕРАТУРИ

1. Информаційні ресурси

https://extxe.com/4995/zashhita-ot-korrozii-i-obrastanija-sudovyh-konstrukcij/

http://www.stroitelstvo-new.ru/sudostroenie/okraska/zaschita-metallicheskih-sudov-ot-korrozii.shtml

2. Шашок Ж. С. Применение углеродных наноматериалов в полимерных композициях: [монография] / Ж. С. Шашок, Н. Р. Прокопчук. − Минск: БГТУ, 2014. − 231 с.

3. Еськов А.А Лакокрасочные материалы с пониженням содержанием летучих веществ (обзор)/ А. А. Еськов, Т.А. Лебедева, М.В. Белов // Труды ВИАМ. – 2015, № 6.– с.58–69.

4. Ибатуллин И.Ф. Исследование влияния наночастиц диоксида кремния на физико-механические свойства стирол-акрилового сополимера / И.Ф. Ибатуллин, В.Е. Катнов, О.П. Кузнецова, И.В.

Усманов // Вестник технологического университета. – 2017. – т.20, в.19. – с.48-50 (ВАК).

5. ГорбогносА.Защита от коррозии корпусов судов, балластных танков и систем // Волгинские чтения.– 2010. –№78. – с. 141–148.

6. Артушевич Е. Эффективность защиты корпуса судна от обрастания / Е. Артушевич, Э. Соминская, Е. Хитов // Морской флот. – №2(2017); http://morvesti.ru/analitika/1692/69195/

7. Афтанюк В.В., Гаврілкін О.Є. моделюваня гідродинаміки корпуса судна з урахуванням біологічного забруднення // Суднові енергетичні установки. – Одеса, 2019. – №39. – с. 14–22.

8. Миронов Г.Л. Пути совершенствования противокоррозионно-противообрастающих покрытий / Г.Л. Миронов, Ф.И. Ильдарханова В.В. Коптева, К.Г. Богословский // Сборник научных трудов «Технология лакокрасочных покрытий»: М. – 2010. – с. 84–86.

9. Строкова В.В. Стабилизация наноразмерных частиц серебра для условий работы в составе водно-дисперсионных лакокрасочных материалов / В.В. Строкова, П.С. Баскаков, К.П. Мальцева // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 4. – С. 84–88.

10.31653/smf340.2020.144-151

BogachV.M, DovidenkoJ.M.,SlobodianiukI.M.
NU "OMA"

Features of systems greasing of diesel enginesMAN-B&W

Богач В.М., Довиденко Ю.М., Слободянюк І.М.
НУ «ОМА»

ОСОБЛИВОСТІ ЛУБРИКАТОРНИХ СИСТЕМДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ MAN-B&W

The abstract

The publication is devoted the decision of an actual problem increase efficiency operation of ship diesel engines by perfection processes greasing of cylinders. The analysis a condition of a question on an investigated problem is made and lacks systems greasing of diesel engines MAN-B&W are defined.

Experimental researches on studying processes greasing of cylinders of ship engines that has allowed to receive representation about an overall performance these systems are spent. Modern methods researches, such as oscillograms and high-speed filming are thus used.

Characteristics process greasing, and their interrelation with a design of greasing devices are defined. Influence geometrical parametres of channels system greasing on characteristics process the expiration of oil in the cylinder and finally on efficiency its use in the engine is experimentally confirmed.

Keywords: ship diesel engine, greasing system, greasing channel, greasing process, cylinder, piston, a piston ring.

Всі лубрикаторні системи суднових ДВЗ мають загальну структуру. Однак, за спільністю цієї структури ховається велике різноманіття конструкцій окремих елементів мастильних пристроїв і систем у цілому. Приводи лубрикаторів забезпечують синхронне переміщення нагнітальних елементів з певним положенням поршня в циліндрі, а також мають зв'язок з навантаженням двигуна.

Як показують дослідження [1,2] істотний вплив на процес надходження масла до поверхонь тертя має геометрія каналу розташованого в стінках циліндрової втулки, що з однієї сторони через запірний клапан періодично поповнюється маслом, а з іншого боку - постійно випробовує вплив газів з боку порожнини циліндра.

Це значить, що ділянка нагнітального тракту системи між клапаном і дзеркалом циліндра знаходиться під впливом тиску газів величиною 1,5...3 МПа. Причому, у двигунів MAN-B&W (з верхнім підведенням масла), такий вплив відбувається на кожному ході поршня.

Досвідом експлуатації встановлено [3,4], що при використанні палив з високим вмістом сірки, визначальну роль у довговічності й економічності роботи суднового дизеля є правильний вибір кількості поданого в циліндр лужного масла, що повинне забезпечувати:

створення достатньої мастильної плівки на тертьових поверхнях;

зниження до мінімуму корозійного зношування;

видалення з поверхонь тертя продуктів згоряння, золи, нагару, домішок в паливі, часточок зношування деталей шляхом відновлення мастильної плівки.

Вибором дозування масла займаються дизелебудівні фірми, науково-дослідні установи й ряд інших організацій, а також окремі дослідники, однак їхні думки з цього питанні досить суперечливі. Це не важко зрозуміти, якщо взяти до уваги безліч мало вивчених факторів, які впливають на питому витрату циліндрових мастил у суднових дизелях.

Продуктивність лубрикаторів у більшості випадків має лінійну залежністьвід обертів двигуна. Це обставина, як показує практика експлуатації таких двигунів, призводить до наступного:

однотипні двигуни, експлуатовані приблизно в однакових умовах, мають різну витрату циліндрового масла, діапазон питомих витрат при цьому досить великий;

дозування подачі масла призначається без обліку фактичного стану циліндро-поршневої групи двигуна й економічних факторів;

при роботі двигуна на часткових режимах потрібне регулювання системи, з метою зниження подачі масла, інакше дозування виявляється завищеним, що призводить до інтенсифікації процесу утворення нагару в циліндрі.

Слід зазначити, що тільки в деяких дизелях зміна кількості подаваного масла залежить від потужності двигуна, а не від його обертів. У цих системах рекомендована питома витрата масла може підтримуватися на усіх режимах роботи двигуна.Основною, вихідною величиною, що визначає подачу масла в циліндр, є питома витрата циліндрового масла, віднесена до номінальної потужності й номінальної частоти обертання - приведена питома витрата.

На двигунах, не обладнаних системою автоматичного регулювання подачі масла залежно від навантаження, зменшення подачі масла здійснюють шляхом зміни кута хитання важеля приводу лубрикатора.При обладнанні такою системою суднових двигунів, фактична питома витрата масла змінюється автоматично, відповідно до частоти обертання двигуна і положенням рейки паливних помп. При цьому фактичні питомі витрати циліндрового масла перебувають у діапазоні рекомендованих приведених питомих витрат.

При виборі основного значення приведеної питомої витрати циліндрового масла для конкретного двигуна беруть до уваги фактичний стан циліндро-поршневої групи, обумовлений ступенем зношування втулок циліндрів, поршневих кілець і їхніх канавок, а також умови експлуатації, сорту застосовуваного палива і циліндрового масла.

Застосування наддування і використання важкого палива на багатьох дизелях призвело до зміни конструкцій мастильних штуцерів. При підвищенні наддування збільшуються температури втулок і газів, що призводить до нейтралізації лужних присадок масла і відкладенням твердих часток у вихідному каналі і, як наслідок цього, порушенню режиму мащення. Для зниження термічного впливу на мастило, штуцери стали розташовувати ближче до місця витікання масла в циліндр, що зменшило час знаходження масла в зоні високих температур між штуцером і вихідним отвором на дзеркалі циліндра.

Так, фірма MAN-B&W, для підвищення надійності системи мащення відмовилася від традиційного підведення масла через вертикальний канал у стінці циліндра й у сучасних дизелях перейшла на конструкцію, у якій знаходження масла в зоні високих температур скоротилося до мінімуму, а безповоротний клапан розташований у безпосередній близькості до вихідного отвору для масла. Там, де конструкція дизеля ускладнює розташування штуцера в нижній частині циліндра, починають застосовувати штуцери із пружиною до безповоротного клапана.

Мастильними пристроями, що забезпечують найбільш надійну роботу системи мащення, можна вважати штуцери:

розташовані в нижній частині циліндра;

що мають безповоротні клапани у безпосередній близькості до вихідного отвору і з пружинами розташованими з боку циліндра;

такі, що мають найменшу кількість місць ущільнень;

такі, що дозволяють контролювати нещільності.

Аналіз умов роботи системи мащення у сполученні з результатами осциллографуваня дозволяє визначити періоди, коли обидві частини нагнітального тракту розділені безповоротним клапаном, починають працювати спільно.

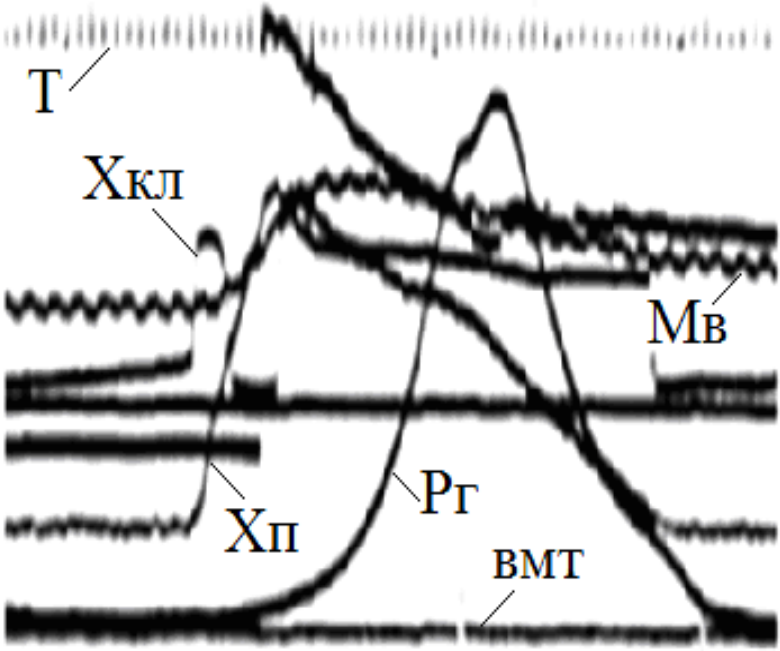


Рис.1 Осциллограма процесу подачі масла

Приклад осциллограми процесу подачі масла в циліндри з верхнім розташуванням мастильних отворів наведений на рис.1. Аналіз її показує, що плунжер може починати рух у різні моменти, але в межах тих самих 180° п.к.в., і робити повний хід в один прийом або вроздріб. Залежно від повноти ходу плунжера й моменту початку його руху, тиск у нагнітальному трубопроводі перед клапаном лежить у межах 0,3...0,8 МПа, а тиск із боку циліндра змінюється від 0,16 до 2,2 МПа.

Зіставлення запису тиску масла перед клапаном штуцера із записом тиску газів (Рг) показує, що клапан може відкриватися тільки у двох діапазонах повороту колінчастого вала. Перший діапазон лежить між 320° п.к.в. і 32° п.к.в., тобто, коли поршневі кільця перебу-

вають над каналами підведення масла, а другий - між 120° п.к.в. і 290° п.к.в., коли кільця перебувають нижче мастильних отворів.

На сталому режимі роботи двигуна зміна тиску Рг від циклу до циклу залишається постійним, тиск же масла в клапана у кожному циклі різко міняється. Це пояснюється розходженням моментів і величин ходу плунжера, швидкістю його руху, а також рівнем тиску газів зсередини циліндра, що протидіють відкриттю клапана.

З осциллограмм видно, що циклова порція масла подається в передкамеру переважно за 2...3 відкриття клапана, що відбувається приблизно протягом одного оберту вала на початку кожного циклу подачі масла. На наступних обертах, до чергового ходу плунжера, подача масла за клапан відсутня.

Рис.2 Сліди зустрічі масла з поверхнею головки поршня

Таким чином, якщо частоту й моменти відкриття клапана штуцера ототожнювати із частотою й моментами надходження масла в циліндр, то неважко дійти висновку про незадовільний розподіл його по дзеркалу навіть на тих оборотах, коли існує подача.

При збільшенні продуктивності лубрикатора, частота подачі й тиск у мастилопроводі істотно збільшуються, що приводить до надходження в канал втулки всієї циклової порції за одне відкриття клапана. З позицій відомих поглядів про надходження масла в циліндр, це погіршує розподіл його по дзеркалу.

Отже, у системі змазування циліндрів досліджуваних двигунів є перерви в подачі масла до поверхонь тертя, що добре проглядається як по зміні тиску в мастилопроводі, так і по відкриттю безповоротного клапана.

Звідси слідує, що ні конструкції приводів лубрикаторов, ні самі лубрикатори (при всіх їхніх особливостях), ні величини порцій масла, якого-небудь помітного впливу на керування подачею масла в циліндр не мають.

Це підтверджується аналізом стану деталей ЦПГ при розкритті циліндрів. Виявляється, що у всіх дизелів, незалежно від існуючих особливостей лубрикаторних систем, на голівках поршнів вище першого кільця навпроти мастильних отворів є однакові сліди зустрічі масла з поршнем, рис.2, у вигляді доріжок нагару на бічній поверхні голівки, розташованих навпроти мастильних отворів.

Ці сліди, у сполученні з результатами осцилографування, указують на існуючу невідповідність часу надходження масла в циліндр періоду відкриття безповоротного клапана.

Як показала швидкісна кінорегістрація характеру руху масла при виході його з каналів в порожнину циліндра (рис.3) має місце так зване струйне витікання мастилазі значними швидкостями, рис.4.

Проведений аналізу умов роботи системи змазування циліндрів показує, що вона не забезпечує керований плунжером лубрикатора процес подачі масла за безповоротний клапан. Більше того, практично на всіх режимах роботи двигуна клапан відкривається в основному при положенні поршня поблизу мертвих крапок, тобто, коли у мастильних отворів зсередини циліндра встановлюється досить низький й відносно постійний тиск газів.

У сучасних суднових двигунів поширені в основному два типи розподільних канавок: окремі канавки біля кожного мастильного отвору й безперервні (загальні для всіх отворів) канавки, розташовані по всій окружності дзеркала циліндра.

За сучасними уявленнями доцільніше безперервні канавки. Їхня безперервність забезпечує більш рівномірний поперечний розподіл масла, а перекриття канавки одночасно двома поршневими кільцями допомагає швидше розподіляти мастило по дзеркалу циліндра. Коли отвір точки мащення розташовано вище розподільних канавок, то забезпечується більш рівномірний поперечний розподіл масла, тому що більша кількість масла виходить із каналу в канавку, а не на дзеркало втулки.

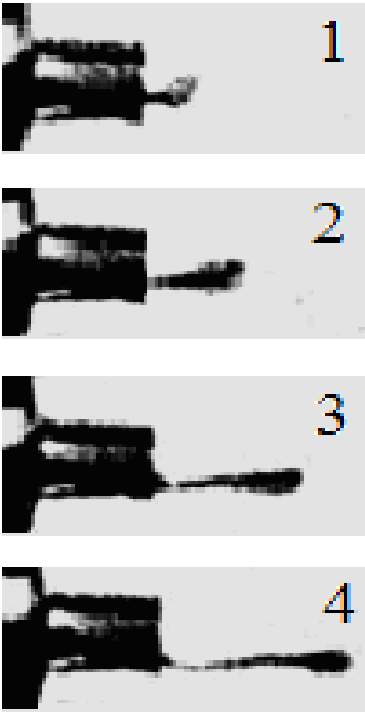


Рис.3 Кінокадри процесу
подачі мастила в циліндр

Оскільки тисків вище, ніж 0,3…0,9 МПа, у нагнітальних мастилопроводах не зафіксовано, то справедливо припущення, що надходження масла в циліндр відбувається при положеннях поршня в мертвих точках або поблизу від них.

У цих умовах недоліки систем не виявляються й не усуваються, а лише компенсуються підвищенням вимог до якості циліндрових мастил, створення яких, як відомо, і без того є витратним і складним завданням у загальній проблемі вдосконалювання організації мащення циліндрів двигунів.

Це говорить про те, що можливості створених мастил компенсувати недосконалість мастильних пристроїв підходять до межі, за якою нормальна робота форсованих дизелів можлива тільки при заниженій потужності або при використанні яких-небудь нових, наприклад, синтетичних мастил, здатних виконувати свої функції в більше жорстких умовах роботи, ніж масла на мінеральній основі.

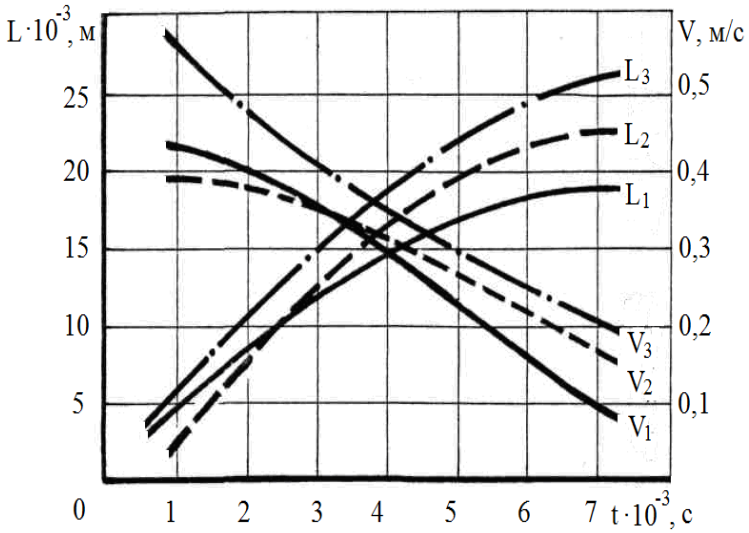


Рис.4 Характеристики руху мастила за межами мастильних каналів (L-довжина струменю; V-швидкість руху масла)

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Богач В.М. Исследование процесса маслоподачи двухрядной системой “Puls” без аккумулирования давления масла / В.М. Богач, А.Н. Шебанов // Судовые енергетические установки: науч.-техн.сб. – 2014.- Вып. 34 - Одесса: ОНМА. - С.113-120.

Шебанов А.Н. Исследование процесса маслоподачи двухрядной лубрикаторной системой с аккумулирование давления масла / А.Н. Шебанов, В.М. Богач // Судовые енергетические установки: науч.-техн.сб. – 2014.- Вып. 31 - Одесса: ОНМА. - С.122-132.

Bogach V. Performance efficiency lubricator systems of marine diesel engines / V. Bogach, A. Shebanov // European Applied Sciences, November, №11, 2016 - pp. 24-29.

Богач В.М. Эксплуатационная проверка эффективности модернизированной системы смазывания цилиндров двигателей RTA/ В.М. Богач, А.Н. Шебанов // Судовые енергетические установки: науч.-техн.сб. – 2016.- Вып. 36 - Одесса: ОНМА. - С.37-45.

10.31653/smf340.2020.152-161

Журавльов Ю.І., Костюченко Є.Ф.
Національний університет «Одеська морська академія»

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ СПОЛУЧЕНЬ ВАЛ-ПІДШИПНИК КОВЗАННЯ НА ОСНОВІ МОДЕЛЮВАННЯ ЇХ ПОШКОДЖЕНЬ

Сучасні двигуни внутрішнього згоряння працюють в умовах високих навантажень різного походження, перепадів температури і тиску, і тому ці навантаження на рухомі частини двигуна - коленвал і распредвал, шатуни, штовхачі та інші деталі на сьогодні потребують принципово нових підходів до відновлення втраченої працездатності.

В сполученнях вал-підшипник ковзання працездатність підшипників ковзання порушується внаслідок зносу деталей в зоні тертя або через ослаблення втулки (вкладишів) в посадці. По мірі зносу деталей збільшується зазор між ними, що призводить в одних випадках до появи ударних навантажень, а в інших — до разрегулювання з'єднувальних ланцюгів, а також до витоку мастила, тобто порушення змащування деталей.

Для відновлення працездатності підшипника ковзання необхідно усунути ослаблення втулки (вкладишів) в посадці і довести зазор між деталями тертьової пари до нормальної величини. На сьогоднішній день не вичерпані всі можливості відновлення нормальних розмірів і форми тертьової частини незамінюваної деталі шляхом технічного обслуговування і ремонту робочих поверхонь.

Пропонується основний упор робити на прогнозування та розроблення рекомендацій для експлуатації роботи сполучень на основі підвищення ефективності обслуговування і ремонту та аналізу різноманітних критеріїв надійності [1].

Для цього використовується математичний опис (моделювання) процесів пошкодження. Воно дозволяє аналізувати внутрішні зв'язки та зовнішні впливи. На підставі загальних принципів формування відмов моделі забезпечують: розроблення алгоритмів оцінки надійності складних виробів, облік зворотних зв'язків у стосунках «технологічний процес – вихідні параметри машини», оцінку параметрів взаємодії машини і особливостей втрати нею працездатності. Рішення таких завдань дає можливість розробляти більш досконалі моделі відмов сполучення вал-підшипник ковзання,

і на їх основі вузлів і агрегатів деталей засобів транспорту (малюнок 1).

Більшість процесів накопичення пошкоджень в зазначених деталях відбувається протягом тривалих проміжків часу, тобтомають яскраво виражену динаміку протікання.Ці процеси єпричиною відмов деталей обладнання і зміни його стану в часі [4].

Рисунок 1. Направления использования моделирования повреждений деталей вал-подшипник скольжения

Облік в моделях ушкоджень великий інерційності деталей, зростання періодичності зовнішніх впливів, взаємодії оборотних і необоротних процесів, малій швидкості процесів, в сукупності з адаптованими фундаментальними принципами динаміки машин і теорії автоматичного

управління, дозволять вирішити завдання, пов'язані з надійністю складних систем, до

яких відноситься суднові енергетичні системи.

Останнім часом [2-4] найбільш гостро постає проблема подальшого розвитку і реалізації методів прогнозування надійності на основі моделей відмов [5-7], які базуються на закономірностях процесів пошкодження фізики відмов з урахуванням їх імовірнісної природи , що є ключовим для вирішення основних завдань, пов'язаних з удосконаленням технічного обслуговування і ремонту

сполучень, оцінкою надійності. Найбільш обґрунтованим є використання методів статистичного моделювання ушкоджень, що враховують імовірнісні режими експлуатації обладнання, зовнішні впливи і характер протікання процесів пошкодження [4]. При цьому актуальність такого підходу пояснюється необхідністю подальшого вдосконалення методів прогнозування надійності деталей, що піддаються зносу і втомного руйнування, мають яскраво виражений характер у засобах транспорту, і є основними причинами їх відмов [5].

Актуальним напрямком використання моделей пошкодження є розробка методів розрахунку граничних станів окремих деталей і машини в цілому, а також розробка кваліметрії ушкоджень – методів чисельної оцінки ступеня пошкодження деталей, різних за своєю природою і характером [6].

Найбільш перспективним напрямком використання результатів моделювання пошкодження деталей, є створення спеціальних систем інформації про ступінь ушкодження ремонтованих деталей, що не досягли граничного стану і не мають відмов, для недопущення яких і проводиться ремонт [8]. Це джерело інформації, який в даний час практично не застосовується, дозволить оцінити ступінь використання параметрів надійності деталі і обґрунтовано призначити ресурс машини [8].

Розгляд принципів накопичення пошкоджень і розробка моделей для їх опису дозволяє досліджувати вплив зношування деталей на динамічні характеристики машини [8]. Цей зв'язок досить складний, так як в рівняннях динаміки присутні члени залежні від часу і мають випадкову природу. Розкриття цих закономірностей на основі моделей ушкоджень дозволить вивчити явища, пов'язані із зміною вихідних параметрів машини в часі і відмовами функціонування через руйнування деталей. Достатньо часто відмови функціонування є наслідком зростання динамічних навантажень в машині при зносі її елементів. Для засобів транспорту, особливо швидкохідних і важко навантажених, саме динамічні явища лімітують допустимі величини зносу і ресурс деталей [6].

Унікальність транспортного обладнання створює необхідність використання математичного опису процесів накопичення пошкоджень для розробки методики випробування складних об'єктів, до яких відносяться суднові енергетичні системи. Висока функціональність окремих деталей обладнання виключає

застосування традиційних методів випробування на надійність, що застосовуються для відносно простого обладнання [4].

Науковий напрям технічного обслуговування і ремонту полягає у виявленні впливу надійності сполучень деталей вал-підшипник ковзання, що входять до складу виробу, на надійність всього вузла, агрегату, машини. Це дозволить виявити сполучення і самі деталі, які необхідно удосконалювати в першу чергу, вибрати стратегію підвищення надійності технічного виробу, оцінити кількісно величину поліпшення характеристик надійності машини.

Підтримання та відновлення працездатності транспортної машини є складним процесом, що залежать від таких факторів, як: конструкція машини, методів її експлуатації, організації системи ремонту і технічного обслуговування, економічних факторів і т. д. Виявлення раціональних методів ремонту і технічного обслуговування пов'язане з їх оптимізацією, де перше місце відводиться критерію економічності [9]. Це вимагає обліку і вірогідного аналізу особливостей накопичення пошкоджень деталей, і як наслідок, втрати ними працездатності, а також оцінки реальних можливостей щодо їх відновлення [10]. Правильна організація системи ремонту та обслуговування може при тих же витратах значно підвищити ефективність і надійність функціонування транспортних машин і устаткування, а також забезпечить доцільність і ефективність проведення профілактичних операцій та ремонтно-відновлювальних робіт. Функціонування моделей накопичення пошкоджень деталей, в рамках спеціальної системи, званої ремонтною службою підприємства, забезпечить необхідний рівень працездатності обладнання.

Розглянемо модель, призначену для оцінки підвищення показників надійності машин, напрацювання на відмову яких описуються п'ятьма найбільш поширеними законами: нормальним, логарифмічно нормальним, експоненціальним, Ерланга і Вейбулла.

Науковий напрямок, представлене в доповіді, полягає у виявленні впливу надійності сполучень деталей вал-підшипник ковзання, що входять до складу виробу, на надійність всього вузла, агрегату, машини. Це дозволяє виявити сполучення і самі деталі, які необхідно удосконалювати в першу чергу, вибрати стратегію підвищення надійності технічного виробу, оцінити кількісно величину поліпшення характеристик надійності машини.

Об'єктом цих досліджень є засоби транспорту, що представляють собою функціональну систему, що складається з М послідовно з'єднаних сполучень деталей. Відмова будь-якої деталі призводить до відмови виробу. Працездатність вироби відновлюється шляхом заміни, що вийшла з ладу і-ї (і = 1, 2, ..., М) деталі нової. Так як відмова відбувається у випадковий момент, час життя деталі можна описати з допомогою процесів відновлення. При цьому вважається, що кожна і-та деталь виробу характеризується напрацюванням tcpii знаходимо ij від (j-1) – го до j - го відмови (j = 1, 2,...Z), розподіл яких не суперечить одному з наступних законів: нормальному, експоненціальному, логарифмічно-нормальному, Ерланга і двухпараметрическому законом Вейбулла.

Основними характеристиками процесу відновлення, є провідна функція потоку відмов Ω (t) і параметр потоку відмов ω (t). Так як в ході досліджень розроблені методики розрахунку провідної функції потоку відмови Ω (t)) за аналітичними залежностями [10] та методом статистичного моделювання [12], то це дозволяє аналізувати вироби, життєвий цикл яких описується будь-яким процесом відновлення, зокрема, простим, спільним і загальним нестаціонарним. З допомогою моделі також можна розглядати системи, у яких закони, що описують напрацювання до чергової заміни, різні. Цільовою функцією математичної моделі прийнятий мінімум сумарних середніх питомих витрат Суд (t) на виготовлення технічного вироби та підтримки його в справному стані:

$$C_{уд}(t) = \frac{(D+1)}{t}\sum_{i=1}^{M} C_{\partial i}\Omega_i(t) + \frac{C_u}{t}, \qquad (1)$$

де М- кількість елементів, що входять у виріб;D - коефіцієнт, що враховує трудовитрати, витрата матеріалів і втрати від простоїв при заміні деталей вироби;Сді - вартість і-ой деталі;Си - первісна вартість виробу;Ωi(t) - провідна функція потоку відмов і-ой деталі.

Крім мінімуму сумарних середніх питомих витрат Судmin, в якості оптимізуйомих показників надійності прийняті рівень надійності n, оптимальний ресурс tопт, а також напрацювання виробу на перший відмова t від і.

Для моделювання підвищення показників надійності імітується заміна деталі.Деталь, що має найгірші в порівнянні з іншими деталями вироби надійностні характеристики, замінюється більш

надійної, має більш високі значення показників безвідмовності і довговічності, а, значить, має іншу вартість.

Для обліку підвищення ресурсу і зниження відносного розсіювання значень напрацювань деталей і відповідної зміни вартісних показників прийняті коефіцієнти, введені в роботі / 1,2 /:

- коефіцієнт збільшення ресурсу -ρ , показує, у скільки разів збільшується ресурс вдосконаленою деталі по відношенню до вихідної,

$$\rho = t'_{ср\ э} / t_{ср\ э}, \qquad (2)$$

де $t'_{ср\ э}$ і $t_{ср\ э}$– ресурси відповідно деталей вдосконаленої і вихідної;

- коефіцієнт зміни вартості деталі μ, відображає збільшення вартості деталі в результаті її поліпшення,

$$\mu = C'_э / C_э, \qquad (3)$$

де $C'_э$ і $C_э$ - вартість деталі поліпшеною і вихідної;

- коефіцієнт зміни розсіювання ресурсу деталей η, що показує зниження розсіювання ресурсу деталі виробу при її вдосконаленні,

$$\eta = \nu_э / \nu'_э, \qquad (4)$$

де $\nu_э$ і $\nu'_э$ – коефіцієнт варіації вихідної деталі і після її удосконалення;

- коефіцієнт пропорційності k_ρ, що відображає співвідношення збільшення вартості до збільшенню ресурсу деталі при її удосконаленні;

- коефіцієнт пропорційності k_η, що відображає співвідношення збільшення вартості до зменшення розсіювання ресурсу деталі при її удосконалення;

- коефіцієнт $k_и$, що відображає співвідношення вартості виробу до сумарної вартості деталей

$$k_и = \frac{C_и}{\sum_{i=1}^{M} C_{дi}} \qquad (5)$$

де $C_и$ - вартість виробу; $C_{дi}$– вартість і-тої деталі.

Перераховані вище коефіцієнти є керуючими параметрами моделі. В ході моделювання їм присвоюються різні значення, а потім

перераховуються основні вартісні і надійностні характеристики деталі.

Вартість вдосконаленого елемента визначається за формулою

$$C'_{д} = \mu \cdot C_{д}, \qquad (6)$$

де $\mu = 1 + \sqrt{k_{\rho}^{2}(\rho - 1)^{2} + k_{\eta}^{2}(\eta - 1)^{2}}$.

(7)

Вартість вдосконаленого виробу розраховується по залежності:

$$C'_{и} = \frac{1}{k_{и}}\left((\mu - 1)C_{д} + \sum_{i=1}^{M} C_{дi}\right) \qquad (8)$$

Коригування середнього ресурсу і коефіцієнта варіації деталі проводяться за допомогою коефіцієнтів, в залежності від виду теоретичного закону розподілу, з урахуванням зміни параметрів закону.

Зокрема, для нормального закону:

$$t' = t \cdot \rho, \qquad (9)$$

$$\sigma' = \sigma \cdot \rho / \eta. \qquad (10)$$

Так як експоненціальний закон є однопараметричним і не залежить від коефіцієнта розсіювання ресурсу, параметр λ' для нової деталі розраховується за наступною формулою:

$$\lambda' = \lambda / \rho. \qquad (11)$$

Для закону Ерланга крок коефіцієнта розсіювання ресурсу змінюється дискретно так, щоб порядок закону m' покращеної деталі змінювався на ціле число. Порядок закону обчислюється за формулою:

$$m' = m \cdot \eta^{2} \qquad (12)$$

і округляється до цілого значення; параметр закону λ' визначаться як

$$\lambda' = \lambda \cdot \eta^{2} / \rho. \qquad (13)$$

Для двопараметричного закону Вейбулла перерахунок параметрів проводять поетапно. Параметр форми залежить тільки від коефіцієнта розсіювання ресурсу, але пов'язаний з коефіцієнтом варіації за допомогою гамма – функції. Тому обчислюється через коефіцієнт розсіювання ресурсу, коефіцієнт варіації вдосконаленої деталі. Потім з отриманого значення коефіцієнта варіації, за

допомогою таблиці, обчислюється параметр форми і значення гамма – функції для поліпшеної деталі. Параметр масштабу λ'обчислюється за наступною формулою:

$$\lambda' = \frac{1}{\alpha'}\sqrt[\alpha']{\frac{\lambda^{\frac{1}{\alpha}} \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)}{\rho \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)}}, \qquad (14)$$

де Γ (x) - гамма – функція Ейлера, $\alpha i \lambda$-- відповідно параметр форми і масштабу закону розподілу ресурсу вихідної деталі; α' и λ'- відповідно параметр форми і масштабу закону розподілу ресурсу вдосконаленої деталі.

Для логарифмічно нормального закону, також з початку визначається нове значення параметра σ', так як цей параметр залежить тільки від зміни коефіцієнта варіації. Формула для розрахунку параметра σ' має вигляд:

$$\sigma' = \sqrt{\ln\left[\frac{e^{\sigma^2} - 1}{\eta^2} + 1\right]} \qquad (15)$$

де σ- параметр розсіювання ресурсу логарифмічно-нормального закону для вихідної деталі.

Параметр t' логарифмічно-нормальної величини перераховується для вдосконаленої деталі по формулі:

$$t' = \frac{2\ln \rho + \sigma^2 + 2t - \sigma'^2}{2} \qquad (16)$$

де σ - параметр розсіювання ресурсу і t логарифмічно-нормального закону для вихідної деталі; σ' - параметр розсіювання ресурсу логарифмічно-нормального закону для вдосконаленої деталі.

ВИСНОВКИ

Створення та використання математичних моделей накопичення пошкоджень деталей вал-підшипник ковзання є одним з перспективних напрямків вирішення завдань підвищення їх надійності на всіх етапах існування (проектування, виготовлення, випробування та експлуатація).

При побудові математичних моделей накопичення пошкоджень використовується велика кількість методів і підходів, що мають

певні особливості і базуються на різній вихідній статистичної інформації. Побудови математичних моделей передує ретельне вивчення процесів, що призводять до зародження, розвитку і досягнення критичного рівня пошкодження деталей засобів транспорту.

Наявність великої кількості різноманітних транспортних машин, що мають свої конструктивні та експлуатаційні особливості, вимагає індивідуального підходу до розробки математичного апарату, що описує процес передачі технологічного навантаження, як головного чинника ушкодження, від робочого органу машини до всіх її конструктивних елементів.

Використання моделей пошкодження деталей транспортного обладнання на стадії його проектування і експлуатації, забезпечить вирішення низки завдань, таких як: обґрунтування оптимальної довговічності деталей обладнання, зниження матеріаломісткості та енергоємності конструкцій, підвищення продуктивності машин.

Використання математичних моделей накопичення пошкоджень, є

відправною точкою у вирішенні багатьох завдань дослідницького, технологічного татехніко-економічного спрямування, пов'язаних з підвищенням надійності роботиобладнання та забезпечення безперервності технологічного процесу, щозапобігає зниження техніко-економічних показників виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Когаев В. П., Дроздов Ю. Н.Міцність і зносостійкість деталей машин:

Навчальний посібник для машинобудівних. спеціальностей вищих навчальних закладів. - М .: Вища школа, 1991. -319 с.

2. Проников А.С. Параметрична надійність машин. - М .: МГТУ ім. Баумана, 2002. - 560 с.

3. Труханів В.М. Надійність в техніці. - М .: Машинобудування, 1999. -598 с.

4. Риньков Р.Н. Прогнозування усталостного ресурсу елементів виробів при випадковому навантаженні на основі теорії інформації // Надійність і контроль якості. - тисяча дев'ятсот дев'яносто п'ять №8. - С. 20-28.

5. Коллінз Дж. Пошкодження матеріалів в конструкціях. Аналіз, прогноз, запобігання. (J. A. Collins Failure of materials in Mechanical Design, New York, 1981): Пер. зангл. - М .: Світ, 1984. - 624 с.

6. ТарасовЮ.Л., МінораннскійЕ.І., ПеровС.Н. прогнозуванняінадійностіконструкційзакритеріємвтомногопошкодження // Надійністьідовговічністьмашиніспоруд. - К .: Науковадумка. Вип.6, 1984., С. 91-96.

7. ДроздовЮ.Н. Прогнозуванняінтенсивностізношуваннятертьовихтілнаосновітеоретико-інваріантногометоду // Проблемимашинобудуванняінадійністьмашин. 1999. №1. С. 28-35.

8. Проников А.С. Надійність машин. -М .: Машинобудування, 1978. - 592 с.

9. Шудра В.Ф. Механізм відновлення парку промислового обладнання. - К .: Техніка, 1990. - 143 с.

10. Кульсеітов Ж.О., ЛІССЄВ В.П. Математичні моделі та підтримання надійності машин. - Алмати: Гилим, 1996. - 222с.

11.Муздибаев М.С. Оптимізація показників надійності вузлів транспортних і дорожніх машин. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. -Усть-Каменогорськ, 1998..

10.31653/smf340.2020.162-165

Мельник О.А.
Національний університет «Одеська морська академія»

ВИД І ЕЛЕМЕНТИ РЕЖИМУ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ СУДНОВИХ КОЛІНВАЛІВ

Колінчастий вал— одна из найбільш відповідних, дорогих і складних в виготовленні деталей. Ефективна потужність, що розвивається двигуном, знімається з фланця колінчастого валу. Крутний момент через лінію валопроводу передається гребному гвинту, або іншому приймачу енергії (наприклад, генератору електричного струму).Колінчастий вал піддається значним згинаючимтакрутним зусиллям, змінним за значенням і знаком, тому для його виготовлення застосовують найбільш якісні сталі і чавуни. Колінчастий вал потужних малообертних суднових дизелів розрахований на роботу без капітального ремонту (підйому валу) на 60 - 80 тис. Рік і більше, або, практично, на весь час роботи судна.

Більшість сучасних колінвалів виготовляють литтям з високоміцного чавуну. Високоміцні чавуни діляться на два класи: перлітні і ферітні. Велике застосування знайшли чавуни перлітного класу завдяки високій міцності і зносостійкості.

Отримана тим чи іншим способом заготовка проходить механічну обробку до номінальних розмірів, після чого піддається додатковому зміцненню. Поверхні шийок колінчастого валу обробляються за допомогою хімічного зміцнення при нагріванні, а краї шийок скругляются, щоб підвищити міцність і опір втомного руйнування.

Колінчастий вал дизеля працює в дуже складних і важких умовах. Він відчуває значні зусилля тиску газів, що передаються шатунно-поршневим механізмом, від сил інерції поступально і обертально рухомих мас, а також зусилля і моменти, що виникають внаслідок крутних коливань.

Виготовлення колінчастих валів литтям дозволяє з найменшими витратами отримати найбільш прийнятну форму щік кривошипів і більш раціональний розподіл металу за рахунок виконання корінних і шатунних шийок порожнистими, що зменшує масу валів при збереженні щодо високої міцності. Для підвищення міцності вала на вигин галтелі шийок вала спеціально зміцнюють накаткою з ролика-

ми. Шийки колінчастих валів деяких двигунів азотують для підвищення зносостійкості.

Колінчасті вали дизелів по конструкції шийок однакові. Відрізняються вони кінцевими частинами. Поверхні тертя шатунних шийок валів з'єднані з поверхнями суміжних корінних шийок каналами, якими масло надходить до шатунних підшипників у двох протилежних точках, забезпечуючи надійність змащування вкладишів, а також, охолодження поршнів. Остання шийка служить для установки опорно-упорного підшипника.

У кінцевій частині колінчастого валу (рис.1.) встановлено демпфер крутних коливань. А шестерня, яка встановлена на валу, служить для приводу розподільного валу.

.

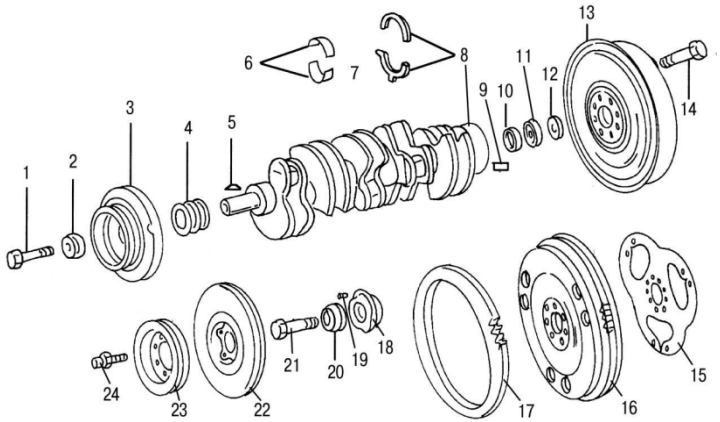


Рис. 1. Зовнішній вигляд колінчастого валу

Для підведення масла від корінних шийок до шатунних є канали. На передньому кінці вала - дисквалоповоротки.

Колінчасті вали працюють в умовах високих навантажень, а шийки валу піддаються інтенсивному зношенню. Термічна обробка колінчастих валів переслідує дві мети: підвищити їх міцність і зносостійкість. Колінчасті вали деяких чотирьохтактних дизелів іноді виготовляють із сталей гарячим штампуванням. Завдяки штампуванню

виходить хороша макроструктура - волокна металу не перерізуються, а відповідають конфігурації валу.

Одним з видів термічної обробкиколінчастого валує нормалізація, - вид відпалу з тривалим охолодженням для зниження твердості і полегшення механічної обробки, поліпшення мікроструктури з досягненням більшої однородності металу і зняття внутрішніх напружень заготовок колінчастих валів. Наприклад, штамповані заготовки деяких валів зі сталі піддають нормалізації в спеціальній щілинній нормалізаційній печі з підвісним конвеєром. Перед надходженням в робочу камеру печі, нагріту до 850 ° С, штамповані заготовки валів проходять через спеціальний коридор, де охолоджуються з 1050-1100 ° С до 600-650 ° С. Після нормалізації штамповані заготовки проходять через камеру попереднього охолодження і подаються на повітря.

Нагрівання штампованих заготовок в підвішеному стані при нормалізації в печі з підвісним конвеєром має перевагу перед їх нагріванням в горизонтальному положенні в штовшаючих печах, оскільки виключається нерівномірний нагрів випромінюванням печі і штамповані заготовки не деформуються від провисання під власною вагою.

Після нормалізації, штамповані заготовки для обробки надходять на металорізальні верстати, а потім шатунні і корінні шийки валів піддають поверхневому загартуванню при індукційному нагріванні, для чого застосовують автоматизовані установки, на яких виконують послідовне нагрівання та охолодження кожної шийки. За рахунок скорочення тривалості охолодження проводиться самовіпущення шийок (термічний процес, при якому мартенсит розпадається; при цьому підвищується пластичність і знижується крихкість металу; температура самоотпуска 240-250 С). Для загартування колінчастих валів в потоковій лінії встановлюють спеціальні верстати. Отримують загартований шар товщиною 3-5 мм, а твердість поверхні шийок HRC 56-62; мікроструктура шару - мілкоголковий мартенсит.

Найбільш напруженими ділянками колінчастого валу, звідки часто починається руйнування в умовах експлуатації, є галтелі - місця переходу щоки вала в шийку. Зміцнення цих місць досягається одним із двох способів: загартуванням галтелей одночасно з шийками або ж обкаткою галтелей за допомогою роликів. При обкатці завдяки пластичної деформації відбувається зміцнення металу і створюються сприятливо діючі залишкові стискаючі напруги. Але поверхневе за-

гартування шийок колінчастих валів з галтелями при індукційному нагріві є економічно більш вигідним процесом.

Великі колінчаті вали, піддають поверхневій зміцнюючій обробці методом азотування. Такі вали після попередньої термічної обробки у вигляді нормалізації і високого відпущення проходять механічну обробку, а потім піддаються поліпшенню загартуванням в маслі від 850-870 ° С і відпущенні при 540 ° С. Після попереднього шліфування вали надходять на азотування. Ділянки вала, що не підлягають азотуванню, захищаються рідким склом. Азотування проводиться в контейнерних печах. Вал укладається на дві призми, які встановлюються під дві крайні шийки валу. Під середні шийки підкладаються клини. Режим азотування двоступінчастий: I ступінь проходить при температурах 500-510 ° С, з витримкою 30 год, ступінь розпаду аміаку 20-40%; друга ж ступінь проходить при високих температурах 520-540 ° С, з витримкою 50 год, ступінь дисоціації аміаку теж велика - до 60%. Товщина азотованого шару виходить не менше 0,7 мм.

Для підвищення стійкості евтектоїдного цементиту, щоб при термічній обробці відбувалася сфероідізація, а не графітизация евтектоїдного цементиту в чавун додається марганець.

Термічна обробка колінчастих валів проводиться по наступному режиму: нормалізація - нагрівання до 950-960 ° С, витримка 8 год, охолодження зі швидкістю 30-60 ° С / хв до 600 ° С; відпущення - нагрівання до 725-740 ° С, витримка 8 год, охолодження на повітрі.

Термічну обробку колінчастих валів доцільно проводити в печах із захисною атмосферою, для зменшення викривлення нагрівати колінчаті вали на спеціальних підставках.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ І ПОДАННЯ РУКОПИСІВ ДЛЯ ЗБІРНИКА «СУДНОВІ ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ»

Науково-технічний збірник національного університету «Одеська морська академія» «Суднові енергетичні установки» є науковим виданням, в якому можуть публікуватись основні результати дисертаційних робіт з профілю суднової енергетики.

Стаття повинна відповідати правилам оформлення наукових статей і містити постановку проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими або практичними завданнями, аналіз останніх досліджень і публікацій за темою статті, формулювання цілей статті (постановку завдання), виклад основного матеріалу з необхідними обґрунтуваннями, висновки та перспективи подальших досліджень.

Рукопис подається на електронному носії у форматі *.doc з паперовою копією і рефератами на українській, російській та англійській мовах, розміром не більше 2 МБ, підписаною всіма авторами, з контактною інформацією: адреси, телефони. Обсяг статті — до 0,5 авторського аркуша з урахуванням ілюстрацій, підмалюнкових підписів і реферату.

Формат паперу А5 (148×210) Усі поля — 16 мм. Текст - через 1 інтервал, Times New Roman, 11 пт; таблиці, заголовки таблиць, підмалюнкові підписи — 10 пт.

На першій сторінці рукопису повинні бути вказані наступні елементи: індекс УДК; ФІО авторів; найменування закладу, в якому виконувалася робота; назва статті, адреса електронної пошти авторів. Заголовок статті оформляти за стилем Заголовок 1, кегль 11 пт, без переносу, усі прописні, інтервал: перед — 8 пт, після — 2 пт.

Наприкінці рукопису наводиться реферат на трьох мовах – українській, російській, англійській, що містить ФІО авторів, назву статті, скорочений зміст та ключові слова.

Якщо рукопис не є повністю англомовним, він супроводжується анотацією на англійській мові обсягом не менше 1800 знаків, включаючи ключові слова.

Змінні, функції, вектори, матриці і т.п. оформляються латинським шрифтом. Змінні виконуються похилим шрифтом, вектори — напівжирним, без нахилу; грецькі символи — у всіх випадках без нахилу; індекси: латинські — з нахилом, кириличні — без нахилу. Розміри в Mathtype: основний — 11 пт, збільшений — 16,5 пт, індекс — 7 пт, субіндекс — 6 пт. У всіх випадках розмітка формул у копії

рукопису обов'язкова. Нумеруються тільки ті формули, на які є посилання в тексті. Формули відділяються від тексту рядками висотою 2 пт. Усі формули повинні бути набрані в Mathtype. Одиниці фізичних величин повинні відповідати ДСТУ 3651.0-97, ДСТУ 3651.1-97, ДСТУ 3651.2-97 "Метрологія. Одиниці фізичних величин" і мати загальноприйняті позначення.

Таблиці слід розташовувати на одній сторінці крім випадків, коли таблиця займає більше 1 сторінки. Заголовок — 10 пт, без переносу, інтервал перед — 8 пт, після — 2 пт, основний шрифт таблиці — 10 пт. Малюнки відділяються від тексту зверху інтервалом 8 пт, від назви — 2 пт. Назва малюнка — кегль 10 пт, без переносу, інтервал після — 8 пт. На всі таблиці і малюнки повинні бути посилання в тексті статті у скороченому вигляді (табл.).

Ілюстрації, які підготовлені в графічних редакторах, додаються в якості окремих файлів у вихідному форматі. Розмір написів повинен забезпечувати їхню читаність (8-10 пт). Для сканованих малюнків додається оригінал у туші на білому папері достатньої щільності. На звороті вказується номер і приналежність до статті.

Бібліографічні описи повинні відповідати діючим вимогам. Посилання на літературні джерела у тексті оформлюються у квадратних дужках з вказанням номера джерела.

Контактна інформація - e-mail: ivanovich1zh@gmail.com

Суднові енергетичні установки:
науково-технічний збірник.
Випуск 40.

Підписано до печатки 30.11.2013. Формат 60×84/16.
Уч.-изд. л. 9,89. Тираж 100. Зауводити, увести до ладу. № И12-12 52.

НУ «ОМА», центр „Видавінформ”
Свідчення ДК № 1292 від 20.03.2003
65029, м. Одеса, вул. Дидрихсона, 8
тел./факс: (0482) 34-14-12
publish@ma.odessa.ua