

**Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Одеська морська академія»
Навчально-науковий інститут інженерії (ННІ)
Одеське відділення інституту морської техніки, науки і технології
(Великобританія)**

МАТЕРІАЛИ

**Науково-технічної конференції молодих дослідників
"Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт"
21.11.2024**

Одеса – 2024

Матеріали науково-технічної конференції молодих дослідників "Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт", 21.11.2024. – Одеса: НУ «ОМА», 2024. –322 с.

Матеріали публікуються згідно з поданими авторами оригіналами.

ЗМІСТ

СУДНОВІ ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ І СИСТЕМИ.....	7
Аль-Файад Аднан Ісмаїл, Заблоцький Ю.В. Забезпечення експлуатаційних показників суднових дизелів під час використання палива біологічного походження.....	7
Амосов А.В., Сагін С.В. Забезпечення експлуатаційних характеристик спеціальних систем спеціалізованих суден.....	11
Ананченко Д.А., Фрасинюк І.І. Підвищення ефективності системи наддува суднових дизелів	16
Арясов О.О., Фрасинюк І.І. Зниження емісії оксидів азоту суднових чотиритактних дизелів	21
Байда Д.Є., Колегаєв М.О. Забезпечення експлуатаційних показників циркуляційних систем мащення суднових дизелів	26
Бойко П.В. Половинка Е.М. Підвищення ефективності діагностики суднових дизелів шляхом аналізу індикаторних діаграм та параметрів тепловиділення	31
Бондарев Е.П., Аболешкін С.Є. Поліпшення показників робочого процесу суднових дизелів	38
Бормецький В.В., Колегаєв М.О. Підвищення ефективності процесу очищення суднових вод, що містять нафту	42
Велічко Е.П., Половинка Е.М. Improvement of dual fuel marine diesels fuel injection.....	47
Вовченко В. А., Парменова Д.Г. Забезпечення екологічності роботи морських суден	53
Головацький В.В., Заблоцький Ю.В. Підвищення ефективності використання моторних мастил в суднових дизелях.....	58
Грама М.В., Колегаєв М.О. Забезпечення експлуатаційних характеристик судового пропульсивного комплексу	62
Грамчук В.В., Сагін С.В. Підвищення економічності роботи дизелів морських суден	67
Дігол Д.А., Половинка Е.М. Оптимізація робочого процесу суднових дизелів шляхом роздільного впорскування палива.....	72
Дмитренко О.О., Парменова Д.Г. Управління емісією оксидів сірки під час експлуатації дизелів морських суден.....	78
Залівін О.В., Сагін .В. Забезпечення екологічних показників суднових дизелів шляхом перепуску випускних газів	83
Лобов І.В., Сагін С.В. Удосконалення процесу підготовки суднових важких палив.....	88
Карабаджак Н.Е., Сагін С.В. Забезпечення міжнародних вимог з управління баластними водами під час експлуатації спеціалізованих суден.....	93

Кобелев Ю.О., Парменова Д.Г. Підвищення ефективності процесу очищення суднових важких палив	98
Козак В.М., Колегаєв М.О. Вдосконалення експлуатації суден днопоглиблювального флоту	103
Короткіх К.М., Сагін С.В. Забезпечення експлуатаційних показників палив для суднових дизелів	108
Котунов А.Р. Аболєшкін С.Є. Підвищення ефективності систем наддуву суднових дизельних установок.....	113
Кузьменко Д.В, Заблоцький Ю.В. Підвищення ефективності процесу очищення суднових	116
Кулачок І.С., Сагін С.В. Підвищення експлуатаційних показників суднових дизелів	121
Левічев В.В., Парменова Д.Г. Підвищення екологічних показників роботи суднових дизелів	126
Мартинов В.О., Заблоцький Ю.В. Забезпечення вимог marpol щодо очищення суднових вод, що містять нафту.....	132
Матейко О.В. Визначення критерію оцінки якості перебігу процесу інертизації вантажних танків суден-газовозів	137
Нацваладзе Р.А., Аболєшкін С.Є. Підвищення ефективності систем наддування суднових дизелів	142
Постнов І.О., Сагін С.В. Поліпшення експлуатаційних показників роботи суднових дизелів	145
Сердюков І.М., Заблоцький Ю.В. Вдосконалення процесів підготовки палив для дизелів суден морського та внутрішнього водного транспорту	149
Нягу С.В., Сагін С.В. Підвищення ефективності експлуатації циркуляційних систем мащення суднових чотиритактних дизелів	154
Осіпов О.В., Заблоцький Ю.В. Підвищення екологічності роботи суднових дизелів шляхом використання альтернативних палив.....	159
Стасюк Г.І., Парменова Д.Г. Підвищення ефективності процесу знезараження баластних вод	164
Супрун Р.А., Заблоцький Ю.В. Підтримка експлуатаційних характеристик технічних рідин під час їх транспортування на морських судах.....	169
Тітієвський І.В., Колегаєв М.О. Забезпечення процесу інертизації вантажних приміщень нафтових танкерів	175
Ткачук В.С., Колегаєв М.О. Підвищення ефективності суднових дизелів шляхом хімічної обробки палива	180
Щокін І.В., Сагін С.В. Забезпечення міжнародних вимог під час проведення баластних операцій на морських судах	185
Усатий М.В, Сагін С.В. Підвищення ефективності діагностики і контролю робочого процесу судового дизеля	190
Чувакін М.О., Аболєшкін С.Є. Підвищення ефективності експлуатації системи охолодження судового дизеля	195

Федоренко О.В., Заблоцький Ю.В. Зниження енергетичних втрат під час мащення підшипників ковзання суднових дизелів	198
Фролов М.С., Парменова Д.Г. Забезпечення виконання вимог щодо скорочення викидів оксидів сірки з суден	204
ЕКСПЛУАТАЦІЯ І РЕМОНТ СЕУ	209
Афанасенко М.Р., Андрюхін І. В., Козьмініх М.А. Визначення надійності установки охолодження рефрижераторного контейнеру	209
Биковець М.В., Козьмініх М.А. Поліпшення експлуатаційних характеристик вантажних систем суден метановозів	214
Ващенко В.О., Фульга В.О., Богач В.М. Вдосконалення системи мащення циліндрів суднових дизелів	220
Граждан М.Ю., Кочков В.А., Хлієва О. Я. Аналіз можливих шляхів підвищення енергоефективності суднового холодильного обладнання.....	223
Гриньков А. С., Козьмініх М.А. Аналіз ефективності використання вторинної пари вантажу в якості палива для головного двигуна	225
Гузь В.А., Нікольський В.В. Удосконалення організації технічної експлуатації судна шляхом використання штучного інтелекту	231
Демянів Ю.В., Козьмініх М.А. Аналіз ефективності систем вторинного скраплення пари вантажу суден LPG	233
Желтов А.А., Корбан В.Х. Резонаторний радіохвильовий метод контролю технічного стану металевого корпусу судна.....	236
Дорохін І.І., Хлієва О. Я. Аналіз енергетичної ефективності суднової холодильної машини рефконтейнера.....	240
Жиленко В. О., Голіков В. А. Підвищення ефективності суднових систем конденсації повітря.....	244
Зайченко Я.О., Козьмініх М.А. Аналіз використання сучасних холодильних агентів в суднових системах комфортного кондиціонування.	248
Константинов В.О., Хлієва О. Я. Підвищення ефективності холодильної машини у складі суднової протипожежної системи з CO ₂ низького тиску..	254
Лисак В. Е., Голіков В. А. Особливості експлуатації теплообмінних апаратів танкера- газовоза типу LNG.....	258
Мартиненко П. С., Хлієва О. Я. Аналіз енергетичної ефективності установки повторного зрідження природного газу	262
Михайлик В.С., Козьмініх М.А. Підвищення надійності холодильного обладнання.....	266
Молчанов О.Ю., Ніколаєнко Ю. А., Козьмініх М.А. Аналіз ефективності використання холодильних агентів в судновому холодильному обладнанні.	270
Роленко Д. Ю., Козицький С. В. Застосування наноматеріалів для збільшення ресурсу суднового обладнання.....	276

Парван О. Л., Голіков В.А. Покращення екологічності морських суден засобами очищення нафтоскидальних вод.....	281
Сила М.В., Хлієва О. Я. Аналіз впливу забруднення поверхні теплообміну на теплові та гідравлічні характеристики кожухотрубного теплообмінника заборотної води	284
Соболь Д.С., Фрасинюк І.І. Забезпечення експлуатаційних показників паливної апаратури високого тиску суднових дизелів	287
Сухенький Д. О., Хлієва О. Я. Аналіз впливу суднової холодильної техніки на навколишнє середовище.....	293
Поліщук О.М., Хлієва О.Я. Вибір раціонального типу компресора суднової системи кондиціювання повітря.....	296
Ткаченко А.Ю., Хлієва О. Я. Аналіз енергетичної ефективності установки повторного зрідження нафтового газу.....	298
Чевелій І.А., Козьмініх М.А. Аналіз можливостей підвищення теплової ефективності апаратів суднових систем кондиціювання	301
Фіщин В.В., Денісов В.Г. Визначення надійності установки охолодження рефрижераторного контейнеру	304
Юр'єв О.Є., Стукал О.А., Мельник О.А. Відновлення деталей способом зварюванн і наплавлення.....	309
Kolyshkin O.R., Andreev E.S., Zhuravlov Yu.I. Study of the patterns of wear of the "shaft-sliding bearing" surfaces of parts of ship's technical equipment (STE)	315

СУДНОВІ ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ І СИСТЕМИ

УДК 629.5

Аль-Файад Аднан Ісмаїл, Заблоцький Ю.В.,
Національний університет "Одеська морська академія"

Забезпечення експлуатаційних показників суднових дизелів під час використання палива біологічного походження

Постановка проблеми в загальному вигляді. У суднових енергетичних установках на морському та внутрішньому водному транспорті як головні, так і допоміжні широко використовуються дизельні поршневі двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) різних модифікацій.

Основним джерелом енергії ДВЗ є паливо нафтового походження. За даними транснаціональної компанії British Petroleum (яка здійснила аналіз щорічних обсягів споживання та видобутку палива) нафтових запасів в уже існуючих та розроблюваних родовищах світової енергетики вистачить на 40...45 найближчих років. Це, а також сучасні екологічні вимоги до ДВЗ автомобільного, залізничного та морського транспорту, змушують розвивати альтернативну енергетику та розробляти альтернативні палива [1]. Однією з характеристик альтернативних палив, яка сприяє їх застосуванню в теплових двигунах, є мінімальна кількість або повна відсутність у них сірки та азоту. При цьому при їх згорянні знижується кількість оксидів сірки SOX та паливних оксидів азоту NOX у випускних газах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для ДВЗ суден морського та внутрішнього водного транспорту як альтернативне паливо найбільше застосування отримали біодизельне паливо на основі метилових ефірів жирних кислот (Fatty Acid Methyl Esters – FAME) та паливо на основі гідрогенізованих рослинних олій (Hydrogenated Vegetable Oil – HVO). Питома вага даних палив аналогічна питомій вазі нафтових палив, це дозволяє змішувати FAME і HVO у необмеженому співвідношенні з нафтовим дизельним паливом без зміни густини та в'язкості одержуваної таким чином паливної суміші [2, 3]. До особливостей експлуатації ДВЗ суден морського та внутрішнього водного транспорту належить їх періодична (залежно від виконаного транспортного завдання) робота у спеціальних екологічних районах контролю викидів оксидів сірки – Sulfur Emission Control Areas (SOX-ECAs) та оксидів азоту – Nitrogen Emission Control Areas (NOX-NECAs). Робота дизеля в таких районах можлива лише на паливі, вміст сірки в якому не перевищує 0,1 % за масою. Викиди оксидів азоту NOX у цих зонах повинні відповідати вимогам Annex VI MARPOL (рис. 1). Максимальне значення емісії оксидів сірки не повинно перевищувати відношення діоксиду сірки SO₂ до діоксиду вуглецю CO₂ (таблиця 1), при цьому використання палива, вміст сірки в якому перевищує 0,5 %, можливе лише у разі застосування додаткових технологій з очищення випускних газів від сірчистих домішок [4, 5].

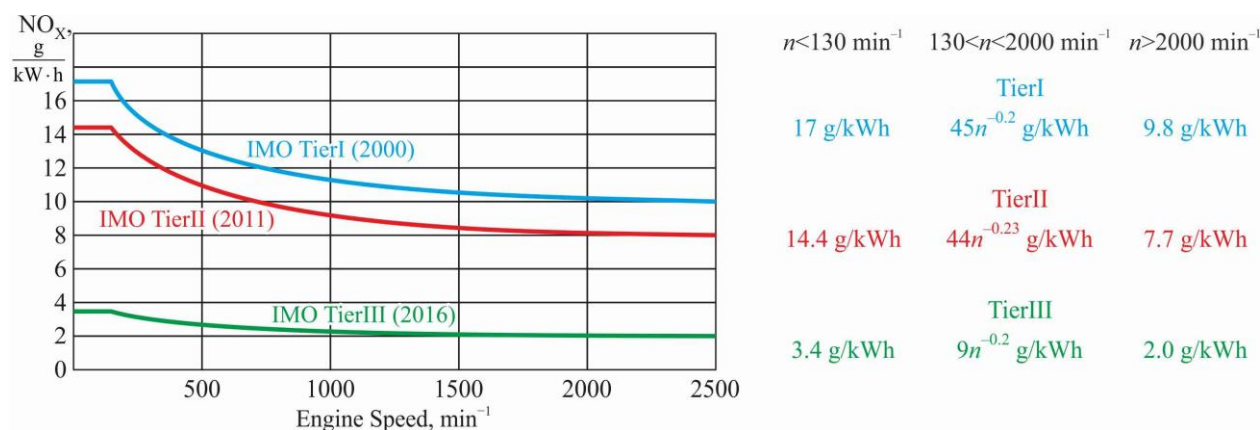


Рис. 1. Вимоги Annex VI MARPOL щодо вмісту оксидів азоту в випускних газах суднових дизелів

Таблиця 1

Вимоги з обмеження вмісту оксидів сірки в випускних газах суднових дизелів

Вміст сірки в паливі, масові %	Відношення викидів SO ₂ /CO ₂ , ppm/об'ємні %
3,50	151,7
1,50	65,0
1,00	43,3
0,50	21,7
0,10	4,3

Постановка завдання. Викладене підтверджує актуальність завдання з забезпечення експлуатаційних показників суднових дизелів та підвищення рівня екологічності роботи судна.

Виклад основного матеріалу дослідження. Одним з варіантів підвищення рівня екологічності експлуатації морських суден під час їх знаходження в SO_x-ECAs и NO_x-NECAs є використання паливних сумішей, до складу яких входить біодизельне паливо. Експерименти, що підтверджують це висловлювання виконувались на спеціалізованому судні дедвейтом 7493 тонн під час його експлуатації в особливих екологічних районах Північної Європи. Як головний двигун на судні встановлено середньообертовий дизель 12V32/40 MAN Diesel & Turbo. Під час досліджень судно здійснювало перевезення вантажів за маршрутом Клайпеда (Литва) – Гетеборг (Швеція) та далі між портами, що знаходяться в SO_x-ECAs: Гетеборг (Швеція) – Есбьерг (Данія) – Бремерхавен (Германія) – Роттердам (Голландія) – Антверпен (Бельгія) – Дувр (Велика Британія) – Онфльор (Франція) – Брест (Франція).

Під час морських переходів поза SO_x-ECAs дизель 12V32/44 MAN Diesel & Turbo експлуатувався на паливі RMG420, зі вмістом сірки 0,5 % за масою, під час переходів в SO_x-ECAs – на паливної суміші з RMG420 та біодизельного палива FAME99.6, зі вмістом сірки 0,085 % за масою. Основні характеристики морських переходів надані в таблиці 2.

Таблиця 2

Основні характеристики морських переходів

Порт	Клайпеда	Гетеборг	Есбьерг	Бремерхавен	Роттердам
Відстань, морські милі	430	418	220	238	
Час переходу, год	43	42	22	24	
Паливо, що викорис- товується	RMG420	FAME99.6	FAME99.6	FAME99.6	

Порт	Роттердам	Антверпен	Дувр	Онфльор	Брест
Відстань, морські милі	89	260	207	237	
Час переходу, год	9	26	21	24	
Паливо, що використо- вується	FAME99.6	FAME99.6	FAME99.6	FAME99.6	

З урахуванням навігаційних обставин (інтенсивності судноплавства, гідрометеорологічних умов, розташування та глибини фарватеру) потужність головного двигуна 12V32/44 MAN Diesel & Turbo змінювалась в діапазоні $(0,65 \dots 0,85)N_{\text{еном}}$, де $N_{\text{еном}} = 5280$ кВт. При цьому (через зміну циклової подачі палива) змінювалась кількість діоксидів сірки та вуглецю в випускних газах та відповідно відношення SO_2/CO_2 . Також через зміну навантаження на дизель не залишалась постійною концентрація оксидів азоту в випускних газах, максимальне значення якої (в зв'язку з тим, що дизель 12V32/44 MAN Diesel & Turbo відноситься до рівню Tier II) не повинне перевищувати

$$\text{NO}_x^{\text{max}} = 44n^{-0,23} = 44 \cdot 750^{-0,23} = 9,60 \text{ г/кВт} \cdot \text{год};$$

де $n = 750 \text{ хв}^{-1}$ – номінальна частота обертання дизеля.

Під час знаходження судна в особливих екологічних районах забезпечувався постійний моніторинг його екологічних параметрів, у тому числі емісії діоксидів сірки SO_2 , вуглецю CO_2 та азоту NO_x . Зміна цих показників під час використання палива RMG420, а також паливної суміші, яку складали 80 % палива RMG420 та 20 % біодизельного палива FAME99.6, наведена на рис. 2, 3.

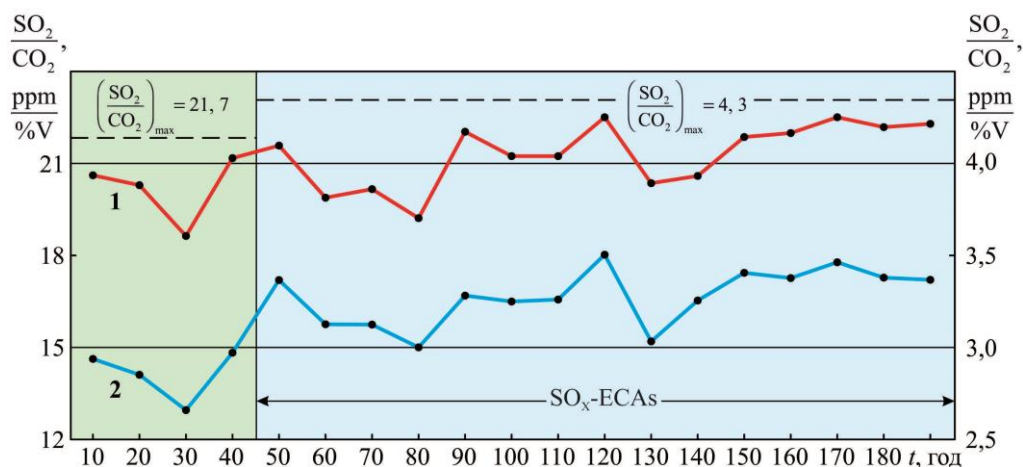


Рис. 2. Зміна відношення SO_2/CO_2 в випускних газах під час експлуатації суднового дизеля 12V32/40 MAN Diesel & Turbo

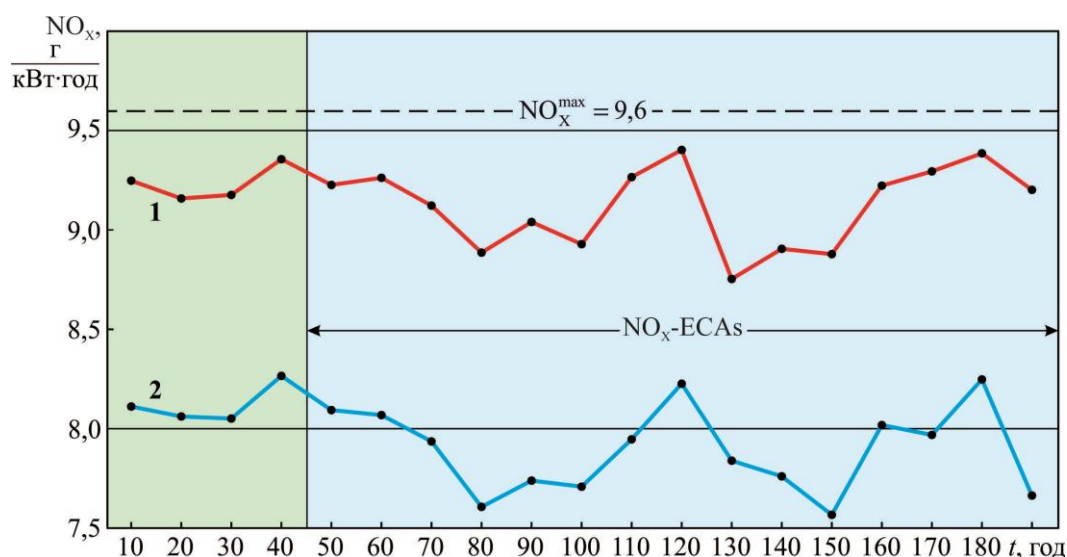


Рис. 3. Зміна концентрації в NOX в випускних газах в під час експлуатації суднового дизеля 12V32/40 MAN Diesel & Turbo

Висновки і перспективи подальших досліджень. Наведені результати свідчать про можливість покращення екологічних показників суднових дизелів під час використання паливних сумішей, до складу яких входить паливо біологічного походження, та збільшення таким чином їх екологічної стійкості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Madey V.V. Usage of biodiesel in marine diesel engines // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. – 2021. – № 7-8. – P. 18 - 21.
2. Мадей В.В. Використання в суднових дизелях паливних сумішей до складу яких входить паливо біологічного походження // Суднові енергетичні установки : наук. -техн. зб. – 2022. – Вип. 44. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 93 - 110.
3. Sagin S., Karianskyi S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Tkachenko I. Impact of Biofuel on the Environmental and Economic Performance of Marine Diesel Engines // Journal of Maritime Science and Engineering. – 2023. – Vol. 11. – P. 120. <https://doi.org/10.3390/jmse11010120>
4. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Píštěk V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe // Journal of Maritime Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10. – P. 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331>.
5. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. The Use of Exhaust Gas Recirculation for Ensuring the Environmental Performance of Marine Diesel Engines // Naše more : International Journal of Maritime Science & Technology. – 2018. – Vol. 65(2), 78-86. DOI 10.17818/NM/2018/2.3.

Забезпечення експлуатаційних характеристик спеціальних систем спеціалізованих суден

Постановка проблеми в загальному вигляді. Перевезення, що виконуються суднами морського та внутрішнього транспорту, не обмежуються об'ємними (контейнерами, металічним прокатом, обладнанням та ін.), насипними (зерном, добривом та ін.) та наливними (в першу чергу нафтопродуктами) вантажами. Існує клас спеціалізованих суден, що забезпечує постачання нафтодобувних платформ технічними рідинами, які використовуються для мащення та охолодження бурових пристроїв та видалення з зону буріння твердого, глинистого або піщаного ґрунту. Дані типи суден відрізняються підвищеною маневреністю, високою енергоозброєністю, а також включають до складу низки спеціальних, характерних тільки їм, систем. Такою системою (для суден класу PSV – Platform Supply Vessel) є система перевезення бурильної суспензії, яка згодом перекачується на нафтовидобувну платформу та використовується для виконання робіт із буріння морського шельфу [1]. Технічні рідини (бурильні суспензії), що транспортуються PSV, є дисперсними системами, їх основу (дисперсне середовище) складають мінеральні мастила, дисперсною фазою є неорганічні з'єднання, питома вага яких перевищує питому вагу мінерального мастила. Це забезпечує підвищення триботехнічних характеристик бурильних суспензій та знижує енергетичні втрати під час виконання бурових робіт [2].

Під час транспортування технічних рідини (бурильних суспензій) морськими судами відбувається поступове осадження дисперсної фази і зміна густини та седиментаційної стійкості бурильної суспензії по глибині вантажного танка. Наслідком цього є утворення осаду, що збільшує гідравлічні опору на судочинство транспортування бурильної суспензії і зміна функціональних властивостей бурильної суспензії, що обмежує можливість її подальшого використання [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У бурильних суспензіях (які використовують для видобутку нафти на морських та океанських платформах та транспортуються суднами класу) дисперсним середовищем є малов'язке мастило, дисперсною фазою – солі металів, наприклад, NaCl , KCl , MgCl_2 , а також різні кремній органічні сполуки. Дисперсна фаза бурильної суспензії забезпечує процес змащування та охолодження бурильного обладнання, дисперсне середовище – покращує його триботехнічні характеристики [4].

Дисперсні компоненти бурильної суспензії (солі металів) мають більш високу питому масу в порівнянні з дисперсною фазою (мастилом), тому в процесі транспортування бурильної суспензії відбувається їхнє осадження на дно вантажного танка, в якому відбувається їхнє перевезення з берега на на-

фтову платформу. Це призводить до розшарування та зміни густини суспензії за висотою, а також до утворення опадів на дні вантажних танків, у яких транспортується суспензія бурильна.

Осадження важких компонентів суспензії бурильної є причиною підвищення гідравлічного опору при її перекачуванні з вантажного танка судна на бурову платформу, а в деяких випадках може призвести до пошкодження вантажних насосів. Видалення осаду ручним або механічним способом відноситься до категорії невластивих робіт для суднового екіпажу, пов'язане зі збільшенням ходового часу судна, що призводить до втрат теплової [3] та механічної енергії [4], а найголовніше – погіршує експлуатаційні характеристики бурильної суспензії [6], обмежуючи її використання у технологічному процесі видобутку нафти, збільшує фінансові витрати та знижує економічні показники роботи PSV [7].

Постановка завдання. Викладене підтверджує актуальність завдання з підтримання експлуатаційних характеристик спеціальних систем спеціалізованих суден, розв'язання якого можливо шляхом підтримання густини та седиментаційної стійкості бурильної суспензії під час її транспортування спеціалізованими суднами класу PSV.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження виконувалися на судні класу PSV дедвейтом 5650 тонн, яке здійснювало 2...2,5 денні переходи від порту до бурової платформи з можливим очікуванням безпосереднього підходу до платформи протягом 1...1,5 днів. Транспортування бурильної суспензії здійснювалася в чотирьох одно розмірних танках, попарно розташованих з кожного борту судна (рис. 1).

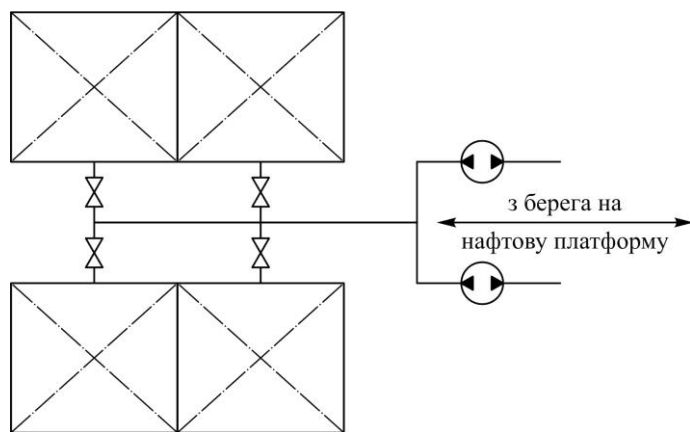


Рис. 1. Принципова схема системи зберігання, транспортування і передачі бурильної суспензії

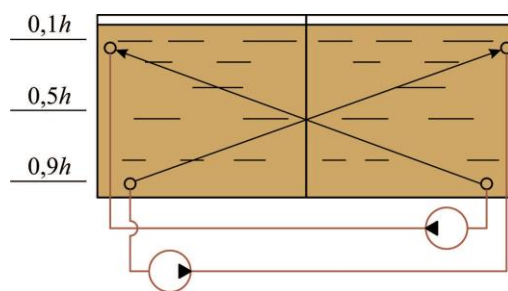


Рис. 2. Технологія забезпечення Х-подібної циркуляції бурильної суспензії в вантажних танках

Протягом зазначеного проміжку часу (переходу і очікування) відбувається процес седиментації бурильної суспензії та її розшарування по глибині вантажного танка. З метою мінімізації цього негативного явища суднова система перевезення бурильної суспензії модернізувалась за рахунок установки додаткових трубопроводів, які забезпечували Х-подібну циркуляцію суспензії в танках) Забезпечення цієї технології вказано на рис. 2. Вимірювання гу-

стини бурильної суспензії виконувалося на глибині, відповідній 10-ти, 50-ти і 90% загальної глибини танка (0,1h, 0,5h, 0,9h на рис. 2). Як контрольний параметр приймалася седиментація бурильної суспензії $\Delta\rho$, яка визначалася як відносна зміна густини на глибині 10 і 90 % загальної глибини танка за виразом

$$\Delta\rho = \frac{\rho_{90} - \rho_{10}}{\rho_{90}} 100\%,$$

де ρ_{90} , ρ_{10} – густина на глибині 90 і 10 % загальної глибини вантажного танка відповідно, кг/м³.

Значення густини в попарно розташованих сусідніх танках (двох без додаткової циркуляції і двох з Х-подібною циркуляцією) усереднювалися. Час виконання комплексу вимірювань не перевищувало 10 хв. Отримані значення вносилися до програми персонального комп'ютера, за допомогою якого виконувався розрахунок седиментації і видавався керуючий сигнал на контролер, який забезпечував включення / вимикання циркуляційних насосів.

В даний час не існує рекомендацій з підтримки значення седиментації бурильної суспензії. Ця величина була обрана рівної 7 % з урахуванням досвіду експлуатації суднових систем перевезення бурильних суспензій і результатів попередніх досліджень [1, 2]. Таким чином, в разі, коли значення седиментації перевищувало 7 %, система автоматичного регулювання забезпечувала Х-подібну циркуляцію бурильної суспензії між сусідніми танками. Циркуляція припинялася, коли значення седиментації не перевищувало 2 %. Зміна густини та седиментації бурильної суспензії для різних умов її транспортування, показані на рис. 3.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Бурильні суспензії, перевезення яких на бурові нафтовидобувні платформи здійснюється морськими суднами, є багатокомпонентними технічними рідинами. Їх перебування в статичному стані призводить до латентного зміни густини та седиментації по глибині вантажного танка. Седиментація бурильної суспензії по глибині вантажного танка за час її транспортування на бурову платформу (до 48 годин) може досягати 31 %. Одним з методів, що запобігають цей негативний процес, є створення додаткової примусової Х-подібною циркуляції бурильної суспензії. Її забезпечують циркуляційні насоси по магістралях, що з'єднують донну і верхню частини вантажних танків, що знаходяться поруч один з одним.

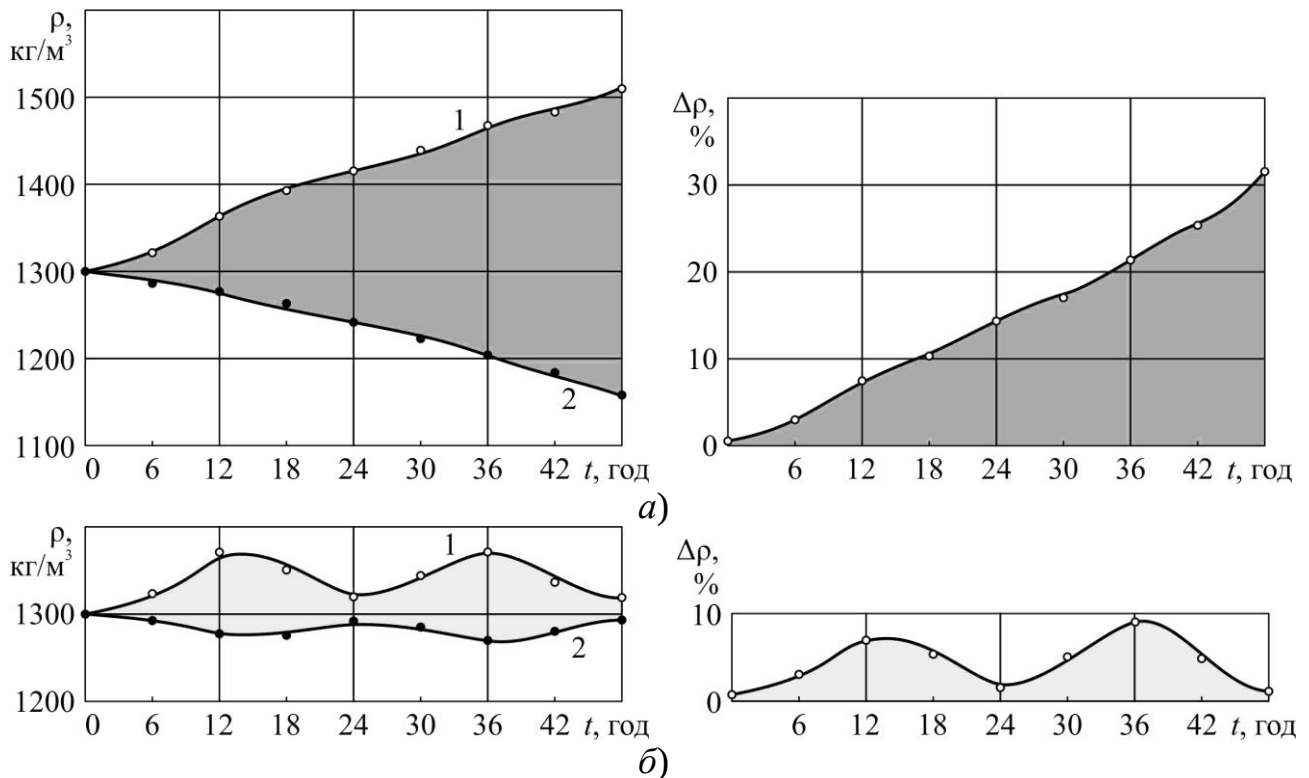


Рис. 3. Зміна густини, ρ , кг/м³, та седиментації, $\Delta\rho$, %, бурильної суспензії для різних умов її транспортування: а – транспортування без модернізації конструкції системи, б – транспортування з додатковою Х-подібною циркуляцією

Для підтримання експлуатаційних характеристик бурильної суспензії та забезпечення функціонування системи транспортування бурильної суспензії необхідно автоматично підтримувати значення седиментації бурильної суспензії в діапазоні 2 ... 7 %. Це підвищує однорідне стан бурильної суспензії, підтримує її густину та сприяє зниженню седиментації по глибині вантажного танка. Процес додаткової циркуляції бурильної суспензії раціонально забезпечувати до моменту, коли її седиментація досягне значення 2 %.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Карьянский С. А. Обеспечение эксплуатационных характеристик высокоплотных технических жидкостей при их транспортировке морскими судами / С. А. Карьянский, Д. Н. Марьянов // Вісник Одеського національного морського університету : Зб. наук. праць, 2020. – Вип. 1(61). – С. 97-105. doi.org/10.47049/2226-1893-2020-1-97-105.
2. Sagin S.V., Stoliaryk T.O. Comparative assessment of marine diesel engine oils // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7-8. – Р. 29-35. https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-29-35.
3. Maryanov D. Development of a method for maintaining the performance of drilling fluids during transportation by Platform Supply Vessel / D. Maryanov // Technology Audit and Production Reserves. – 2021. – № 5(2(61)). – Р. 15-20. doi: http://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.239437.

4. Maryanov D. M. Maintaining the efficiency of drilling fluids when they are transported by platform supply vessels class offshore vessels / D. M. Maryanov // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7–8 (July – August). – P. 22-28. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-22-28>.
5. Sagin S. V. Cavitation Treatment of High-Viscosity Marine Fuels for Medium-Speed Diesel Engines / S. V. Sagin, V. G. Solodovnikov // Modern Applied Science; Published by Canadian Center of Science and Education, Vol. 9, № 5. – 2015. – P. 269-278. DOI:10.5539/mas.v9n5p269 (Indexed by Scopus)
6. Maryanov D. Control and regulation of the density of technical fluids during their transportation by sea specialized vessels // Technology Audit and Production Reserves. – 2022. – № 1 (2(63)). – C. 19–25. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.252336>.
7. 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.

Підвищення ефективності системи наддува суднових дизелів

Постановка проблеми в загальному вигляді. В останнє десятиліття в суднових дизелях знайшло широке застосування електронне управління розподільчими органами дизеля (подача палива, повітря, циліндрового мастила, випуск газів) замість традиційного механічного управління за допомогою кулачних розподільчих валів. Застосування електронних систем управління дає суттєві переваги:

- гнучкість управління, що забезпечується відповідними програмними засобами оптимізації характеристик двигуна на різних режимах та в різних умовах експлуатації;
- зниження маси та спрощення конструкції двигуна внаслідок відмови від громіздких та досить складних механічних приводів систем паливоподачі, газорозподілу та реверсу;
- поліпшення маневрених характеристик судна в результаті зниження мінімальної частоти обертання, поліпшення пускових і реверсивних характеристик, управління подачею контрповітря для зменшення вибігу судна;
- можливість зменшення викидів оксидів азоту за рахунок зміни параметрів паливоподачі;
- поєднання високої економічності з низькою емісією оксидів азоту NO_x завдяки оптимізації згоряння під час використання різних сортів палива з урахуванням режиму роботи двигуна та зовнішніх умов;
- оптимізацію управління системою циліндрового мащення для зниження витрати циліндрового мастила при одночасному зменшенні зносів циліндрових втулок;
- оптимізацію системи наддуву суднових дизелів на режимах часткових навантажень [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Всі без винятку сучасні дизелі, що встановлюються на судна морського та внутрішнього водного транспорту, комплектуються системами наддува. Саме ці системи забезпечують збільшення кількості повітря, що подається в циліндр дизеля, що в подальшому дає можливість підвищення циклової подачі палива та, відповідно, потужності дизеля.

В даний час розроблено та застосовується на окремих моделях дизелів ряду фірм так звана «реєстрова система наддуву», що дозволяє ефективно розв'язувати проблеми узгодження роботи турбокомпресора та високофорсованого дизеля. За сигналом електронної системи управління турбокомпресори залежно від режиму роботи або регулюються, або за допомогою заслінок (що встановлюються з боку випускних газів та повітря) повністю відключається турбокомпресор другого ступеня. При цьому система наддуву забезпечує гарне узгодження з характеристиками двигуна не лише на постій-

ному режимі, але значно покращує роботу двигуна на перехідних режимах. У зв'язку з цим нові вимоги щодо емісії NO_x можуть бути успішно реалізовані за умовою забезпечення високого наддуву [2].

Одноступеневий наддув навіть за сучасних технологій проектування та виготовлення багато в чому вичерпав свої можливості. Для сучасних високофорсованих та потужних дизелів потрібна двохступенева система наддуву (ДСН), за допомогою якої можна отримати більш високий коефіцієнт корисної дії (ККД) системи з використанням проміжного охолодження повітря між ступенями. Процес стиснення наближається до ізотермічного, а виграш у ККД залежить від зниження температури в проміжному холодильнику та загального ступеня підвищення тиску [3].

ККД ДСН має більш високе значення і з інших причин: повніше використання енергії розширення турбіни; вищий ККД компресора і турбіни. За результатами зіставлення одноступеневих та двохступеневих систем наддуву фірмою АВВ, наприклад, зроблено наступний висновок: одноступеневий турбокомпресор є оптимальним рішенням для тисків наддуву 0,5...0,6 МПа як за термодинамічних, також і за експлуатаційних вимог; ДСН із двома вільними турбокомпресорами доцільно застосовувати для ступенів підвищення тиску більше 6 (високий наддув) [4].

З інших розробок підвищення ефективності наддуву слід відзначити створення керованих систем турбонаддува з регульованими сопловими апаратами, системами перепуску надувного повітря та інших [5].

Постановка завдання. Викладене підтверджує актуальність завдання з підвищення ефективності системи наддува суднових дизелів.

Виклад основного матеріалу дослідження. З початку 21 століття на морських та річкових судах (буксири, судна постачання, пошуково-рятувальні судна тощо) встановлюють сучасні високооборотні дизелі, як із «традиційними», так і реєстровими системами наддуву. Характерними представниками двигунів з чисто газотурбінним наддувом є, наприклад, Caterpillar CAT 3512B, а з реєстровим – MTU 10V2000 M93. У таблиці 1 наведено їх основні технічні характеристики.

До складу системи наддуву V-подібного дизеля «Caterpillar» CAT 3512B (рис. 1) входять два охолоджувані турбокомпресори ТК 2 і 3 з проміжним охолодженням наддувного повітря 9, що працюють на загальний ресивер 8. Випускні гази через відповідні вихлопні колектори правого і лівого бортів потрапляють на турбіну ТК правого і лівого бортів, розкручуючи їх, виходять через загальний вихлопний колектор в атмосферу. Двигун працює у широкому діапазоні зміни навантажень. Для розкручування кожного ТК необхідна достатня енергія відпрацьованих газів, яка виникає при досягненні оборотів колінчастого валу двигуна, що дорівнює 1100...1200 хв⁻¹ і вище за навантаженням понад 15...30 % від номінальної потужності дизеля $N_{\text{еном}}$.

Таблиця 1. Технічні характеристики досліджуваних дизелів

№ з/п	Найменування	MTU 10V2000 M93	Caterpillar CAT 3512B
1.	Тип дизеля	Чотирьохтактний, з водяною системою охолодження, розташування циліндрів V-подібне	
2.	Кількість циліндрів	10	12
3.	Номінальна частота обертання, хв^{-1}	2450	1800
4.	Максимальна потужність, кВт	1120	1230
5.	Діаметр циліндра та хід поршню, м	0,135 / 0,156	0,17 / 0,19
6.	Об'єм циліндра, м^3	0,00223	0,00431
7.	Частота обертання ротору турбокомпресора, хв^{-1}	до 80000	до 80000
8.	Система впорскування палива	«Common Rail»	Насос-форсунки
9.	Турбонаддув	Регістровий	Звичайний газотурбінний
10.	Максимальний тиск наддувного повітря, МПа	0,4	0,3
11.	Температура випускних газів (максимальне значення), $^{\circ}\text{C}$	700	728

Це означає роботу двигуна не на холостому ходу, а під частковим навантаженням. У режимі прогрівання двигуна, за частотою обертання 650 хв^{-1} (при малих навантаженнях до 8 % від $N_{\text{сном}}$) тиск наддувного повітря в ресивері практично відсутній.

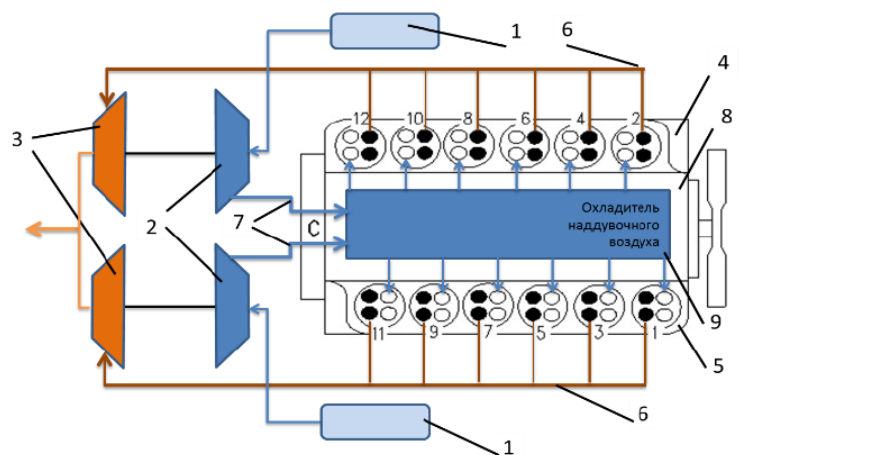


Рис. 1. Система наддуву дизеля Caterpillar CAT 3512B:

- 1 – повітряний фільтр; 2 – компресор; 3 – турбіна; 4 – парні циліндри (лівий борт);
 5 – непарні циліндри (правий борт); 6 – вихід відпрацьованих газів; 7 – наддувне повітря;
 8 – ресивер; 9 – охолоджувач наддувального повітря

У технічній літературі наводяться результати роботи суднових двигунів із суто газотурбінним наддувом [2-5], нажаль, по реєстровій системі наддуву та особливостям їх експлуатації рекомендацій майже немає. Особливістю реєстрової системи наддуву дизеля MTU 10V2000 M93 (рис. 2) є:

- два ТК, один з яких такий, щр підключається;
- загальний охолоджуваний корпус ТК;
- газовипускні колектори, що працюють на газові турбіни ТК і з'єднані загальним перепускним газопроводом випускних газів (ВГ).

До складу системи входять також повітряні фільтри на кожен із ТК, охолоджувач наддувального повітря, загальний ресивер наддувального повітря, вихлопний тракт та керуючі клапани. Система наддуву дизеля передбачає чотири режими:

- 1) пуск та прогрів;
- 2) експлуатацію з одним ТК;
- 3) експлуатацію з двома ТК;
- 4) експлуатацію у випадку перевищення тиску наддуву.

Принцип роботи системи наддува за цих умов демонструє рис. 2.

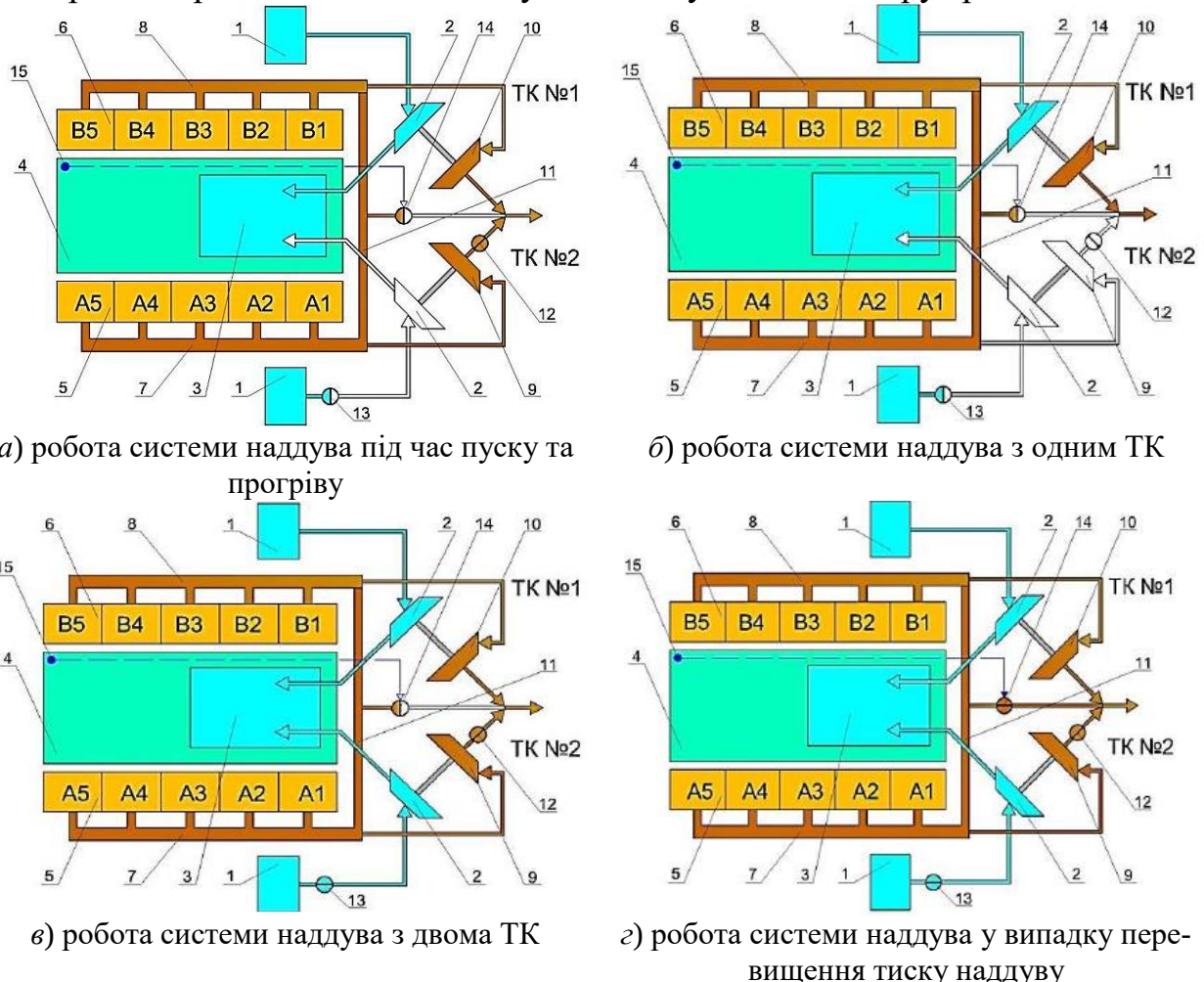


Рис. 2. Режими роботи системи наддуву дизеля «MTU» 10V2000M93: 1 – повітряний фільтр; 2 – компресор; 3 – охолоджувач наддувального повітря; 4 – ресивер наддувального повітря; 5 – циліндри дизеля (лівий блок); 6 – циліндри дизеля (правий блок); 7, 8 – колектори ОГ; 9, 10 – турбіна; 11 – перепускний газопровід ВГ; 12 – клапан вільно-

го випуску; 13 – повітряний клапан; 14 – автоматичний клапан регулятора тиску наддуву; 15 – датчик тиску наддуву

Переключение режимов осуществляется электронным блоком управления с помощью управляющих клапанов.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Під час випробування двох високообертових суднових дизелів характеристики дизеля «MTU» 10V2000M93 мають більш високі показники значень робочих теплотехнічних параметрів, ніж характеристики дизеля Caterpillar CAT 3512B:

- за одних і тих же значеннях відносної частоти обертання, значення відносної потужності двигуна «MTU» 10V2000M93 більше на 50 %, ніж у двигуна Caterpillar CAT 3512B;

- значення тиск наддуву двигуна «MTU» 10V2000M93 на режимі малих і часткових навантажень вище, ніж у двигуна Caterpillar CAT 3512B приблизно на 30 %;

- вказані переваги досягаються за рахунок використання реєстрової системи наддува в дизелях «MTU» 10V2000M93.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sagin S.V., Solodovnikov V.G. Cavitation Treatment of High-Viscosity Marine Fuels for Medium-Speed Diesel Engines // Modern Applied Science. – 2015. – Vol. 9. – № 5. – P. 269-278. DOI:10.5539/mas.v9n5p269

2. Поддубко П.Д., Тупов М. В., Севастьянова А.А., Поддубко Н.Д. Наддув в двигателях внутреннего сгорания. – Вопросы науки. – 2015. – Т. 2. – С. 123-126.

3. Xin R., Zhai J., Liao C., Wang Z., Zhang J., Bazari Z., Ji Y. Simulation Study on the Performance and Emission Parameters of a Marine Diesel Engine // Journal of Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10. – 985. <https://doi.org/10.3390/jmse10070985>.

4. Ibrahim H., Issa M., Lepage R., Ilinca A., Perron J. Supercharging of Diesel Engine with Compressed Air: Experimental Investigation on Greenhouse Gases and Performance for a Hybrid Wind-Diesel System // Smart Grid and Renewable Energy. – 2019. – Vol. 10. – P. 213-236. doi: 10.4236/sgre.2019.109014.

5. Zablotzky Yu. V. Enhancing Fuel Efficiency and Environmental Specifications of a Marine Diesel When using Fuel Additives / Yu. V. Zablotzky, 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.

Зниження емісії оксидів азоту суднових чотиритактних дизелів

Постановка проблеми в загальному вигляді. Проблеми захисту довкілля від забруднень актуальні для всієї енергетики, в тому числі і суднової. Викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами суднових дизелів щорічно складають мільйони тонн. На викиди шкідливих речовин від спалювання суднових палив існують обмеження відповідно до міжнародних програм захисту атмосфери і вимог Міжнародної морської організації (International Maritime Organization – IMO). У липні 2010 р. вступила в силу нова редакція Додатку VI Міжнародної конвенції по запобіганню забрудненню (MARPOL 73/78), яка передбачає більш жорсткі вимоги до суден [1].

У конвенції MARPOL 73/78 передбачено заходи, щодо скорочення і запобігання забруднення морського середовища, як нафтою і нафтопродуктами, також і іншими шкідливими речовинами, 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 MARPOL 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 [2]. Нові вимоги торкнулися практично всіх груп шкідливих викидів, включаючи і NO_x (рис. 1).

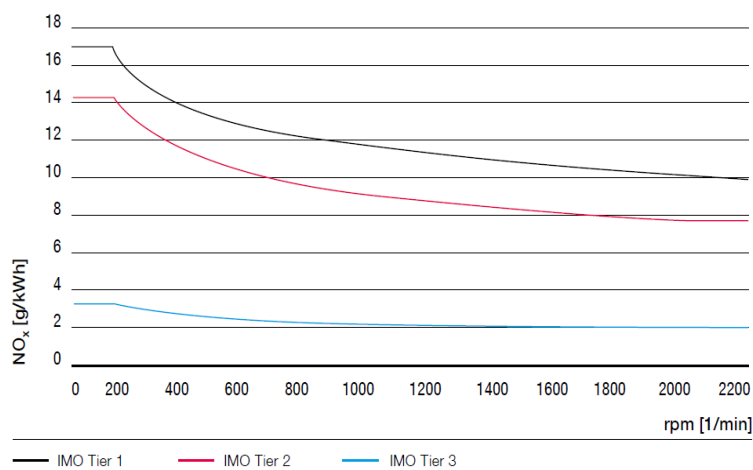


Рис. 1. Вимоги Додатку VI MARPOL 73/78 щодо викидів оксидів азоту з випускними газами суднових ДВЗ

Згідно з новими вимогами вводиться триступенева система стандартів викидів оксидів азоту NO_x : перший ступінь – для суден, побудованих до 01.01.2011 р. (діючі в даний час нормативи для суден побудови 2000 р. і пізніше). Друга – для суден, побудованих після 01.01.2011 р. (зниження норма-

тивів по оксиду азоту на 20%). Третя – для суден, побудованих після 01.01.2016 р. (зниження викидів окислів азоту на 80 %). Зазначені вимоги не застосовуються до суден довжиною менше 24 м і потужністю менше 750 кВт.

Особливо актуальним питання зниження емісії оксидів азоту є для суднових чотиритактних дизелів, які експлуатуються не лише під час морських та океанських переходів, але також під час стоянки морських суден в портах – в районах найбільшого екологічного контролю за забрудненням довкілля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Провідні лідери дизелебудування MAN-B&W, Wartsila, Hyundai, Mitsubishi, CAT та інші оснащують свої двигуни дорогими системами організації та контролю запалення палива, новітнім високотехнологічним обладнанням, 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 уприскування палива, значно поліпшити експлуатаційні характеристики, підвищити надійність, знайти резерви щодо підвищення технічного рівня: тільки такий шлях дозволяє виконувати широкий ряд технічних вимог, що висуваються до сучасних дизелів.

Для зменшення вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах суднових двигунів застосовуються різні методи. Сучасні методи зниження шкідливих викидів суднових дизелів, являють сьогодні наукомісткі технології кращих світових інститутів. Наприклад, фірма MAN B&W інтенсивно працює у напрямку використання технології рециркуляції випускних газів EGR (Exhaust Gas Recirculation). Отримані багатообіцяючі результати в зниженні викидів NO_x дизельних двигунів, як стверджує фірма, на десятиріччя. Наприклад, під час ступеню рециркуляції 15...20 % відбувається зменшення викидів NO_x до 60...80 % [3].

Безперервне впорскування води CWI (Continuous Water Injection) до повітря представляється найбільш економічно ефективною системою для низьких рівнів (10..30 %) скорочення NO_x , але малий досвід застосування цього методу вимагає його подальшого дослідження.

Технологія безпосереднього впорскування води DWI (Direct Water Injection) в циліндр подається ефективною для середніх рівнів скорочення викидів NO_x (40...60 %), але вимагає модернізації двигуна.

Системи селективного каталітичного зниження SCR (Selective Catalytic Reduction System) і селективного некаталітичного відновлення SNCR (Selective Non-Catalytic Reduction System Restore) оксидів азоту мають найвищу вартість з перерахованих вище технологій. Застосуванням цих технологій можна домогтися майже повного скорочення викидів NO_x . Ці технології ідеально підходять для суден, що діють в регіонах, де є жорсткі екологічні вимоги [4].

Використання водо-паливних емульсії ВПЕ (FEW – Fuel-Water Emulsion) вважається одним з перспективним методом. Це проста і мало витратна тех-

нологія для досягнення середнього рівня (30...50 %) скорочення викидів NO_x для існуючих суден без значної модифікації двигуна [5].

Постановка завдання. Метою роботи є розробка технології, що сприяє зменшенню емісії оксидів азоту з випускними газами судових дизелів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Виконаний аналіз існуючих методів зниження шкідливих викидів дозволяє запропонувати наступний варіант, що забезпечує покращення екологічності роботи дизелів морських суден.

Якщо використовувати подачу азоту 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 рівень зростання температури і тиску в камері згоряння. Це призведе до зниження «жорсткості» роботи дизеля, збільшення періоду початкового горіння). Наступний крок – подача повітря, збагаченого киснем в момент початку періоду основного горіння, що сприятиме підвищенню потужності, зменшенню питомої витрати палива, зниженню шкідливих викидів з випускними газами [6].

Технічні характеристики установки розділення повітря, у складі судової енергетичної установки, дозволяють отримувати повітря, збагачене киснем до 40 % за об'ємом. Збільшення вмісту кисню в реагуючій суміші паливо-окислювач призведе до підвищення якості згоряння палива і можливості спалювати більше палива за тим же стехіометричним відношенням між киснем та паливом. Це дасть можливість потенційного збільшення термічного коефіцієнту корисної дії, потужності дизеля та сприятиме керуванню процесом згоряння палива. При збагаченні повітря киснем викиди видимого диму, твердих часток і незгорілих вуглеводнів зменшаться в результаті більш повного згоряння в значно ширшому діапазоні навантажень.

Для реалізації такого циклу пропонується схема (рис. 2) та (рис. 3), 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. Також пропонується ввести програмне забезпечення для детального поетапного контролю роботи установки на усіх циклах горіння. Запропоноване програмне забезпечення представлено у вигляді комп'ютерної програми, що може бути встановлена на будь яку операційну систему (рис. 4).

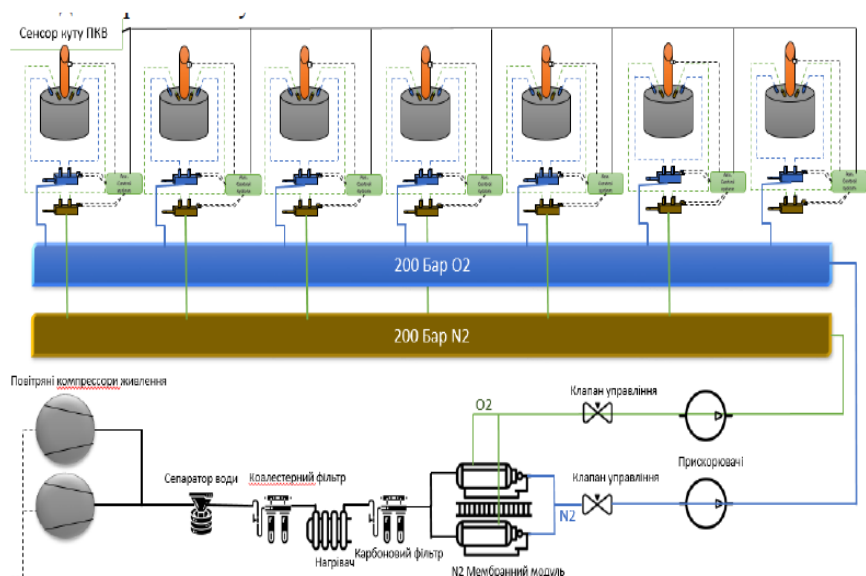


Рис. 2. Принципова схема генерації азоту та збагаченого киснем повітря

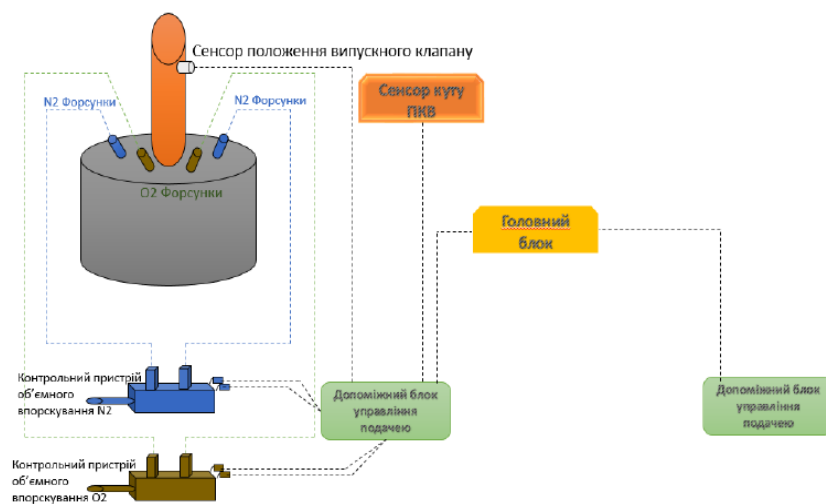


Рис. 3. Принципова схема подачі азоту та збагаченого киснем повітря в циліндр

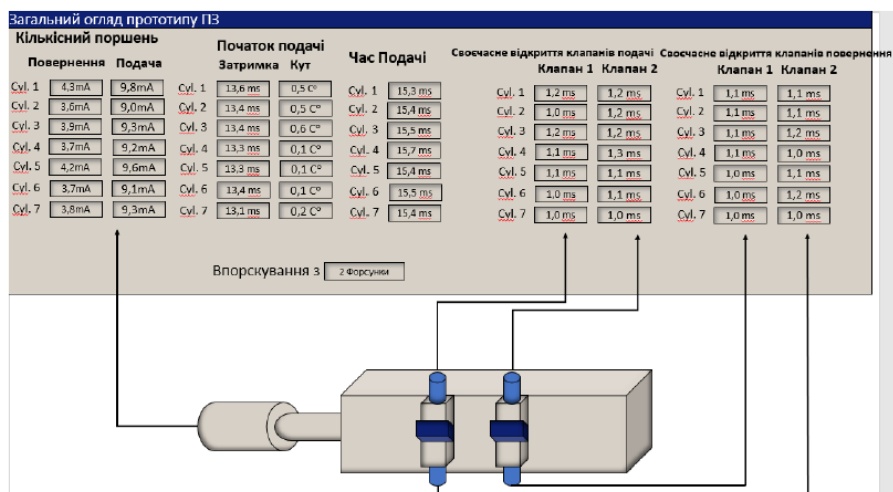


Рис. 4. Загальний огляд прототипу програмного забезпечення

Висновки і перспективи подальших досліджень. Одним з методів зниження емісії оксидів азоту судових чотиритактних дизелів є додаткова подача до його циліндрів азоту. Це сприятиме зниженню температури в циліндрі під час процесів стиснення та згоряння. Більш висока циліндрова потужність за таким же, або незначно більшим максимальним тиском в циліндрі, а також суттєве зниження шкідливих викидів та збільшення якості згоряння палива є очевидною перевагою використання азоту та збагаченого киснем повітря в порівнянні з іншими методами збільшення потужності і методами дотримання вимог MARPOL. Оскільки необхідні зміни в системі наддуву двигуна не становлять складності, дана схема установки може використовуватися у складі енергетичної установки суден морського та внутрішнього водного транспорту.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sagin S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Fomin O., Kuřcera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 10(10). – P. 1373.
2. Zablotskyi Yu.V., Sagin A.S. Applying of fuel additives in marine diesel engines // *Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб.* – 2021 – Вип. 43. – Одеса: НУ «ОМА». – С. 5 - 17.
3. Побережний Р.В., Сагін С.В. Забезпечення екологічних показників дизелів суден річкового та морського транспорту // *Суднові енергетичні установки: наук. -техн. зб.* – 2020. – Вип. 41. – Одеса: НУ "ОМА". – С. 5 - 9.
4. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A., Zablotskyi Yu.V. Gaichenia O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // *Nase More : International Journal of Maritime Science & Technology*. – 2022.– Vol. 69. – Iss. 1. – P. 53 - 61.
5. Куропятник А.А., Сагин С.В. Управление выпускными газами судовых дизелей для обеспечения экологических показателей // *Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб.* – 2018. – Вып. 24. – Одесса: НУ "ОМА". – С. 72 - 80.
6. Сагін С.В., Побережний Р.В. Аналіз основних способів зниження емісії оксидів азоту дизелів суден морського та внутрішнього водного транспорту // *Суднові енергетичні установки: наук. –техн. зб.* – 2022. – Вип. 44. – Одеса: НУ «ОМА». – С. 132 - 141.

Забезпечення експлуатаційних показників циркуляційних систем мащення суднових дизелів

Постановка проблеми в загальному вигляді. Технічний стан та експлуатаційні показники окремих вузлів або деталей двигунів внутрішнього згоряння (дизелів), а також їх систем відіграють визначальну роль у забезпеченні надійності та безаварійної роботи як дизелів, також і всієї суднової енергетичної установки. Однією з таких систем є циркуляційна система мащення, яка забезпечує подачу мастильного матеріалу до дзеркала циліндрової втулки та підшипників колінчатого валу.

Тривала та стійка робота підшипників ковзання суднових дизелів неможлива без використання мастильного матеріалу, який є складовою тріади тертя метал (вкладиш підшипника) – мастильний матеріал (мастило) – метал (вал дизеля). При цьому забезпечується гідродинамічний або граничний режим мащення. Короточасна відсутність мастильного матеріалу в цій тріаді або порушення експлуатаційних показників циркуляційних систем мащення призводить до стрибкоподібного збільшення зносу вкладишів підшипників і може стати причиною аварії дизеля [1].

Крім того, погіршення експлуатаційних показників циркуляційних систем мащення та технічного стану вкладишів підшипників суднових дизелів (пов'язане зі збільшенням зносу їхніх поверхонь) є причиною збільшення зазорів між валом і вкладишем. Це призводить до зростання динамічних навантажень, виникнення биття вала та підвищення зносу вкладишів підшипників. Металеві часточки (які є продуктами зносу вкладишів підшипників) розповсюджуються системою мащення дизеля, збільшуючи механічний вплив на деталі дизеля, насамперед на інші вкладиші, а також втулку циліндра та поршневі кільця.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підтримання експлуатаційних показників циркуляційних систем мащення та технічного стану вкладишів підшипників суднових дизелів (як і деяких контактних поверхонь інших машин і механізмів) можливе шляхом спеціальної механічної або фізичної обробки поверхонь, додавання поверхнево активних речовин у мастильний матеріал, а також нанесенням на поверхні спеціальних антифрикційних покриттів [2]. У разі спеціальної механічної або фізичної обробки поверхонь змінюється їхня геометрія, при цьому в трибологічній системі метал – мастильний матеріал – метал виникають додаткові пружнодемпфуючі сили, які забезпечують розклинювальний тиск між поверхнями [3]. Поверхнево активні речовини, які додаються в мастильний матеріал, сприяють підвищенню структурної однорідності та збільшенню товщини граничного шару мастила [4]. Спеціальні антифрикційні покриття, які наносяться на

поверхні тертя, запобігають розтіканню мастильного матеріалу із зони контакту, при цьому забезпечується режим гідродинамічного тертя [5].

Постановка завдання. З урахуванням викладеного, метою дослідження було визначення впливу антифрикційних покриттів на експлуатаційні показники циркуляційних систем мащення та технічний стан підшипників суднових дизелів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Одним із поширених типів антифрикційних покриттів є епілами – полімерні речовини, що містять з'єднання фтору, які наносяться на металеві поверхні. Під час епіламування на поверхні твердого тіла утворюється плівка товщиною до 30 нм, яка не впливає на дислокаційну структуру та твердість металу.

Дослідження з визначення впливу органічних покриттів (епіламів) на технічний стан вкладишів підшипників суднових дизелів виконувалися в такій послідовності:

- розробка технології нанесення епіламу на поверхні вкладишів підшипників;
- визначення товщини нанослою епіламу, адсорбованого на металевій поверхні вкладишів підшипників;
- визначення зміни технічного стану вкладишів підшипників у разі нанесення на їхню поверхню нанослою епіламу.

Під час проведення експериментів використовувалися епілами: Efen, Aqualin та Polisam-20, що мають максимальну температуру експлуатації 450°C та допускають короткочасну експлуатацію до температури 700°C. Попередніми випробуваннями в науковій лабораторії з них були обрані два, що сприяли утворенню на металевій поверхні наноструктурованого шару найбільшої товщини. (Надалі у тексті статті епілами довільно позначені як 2 та 3.)

Технологія нанесення епіламу на поверхню вкладишів підшипників складалася з наступного. Експерименти виконувалися для нового комплексу вкладишів. Спочатку проводилося їхнє знежирення в ознобезпечному хладоні-116 (C_2F_6) шляхом об'ємного занурення з подальшим висушуванням. Після цього за температурою навколишнього середовища проводилося безпосереднє епіламування шляхом занурення вкладишів у епілам.

Зміна технічного стану вкладишів підшипників у разі нанесення на їхні поверхні шару антифрикційного покриття (епіламу) виконувалася для суднового дизеля 12V32/40 MAN-Diesel&Turbo. Ці дизелі є одними з найпоширеніших моделей фірми MAN-Diesel&Turbo що використовуються на морському транспорті. Два дизелі 12V32/40 MAN-Diesel&Turbo були встановлені на спеціалізованому морському судні, призначеному для перевезення контейнерів. Дизелі передавали свою потужність через редуктор на один гвинт відповідно до схеми, яка показана на рис. 1.

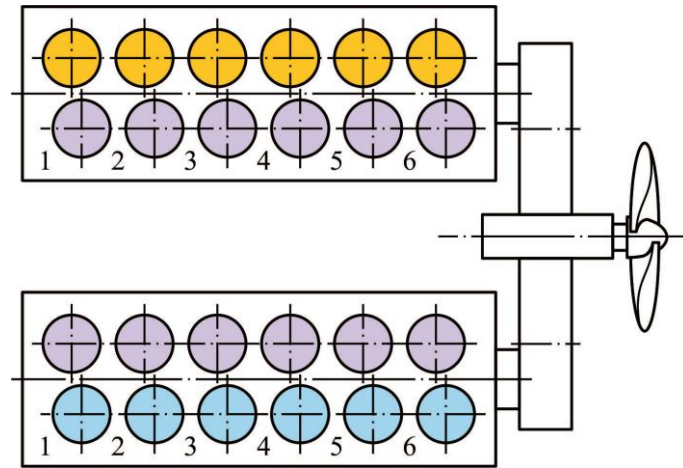


Рис. 1. Схема проведення експерименту на судових дизелях 12V32/40 MAN-Diesel&Turbo (жовті та блакитні – такі, вкладиші підшипників яких покривались шаром епіламу; сірі – такі, вкладиші підшипників яких не покривались шаром епіламу)

V-подібна компоновка дизеля дозволила обробити вкладиші підшипників одного з рядів циліндрів дизеля антифрикційним покриттям (епіламом). При цьому вкладиші підшипників іншого ряду циліндрів не оброблялися епіламом. Таким чином, для кожного з дизелів вкладиші підшипників одного ряду циліндрів (жовтий і блакитний на рис. 1) оброблялися епіламом, вкладиші іншого ряду циліндрів (сірі на рис. 1) – не оброблялися.

Вкладиші підшипників одного ряду циліндрів дизеля правого борту були покриті епіламом 2 (жовтий ряд циліндрів на рис. 1). Вкладиші підшипників одного ряду циліндрів дизеля лівого борту були покриті епіламом 3 (синій ряд циліндрів на рис. 1). Кожен з дизелів мав ряд циліндрів, вкладиші яких не були покриті епіламом (сірі ряди циліндрів на рис. 1).

Для визначення впливу антифрикційних покриттів (епіламів) на технічний стан вкладишів підшипників по закінченні регламентного терміну експлуатації підшипникових вузлів проводилась оцінка зносу їх несучих поверхонь. Для цієї мети визначався знос вкладишів підшипників.

Ураховуючи нерівномірність навантаження на різні циліндри дизеля, технічний стан підшипникових вузлів відрізняється один від одного. Це особливо проявляється у нерівномірному зносі вкладишів підшипників. При цьому вкладиші циліндрів підшипників, що розташовані ближче до споживача енергії (гвинту або електричному генератору), мають більший знос порівняно з вкладишами, що знаходяться далі від споживача енергії.

Під час експериментів знос вкладиша для «кормового» підшипника (циліндра № 6) приймався за 100 %; знос інших вкладишів вимірювався у відносних одиницях до цього значення. Результати розрахунків наведені в таблиці 1 і на рис. 2.

Таблиця 1. Знос вкладишів підшипників суднових дизелів 12V32/40 MAN-Diesel&Turbo за різних умов експлуатації

№ циліндра	Знос вкладишів підшипників (відносні одиниці)			
	MAN-Diesel&Turbo № 1 (дизель правого борту)		MAN-Diesel&Turbo № 2 (дизель лівого борту)	
	Без покриття поверхні	Покриття епіла- мом №2	Без покриття поверхні	Покриття епіла- мом №2
1	73	64	72	68
2	78	66	79	72
5	87	68	92	75
6	100	72	100	77

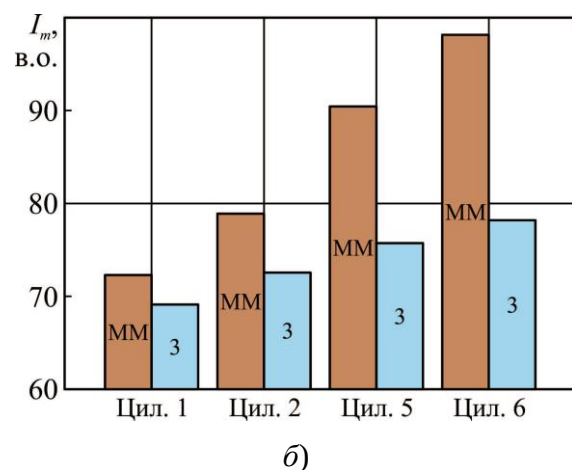
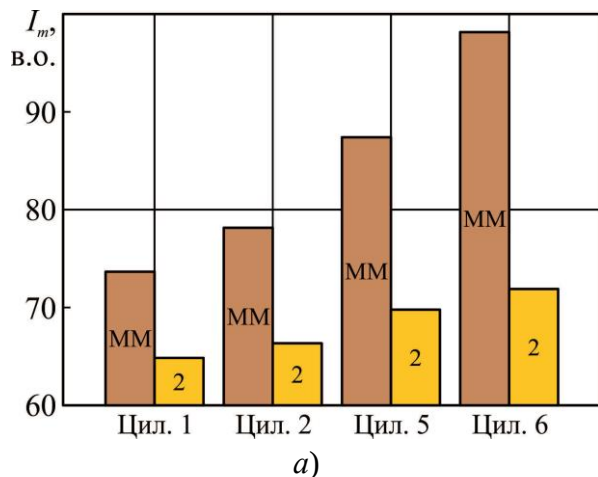


Рис. 2. Зношування вкладишів підшипників дизелів 12V32/40 MAN-Diesel&Turbo за різних умов експлуатації: (а) – дизель правого борту, епілам № 1; (б) – дизель лівого борту, епілам № 2

Підкреслимо, що результати з визначення зносу вкладишів підшипників різних дизелів (лівого і правого борту) у разі нанесення на їх поверхню епіламів, а також за умовою експлуатації вкладишів підшипників без нанесення на їх поверхню антифрикційних покриттів мають подібні значення. Це підтверджує правильність теоретичних припущень та коректність вимірювань.

Метод епіламування, що був використаний для нанесення антифрикційних покриттів на поверхні підшипників дизелів суднових енергетичних установок, не знайшов широкого розповсюдження в елементах суднових технічних засобів. Це пов'язано, зокрема, з консервативністю суднової енергетики як науки та прагненням екіпажу судна уникнути додаткових ризиків, що виникають під час впровадження інноваційних ідей. Особливо це стосується таких відповідальних вузлів, як судові дизелі. Однак, за умовою якісних попередніх досліджень та дотримання технології нанесення епіламів на поверхні, можливо забезпечити режими, сприятливі для підвищення їх експлуатаційних характеристик і технічного стану.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Проведені дослідження та отримані результати дозволяють зробити наступні висновки:

1. З метою забезпечення експлуатаційних показників циркуляційних систем мащення та пов'язаного з ним технічного стану вкладишів підшипників суднових дизелів може бути використано метод епіламування їх поверхонь, який сприяє зниженню контактних навантажень.

2. Нанослой епіламів, нанесений на металеву поверхню, підвищує структурні характеристики граничного шару мастила.

3. Підвищення структурних характеристик граничного шару мастила за рахунок епіламування поверхонь вкладишів підшипників значно зменшує їх знос. Для суднового дизеля 12V32/40 MAN-Diesel&Turbo експериментально встановлено, що епіламування забезпечує 1,1...1,4-кратне зменшення зносу поверхні вкладишів підшипників, а також поліпшує їхній технічний стан.

4. Епіламування відноситься до категорії сучасних нанотехнологічних методів. Цей метод вимагає попередніх досліджень для визначення оптимальних видів антифрикційних покриттів (епіламів) та часу їх нанесення на поверхні, але при цьому не викликає додаткових трудовитрат під час його використання, а також підвищується енергоефективність трибологічних систем суднових дизелів та суднових технічних засобів.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sagin S., Madey V., Sagin A. Stoliaryk T., Fomin O., Kučera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels // Journal Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10. – Iss. 10. – P. 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.

2. Сагін С.В., Сагін А.С. Контроль та діагностування надійності та економічності дизелів морських та річкових засобів транспорту // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 46. – С. 118-131. doi: 10.31653/smf46.2023.118-131.

3. Сагін С.В. Зниження механічних втрат у суднових середньообертових дизелях за рахунок оптимізації роботи циркуляційних систем мащення // Вісник Одеського національного морського університету : Зб. наук. праць. – 2020. – Вип. 1(61). – С. 87-96. doi.org 10.47049/2226-1893-2020-1-87-96.

4. Зверьков Д.О., Сагін С.В. Зниження механічних втрат у суднових дизелях // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 40. – С. 20-25. DOI : 10.31653/smf341.2020.20-25.

5. Сагін С.В., Бондар С.А., Столярик Т.О. Оцінка безвідмовності суднових дизелів за технічним станом моторного мастила циркуляційних систем мащення // Водний транспорт. – 2023. – № 1(37). – 59-70. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.06.

Підвищення ефективності діагностики суднових дизелів шляхом аналізу індикаторних діаграм та параметрів тепловиділення

У даній доповіді обговорюється важливість аналізу індикаторних діаграм і зазначених параметрів в експлуатаційній діагностиці суднових двигунів. Для підвищення ефективності діагностики на основі цієї інформації був розроблений інноваційний метод. Він полягав у виключенні шкідливих вимірювальних просторів під час вимірювання тиску в циліндрах, а також у поглибленому аналізі результуючих індикаторних діаграм на основі функцій тепловиділення.

Дане дослідження демонструє негативний вплив на якість індикаторних діаграм та значення параметрів, які показують вимірювання тиску в циліндрах датчиками, встановленими на індикаторних кранах. Виключення індикаторного крана та вимірювального каналу при вимірюванні тиску в циліндрі вплинуло на якість індикаторних діаграм і на основі розрахованих функцій тепловиділення дозволило появи додаткових діагностичних ознак.

При експлуатації суднових двигунів діагностика в основному проводиться опосередковано. Діагностика заснована на аналізі зміни значень обраних параметрів, реагуючи на зміну технічного стану двигуна.

У цьому процесі часто використовується аналіз індикаторних діаграм і зазначених параметрів. Аналіз характеристик тепловиділення та додаткові діагностичні симптоми, вибрані на цій основі, можуть бути корисними доповненнями.

Зазвичай використовуваним методом діагностики для оцінки якості процесу згоряння в судовому двигуні є вимірювання тиску в циліндрі як функції кута повороту колінчастого вала (CA). Аналіз змін значень вказаних параметрів, зчитаних і розрахованих з індикаторних діаграм, використовується в діагностичних цілях, наприклад, для виявлення несправностей в системах уприскування. Цей метод має багато переваг: вимірювання проводяться на працюючому двигуні, не потрібно зупиняти двигун, індикаторні діаграми та значення параметрів індикатора отримують практично відразу, а хід тиску в циліндрах дає загальне уявлення про якість процесу згоряння.

Проблеми діагностики та моніторингу процесу згоряння в циліндрі судового двигуна на основі вимірювань тиску в циліндрах вирішували багато провідних компаній-виробників суднових двигунів, таких як MAN Diesel & Turbo, Wärtsilä, а також інші, що працюють на газовому пальному. Wärtsilä пропонує найновішу систему діагностики та моніторингу UNIC, яка використовує значення тиску згоряння.

MAN Diesel & Turbo використовує систему PMI, також засновану на вимірюванні тиску в циліндрах, для контролю та діагностики своїх двигунів.

Окрім виробників морських двигунів, інші компанії також використовують цей метод діагностики — раніше механічний, тепер електронний — пропонуючи різноманітні індикатори. Серед них Kistler, ABB і ICON RESEARCH, а також Optrand, Autronika, Norcontrol, ASEA, AEG, ABB і STL. У пропонованих стаціонарних або переносних індикаторах датчики тиску в циліндрах розміщені на індикаторних кранах або в спеціальних перехідниках поза камерою згоряння. Це вводить великі шкідливі простори між датчиком тиску та камерою згоряння, що спричиняє перешкоди та спотворення результатів вимірювання тиску в циліндрі. Багато вчених досліджували вплив на вимір тиску в циліндрі, спричинене вимірювальними каналами. Усі заявили, що в каналах вимірювання можуть виникнути такі явища:

- Затримка імпульсу тиску через час, необхідний для проходження хвилі тиску по каналу;
- Акустичний резонанс газового стовпа і хвильові явища в сполучному каналі;
- Зміни тиску, що діє на вимірювальний вузол датчика, внаслідок дроселювання або прискорення потоку через канал;
- Прискорення швидкості газу за рахунок зміни перерізу вимірювального каналу.

Беручи до уваги вищезазначене, у випробуваннях у рамках цього дослідження використовувалися три різні місця для датчиків тиску в циліндрах, у тому числі без впливу вимірювальних каналів. Діагностична база даних також була розширена параметрами функції тепловиділення. Такий підхід міг би підвищити якість процесу діагностики суднових поршневих двигунів, незалежно від типу палива, на якому вони працюють.

Підготовка дослідження

Застосоване середньооборотний чотиритактний судновий дизель Sulzer 3AL 25/30 виробництва Cegielski-Sulzer Poznań, Польща: потужність від циліндра 136 кВт, кількість циліндрів — 3, діаметр циліндра — 250 мм, хід — 300 мм, ступінь стиснення — 13, середній ефективний тиск — 1,575 МПа, частота обертання — 750 об/хв.

Щоб уникнути вищезазначених перешкод під час вимірювання тиску в циліндрах, встановлено датчик тиску безпосередньо в камеру згоряння двигуна. Датчики тиску були розташовані відповідно до схеми, зображеної на рис. 1. Нове та інноваційне місце вимірювання було встановлено в монтажному отворі у фланці гільзи циліндра, позначеному як р3 на малюнках 1 і 2. Монтажний отвір було підготовлено відповідно до рекомендацій виробника датчика тиску, Kistler (розміри монтажу отвір показано на рис. 3)

Індикаторні діаграми фільтрувалися за розробленою методикою і полягали в потрібній апроксимації отриманих даних степеневими поліномами третього ступеня.

Для визначення ВМТ на індикаторних діаграмах визначали першу похідну від ходу тиску стиснення.

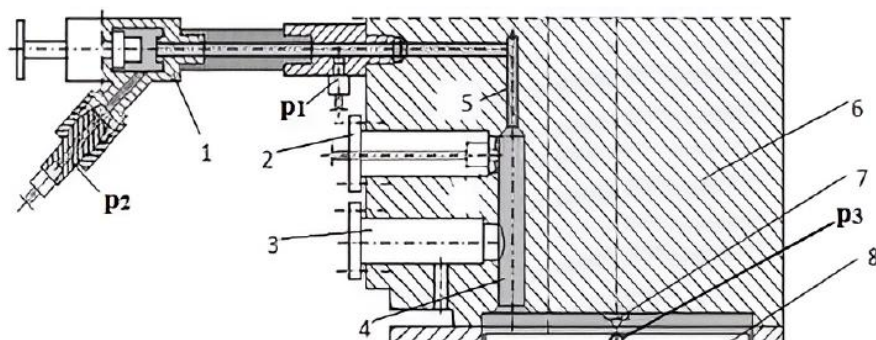


Рисунок 1. Розташування датчиків тиску циліндра в головці двигуна для експериментальних випробувань. p1: датчик, встановлений у спеціальному адаптері між індикаторний клапан і з'єднувальний канал; p2: датчик тиску, встановлений після індикаторного клапана; p3: датчик тиску, встановлений у підготовлений монтажний отвір фланця гільзи циліндра; 1: індикаторний клапан; 2: пусковий клапан; 3: головний запобіжний клапан; 4: сполучний канал циліндра; 5: вимірювальний канал; 6: головка блоку циліндрів; 7: форсунка; 8: камера згоряння.

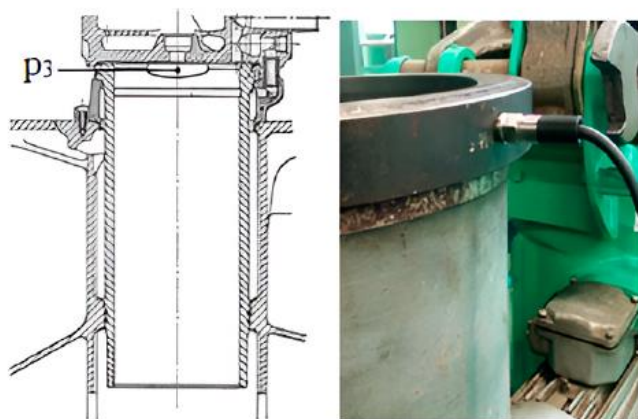
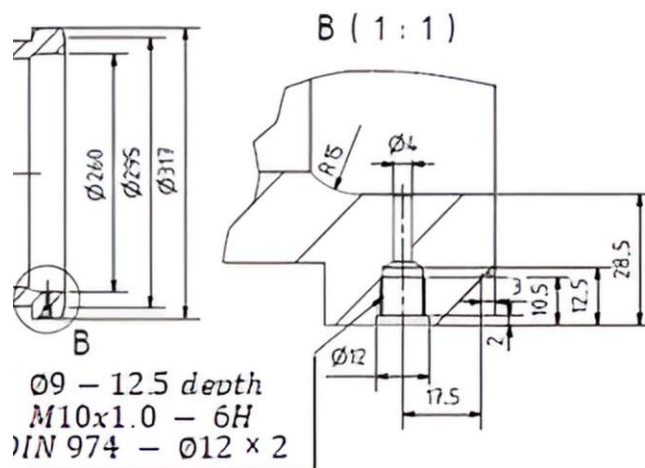


Рисунок 2. Місце установки датчика тиску в гільзі циліндра p3



Розташування та розміри тиску кріплення датчика.

Якість діагностики за параметрами та індикаторними діаграмами можна істотно підвищити за рахунок усунення не тільки впливу індикаторних каналів та індикаторних відводів, але й шляхом поглибленого аналізу індикаторних діаграм за характеристиками тепловиділення.

Для поглибленого аналізу індикаторних діаграм за допомогою аналізу характеристик тепловиділення використано однострумкову модель тепловиділення. Моделювання тепловиділення починається з рівняння першого закону термодинаміки. Для відкритої системи це виглядає так:

$$dU = \delta Q - \delta W - \sum \dot{m}_i h_i$$

Це пояснюється наступним:

$$\dot{d}Q = \dot{d}Q_{sp} - \dot{d}Q_{ch},$$

Таким чином, перший закон термодинаміки для відкритої системи можна записати так:

$$\dot{d}Q_{sp} = dU + \dot{d}W + \dot{d}Q_{ch} + \sum \dot{d}m_i h_i,$$

де dU – зміна внутрішньої енергії заряду в циліндрі, dQ – елементарна теплота, що підводиться до системи, dW – елементарна робота, виконана системою, dmi – елементарна кількість речовини, що обмінюється через межі системи. система (тобто продув і подача палива), hi — питома ентальпія газу, dQ_{sp} — елементарна теплота, що виділяється в результаті згоряння палива, dQ_{ch} — елементарна теплота охолодження.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Діагностика процесу згоряння за допомогою вимірювання тиску в циліндрі

Для порівняння результатів було проведено дослідження, яке полягало в одночасному вимірюванні тиску згоряння в трьох різних місцях в одному

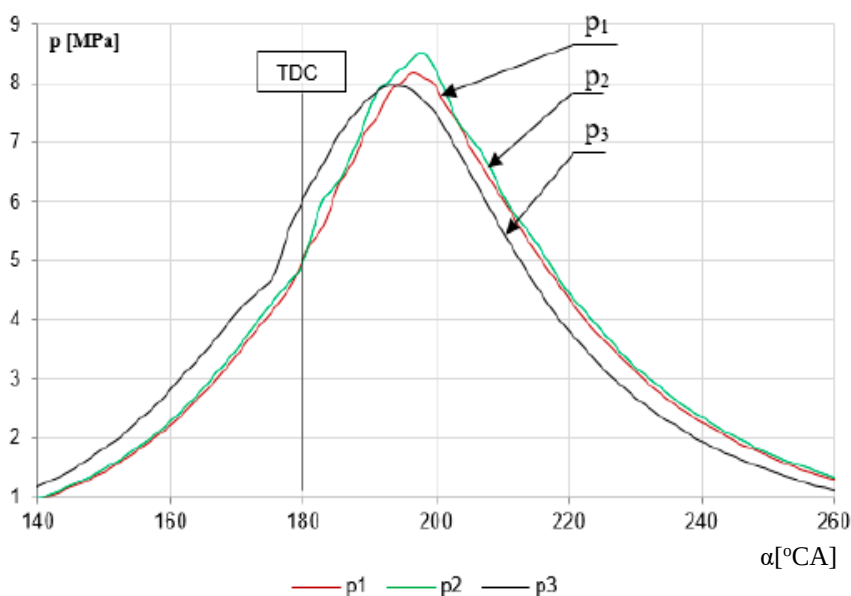


Рисунок 4. Індикаторні діаграми, записані в трьох різних місцях циліндра двигуна, коли двигун працює на 75% MCR: розташування датчиків тиску в циліндрі в головці двигуна показано на рис. 1, ВМТ: верхня мертва точка поршня

циліндрі двигуна. Дослідження проводилися на технічно справному двигуні, що працює з вибраними симуляціями пошкоджень у трьох системах двигуна: упорскування палива, обмін робочим середовищем і система поршень–поршневі кільця–циліндр (PRC). На рисунку 4 і в таблиці 1 наведені результати випробувань у вигляді індикаторних діаграм. З цих діаграм було проведено розрахунок зазначеного параметри двигуна, що працює без пошкоджень. Навантаження двигуна становило 75% від максимального тривалого номінального значення (75% MCR).

Як показано на рис. 4, були помітні чіткі відмінності в зміні тиску в циліндрі залежно від положення датчика тиску. До них, наприклад, входили:

- Максимальне значення тиску горіння (p_{max}), виміряне в р3, яке було помітно нижчим, ніж тиск, виміряний в інших точках вимірювання

Аналізуючи вказані параметри в таблиці 1, ми помітили, зокрема, таке:

- Значення середнього індикаційного тиску (MIP) для вимірювань у точках р3 і р1 індикаторному крані, було найвищим.

Таблиця 1. Параметри двигуна, що працює без пошкоджень. Навантаження двигуна становило 75% від максимального тривалого номінального значення (75% MCR).

Indicated Parameters	p1	p2	p3
MIP (MPa)	0.79	0.81	0.79
p_{max} (MPa)	8.18	8.53	7.96
αp_{max} (° CA)	16.5	18.0	13.5

У таблиці: MIP — середній показаний тиск, p_{max} — максимальний тиск горіння, αp_{max} — кут появи p_{max} після ВМТ.

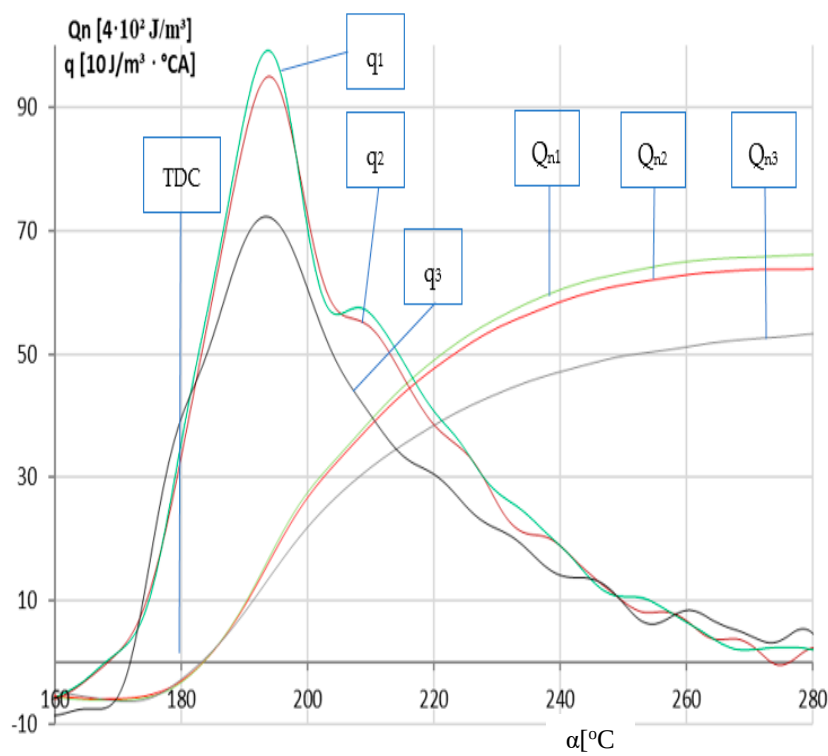


Рисунок 5. Характеристики тепловиділення

Діагностика процесу горіння за допомогою функції тепловиділення

На рис. 5 показані характеристики тепловиділення Q_n і q , отримані з діаграми тиску в циліндрі, записані в трьох різних точках вимірювання.

Місце вимірювання тиску в циліндрі мало значний вплив на форму характеристик тепловиділення, а також на зчитувані з них значення. Характеристики виділення тепла, Q_n і q , записані (рис. 5) у трьох різних місцях циліндра двигуна, показаного на рис. 1, який працює без пошкоджень при навантаженні 75% MCR.

У результаті аналізу, проведеного у раніше, щодо похибок вимірювання тиску в циліндрі, створюваних вимірювальними каналами та індикаторними

кранами, у решті розділу застосовані тільки дані РЗ. На рис.6 наведено характеристики тепловиділення для двигуна, працюючого з несправністю системи уприскування. Вибрані характерні значення також позначені. Ці значення для $\Delta q_{\max}$, Δq_{TDC} , $\Delta \alpha q_{\max}$, $\Delta Q_{\text{п.}\max}$, $\Delta \alpha Q_{\text{п.}\max}$ і $\Delta Q_{\text{п}200}$ можна розглядати як нові та інноваційні діагностичні параметри. Вони можуть бути корисними в процесі діагностики судових двигунів.

У таблиці 2 наведено значення вибраних параметрів характеристик тепловиділення технічно ефективного двигуна, прийняті за еталонні значення (колонка 2), для двигуна, що працює з пошкодженням системи впорскування палива, зарядообміну та системи PRC. (колонки 3, 5 та 7). У колонках 4, 6 і 8 таблиці 2 наведено різницю значень еталонних параметрів і параметрів, отриманих для пошкодження.

При аналізі значень, наведених у таблиці 2, можна зробити висновок, що пошкодження системи впорскування мало найбільший вплив на значення вибраних параметрів (крім параметра $Q_{\text{пmax}}$). Для решти пошкоджень зміни значень вибраних параметрів були помітні, але вони були незначними.

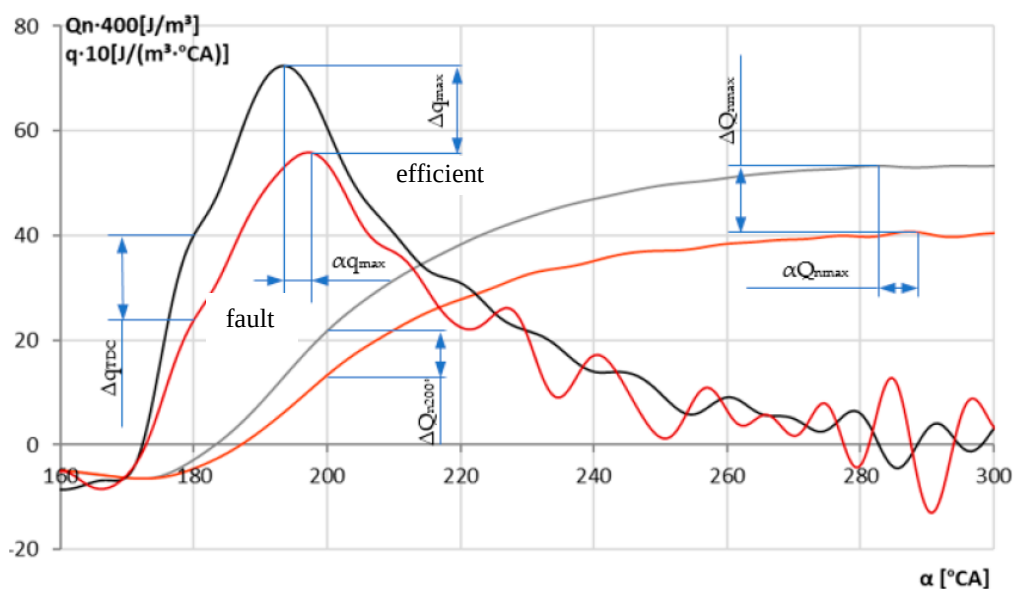


Рисунок 6. Характеристики характеристик тепловиділення, Q_n і q , записані без вимірювальних каналів від двигуна, що працює з пошкодження системи уприскування і навантаження 75% MCR

ВИСНОВКИ

Для дослідження, проведеного з вибраними пошкодженнями вищезгаданих систем двигуна, спостерігалася більша діагностична корисність індикаторних діаграм і вказаних параметрів, коли вимірювання

Таблиця 2. Значення обраних параметрів характеристик тепловиділення працюючого двигуна без та з пошкодженнями системи впорскування палива, обміну заряду та системи PRC з 75% MCR тиску в циліндрі було отримано без вимірювальних каналів.

У доповіді вказано на нові інноваційні діагностичні параметри ($\Delta q_{\max}$, Δ

q_{TDC} , $\Delta \alpha q_{max}$, $\Delta Q_{n.max}$, $\Delta \alpha Q_{n.max}$ і ΔQ_{n200}). Найбільший вплив на значення обраних параметрів, визначених на основі аналізу функцій тепловиділення, мали різноманітні пошкодження системи вприскування

1	2	3	4	5	6	7	8
Selected Parameters	Engine Running Without Damage	Leakage of the Injection Pump	Difference (Column 2–Column 3)	Dirty Compressor Air Filter	Difference (Column 2–Column 5)	Combustion Chamber Leakage	Difference (Column 2–Column 7)
q_{max}	72.47	55.78	16.69	64.01	8.46	66.59	5.88
αq_{max}	193.50	197.00	–3.50	194.00	–0.50	195.50	–2.00
q_{TDC}	4.13	23.88	16.25	34.26	5.87	35.08	5.05
Q_{nmax}	54.44	41.58	12.86	52.16	2.28	52.21	2.23
αQ_{nmax}	323.50	323.50	0.00	323.00	0.50	322.00	1.50
Q_{n200°	21.90	13.40	8.50	19.64	2.26	20.69	1.21

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Wysocki J. Increasing the Efficiency of Marine Engine Parametric Diagnostics Based on Analyses of Indicator Diagrams and Heat-Release Characteristics/ J. Wysocki, K. Witkowski //Energies, 2023.- 16.- 6240. - p.13.-<https://www.mdpi.com/journal/energies>.

Поліпшення показників робочого процесу суднових дизелів

Питання вдосконалення дизелів завжди актуальні. Для суднових двигунів велике значення мають показники потужності, питомої витрати палива, надійності. Однак останнім часом пріоритет віддається питанням екології. Якщо недавно основними екологічними параметрами вважались вміст оксидів вуглецю CO_x і не повністю згорілих вуглеводнів CH у відпрацьованих газах, то тепер вводяться більш жорсткі обмеження на допустиму концентрацію у відпрацьованих газах оксидів азоту NO_x , причому рішення цієї проблеми виявляється особливо важким.

Питання зниження токсичності і поліпшення паливної економічності дизелів є взаємопов'язаними і взаємовиключними. Складність вирішення цих питань полягає в різноманітності конструктивних, регулювальних і експлуатаційних факторів, які впливають на процеси, які відбуваються всередині циліндра двигуна, а зокрема, на процес згоряння палива.

Одним з перспективних напрямків поліпшення показників паливної економічності ДВЗ є часткова динамічна теплоізоляція поршня, реалізація якої є досить серйозною науково-технічною проблемою. Реалізація часткової динамічної теплоізоляції дозволяє удосконалити робочий процес і, тим самим, підвищити ефективні й екологічні показники дизеля [1,2,3,4].

В роботі показано вплив на параметри робочого процесу дизеля часткової динамічної теплоізоляції поршня з раціональною товщиною теплоізолюючого корундового шару, утвореного гальваноплазменою обробкою.

Метою дослідження є вивчення методів та способів підвищення ефективності робочого процесу дизеля, для того щоб максимально зберігаючи досягнутий рівень паливної економічності дизеля, добитися підвищення екологічних показників.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні завдання:

- виконати аналіз існуючих методів зниження токсичності газів і зменшення питомої витрати палива;
- установити основні фактори організації робочого процесу, що впливають на утворення токсичних компонентів у газах і на питому витрату палива;
- розробити способи підвищення ефективності показників робочого процесу з теплоізованими поверхнями камери згоряння;
- дати рекомендації зі зниження питомої витрати палива.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Проведені експериментальні дослідження робочого процесу дизеля з використанням спеціально виготовлених досвідчених поршнів з теплоізолюючим покриттям камери згоряння роботі на різних паливах.
2. Установлене, що нанесення теплоізолюючого шару на поверхню камери згоряння разом з використанням додаткового збурювання газового середовища поліпшують енергетичні й екологічні характеристики дизеля.

Ці положення були підтверджені результатами експериментальних досліджень на дизелі 4ЧН12/14 із серійними поршнями та з поршнями з корундовим шаром товщиною $0,2 \cdot 10^{-3}$ м (рис. 1). Досліджувалися індикаторні діаграми й характеристики тепловиділення. Для одержання якісної картини індикаторні діаграми зняті при однакових умовах проведення випробувань і на тих самих режимах.

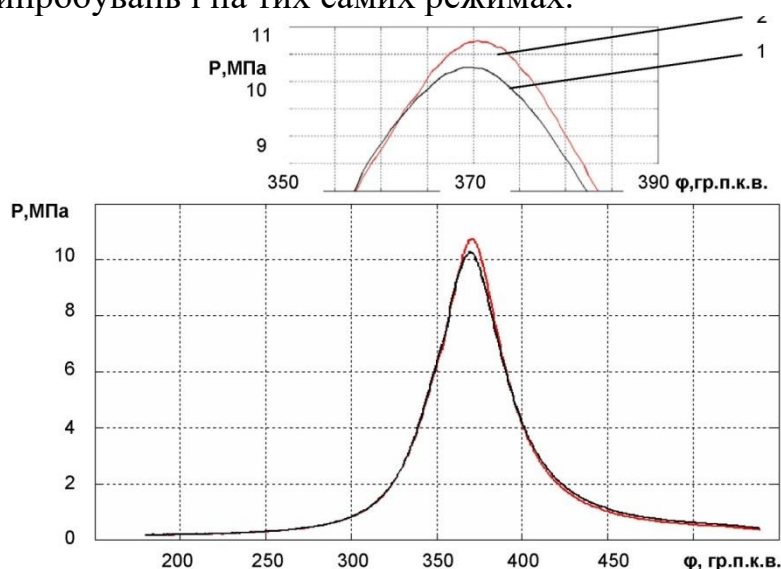


Рис. 1 Індикаторна діаграма дизеля 4ЧН12/14, $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$, $p_e = 0,95 \text{ МПа}$, $\theta_1 = 18^\circ$ до ВМТ; 1 - серійні поршні; 2 - поршні з корундовим шаром на всій робочій поверхні

Аналіз індикаторних діаграм показав, що при роботі двигуна з поршнями з корундовим шаром отримано більш високі значення максимального тиску циклу — різниця склала 0,5 МПа.

На рис.2 представлені результати зіставлення характеристик індикаторного процесу. Ці дані свідчать про вплив низькетеплопровідного шару малої товщини на якість робочого процесу.

Установлено, що на ділянці наповнення тиск газів нижче, ніж при роботі з серійними поршнями, а на такті стискання, до моменту упорскування палива, — вище. Цей результат узгоджується з результатами розрахункових досліджень, якими було показано, що для поршня з частковою динамічною теплоізоляцією температура поверхні денця поршня нижче, ніж температура у серійного поршня. Зменшення температури поверхні денця поршня знижує

підігрів свіжого заряду, і його температура знижується, тим самим сприяючи підвищенню коефіцієнта наповнення.

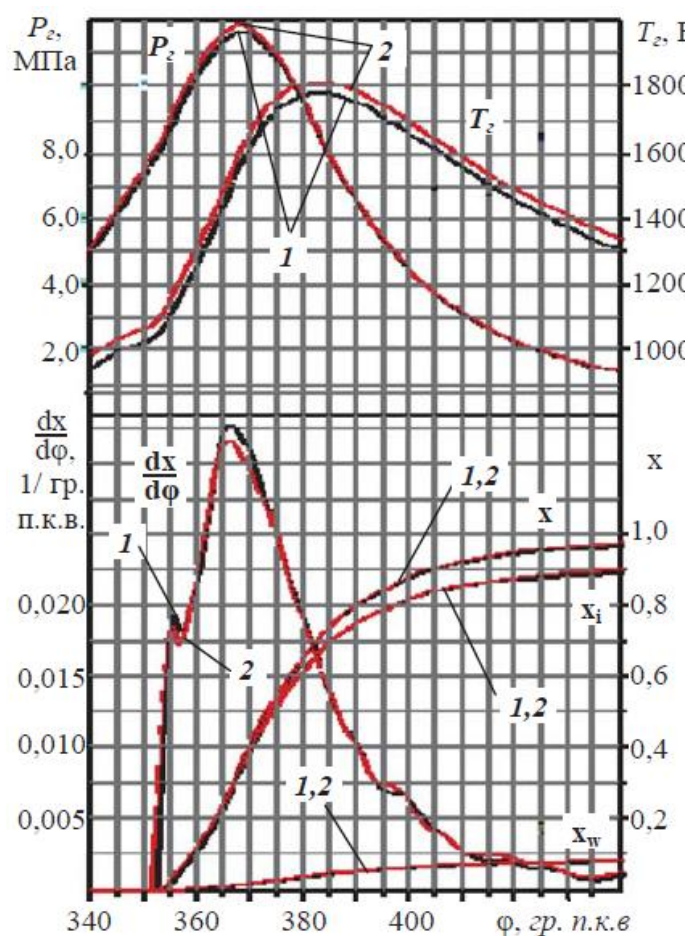


Рис.2 Характеристики індикаторного процесу зі штатними (1) і досвідченими (2) поршнями. $n=2000 \text{ хв}^{-1}$, $N_e=100 \text{ кВт}$

Позитивний вплив корундового шару на робочий процес проявляється в наближенні температури стінки камери згоряння до оптимального для випару палива рівню. Відповідно, цей вплив значніше на знижених частотах обертання, з низькими вихідними температурами поверхні камери згоряння в поршні з алюмінієвого сплаву. Ці дані добре узгодяться з експериментом, що свідчить про зниження питомої ефективної витрати палива на часткових режимах роботи дизеля до 3 г/кВт г.

Таким чином, реалізація часткової динамічної теплоізоляції поршня з раціональною товщиною теплоізолюючого корундового шару, утвореного гальваноплазмовою обробкою, є одним з перспективних резервів поліпшення паливної економічності ДВЗ і показників токсичності його випускних газів. Результати аналізу індикаторних діаграм, швидкості тепловиділення, швидкості наростання тиску, температури газу свідчать про якісну позитивну зміну процесів, що відбуваються в циліндрі дизеля, при частковій динамічній теплоізоляції поршнів корундовим шаром раціональної товщини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Триньов О.В., Наукові основи локального охолодження теплонапружених деталей ДВЗ: монографія / О.В. Триньов. – Харків: «Підручник НТУ «ХПІ». 2014. – 240 с.
2. Технология эмали и защитных покрытий. учеб. пособие / Под ред. Л.Л. Брагиной, А.П. Зубехина. – Харьков: НТУ «ХПИ»; Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ). 2003. – 484 с.
3. Шеховцов А.Ф. Процессы в перспективных дизелях / под ред. А.Ф. Шеховцова // Х.: «Основа» при Харьк. ун-те. – 1992. – 352 с.
4. Шпаковский В.В. Поршни с корундовой поверхностью. Материалы международной конференции «Технологии ремонта машин и механизмов» РЕМОНТ-98, Киев, 1998.-С.21
5. Триньов О.В., Наукові основи локального охолодження теплонапружених деталей ДВЗ: монографія / О.В. Триньов. – Харків: «Підручник НТУ «ХПІ». 2014. – 240 с.
6. Технология эмали и защитных покрытий. учеб. пособие / Под ред. Л.Л. Брагиной, А.П. Зубехина. – Харьков: НТУ «ХПИ»; 2003. – 484 с.

Бормецький В.В., Колегаєв М.О.
Національний університет "Одеська морська академія"

Підвищення ефективності процесу очищення суднових вод, що містять нафту

Постановка проблеми в загальному вигляді. Експлуатація суден морського та внутрішнього водного транспорту неминуче пов'язана з виникненням та розв'язанням проблем охорони довкілля та забезпечення відповідності емісії забруднюючих речовин сучасним нормативним вимогам. Щодо Світового океану надзвичайність екологічної ситуації обумовлена насамперед забрудненням поверхневих і глибинних шарів водами, що містять нафту (ВМН). До такої категорії відносяться суднові льяльні води, які є сумішшю води з протічками палива та мастила, що утворюються в машинно-котельному відділенні (МКВ) суднових енергетичних установок.

За даними провідних природоохоронних організацій, в даний час під час транспортування в океан щорічно надходить близько $20 \cdot 10^6$ тонн нафти. Це становить приблизно 0,25 % загального обсягу світового видобутку вуглеводнів.

Відповідно до вимог Міжнародної конвенції по запобіганню забруднення з суден МАРПОЛ 73/78, будь-яке судно, що має на борту велику кількість нафтового палива, а також судно валовою місткістю 10000 тонн і більше оснащується обладнанням для фільтрації нафти та пристроями сигналізації та автоматичного припинення будь-якого скидання суміші, що містить нафту, коли вміст нафти в стоку перевищує 15 млн^{-1} . Води, що містять нафту, і нафтові залишки повинні зберігатися на борту та зливатися в приймальні пристрої або скидатися за межами особливого району з дотриманням чинних правил для відкритого моря. Скидання дозволяється за умови: джерелом льяльних вод не є льяла відділення вантажних насосів; льяльні води не змішані із залишками нафтового вантажу; судно перебуває у русі; вміст нафти в стоку без розведення не перебільшує 15 млн^{-1} ; на судні знаходиться у дії обладнання для фільтрації нафти, система фільтрації, яка має пристрій, що забезпечує автоматичне припинення скидання, коли вміст нафти у стоку перевищує 15 млн^{-1} . У всіх випадках, коли в безпосередній близькості від судна або його кільватерного потоку на поверхні води виявляються видимі сліди нафти, невідкладно розслідуються факти, що належать до цього випадку, для встановлення дійсного порушення нормативних вимог щодо захисту довкілля [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Спосіб та технологія очищення ВМН визначається, в основному, необхідною мірою їх очищення. Міжнародні і національні вимоги передбачають наявність на суднах, спеціальних очисних установок з очисною здатністю до 15 млн^{-1} .

Згідно з вимогами МАРПОЛ можливі наступні варіанти судового устаткування для утилізації вод, що містять нафту:

1) збірні танки;

2) збірний танк плюс устаткування, що фільтрує, із ступенем очищення вод, що містять нафту менше 15 млн^{-1} і прилад контролю концентрації і автоматичного припинення зливу за борт при перевищенні концентрації нафти в скиданні більше 15 млн^{-1} [2, 3].

Для реалізації першого варіанту необхідно мати в портах достатню кількість приймальних споруд для вод, що містять нафту. Також цей варіант доцільний у разі, коли судно здійснює нетривалі рейси. При цьому вільний об'єм збірних танків має бути достатнім для збору і зберігання вод, що містять нафту на протязі усього рейсу. Після прибуття в порт ВМН здаються на приймальні споруди з отриманням документу, що підтверджує їх здачу.

Другий варіант дозволяє робити очищення ВМН до концентрації менше 15 млн^{-1} і експлуатувати судна в будь-якому морському районі. В цьому випадку збірного танка може і не бути. Проте для підвищення якості очищення і ефективності утилізації ВМН на судах, які знов будуються необхідно передбачати два збірних танка для ВМН. Льяльні води в цьому випадку обробляються таким чином. ВМН з усіх льяльних колодязів МКВ перекачуються і накопичуються в першому збірному танку впродовж декількох днів, при цьому відбувається відтаювання і розшарування ВМН. Вода, що відстоялася, в нижньому шарі має концентрацію $100\ldots 200 \text{ млн}^{-1}$ і під час очищення її в сепараторі менше забруднює фільтруючий коалесцируючий елемент. На виході з сепаратора в цьому випадку гарантовано можливо отримати концентрацію нафтопродуктів менше 15 млн^{-1} . Відстояний шар нафтопродуктів перекачується в інший збірний танк, минувши сепаратор, і може там накопичуватися впродовж декількох місяців або спалюватися в котельній установці. Такий спосіб обробки ВМН дозволяє підвищити якість очищення, істотно збільшити ресурс роботи обладнання, що фільтрує, і зменшити експлуатаційні витрати [4, 5].

Способи очищення ВМН можуть бути класифіковані за різними ознаками, проте найбільше застосування отримала класифікація по характеру використовуваних процесів. За цією ознакою способи очищення вод, що містять нафту можна розділити на механічні, фізико-хімічні, хімічні і біохімічні (таблиця 1).

Постановка завдання. Незважаючи на велику кількість досліджень, та технологічних рішень, що забезпечують очищення вод, що містять нафту, існує нерозв'язане завдання – відсутність метода очищення, за допомогою якого можливо забезпечити остаточну концентрацію нафтопродуктів менш ніж 15 млн^{-1} за одночасної мінімальної витраті енергії на цю операцію.

Виклад основного матеріалу дослідження. Не лише сучасним, а також перспективним вимогам до очищення ВМН відповідають сепаратори льяльних вод Deoiler PPT-BWS/MESB. Ці сепаратори відносяться до однієї з останніх світових моделей сепараторів льяльних вод та здатні забезпечити остаточну концентрацію нафтопродуктів у воді менш 5 млн^{-1} . Загальний вид сепаратора наведено на рис.1.

Таблиця 1. Класифікація способів очищення вод, що містять нафту

Спосіб очищення	Допустима початкова концентрація ВМН, млн ⁻¹	Ступінь очищення ВМН, що досягається, млн ⁻¹
Механічний відстоювання центрифугування	більше 1000 більше 1000	40...100 10...15
Фізико-хімічні флотація коалесценція адсорбція	менше 1000 менше 1000 менше 100	20...60 10...15 1...3
Хімічний (озонування)	50	1...10
Біохімічні (за допомогою мікроорганізмів)	100	1...10

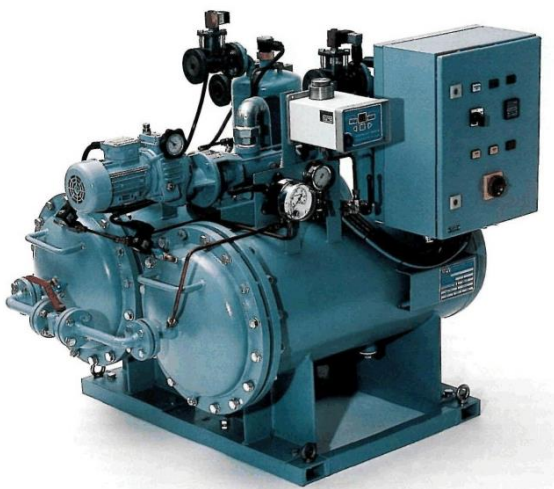


Рис. 1. Загальний вид сепаратора льяльних вод Deoiler2000

Сепаратор ВМН NFV останнього покоління DEOILER 2000 являє собою компактну систему сепарування із двома основними щаблями, об'єднаними в один блок. Навіть таке виконання дозволяє ефективно сепарувати воду, масло, паливо й дає можливість досягти залишкового змісту нафтопродуктів в відсепарованій воді менш 5 млн⁻¹.

Така концепція сепараторів ВМН DEOILER 2000 підходить для сепарування будь-яких льяльних вод, які утворюються в результаті експлуатації.

Сепаратор ВМН також відповідає високим вимогам захисту довкілля, що діють у деяких спеціальних зонах, і вимог які, як очікується, будуть введені в інших районах Світового океану в найближчому майбутньому.

Компактний блок складається із сепаратора льяльних ВМН типу PPT-BWS, перевіреного й схваленого німецьким класифікаційним товариством Німецький Ллойд, додатково встановлюваного механічного деемульгатора типу MESB, перевіреного й схваленого німецьким класифікаційним товариством Німецький Ллойд, як додатково оснащений агрегат, і поступально резонаторного насоса, який живлять систему. Принципова схема установки наведено на рис. 2.

Усі складання монтуються на основному каркасі, утворюючи єдиний блок. Обое апарата PPT-BWS, а також MESB оснащені збірником масла, де збираються сепаруєми нафтопродукти. Крім установок PPT-BWS-MESB250 і PPT-BWS-MESB500, у кожному збірнику мастила встановлюється нагрівальний прилад.

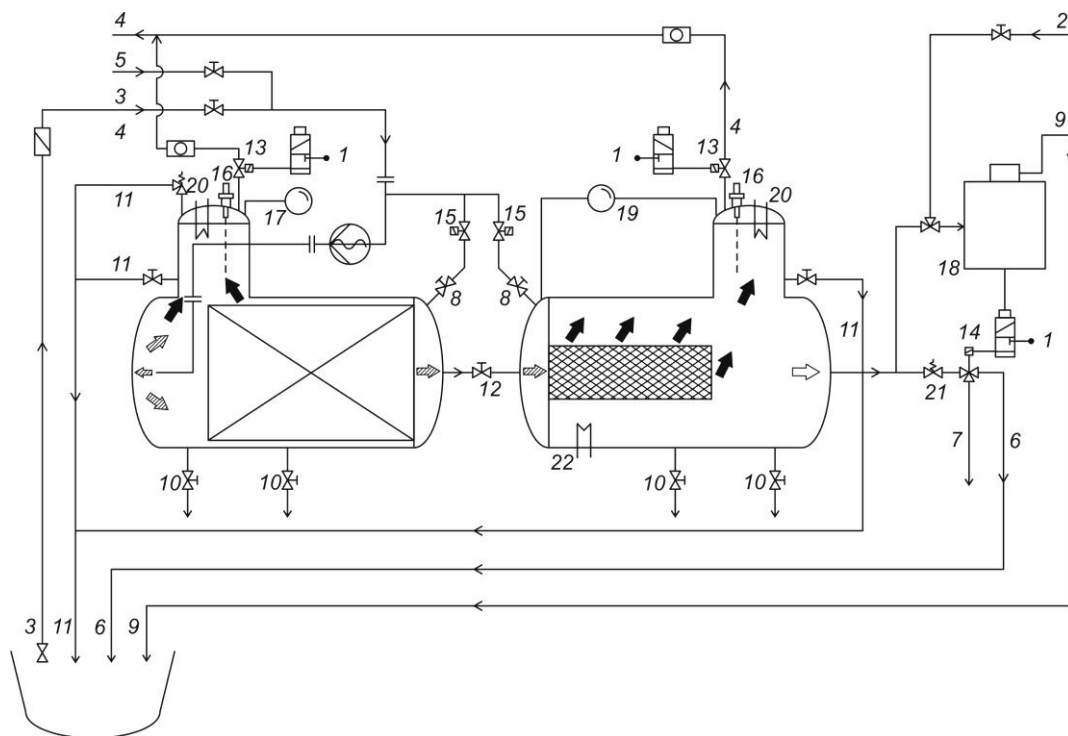


Рис. 2. Принципова схема сепаратора льяльних вод Deoiler:

- 1 – вхід стисненого повітря (тиск 0,6 МПа); 2 – вхід чистої води для промивання датчика забруднення; 3 – магістраль для входу забрудненої (ляльної) води з безповоротним клапаном і фільтром грубого очищення; 4 – магістраль випуску відсепарованої нафти; 5 – магістраль для входу промивної чистої води (тиск 0,1...0,2 МПа); 6 – магістраль скидання неочищеної води назад у льяла (повернення); 7 – за борт; 8 – магістраль для випуску повітря зі стопорним клапаном; 9 – магістраль для підведення очищеної води до датчика забруднення для контролю; 10 – випуск твердих залишків і бруду; 11 – магістраль від запобіжного клапана й клапана відбору проб; 12 – запірний клапан; 13 – електромагнітний клапан випуску відсепарованих нафтопродуктів; 14 – 3х ходовий електромагнітний клапан; 15 – електромагнітний клапан для продувки й випуску повітря; 16 – датчик рівня; 17 – манометр; 18 – обладнання контролю забруднення води нафтопродуктами; 19 – диференціальний манометр; 20 – електричний підігрівник води; 21 – зворотний клапан; 22 – Stand-by

При досягненні максимального рівня нафтопродуктів у ємності відкривається мастильний випускний клапан, керований вимірювальним обладнанням рівня нафтопродуктів. Висока концентрація нафтопродуктів (до 100%) а також емульсій типу «мастило-паливо у воді» може постійно й без проблем переробляється установкою. Для спостереження й контролю залишкового змісту нафтопродукту система оснащена системою моніторингу нафтопродуктів. Дана система має функцію тривоги й контролю «Back-to-Bilge» (назад у л'яло) якщо залишковий зміст нафтопродуктів перевищує 5 млн^{-1} після процесу сепарування. Суміш нафтопродуктів і води йде через запатентовані профілі багатофазного сепарування PPT-BWS (багатофазний сепаратор), де відбувається поділ нафтопродуктів і твердих тел. Краплі чистих нафтопродуктів поєднуються, утворюючи більші краплі в процес оптимізованого об'єднання. Такі краплі йдуть у збірник масла змонтовані у верхній частині. Одночасно частки відходів відділяються від води в результаті певного напрямку потоку в

спеціальні камери, що перебувають у нижній дріботить PPT-BWS, де збирається осад. Це забезпечує ефективне сепарування в плинні тривалого часу.

У механічному деемульгаторі й піногасники типу MESB, який являє собою далекої розробку успішного деемульгатору NFV типу МЕВ, відбувається остаточне сепарування крапель, що залишилися, нафтопродукту. Крім відмінного розшарування звичайних механічних нафтових емульсій, обладнання також розщеплює піну, викликану можливість синтетичних масел поглинати воду.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Експлуатація суден морського та внутрішнього водного транспорту повинна здійснюватися з суворим виконанням вимог міжнародної конвенції МАРПОЛ. Одним зі шляхів забезпечення цих вимог (відносно остаточної концентрації нафти в суднових нафтовмісних / льяльних водах) є використання сепараційних установок, які забезпечують очищення вод, що містять нафту до рівню 5 млн^{-1} , тобто до значень, що перебільшують значення діючих Міжнародних конвенцій та здатні здійснювати операції з очищення ВМН в разі можливого посилення вимог до остаточної концентрації нафтопродуктів в водах, що містять нафту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sagin S. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe / S. Sagin, O. Kuropyatnyk, A. Sagin, I. Tkachenko, O. Fomin, V. Píštěk, P. Kučera // Journal Marine Science and Engineering. – 2022. 10, 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331/>

2. Ткаченко И.В. Использование гидродинамической суперкавитации для разделения и очистки нефтесодержащих вод морских судов / И.В. Ткаченко // American Scientific Journal. – 2017. – № 15. – Т. 2. – С. 59-62.

3. Ткаченко І. В. Розробка технології розділення і очищення вод, що містять нафту / І. В. Ткаченко // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. Вип. 40. – Одеса : НУ «ОМА». – 2020. – С. 24-30. DOI : 10.31653/smf340.2020.24-30.

4. М'який М.М. Вдосконалення процесу очищення вод, що містять нафту / М.М. М'який, І.І. Ткаченко // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вип. 41. – Одеса: НУ «ОМА». – 2020. – С. 26-29. DOI : 10.31653/smf341.2020.26-29

5. Ткаченко І. В. Використання в суднових енергетичних установках технології гідродинамічної суперкавітації для розділення і очищення вод, що містять нафту / І. В. Ткаченко // Вісник Одеського національного морського університету : Зб. Наук. праць, 2020. – № 2(62). – С. 130-141. DOI 10.47049/2226-1893-2020-1-130-141.

Improvement of dual fuel marine diesels fuel injection

Pilot-ignited high-pressure direct-injection (HPDI) natural gas engines have drawn much attention since being proposed, as these engines can maintain high performance and lead to clean combustion compared with conventional diesel engines.

Different types of gas engines have been summarized in the literature.¹² These engines, categorized mainly by two different ignition principles, operate primarily either by diffusion or by premixed combustion. When burned with diffusion combustion, a pilot of diesel fuel is usually injected into the hot air slightly prior to the injection of natural gas and serves as an ignition source. Natural gas is directly injected into the cylinder near the top dead center (TDC), and this injection requires a high gas injection pressure, that is, 250-300 bar.

This prospective concept is not only used in vehicle engines but also used in large scale marine engines. In this study, the effects of injection strategies of dual fuels on combustion characteristics and emissions were investigated using the computational fluid dynamics (CFD).

Computational investigations were conducted on a MAN Diesel & Turbo 4T50ME-GI research engine, which is a four cylinder, low speed, two stroke, uni-flow scavenged marine engine, with an electronically controlled exhaust valve and fuel injection system modified from those of the 4T50ME-X engine to introduce

natural gas combustion.

Two groups of injectors are symmetrically equipped on the cylinder head to

Table 1 Main specifications of the	4T50ME-GI research engine
Parameters Value	Type 4T50ME-GI
Number of cylinders 4	Bore/stroke 500 mm/2200 mm
Geometric compression ratio 18.14	Engine speed @ MCR 123 rpm
Power @ MCR 7050 kW	IMEP @ MCR 20 bar

accomplish the flexible injection strategies fueled with gas/diesel. Fig. 1 shows an illustration such an arrangement such an arrangement .

When switching to the diesel mode, a heavy fuel oil (HFO) amount that covers the full load is injected from the pilot injectors. In the dual-fuel mode, marine diesel oil (MDO) or HFO is first injected as a pilot fuel, and when the pilot flame reaches the front face of the gas injector nozzle, natural gas is injected.

The natural gas is ignited immediately by the pilot flame.

When switching to the diesel mode, a heavy fuel oil (HFO) amount that covers the full load is injected from the pilot injectors. In the dual-fuel mode, marine diesel oil (MDO) or HFO is first pilot flame reaches the

front face of the gas injector nozzle, natural gas is injected. The natural gas is ignited immediately by the pilot flame.

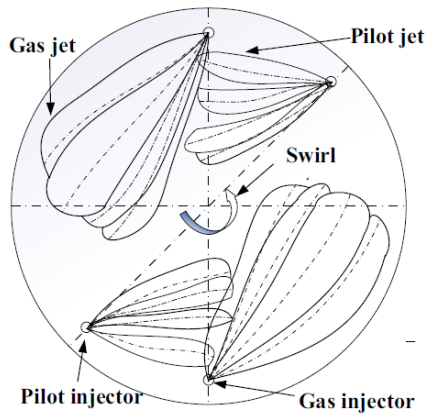


Fig. 1. Arrangement of fuel injectors

FIGURE 1 Arrangement of fuel injectors³³

Numerical simulation model The simulation code used in research is the 3D CFD software CONVERGE,³⁶ a commercially available CFD code.

Results and discussion

A parametric study was conducted to study the effects of injection strategies on the combustion characteristics and emissions of high-pressure direct-injection low-speed natural gas engines operated at 75% load conditions ($n = 112$ rpm)

Both the AIT (absolute injection timing - the injection interval keeping constant, simultaneously advances or retards the pilot fuel injection timing, and gas injection timing) and RIT (the pilot fuel injection timing was fixed at -2°CA ATDC, and the gas injection timing was advanced or retarded from -1°CA ATDC). A schematic of the injection sequence is shown in Fig. 2.

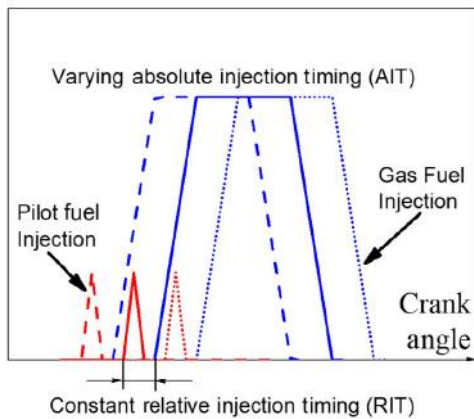


Figure 2. Schematic of the fuel injection sequence

The in-cylinder pressure and HRR profiles at different AITs are shown in Fig. 3. A normal combustion process in an HPDI gas engine is identified to take place over five stages (Fig. 4), which mainly include the pilot fuel ignition delay, pilot fuel premixed combustion, rapid combustion the pilot injection timing and gas injection timing retarded, the ignition delay times are changed slightly, and the start of combustion is delayed. Naturally, the combustion phase

characteristic with a much retarded AIT timing due to the late main heat release, where the first peak takes place at the top dead center as a consequence of the retarded initiation of combustion events, while the second peak induced by the heat release of main fuel natural gas occurs after a drop caused by the downward movement of piston in the expansion stroke.

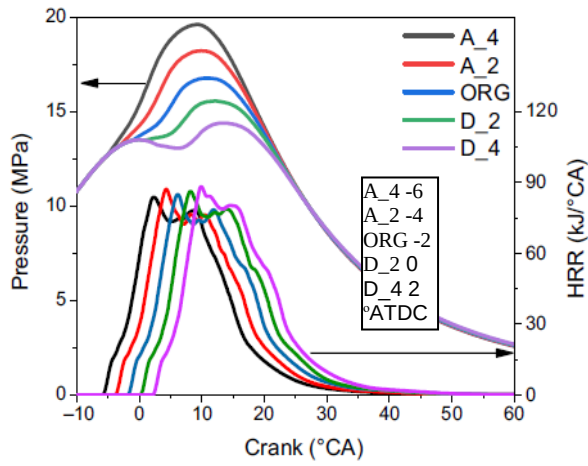


Figure 3. The in-cylinder pressure and heat release rate profiles at different absolute injection timings

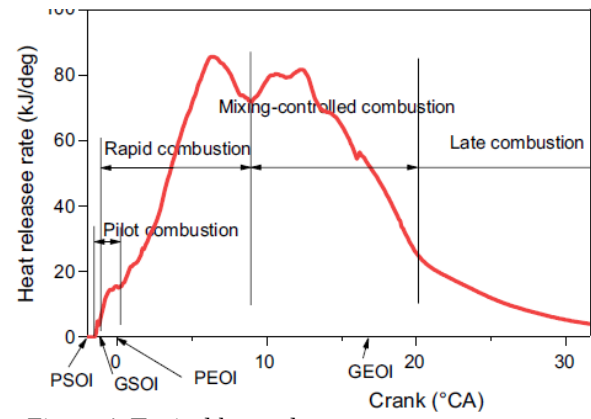


Figure 4. Typical heat release rate diagram. “P” and “G” donate the pilot and natural gas fuels, “SOI,” and “EOI” refer to start and end of injection

The in-cylinder temperature is considered to be one of the key parameters for controlling the autoignition process. Figure 5 depicts the variations in the calculated mean in-cylinder temperature at different AITs. The peak mean in-cylinder temperature decreased from 1704 to 1604 K when the AIT varied from A_4 to D_4, with a retarded peak phasing and a correspondingly higher proportion of late combustion. As the AIT is retarded, the start of combustion is delayed, providing less time for mixing, reducing the fuel utilization efficiency.

Accordingly, the combustion gets worse, and the peak mean in-cylinder temperature decreases.

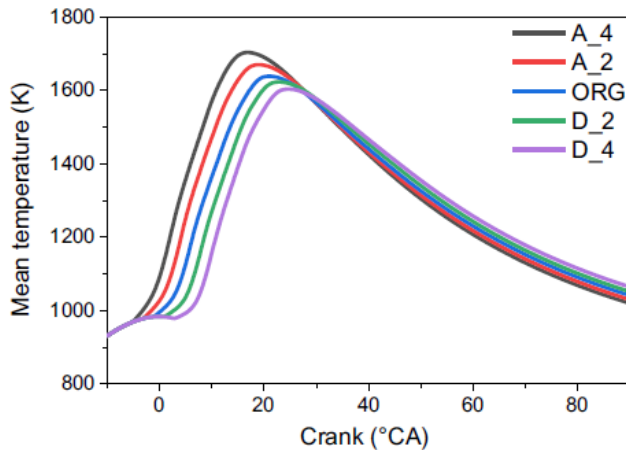


Figure 5. The calculated mean in-cylinder temperature vs crank angle for different absolute injection timings

The late combustion reduces the time between combustion and exhaust valve opening, decreasing the time available for the kinetics of oxidation to occur. The retarded combustion phase in diesel engines generally decreases NO_x but increases unburned fuel, intermediate species such as CO and soot, and exhaust temperatures.

equivalent ratio distributions at 0°CA, 5°CA, 10°CA, 15°CA, and 20°CA ATDC for different AIT

cases are shown in Figure 6. For each slice, the temperature is present on the left, while the equivalent ratio is on the right. The black line with the arrow represents the air flow motion, from which the contribution of the entrainment of the high-speed gas jet on the in-cylinder mixing and combustion can be seen. Delayed as the AIT is retarded. Compared with the original (ORG) case, a large

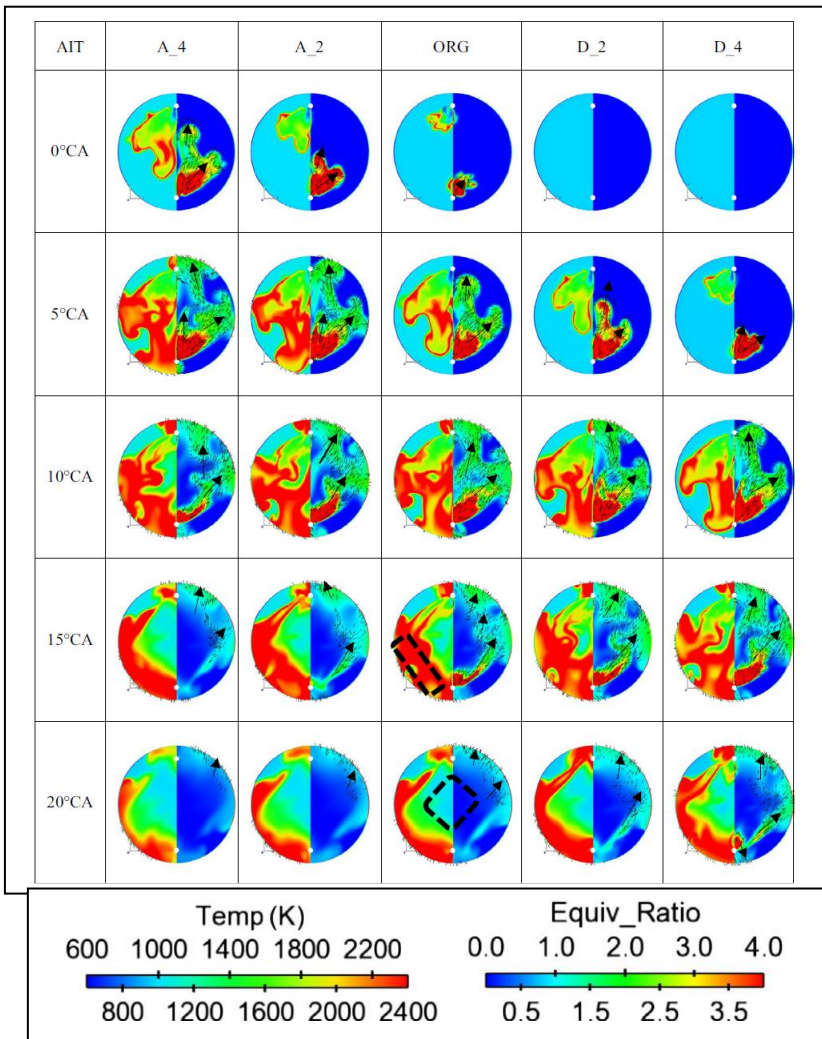


Figure 6. The in-cylinder temperature and equivalent ratio distributions at 0°C, 5°C, 10°C, 15°C, and 20°C :left temperature, right equivalence ratio

high- temperature region exists at 20°C CA ATDC for the D_4 case. Combustion does not start in the inner region with a high concentration of gas fuel (larger than 2.0) but in areas with an appropriate equivalent ratio (1.0~2.0). A low equivalent ratio region (<0.4), which cannot be ignited, initially exists between the cylinder wall and the gas jet direction and also exists in the intermediate region of the cylinder in the late combustion stage. Additionally, a large combustion region with high temperature can also be seen near the cylinder wall, and this region may result in a high thermal load for the engine cylinder and adverse effects on the emissions. To solve these problems, a better distribution of fuel

and air may be achieved by optimizing the gas injector arrangement and in- cylinder airflow.

Emissions

Figure 7 depicts the effect of different RITs on the soot, NO_x, and HC+CO emissions. The figure shows that the RIT has dramatic impacts on the pollutant formation and emissions. Compared with the AIT cases, the influence of the RITs is more complicated. Figure 7A shows that the NO_x and HC+CO emissions are not changed much when the gas injection timing is shifted from A_2 to D_2, and the highest and lowest soot and HC + CO emissions can be obtained in the A_2 case and A_4 case, respectively. For NO_x emissions, the peak value is 12.8 g/kW · h in A_4, which is lower than that of the AIT's 14.8 g/kW · h. It is observed that partially premixed gas fuel is beneficial to reduce both the NO_x and soot emissions; however, the ratio of gas fuel is the key parameter that needs further investigation and optimization. The ISFC is increased with retarded gas injection timing. In addition, considering both the soot and HC + CO emissions,

slightly retarding the gas injection timing is also feasible. Figure 7B shows that the pilot injection timing also has significant impacts on the pollutant formation and emissions.

When the pilot timing is retarded by 2°CA ATDC compared with that of the ORG case, the soot and HC+CO emissions are the highest among all these cases. However, a drastic reduction in these two emissions is observed when the pilot timing is further retarded. Additionally, an advanced pilot timing is also beneficial for decreasing soot and HC + CO emissions. For NO_x emissions, the highest and lowest values appear in the A_2 case and D_2 case, respectively. However, a further advanced or retarded pilot timing results in a reverse trend. Additionally, the ISFC shows a reverse trend with NO_x emissions. Taking all these emissions into account, the A_4 and D_4 cases have some advantages compared with the ORG cases.

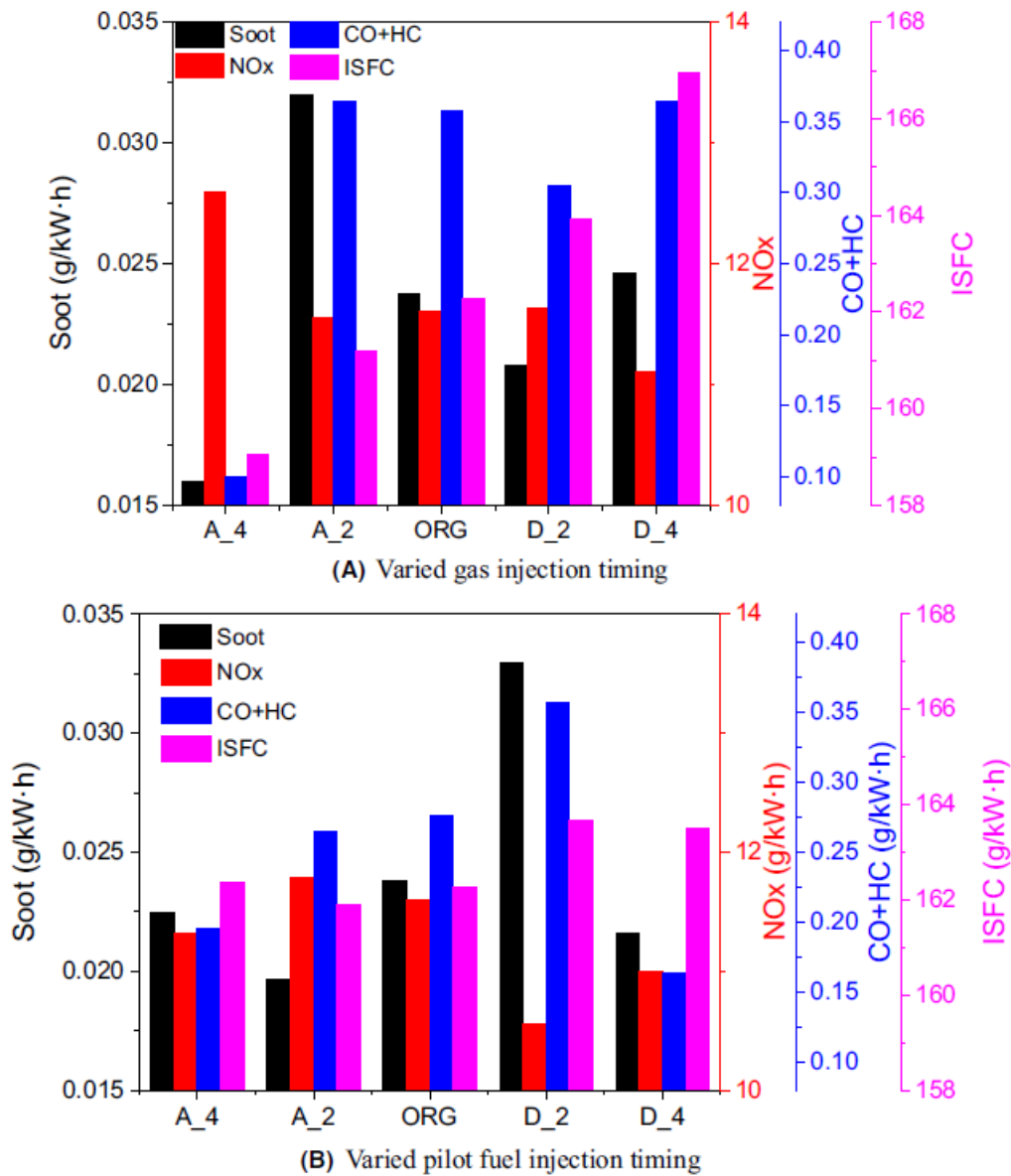


Figure 717. The effects of different relative injection timings on soot, NO_x, and HC + CO emissions. A, Varied gas injection timing; and B, varied pilot fuel injection timing

The injection strategies (pilot diesel injection timing and gas injection timing) have a great influence on the combustion and emissions of dual-fuel marine engines. In the current study, numerical investigations have been conducted to study the influences of different pilot injection timings on the combustion and emission characteristics of a large-bore two-stroke natural gas/diesel dual-fuel marine engine.

The effects of AIT on combustion and emission characteristics are similar to those of traditional diesel engines. As the AIT varies from advanced by 4°CA to retarded by 4°CA, the peak values of the in-cylinder pressure and temperature decrease gradually, accompanied by a retardation of the combustion phase. Additionally, a conventional trade-off between NO_x and soot/CO/HC/ISFC emissions can also be observed as the AIT is retarded.

Вовченко В. А., Парменова Д.Г.

Національний університет "Одеська морська академія"

Забезпечення екологічності роботи морських суден

Постановка проблеми в загальному вигляді. Щорічне збільшення споживання вуглеводневої сировини, превалювання використання рідкого та газоподібного палива над твердим, відсутність реальних альтернатив нафти та газу як основного джерела теплової енергії призводить до поступового виснаження їх континентальних родовищ. Подальше зростання споживання енергії у промисловості, на транспорті та у повсякденному житті підвищує дефіцит палива нафтового походження, який може бути забезпечений лише континентальними запасами. Тому останнім часом велика кількість країн розвивають та розширюють освоєння ресурсів континентального шельфу Світового океану. Основні запаси шельфових нафтових родовищ знаходяться у Мексиканській затоці, Перській затоці, Гвінейській затоці, а для Європейського континенту – у Норвезькому морі (в акваторіях Норвегії та Шотландії). Видобуток нафти здійснюється за допомогою спеціальних суден, що відносять до класу Drillships. Енергетичні установки цих суден забезпечують як рух судна та постачання його устаткування й механізмів електричної енергії, а й функціонування спеціального устаткування (яке виконує буріння свердловин і видобуток нафти). У зв'язку з цим потужність енергетичних установок Drillships перевищує потужність енергетичних установок інших судів рівного їм дедвейту.

Суднові дизелі (як головний компонент суднової енергетичної установки) є джерелами забруднення навколишнього середовища випускними газами, до складу яких входять токсичні компоненти: вуглекислий газ CO , вуглеводні C_nH_m , сажа, оксиди сірки SO_x , оксиди азоту NO_x [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Міжнародна морська організація (IMO) встановила морські райони суворішого контролю викидів



Рис. 1. Особливі екологічні райони Європи

оксидів сірки SO_x та оксидів азоту NO_x . Ці спеціальні екологічні райони називаються SECA (Sulfur Emission Control Area), NECA (Nitrogen Emission Control Area). Особливі екологічні райони Європи наведено на рис. 1.

Морські, прибережні та континентальні райони Північної Європи характеризуються високою вологістю, зниженою температурою, високою інтенсивністю вітру. Це прискорює перетворення оксидів азоту в азотну кислоту та її подальше потрапляння з природними опадами (дощем та снігом) на повер-

хню землі та моря. Інтенсивні вітри сприяють поширенню токсичних компонентів випускних газів великої території. Тому райони наведені на рис. 1, відносять до особливих екологічних районів і приділяють підвищену увагу суднам морського транспорту під час роботи у них [2, 3].

Постановка завдання. Метою дослідження було визначення оптимального ступеня рециркуляції випускних газів судового дизеля 16V32 STX-MAN як одного із способів забезпечення екологічності їх роботи.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження виконувались на судні класу Drillships з такими основними характеристиками: довжина – 228,1 м, ширина – 41,8 м, осідання – 11, дедвейт – 60086 тонн.

Суднову енергетичну установку складали шість однотипних дизелів 16V32 STX-MAN з такими основними характеристиками: діаметр циліндра – 320 мм; хід поршню – 460 мм; частота обертання – 720 об/хв; номінальна потужність – 7000 кВт, питома витрата палива – 192 г/(кВт·год). Дизелі виконували функції головних і допоміжних двигунів [4].

Особливістю експлуатації дизелів 16V32 STX-MAN у складі суднової енергетичної установки Drillships є великий експлуатаційний період роботи на часткових режимах – в діапазоні потужностей $N_{\text{ework}}=(0,25...0,95)N_{\text{enom}}$. Дані дизелі були обладнані штатною системою рециркуляції газів низького тиску (LP-EGR), в якій гази після газової турбіни турбонагнітачів повертаються в продувний ресивер дизеля через охолоджувач наддувного повітря. Схема газоповітряної системи дизеля 16V32 STX-MAN із системою рециркуляції газів низького тиску наведена на рис. 2.

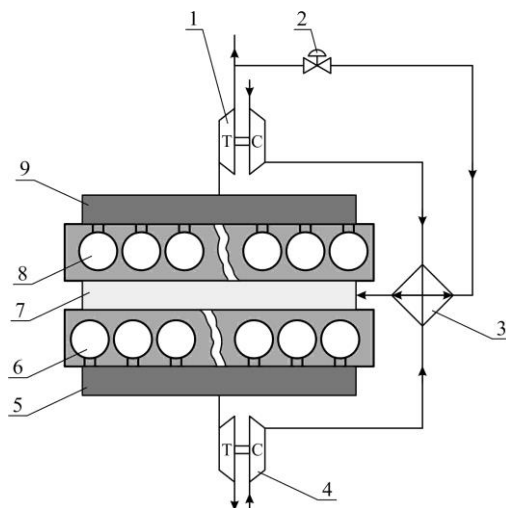


Рис. 2. Схема газоповітряної системи дизеля 16V32 STX-MAN: 1, 4 – турбонагнітач (Т – газова турбіна, С – повітряний компресор); 2 – клапан системи рециркуляції; 3 – охолоджувач наддувного повітря; 5, 9 – випускний колектор; 6, 8 – робочі циліндри; 7 – ресивер наддувного повітря

Завданням дослідження було визначення оптимального ступеня EGR, при якому забезпечується максимальне зниження емісії оксидів азоту за одночасної мінімальної зміни енергетичних та економічних показників дизеля. Дослідження виконувались для різного ступеня рециркуляції випускних га-

зів ($\delta_{\text{EGR}}=0\ldots 21\%$) та різного навантаження на дизель – 35, 55, 75, 95 % від номінального навантаження. Результати дослідження наведено на рис. 2 [5].

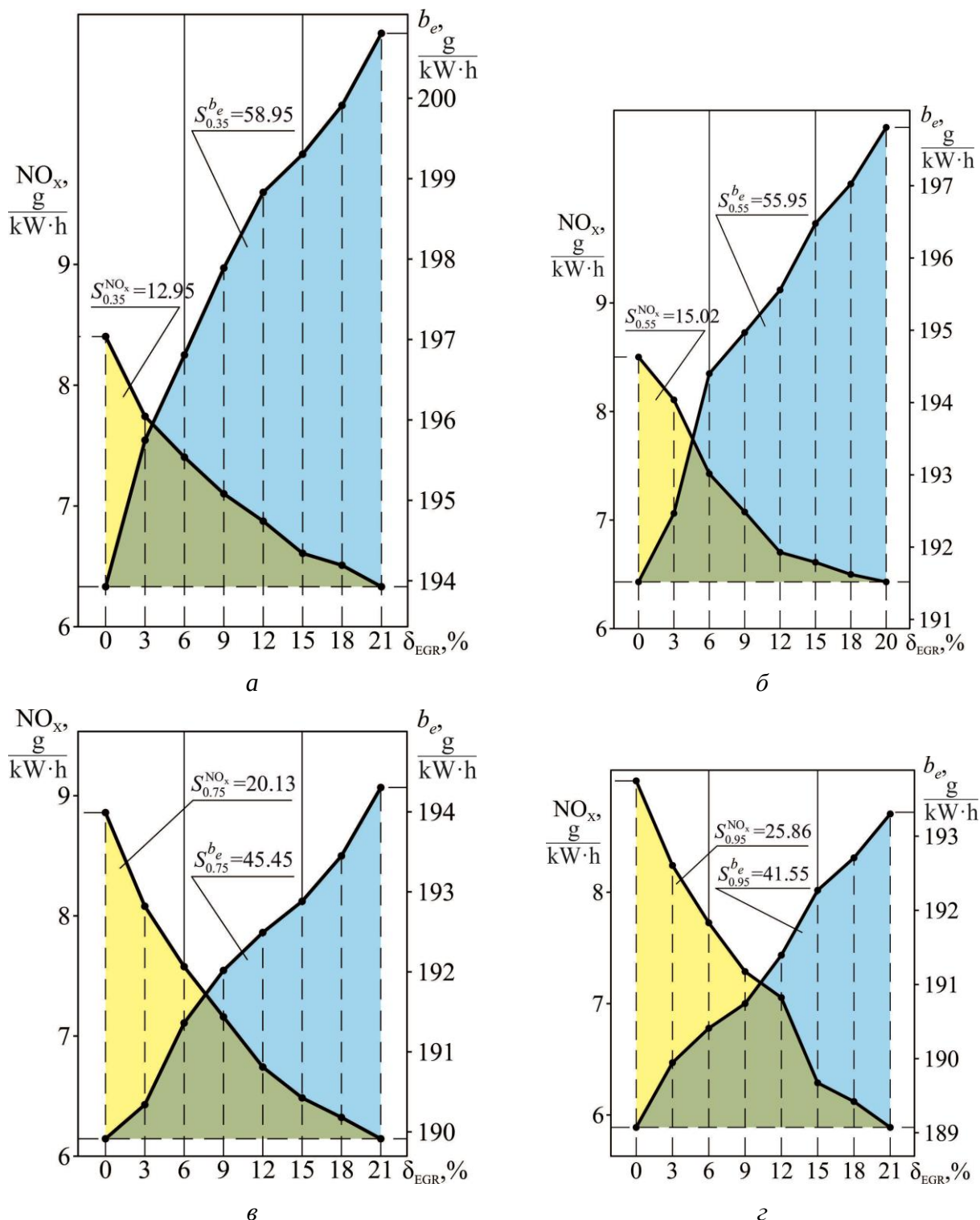


Рис. 3. Емісія оксидів азоту NO_x та питома ефективна витрата палива b_e суднового дизеля 16V32 STX-MAN за різних навантажень: *a* – 35%; *б* – 55%; *в* – 75%; *г* – 95 %

Ефективність та економічність використання системи рециркуляції випускних газів на різних режимах її експлуатації можна оцінити визначивши площу під залежностями. $S_{\text{NO}_x}^{0.35} = f(\delta_{\text{EGR}})$, $S_{\text{NO}_x}^{0.55} = f(\delta_{\text{EGR}})$, $S_{\text{NO}_x}^{0.75} = f(\delta_{\text{EGR}})$,

$S_{0,95}^{NO_x} = f(\delta_{EGR})$ та $S_{0,35}^{b_e} = f(\delta_{EGR})$, $S_{0,55}^{b_e} = f(\delta_{EGR})$, $S_{0,75}^{b_e} = f(\delta_{EGR})$, $S_{0,95}^{b_e} = f(\delta_{EGR})$, де індекси 0,35...0,95 відповідають навантаженню на дизель.

Екологічна ефективність роботи дизеля різних режимах оцінюється за значенням площі S^{NO_x} , економічна – за значенням площі S^{b_e} . Площа під залежністю $S^{NO_x} = f(\delta_{EGR})$ прямо пропорційна зниженню екологічності роботи дизеля. Чим більше значення S^{NO_x} тим ефективніша система EGR забезпечує зниження концентрації NO_x у випускних газах дизеля. Площа під залежністю $S^{b_e} = f(\delta_{EGR})$ обернено пропорційна економічності роботи дизеля. Збільшення значення S^{b_e} призводить до зростання питомої ефективної витрати b_e палива на розглянутому режимі [6].

Висновки і перспективи подальших досліджень. Під час експлуатації дизелів морського транспорту повинні забезпечуватися не тільки енергетичні та економічні, а й екологічні показники їх роботи. Особливо це актуально під час експлуатації морського транспорту у спеціальних екологічних районах. Одним із показників, величина якого регламентується вимогами ІМО, є емісія NO_x з випускними газами судових дизелів. Одним із способів зниження емісії NO_x є використання їх рециркуляції. При цьому частина випускних газів (після газовипускного ресивера або після газової турбіни газотурбонагнітач) перенаправляється в циліндр дизеля. Це зменшує максимальну температуру згоряння та сприяє зниженню інтенсивності утворення NO_x . Одночасно з цим збільшується період догоряння палива на лінії розширення, що призводить до збільшення питомої витрати палива та підвищення температури випускних газів.

Конструкційне виконання сучасних дизелів дозволяє варіювати рівень рециркуляції системи випускних газів в діапазоні 0...21 %. Вибір оптимального ступеня рециркуляції випускних газів забезпечується виконанням наступних критеріїв:

- екологічного – як максимальне зниження (для конкретного експлуатаційного режиму) емісії оксидів азоту із випускними газами;
- економічного – як мінімальне зростання витрати палива (віднесеного або до часу роботи і потужності дизеля, або до пройденого судном відстані);

Рециркуляцію випускних газів, як способ обеспечення екологических показателей судовых дизелей, целесообразно использовать в диапазоне 6...15 % – на режимах обеспечивающих максимальное снижение эмиссии оксидов азота при минимальном повышении удельного расхода топлива.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sagin S. V., Kuropyatnyk O. A. Using exhaust gas bypass for achieving the environmental performance of marine diesel engines // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7-8 (July – August). – P. 36-43. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-36-43>.
2. Kuropyatnyk O. A., Sagin S.V. Ensuring efficiency and environmental of marine diesel engines which using exhaust gas bypass system // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вип. 43. – Одеса: НУ «ОМА». – 2021. – С. 25- 40. doi: 10.31653/smf343.2021.25-40
3. Sagin S. V., Kuropyatnyk O. A., Zablotskyi Yu. V. Gaichenia O. V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // Nase More : International Journal of Maritime Science & Technology. – 2022.– Vol.69. – Iss.1. – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7
4. Sagin, S.; Kuropyatnyk, O.; Sagin, A.; Tkachenko, I.; Fomin, O.; Pištěk, V.; Kučera, P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe. J. Mar. Sci. Eng. 2022, 10(9), 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331>
5. Sagin S., Kuropyatnyk O., Tkachenko I. Ensuring the environmental friendliness of marine diesel engines of specialized ships // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 5-16. doi: 10.31653/smf45.2022.5-16.
6. Сагін С.В., Побережний Р.В. Метод управління факторами ризику виникнення аварійних ситуацій під час експлуатації пропульсивних комплексів засобів водного транспорту // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 46. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 110-117. doi: 10.31653/smf46.2023.110-117.

Підвищення ефективності використання моторних мастил в суднових дизелях

Постановка проблеми в загальному вигляді. Відомо, що в поршневих двигунах внутрішнього згоряння (ДВЗ) на подолання тертя безповоротно втрачається до чверті корисної енергії газів. При цьому до 65% всіх механічних втрат в ДВЗ доводиться на тертя між деталями циліндропоршневої групи, перш за все на частку сполучень поршневі кільця-дзеркало циліндра і тронка поршня-дзеркало циліндра. Не випадково в практиці експлуатації ДВЗ одним з головних напрямків зниження механічних втрат є застосування антифрикційних і протизносних добавок у вигляді високо- і ультрадисперсних порошків різних неорганічних речовин в мастильні матеріали: моторне мастило, тверді мастильні покриття на тронка поршнів та ін. [1].

Добавки дисперсних порошків м'яких металів в моторні мастила, на відміну від традиційних присадок, які змінюють в потрібному напрямку властивості тільки самого мастила, впливають не на властивості мастила, а на властивості поверхонь тертя, що змазуються цим мастилом. У ДВЗ та інших механізмах, що змащують для поліпшення триботехнічних характеристик вузлів тертя, деталі яких виготовлені із залізовуглецевих сплавів, широко застосовуються порошки міді та мідних сплавів. Передбачається, що частинки порошку формуватимуть на поверхні найтонший шар м'якого металу або при «намазуванні» частинок на поверхню, або за рахунок дії молекулярних сил, або в результаті освіти металевої зв'язку. Плівка м'якого металу, що утворилася на поверхні тертя, створює умови для існування граничного шару моторного мастила більшої товщини, тобто шару завтовшки не в одну, а в кілька десятків молекул. Збільшення товщини граничного шару мастильного матеріалу призводить до істотного зниження адгезійної складової тертя. Як показують результати досліджень, основна частка механічних втрат (до 80 %) в ДВЗ припадає саме на граничний, а не на гідродинамічний режим мащення, тому застосування зазначених дисперсних добавок в моторному мастилі є виправданим. Однак для того, щоб частинки порошку, що містяться в моторному мастилі, почали формувати плівку на поверхнях тертя необхідно забезпечити низькі значення навантажень і швидкостей ковзання, а також припинення доступу кисню до зони фрикційного контакту. Такі умови в практиці експлуатації ДВЗ в більшості випадків не забезпечуються. Разом з тим, навіть незважаючи на відсутність ефекту металоплакування, добавки ультрадисперсних порошків мідних сплавів в моторне мастило часто призводять до підвищення ефективного коефіцієнту корисної дії (ККД) двигунів і, як наслідок, до зниження витрати палива [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У тверді мастильні матеріали (ТММ), які, як відомо, складаються з сполучного і високодисперсного напо-

внювача, в якості останнього вводяться порошки твердих мастильних матеріалів – найчастіше дисульфиду молібдену (MoS_2) або графіту. Поширеними сполучними є полімери на основі фенолформальдегідних або епоксидної смоли. ТММ отримують після затвердіння в результаті термічної обробки суспензії (полімерного сполучного з дисперсним наповнювачем), яку наносять на поверхню тертя деталей, в тому числі і на спідниці (тронки) поршнів ДВЗ. Служать такі покриття в основному в якості прірабочних. І хоча термін «прірабочні» є умовним, багато ТММ зберігаються на поверхнях тертя довгий час, що значно перевищує тривалість підробітки, ним підкреслюється, що ТММ призначені для захисту поверхонь тертя в важких умовах роботи, що характеризуються недоліком мастильного матеріалу, який може відчуватися на деякій площі поверхонь в період підробітки, тобто непрірабочних. Що стосується антифрикційної дії подібних покриттів в ДВЗ, то тут також багато «білих плям». Як показують експерименти на машинах тертя, поєднання в трибо-сполученнях силуміну і сірого чавуну – поширених матеріалів для виготовлення поршнів і втулок циліндрів відповідно – характеризується при змазуванні моторним мастилом дуже низьким коефіцієнтом тертя при роботі в умовах граничного змащення. Величина коефіцієнта тертя може опускатися до 0,005...0,006, і досягнення ще більш низьких значень додатковими технологічними заходами проблематично, а тому застосування ТММ на матеріалах такого трибо-сполучень призводить, як правило, не до зниження, а до збільшення коефіцієнта тертя. Проте застосування ТММ, що містять дисульфід молібдену, на тронках поршнів в багатьох випадках призводить до зниження витрати палива [3-4].

Постановка завдання. У зв'язку з вищевикладеним, метою дослідження було визначення впливу твердих мастильних матеріалів, що як наноречовини додаються до складу моторних мастил, на енергетичні показники суднових двигунів внутрішнього згорання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Випробування проводили на судновому дизелі Caterpillar CatC18. Номінальні потужність і частота обертання колінчастого вала дизеля рівні 360 кВт і 1900 об/хв відповідно. Поршні були виготовлені з алюмінієвого сплаву. У всіх випробуваннях як моторне мастило використовували мінеральне мастило Mobil 30N-API. Були проведені такі серії експериментів:

1) з добавками ультра-дисперсного порошку оловянистої бронзи CuSnZnPb в моторне мастило;

2) з добавками фулеренової сажі $\text{C}_{60}\text{-C}_{70}$ в моторне мастило.

Ультра-дисперсний порошок оловянистої бронзи для добавок в моторне мастило було отримано методом плазмової переконденсації і містив крім олова (близько 5 %) приблизно 9 % кисню в складі різних оксидів. Необхідна кількість порошку диспергували попередньо в невеликій кількості мастила з добавкою поверхнево-активних речовин, а вже отриману суспензію додавали до основного об'єму мастила в картері дизеля. Розмір частиць оловянистої бронзи не перевищував 5 мкм.

Фулеренова сажа була отримана методом Хаффмана-Кречмера і містила близько 10 % фулеренів, з яких приблизно 65 % становив фулерен C_{60} , 32...33 % – фулерен C_{70} і 2...3 % – вищі фулерени. Сажу також попередньо замішували в невеликій кількості мастила за допомогою ультразвукового диспергатора і отриману суспензію додавали потім до основного об'єму мастила в картері дизеля. Середній розмір наночастиц фулеренової сажі не перевищував 2,5 мкм.

Добавка декількох десятих відсотка ультра-дисперсного бронзового порошку в мастило призводить на більшості режимів до зниження питомої ефективної витрати палива на 4...6 %. Зниження температури випускних газів при цьому коливається від 15 °С на потужності 25 % до 29 °С на навантаженні 60 %. Набагато більш суттєвий позитивний ефект – зниження витрати палива склало 15 % – був зареєстрований на навантаженні 75 %.

Аналіз причин зміни ефективного ККД показав, що його збільшення відбулося не за рахунок збільшення механічного ККД (його значення практично не змінилося (рис. 1, а), а за рахунок збільшення індикаторного ККД (рис. 1, б). Мала чутливість механічного ККД до змісту ультра-дисперсного порошку в мастилі підтверджується і результатами вимірювання механічних втрат методом провертання колінчастого вала дизеля від електродвигуна.

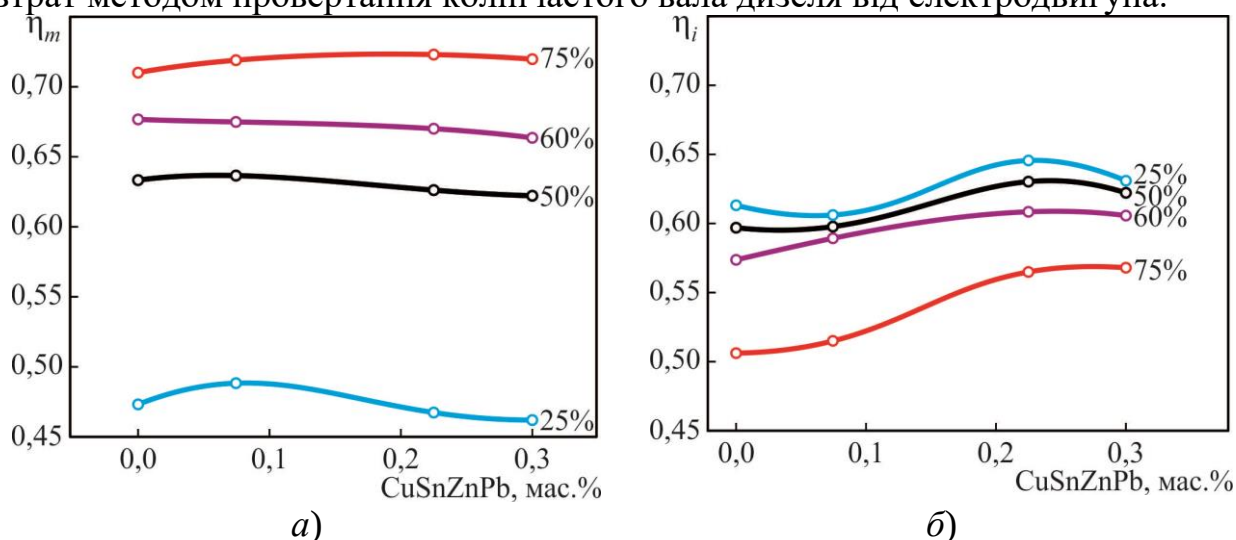


Рис. 5.1. Зміна механічного (а) і індикаторного (б) ККД дизелю Caterpillar CatC18 зі зміною концентрації бронзового порошку в моторному мастилі.

Числа на поле рисунка – значення часткової потужності

Добавка фулеренової сажі в моторне мастило не надала на ККД дизеля суттєвого впливу (рис. 2). Зміни як механічного, також індикаторного ККД, під час варіюванні концентрації сажі в мастилі і потужності дизеля були дуже незначними, і в цих змінах важко помітити будь-яку стійку тенденцію.

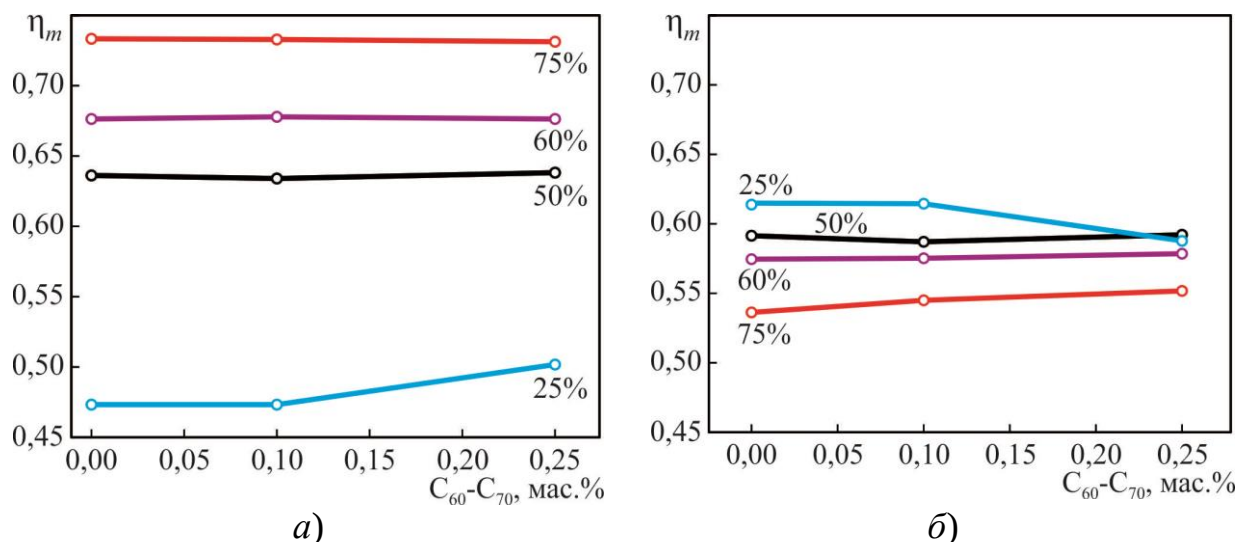


Рис. 2. Залежність механічного (а) і індикаторного (б) ККД дизеля Caterpillar CatC18 від концентрації фулеренової сажі в моторному мастилі при різних значеннях часткової потужності

Висновки і перспективи подальших досліджень. Проведеними дослідженнями встановлено взаємозв'язок твердих мастильних матеріалів на енергетичні показники суднового дизеля та доведено можливість управління енергетичними втратами шляхом додоювання в моторне мастило наноматеріалів, зокрема ультра-дисперсного порошку оловянистої бронзи $CuSnZnPb$ та фулеренової сажі $C_{60}-C_{70}$. Подальші дослідження будуть спрямовані на визначення оптимальної концентрації цих речовин в моторному мастилі.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зверьков Д.О., Сагін С.В. Зниження механічних втрат у суднових дизелях // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 40. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 20-25. DOI : 10.31653/smf341.2020.20-25.
2. Sagin S., Madey V., Stoliaryk T. Analysis of mechanical energy losses in marine diesels // Technology Audit and Production Reserves. – 2021. – № 5 (2(61)). – P. 26-32. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.239698>.
3. Stoliaryk T. Analysis of the operation of marine diesel engines when using engine oils with different structural characteristics // Technology Audit and Production Reserves. – 2022. – Vol. 5(1(67)). – P. 22-32. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.265868>.
4. Sagin S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Fomin O., Kučera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels // Journal Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10. – Iss. 10. – P. 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.

Грамма М.В., Колегаєв М.О.

Національний університет "Одеська морська академія"

Забезпечення експлуатаційних характеристик суднового пропульсивного комплексу

Постановка проблеми в загальному вигляді. В даний час домінуюче становище на ринку морських і річкових перевезень займають судна з дизельними енергетичними установками (ДЕУ). З великою ймовірністю такий стан збережеться і на найближчу перспективу. Серед ДЕУ найбільш ефективні установки на основі суднових пропульсивних комплексів (СПК) з прямою головною передачею в складі головного дизельного двигуна (ГД) і частіше гребного гвинта фіксованого кроку (ВФК). Вхідним параметром такого СПК як єдиного об'єкта управління є відносне положення органу управління подачею палива ГД h/h_n , де h і h_n – переміщення органу управління подачею палива на деякому частковому і на номінальному режимах роботи ГД, а вихідним – відносна частота обертання ВФК n/n_n , де n і n_n – частота обертання гребних гвинтів на деякому частковому і на номінальному режимах роботи [1, 2].

Робота ГД відбувається при різному використанні установки, наприклад при зміні водотоннажності, на швартовах, в парціальному режимі, при зміні зовнішніх умов (при мілководді, в штормових умовах, при обростанні корпусу судна і т.д.) [3, 4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В області підвищення ефективності суднових енергетичних установок (СЕУ) варто відзначити високий рівень досягнень. При цьому зокрема вивчалися: алгоритм оперативного оптимального управління навантаженням суднового ГД двигуна з урахуванням гідрометеорологічних умов мореплавання [5, 6], метод оптимального призначення швидкісних режимів СПК [7, 8]; принципи побудови регресійних емпіричних моделей СПК з визначенням функції зв'язку вихідних змінних з вхідною за даними експериментальних досліджень [9, 10].

Постановка завдання. Незважаючи на масштабність наукових розробок у зазначеній вище сфері досліджень, питання забезпечення експлуатаційних характеристик суднового пропульсивного комплексу потребують подальшого дослідження з метою визначення оптимальних показників, за якими більш доцільно виконувати їх діагностування та оцінювання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сучасне судно є складним інженерним спорудженням, яке об'єднало в себе досягнення науки і практики ХХ століття, та яке виконує різні функції у взаємодії з іншими суднами і портовими об'єктами. Центральний елемент в структурі системи «судно» (рис. 1) – СЕУ. ГД СЕУ, передача, гвинт і корпус судна складають СПК, схема якого показана на рис. 2.

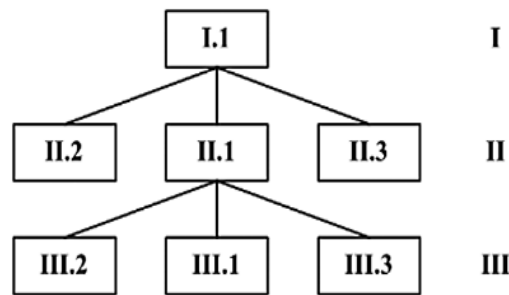


Рис. 1. Структура системи «судно»:
 I, II, III – рівні системи; I.1 – судно; II.1 – СЕУ;
 II.2 – навігаційне обладнання; II.3 – палубні механізми; III.1 – ГД;
 III.2 – парогенератор; III.3 – дизель (турбо) генератор

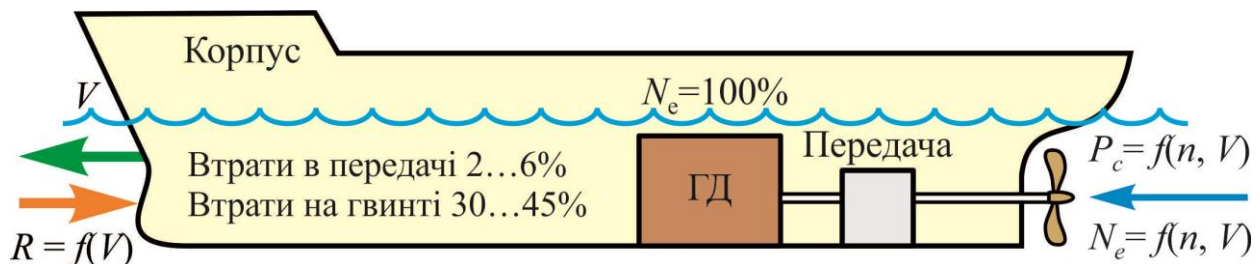


Рис. 2. Судновий пропульсивний комплекс

З теорії корабля відомо, що результатом взаємодії елементів СПК є гвинтова характеристика $N_e = f(n)$. Форма гвинтовий характеристики залежить від опору руху судна $R = f(V)$, де V – швидкість руху. При збільшенні опору (обростання корпусу судна, стан моря і т.п.) для підтримки постійної швидкості судна ($V = \text{const}$) збільшення потужності гребного гвинта відбувається відповідно до його власних характеристик і далеко не пропорційно збільшенню опору корпусу R . З іншого боку, збільшення потужності ГД N_e відбувається за його власними характеристиками і призводить до збільшення питомої витрати палива. У зв'язку з цим оцінка роботи СПК не може бути виконана без аналізу власних характеристик корпусу, гвинта, двигуна і побудови характеристик їх взаємодії. Результатом поєднання характеристик корпусу, гвинта і двигуна є паспортна діаграма СПК.

У складі СПК роботу ГД і ВФК на сталих режимах відображають швидкісні характеристики: ГД – зовнішні, регуляторні та обмежувальні, а ВФК – гвинтові. На рис. 3 представлена графічна ілюстрація цих залежностей, які відображають роботу його СПК в різних умовах експлуатації, а саме:

- в штатних (які прийнято також називати нормальними або розрахунковими) – нормальна, або штатна характеристика (крива H);
- в більш легких, ніж штатні, наприклад при ході судна в баласті, – баластних, або легка характеристика (крива B), яка розташовується вище нормальної;
- в більш важких, ніж штатні, наприклад при розгоні судна, – розгінна, або важка характеристика (крива P), яка розташовується нижче нормальної;

- при нерухомому судні, наприклад при рушанні його з місця або при роботі на швартових, – стартова, або гранично важка характеристика (крива C).

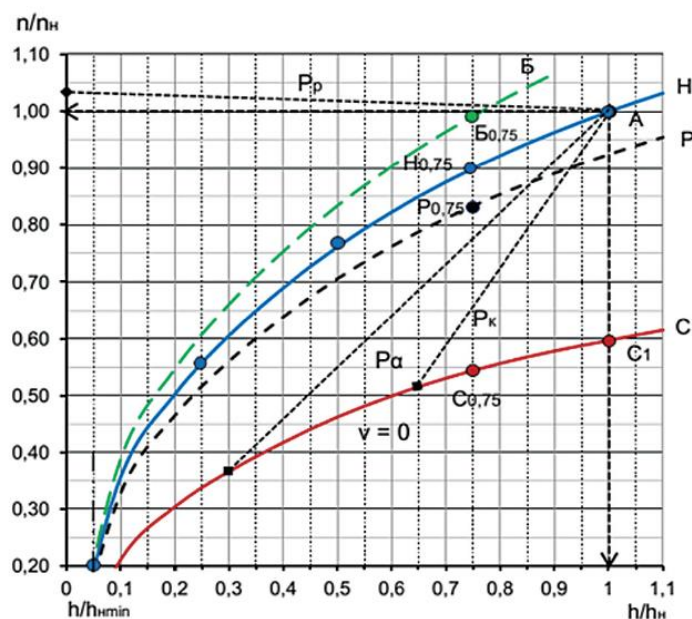


Рис.3. Характеристики СПК (H – нормальна, або штатна; B – баластна, або легка; P – розгінна, або важка; C – стартова або гранично важка) і обмежувальні характеристики ГД по механічній (P_k) і теплової (P_α) напруженості і по частоті обертання (P_p)

Важлива властивість діаграми: при одній і тій же подачі палива ординати діаграми між стартовою та іншими (баластної, або штатної, або розгінної) характеристиками в певній пропорції відображають швидкості руху суден у відповідних умовах експлуатації. Сукупність побудованих характеристик визначає область безпечних режимів роботи СПК і дозволяє обґрунтувати важливі пускові і експлуатаційні параметри роботи СПК і суден.

У сталих режимах роботи потужність ГД повинна забезпечувати створення необхідного упору для отримання заданої судну швидкості. Зрозуміло, контрольні випробування СПК повинні суворо відповідати режимним умовам ходових випробувань новозбудованого судна. При цьому всі випробування повинні виконуватися за умовою забезпечення експлуатаційних характеристик суднового пропульсивного комплексу, перш за все екологічних, економічних та енергетичних. Реалізація цього завдання можлива шляхом вимірювань і контролю визначальних параметрів елементів СПК. Блок схема контролю технічного стану пропульсивного комплексу показана на рис. 4.

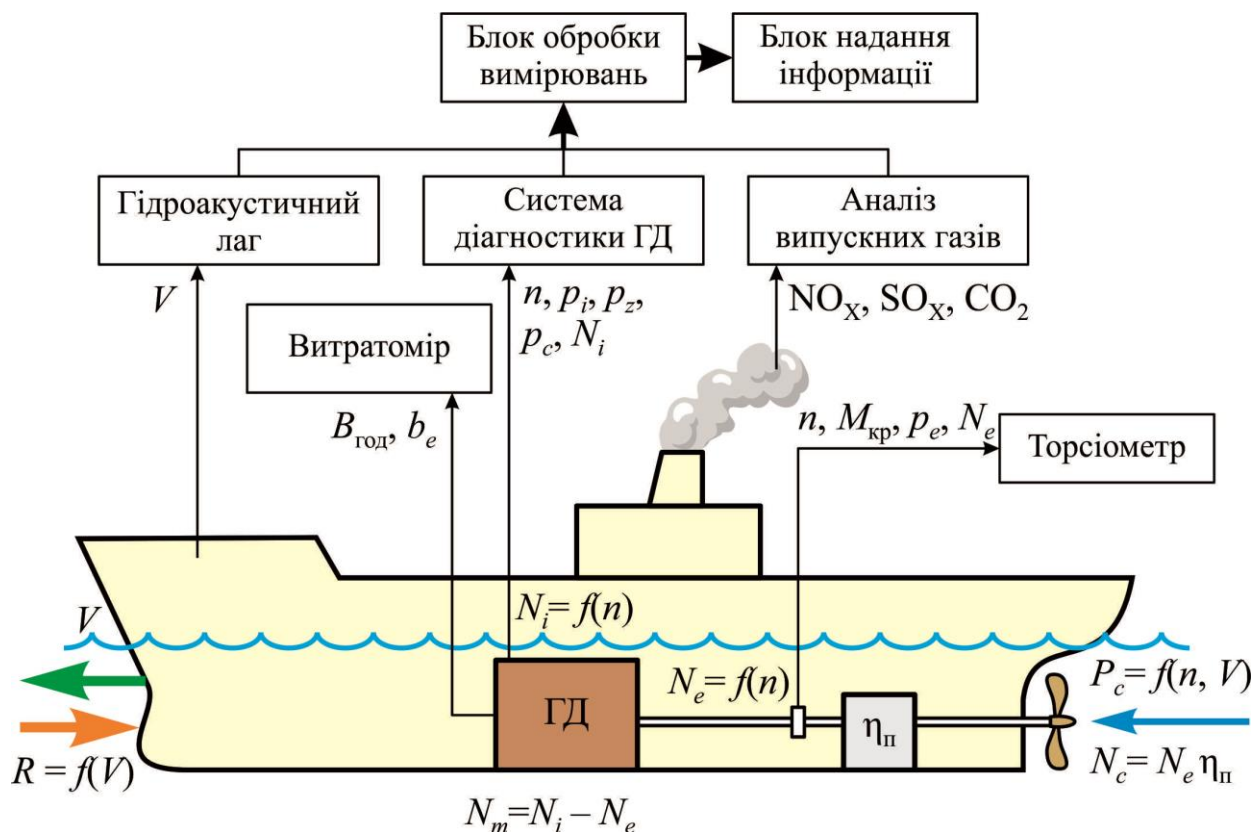


Рис. 4. Блок схема контролю експлуатаційних характеристик суднового пропульсивного комплексу

Висновки і перспективи подальших досліджень. Работа дизеля у пропульсивному комплексі на сталих режимах при різному використанні установки потребує всебічної уваги. Різноманіття можливих режимів та навантажень на яких здійснює роботу ГД, висуває спеціальні умови, що до їх експлуатації з максимальною енергетичною, економічною та екологічною ефективністю. При цьому для кожного з експлуатаційного режиму існують переважні параметри, контроль, діагностування та управління якими у першу чергу впливає на ефективність та надійність експлуатації СПК.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Суворов П.С. Управление режимами работы главных судовых дизелей / П. С. Суворов. – Одесса : ЛАТСТАР, 2000. – 240 с.
2. Голіков В.А., Онищенко О.А. Развитие современной теории и практики технической эксплуатации морского и речного флота: концепции, методы, технологии // Судовые энергетические установки : науч.-техн. сб. – 2017. – № 37. – Одесса: НУ «ОМА». – С. 13-27.
3. Budashko V. Theoretical-applied aspects of the composition of regression models for combined propulsion complexes based on data of experimental research / V. Budashko, V. Golikov // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2017. – Т. 4. – № 3. – С. 11-20.

4. Cherednichenko O., Serbin S. Analysis of Efficiency of the Ship Propulsion System with Thermochemical Recuperation of Waste Heat // Journal of Marine Science and Application. – 2018. – Vol. 17. – Iss. 1. – P. 122-130.

5. Сагін С.В., Бондар С.А. Метод попередження аварійних ситуацій під час експлуатації суднових дизелів за аналізом потоку відмов його основних вузлів // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 46. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 101-109. doi: 10.31653/smf46.2023.101-109.

6. Сагін С.В., Побережний Р.В. Метод управління факторами ризику виникнення аварійних ситуацій під час експлуатації пропульсивних комплексів засобів водного транспорту // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 46. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 110-117. doi: 10.31653/smf46.2023.110-117.

7. Сагін С.В., Сагін А.С. Контроль та діагностування надійності та економічності дизелів морських та річкових засобів транспорту // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 46. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 118-131. doi: 10.31653/smf46.2023.118-131.

8. Колегаєв М.О. Основні напрямки вдосконалення безпеки сучасного мореплавства // Морський та річковий флот : експлуатація і ремонт : Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції. – Одеса : НУ «ОМА», 2020. – С. 9-12.

9. Malahov O.V., Kolegaev M.O., Kiris O.B., Maslov I.Z. Forced oscillations of flexible pipelines on sea surface waving // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2021. – Вип. 43. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 81-87. doi: 10.31653/smf343.2021.81-87

10. Malahov O.V., Kolegaev M.O., Kiris O.B., Maslov I.Z. Main principles of determining the working section and length of ship's flexible pipelines // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2021. – Вип. 43. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 88-94. doi: 10.31653/smf343.2021.88-94.

Підвищення економічності роботи дизелів морських суден

Постановка проблеми в загальному вигляді. В останні роки на транспортних судах морського та внутрішнього водного транспорту для середньообертових дизелів (СОД) все ширше застосовуються важкі сорти палива високої в'язкості, що мають більш низьку вартість. Згідно з вимогами таких провідних фірм, що будують дизелі, як Wartsila-Sulzer, MAN Diesel & Turbo суднові СОД повинні надійно експлуатуватися на всіх режимах (в тому числі на пускових і перехідних) під час використання палив з в'язкістю до $380 \text{ мм}^2/\text{с}$. Перспективи розвитку транспортного суднобудування із застосуванням СОД в світовій практиці тісно пов'язані з використанням подібних видів палива. При цьому слід зазначити, що важкі сорти палива використовуються для роботи як головних СОД, що передають свою потужність на рушій, так і допоміжних, які є приводом електричних генераторів. Крім того, в суднову практику чітко простежується тенденція використання важких сортів палива не тільки для сучасних моделей СОД, а також переведення СОД попередніх моделей (спроектованих з умовою їхньої роботи на легких сортах палива) на експлуатацію на паливі з підвищеною в'язкістю [1].

Використання в суднових дизелях палив підвищеної в'язкості перш за все пов'язано зі намаганням зменшити експлуатаційні витрати на придбання рідкого палива. Одночасно з цим підвищенню економічності роботи суднових дизелів сприяє не лише вартість палива, але також визначення оптимальних режимів його використання, а також впровадження сучасних технологій, що підвищують якість його збереження, транспортування та згоряння. До однієї з технологій, яка спрямована на підвищення економічності роботи дизелів морських суден, відноситься використання паливних присадок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Присадки до суднових палив в даний час набули досить широкого поширення на судах, однак результат їх застосування не завжди отримує однозначну оцінку [2, 3]. Це пов'язано з різними причинами, які, перш за все, залежать від характеристик судового дизеля та елементів його паливної системи, а також від забезпечення правильної технології використання присадок [4, 5].

Постановка завдання. На даний момент конструктивне і технологічне виконання суднових двигунів внутрішнього згоряння досягло своєї досконалості, що забезпечує мінімальні питомі витрати палива даних типів теплових двигунів в порівнянні з іншими (паровими котлами та газовими турбінами). У зв'язку з цим метою дослідження було визначення впливу паливних присадок на економічність роботи дизелів морських суден.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження виконувались на чотирьох однотипних суднових дизелях Wartsila 6L32F, паливна система кожного з яких передбачала дозування до загального потоку палива, що прямує до паливних насосів високого тиску, дозерної установки, за допомогою якої в паливо додавалась присадка. Принципова схема паливної системи дизелів наведена на рис. 1.

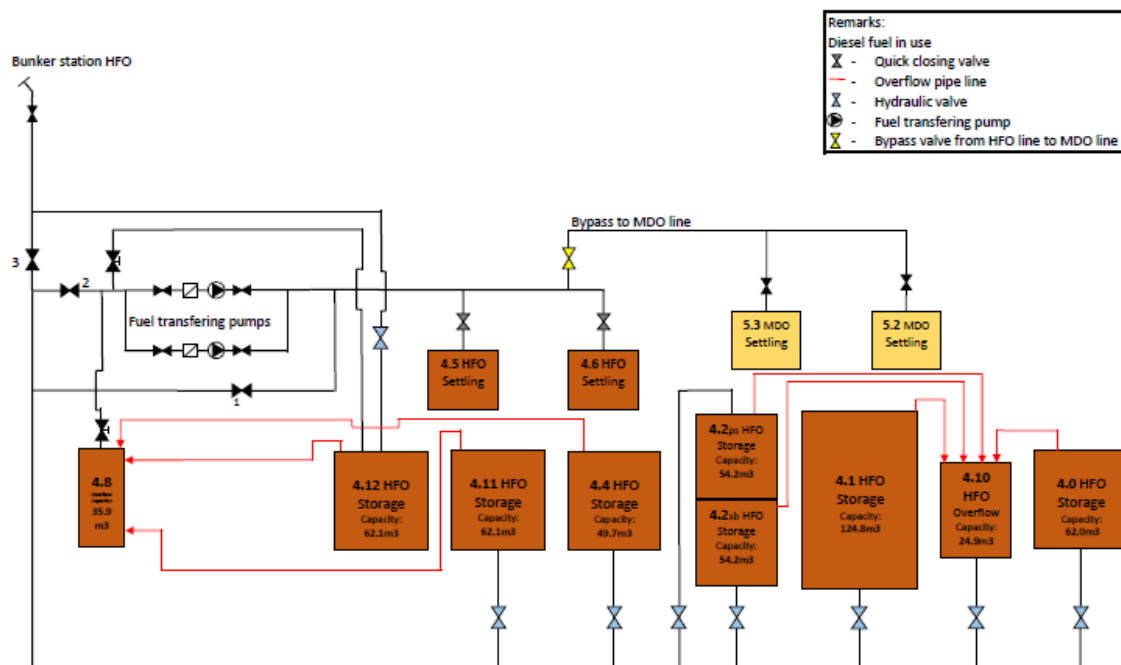


Рис. 1. Принципова схема паливної системи дизелів Wartsila 6L32F

Як паливні присадки використовувались продукти фірми Drew Marine: Amergy 1000, Amergize та Amergy XLS Plus, що мають наступні основні характеристики.

Паливна присадка Amergy 1000 – суміш органічних компонентів, призначена для забезпечення повнішого згорання і максимального використання енергії, що отримується від палива. Її можна використовувати в дизелях для різних видів палива, від дистилляту до залишкових сортів. Забезпечуючи повніше згорання, Amergy 1000 знижує кількість вихлопних часток і відкладень нагару. Завдяки такій дії, поверхні камери згорання підтримуються в чистішому стані, скорочуються витрати на ремонт, а також зменшуються витрати палива. Amergy 1000 не містить металів і повністю поглинається в процесі згорання. Норма дозування Amergy 1000 – 1 літр на 1...8 тонн палива (1 / 1000...1 / 8000). Оптимальне дозування, проте, може розрізнятися залежно від конструкції двигуна, якості палива і експлуатаційних умов. Amergy 1000 подається безперервно в паливну систему. Це краще всього досягається за допомогою дозуючого насоса або через витратомір. Така організація подачі препарату забезпечує належну дисперсію і рівномірний рівень розчинення в паливі.

Паливна присадка Amergize – суміш розчинних в мастилі органометаллів, найбільш ефективна для дизелів, що працюють на важкому

паливі. Випробування присадки Amergize в двигунах показали, що поєднання інгредієнтів в Amergize забезпечує синергетичний ефект, що дозволяє знижувати відкладення і покращувати згорання. Amergize підходить як для середньо-, також і для малооберткових дизелів, в яких виникають проблеми, пов'язані із згоранням і відкладеннями на внутрішніх поверхнях дизеля через наявність в паливі ванадію, сірки і натрію. Перетворювач відкладень в Amergize діє під час процесу згорання, вступаючи в реакцію з цими речовинами (ванадій, сірка, натрій) і змінюючи склад золи, що зменшує механічні втрати на подолання сил тертя. Стандартне дозування Amergize в межах 1 літр на 1...8 тонн палива. Дози можуть змінюватися залежно від рівня забруднення палива, конструкції двигуна і експлуатаційного стану енергетичної установки.

Паливна присадка Amergy XLS Plus призначена для низько сірчистих палив. Amergy XLS Plus – це суміш дисперсантів, активаторів згорання, миючих засобів і мастильних присадок, призначена для зведення до мінімуму наслідків паливної нестабільності і зносу металевих поверхонь, що знаходяться в безпосередньому контакті один з одним. Палива з низьким вмістом сірки володіють низькими мастильними властивостями, необхідними для мінімізації безпосереднього контакту металевих деталей паливної системи і двигуна. Таким чином, тривале використання дизельного палива з низьким вмістом сірки може призвести до надмірного зносу плунжерних пар паливних насосів високого тиску, а також розпилювачів форсунок. Присадка до палива Amergy XLS містить високоефективні мастильні компоненти, які зводять до мінімуму прямий контакт металевих частин і збільшують термін служби елементів паливної системи, дозволяючи використовувати низько сірчисті види палива. Рекомендоване фірмою Drew Marine дозування Amergy XLS Plus в межах 1 літр на 1...8 тонн палива.

Метою першого етапу дослідження було визначення з вказаних присадок такої, яка сприяє найкращої економічності роботи дизеля – а саме забезпечує мінімальну питому витрату палива. Технологія випробувань полягала в наступному. Один з чотирьох дизелів (перший) експлуатувався на паливі без додавання паливної присадки. Три з чотирьох дизелів використовували під час роботи паливну присадку: другий – Amergy XLS, третій – Amergy 1000, четвертий – Amergize. Схожі рекомендовані значення дозування присадок дозволяли їх використання в кожному з дизелів з однаковою концентрацією, за яку була прийнята 1 літр присадки на 4 тонни палива. З метою забезпечення коректності проведення досліджень на кожному з чотирьох дизелів та можливості подальшого порівняння результатів експерименту, створювались умови, що забезпечували однакове навантаження на дизелі, а також однаковий час експлуатації дизелів.

Питома ефективна витрата палива b_e , кг/(кВт·год) розраховувалась за виразом:

$$b_e = B_{\text{год}} / N_e ;$$

де $B_{\text{год}}$ – годинна витрата палива, кг/год, яка визначалась за показаннями витратоміру, що встановлено на магістралі подачі палива;

N_e – експлуатаційна потужність дизеля, кВт.

Зміна значень питомої витрати палива для різних умов проведення експерименту наведена на рис. 2

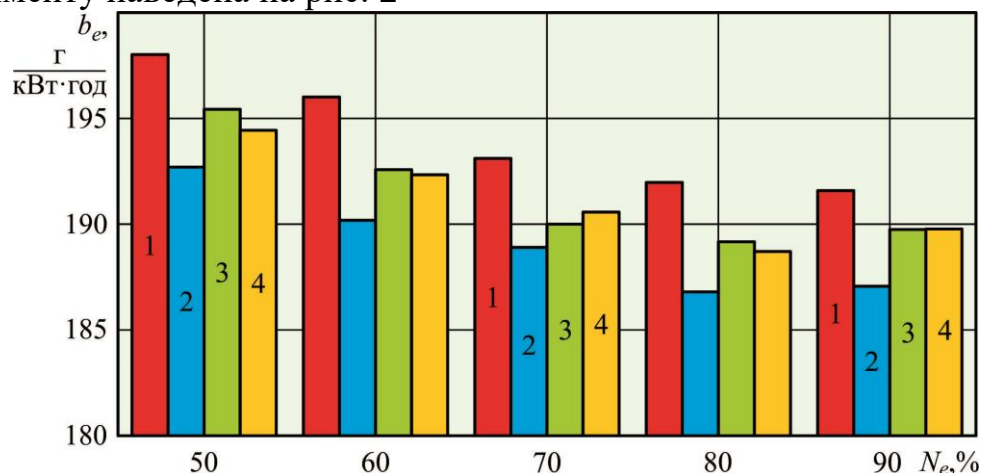


Рис. 2. Питома витрата палива на різних навантаженнях суднового дизеля Wartsila 6L32F: 1 – робота дизеля без використання паливної присадки; 2, 3, 4 – робота з використанням паливних присадок Amergy XLS, Amergy 1000, Amergize відповідно

Результати першого етапу досліджень дозволили визначити паливну присадку, що забезпечує мінімальні значення питомої витрати палива. Як така присадка була прийнята паливна присадка Amergy XLS.

Метою другого етапу досліджень було визначення оптимальної концентрації паливної присадки Amergy XLS – експериментальне визначення такої її концентрації, яка призводить до мінімальної витрати палива дизелем Wartsila 6L32F. Під час цього етапу досліджень використовувалась лише паливна присадка Amergy XLS, при цьому її концентрація в загальному обсязі палива складала 1 / 2000, 1 / 3000, 1 / 4000, 1 / 5000, 1 / 6000. Результати досліджень наведені на рис. 3.

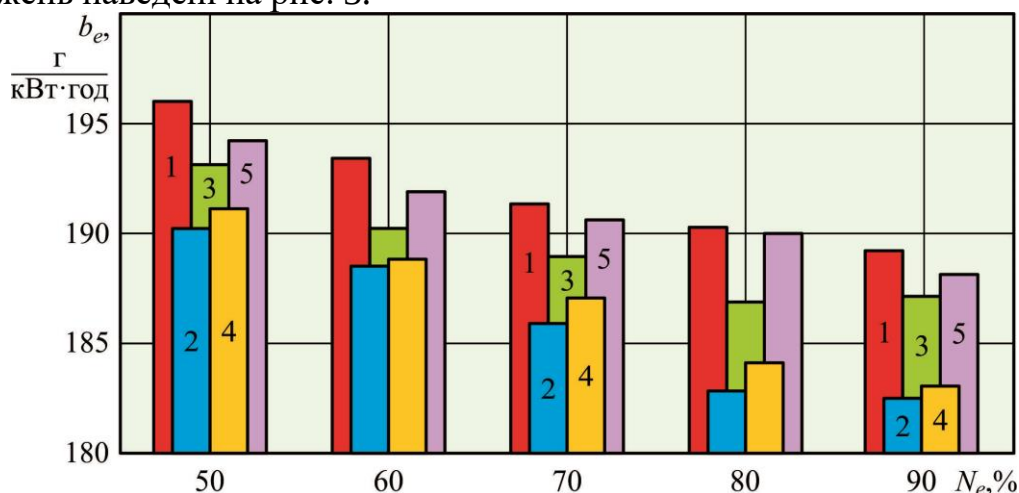


Рис. 3. Питома витрата палива на різних навантаженнях суднового дизеля Wartsila 6L32F для різної концентрації паливної присадки Amergy XLS: 1 – 1 / 2000, 2 – 1 / 3000, 3 – 1 / 4000, 4 – 1 / 5000, 5 – 1 / 6000

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

1. 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 і в випускному колекторі. При цьому відзначимо, що для різної концентрації присадки в базовому паливі спостерігається різна величина зниження питомої ефективної витрати палива.

2. Використання присадок до палива призводить до підвищення паливної економічності суднового дизеля. Під час використання паливних присадок на різних режимах роботи суднового дизеля Wartsila 6L32F було досягнуте 1,8...4,7 % зниження питомої ефективної витрати палива.

3. Концентрація присадки має оптимальне значення, визначається експериментально і залежить від характеристик дизеля і використовуваного палива.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Zablotskiy Yu.V., Sagin A.S. Applying of fuel additives in marine diesel engines // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2021 – Вип. 43. – Одеса: НУ «ОМА». – С. 5 - 17.

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

3. Сагін С.В., Побережний Р.В. Метод управління факторами ризику виникнення аварійних ситуацій під час експлуатації пропульсивних комплексів засобів водного транспорту // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 46. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 110-117. doi: 10.31653/smf46.2023.110-117.

4. Сагін С.В., Сагін А.С. Контроль та діагностування надійності та економічності дизелів морських та річкових засобів транспорту // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 46. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 118-131. doi: 10.31653/smf46.2023.118-131.

5. Сагін С.В., Побережний Р.В. Метод управління факторами ризику виникнення аварійних ситуацій під час експлуатації пропульсивних комплексів засобів водного транспорту // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 46. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 110-117. doi: 10.31653/smf46.2023.110-117.

Оптимізація робочого процесу суднових дизелів шляхом роздільного впорскування палива

Одним із найбільш істотних недоліків дизельних двигунів з прямим уприскуванням (DI) є високий рівень шуму в результаті високої швидкості виділення тепла (ROHR) під час періоду згоряння попередньої суміші. Ця висока швидкість згоряння визначається масою палива, що впорскується під час періоду затримки запалювання в дизельних двигунах. Чим більше палива впорскується під час затримки запалювання, тим сильніше початкове підвищення тиску в камері згоряння, і тим кращі граничні умови для утворення NOx. З цих причин важливо зменшити ROHR протягом періоду згоряння попередньої суміші.

Існує кілька методів зменшення ROHR, таких як контроль швидкості впорскування на початку впорскування, двоступеневе вприскування, зменшення періоду затримки запалювання через турбулентний потік у циліндрі, стратегія попереднього вприскування тощо. Однак кількість дослідження показали, що стратегія попереднього впорскування є найефективнішим підходом. Насправді цей підхід реалізується одним або декількома вприскуваннями невеликої маси палива незадовго до основного уприскування. Ця невелика кількість палива називається попереднім уприскуванням. Цю стратегію легко реалізувати за допомогою сучасних паливних систем Common Rail (слайд 3, рис.1).

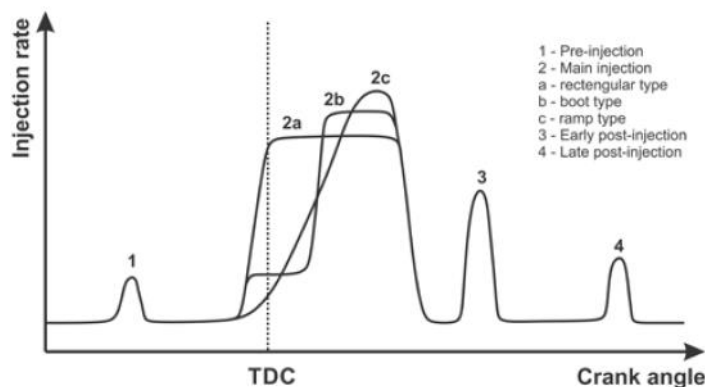


Рис.1. Принципова діаграма багаторазового вприскування в сучасних дизельних двигунах
Common Rail DI

Типовий процес упорскування в системах Common Rail складається з попереднього вприскування, основного впорскування та післявприскування. Основною метою попереднього вприскування є зменшення швидкості виділення тепла, оскільки це зменшує шум двигуна. Однак попередній впорскування можна використовувати для контролю утворення NOx шляхом зниження температури в камері згоряння. Зазвичай кількість пілотного впорскування становить не більше 5% впорскуваного палива. Системи Common Rail, які використовують електромагнітні форсунки, можуть реалізувати до п'яти окремих подач, що означає, що можна зробити не

більше двох попередніх ін'єкцій. Для подальшого зниження ROHR на початку процесу згоряння основне впорскування може бути реалізовано з різними формами (слайд 3, рис. 1).

Найбільш поширеним є прямокутний тип основного впорскування через спрощення конструкції форсунки. Ранній пост-впорскування використовується для контролю утворення сажі, оскільки пізній пост-впорскування реалізується в тому режимі роботи двигуна, в якому відбувається регенерація фільтра частинок. Форсунки з п'єзокерованим керуванням можуть виробляти більше п'яти впорскувань завдяки швидкому часу відгуку клапана керування форсункой.

Стратегія попереднього впорскування

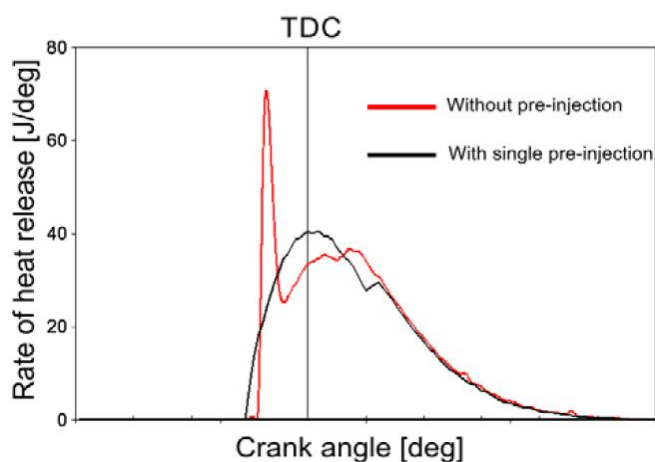


Рис.2. Попередньо впорскування та ROHR

що ROHR збільшується набагато повільніше на початку згоряння, а максимальний ROHR зменшується майже вдвічі. Максимальна швидкість зростання тиску зменшується від 0,85МПа/град до 0,46МПа/град.

Щоб забезпечити таку саму вихідну потужність, необхідно зменшити час впорскування (початок впорскування) після здійснення попереднього впорскування. Це є результатом меншого періоду затримки запалювання. Час початку основного впорскування має бути зменшено з 15 градусів BTDC до 10 градусів BTDC.

Необхідно взяти до уваги кілька параметрів: масу попередньо впорскуваного палива, час попереднього впорскування та кут повороту між пілотним і основним уприскуванням. Повідомлялося про різні дослідження попереднього впорскування. Базуючись на попередньому дослідженні, важливо зазначити, що кількість попередньо впорскуваного палива слід вибирати в діапазоні від 2% до 5% від загальної впорскуваної маси. Початок пілотного та основного впорскування слід вибирати таким чином, щоб початок основного впорскування збігався з початком згоряння.

Фундаментальні дослідження показують, що одноразове попереднє впорскування є ефективним методом зниження максимального підвищення тиску в камері згоряння, відповідно, шуму, створюваного дизельними

Стратегія єдиного попереднього впорскування використовується найчастіше, оскільки її менш складно реалізувати. Обидві форсунки Common Rail (сервопривід і п'єзокерована) може впорскувати невелику масу палива перед основним уприскуванням. Вплив цієї єдиної попередньої подачі на ROHR можна побачити на слайді 4 (рис.2).

Діаграма показує,

двигунами. Тому основною метою цього звіту є дослідження впливу багаторазового (подвійного) попереднього впорскування на ROHR і підвищення тиску в дизельному двигуні з DI.

Імітаційна модель була побудована в розширеному пакеті моделювання AVL. Також можна оцінити продуктивність двигуна, викиди забруднюючих речовин, споживання палива та інші параметри.

Досліджуваний двигун — 2,0-літровий чотирициліндровий дизельний двигун із прямим уприскуванням. Максимальна вихідна потужність становить 101 кВт при 4000 об / хв. Двигун оснащений турбокомпресором зі змінною геометрією. Тиск наддуву обмежений 1,4 бар. Паливна система Common Rail; максимальний тиск впорскування 1600 бар. Інжектори можуть здійснювати до п'яти ін'єкцій за цикл. Двигун також оснащений системою EGR і системою доочистки, включаючи каталітичний нейтралізатор.

Зміна швидкості впорскування, оцінена моделлю у випадку подвійного попереднього закачування, показана на слайді 5 (рис. 3).

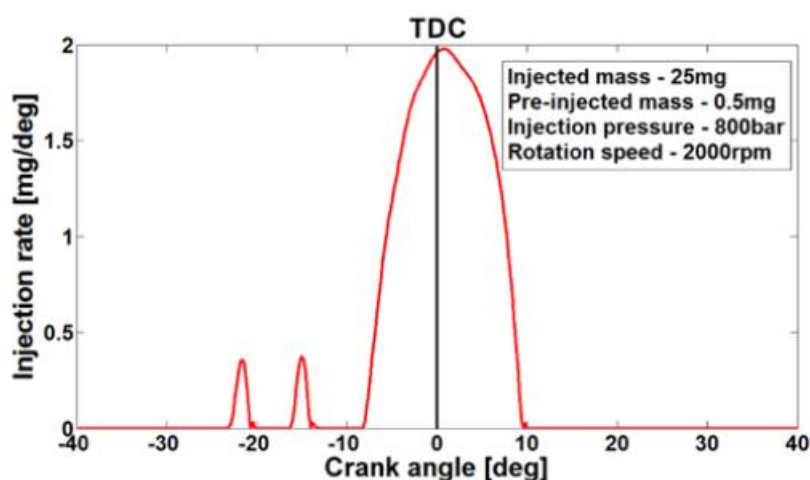


Рисунок 3. Швидкість впорскування палива з двома попередніми впорскуваннями, оцінена за моделлю форсунки

Було проведено дослідження стратегії попереднього впорскування. Було застосовано три стратегії впорскування – без попереднього впорскування, одиночне попереднє впорскування та подвійне попереднє впорскування. Для досягнення порівняльних результатів було визначено деякі обмеження.

Загальна маса впорснутого палива становила 25 мг; Початок основного впорскування був постійним – 8 градусів BTDC; Загальна маса попередньо впорснутого палива становила 1 мг. У випадку подвійного попереднього впорскування попередньо введена маса була розділена на дві рівні частини. Початок першого попереднього впорскування був постійним – 20 градусів BTDC.

Вплив стратегії експерименту на ROHR представлено на **слайд 6** (рис. 4). Спостерігалось значне зниження ROHR у разі попереднього впорскування. Максимальний ROHR було знижено з 89,1 Дж/град без попереднього

введення до 67,4 Дж/град у разі попереднього введення. Варіація функції показала, що стратегія попереднього впорскування виключає період згоряння попередньої суміші.

Очевидно, що зменшення ROHR зменшує максимальну швидкість набіру тиску в циліндрі – слайд 7 (рис.5). Попереднє впорскування зменшило максимальне підвищення тиску від

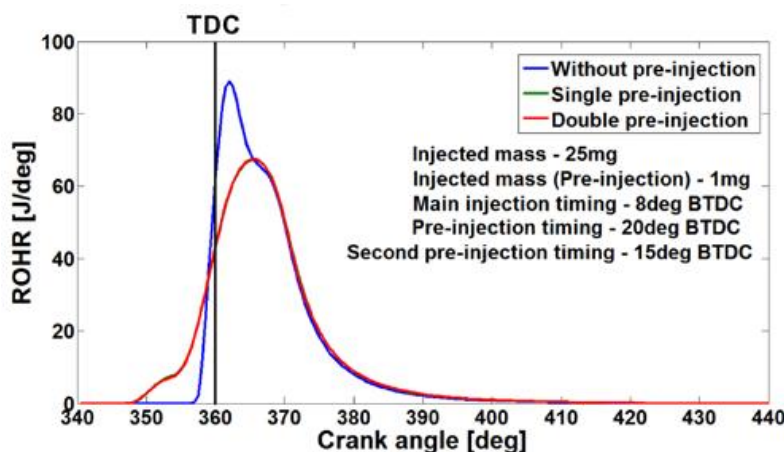


Рисунок 4. Варіація ROHR як функція стратегії введення

ряння був незначним у порівнянні з одноразовим попереднім впорскуванням.

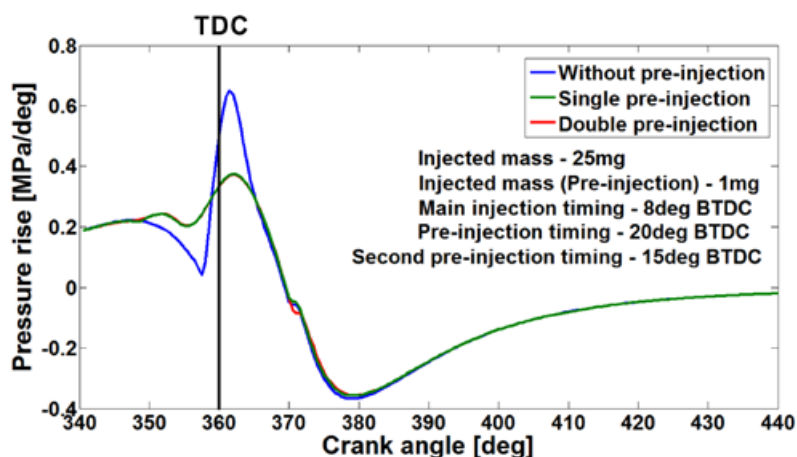


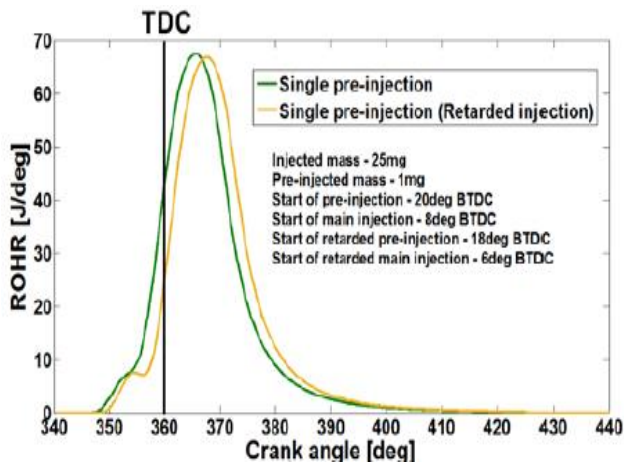
Рисунок 5. Зміна підвищення тиску як функція стратегії впорскування

самої ефективної потужності, відповідно, час впорскування попереднього та основного впорскування було затримано на 2 град. Він застосовувався в режимі одноразового попереднього впорскування- максимальне підвищення тиску було додатково зменшено до 0,29 МПа/град або спостерігалось остаточне зниження на 55% порівняно з максимальним підвищенням тиску, досягнутим без попереднього впорскування. Вплив пізньої подачі на зміну ROHR і підвищення тиску показано на слайдах 8,9 (рис. 6 і 7).

0,65 МПа/град до 0,37 МПа/град. Це значне відповідає зниженню максимального підвищення тиску на 43%. Хоча шум горіння не вивчався, ми очікували значно нижчого рівня шуму.

Вплив стратегії подвійного попереднього впорскування на параметри згоряння. Практично, криві ROHR і зростання тиску були абсолютно однаковими і на них не впливало розділення перед впорскуванням. Цей цікавий факт можна пояснити однаковою масою попередньо впорснутого палива.

Одноразове попереднє впорскування знижує потужність двигуна на 0,3%. Щоб досягти такої



Нарешті, було проведено дослідження стратегії подвійного попереднього впорскування, оскільки попередньо впорскуване паливо

Рисунок 6. ROHR в залежності від фаз паливоподачі

було збільшено до 2 мг. Вприснуте паливо розподілялося порівну між першим і другим попереднім уприскуванням.

Попередній час подачі був таким же, як і в першому дослідженні. Збільшення кількості попереднього впорскуваного палива зменшило ефективну поту-

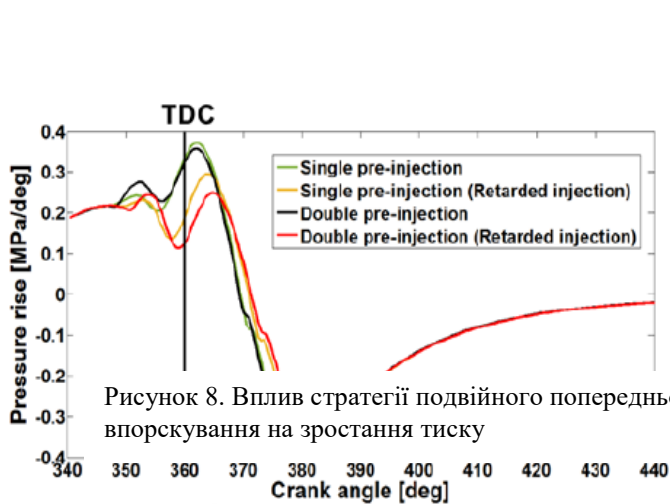


Рисунок 8. Вплив стратегії подвійного попереднього впорскування на зростання тиску

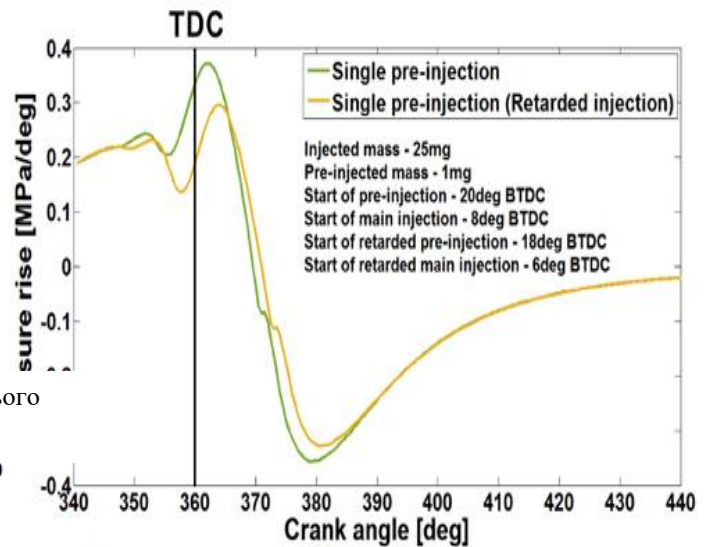


Рисунок 7. Зміна підвищення тиску як функція часу впорскування

жність двигуна на 0,7%, а вплив на ROHR і підвищення тиску не було значним. Максимальний ROHR становив 65,6 Дж/град, а максимальне підвищення тиску становило 0,36 МПа/град. Щоб усунути зниження ефективності двигуна, процес подвійного попереднього впорскування було сповільнено на 3 градуси, оскільки часовий інтервал між кожним уприскуванням був однаковим. Зміну підвищення тиску показано на слайді 10 (рис. 8).

Висновок (слайд11)

Стратегія попереднього впорскування може бути успішно застосована як стратегія контролю згоряння завдяки зниженню максимального зростання тиску на низькій швидкості та навантаженні двигуна. Дослідження показало, що єдина стратегія попереднього впорскування може зменшити підвищення тиску на 43%. Застосовуючи цю стратегію, необхідно зменшити момент уприскування, щоб отримати ту саму потужність двигуна.

Крім того, він може знизити підвищення тиску до 55%. Подвійне попереднє впорскування ефективніше. Щоб досягти значного впливу на підви-

щення тиску в циліндрі, необхідно збільшити масу попереднього впорскування та сповільнити впорскування до 3 градусів поворотом кривошипа для досліджуваної робочої точки. При цьому спостерігалось зниження підвищення тиску на 61,5%. Це дослідження оптимізувало параметри попереднього впорскування в одній робочій точці двигуна. Результати показали, що стратегія попереднього впорскування повинна бути точно оптимізована на всіх робочих картах з урахуванням параметрів системи впорскування.

Управління емісією оксидів сірки під час експлуатації дизелів морських суден

Постановка проблеми в загальному вигляді. Забезпечуючи судно необхідною енергією (яка використовується як для руху, так і для всіх суднових машин, механізмів, обладнання та приладів) дизелі викидають в атмосферу велику кількість випускних газів. Більшу частину випускних газів становлять нетоксичні компоненти (діоксид вуглецю CO_2 , водяна пара H_2O , а також атомарний кисень O_2 та азот N_2). Однак разом з ним в атмосферу потрапляють шкідливі для довкілля та людини токсичні домішки. До них відносяться оксиди азоту NO_x , оксиди сірки SO_x , монооксид вуглецю CO , а також незгорілі вуглеводні C_nH_m . Мінімізація викидів NO_x , SO_x , CO , які потрапляють в атмосферу з випускними газами суднових дизелів, є актуальним завданням, на її розв'язання спрямовані численні дослідження та розробки [1, 2].

Принциповим питанням є те, що досягнення нормативних показників щодо зниження емісії оксидів сірки SO_x може бути отримано в результаті використання спеціальних видів низькосірчастого палива або шляхом очищення у спеціальних периферійних пристроях випускних газів двигунів на традиційних високосірчастих сортах палива. Даній проблемі присвячені матеріали міжнародних організацій: International Maritime Organization (IMO) – Міжнародна морська організація, International Chamber of Shipping (ICS) – Міжнародна палата судноплавства, International Standard Organization (ISO) – Міжнародна організація зі стандартизації, класифікаційного товариства Det Norske Veritas & Germanischer Lloyd (DNV GL), в яких відображені останні нормативні зміни та заходи щодо забезпечення дотримання вимог до емісії сірчастих з'єднань сірки, а також технологічні розробки для альтернативних рішень щодо проблеми скорочення викидів SO_x .

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зниження емісії оксидів сірки забезпечується шляхом десульфуризації палива [3, 4]. У суднових умовах це досягається шляхом ультразвукової чи гідродинамічної обробки палива. Однак за цих обстав суттєво покращується лише технічний стан циліндрової групи та газовипускної магістралі дизеля. Рівень концентрації оксидів сірки у випускних газах за такої обробки палива зменшується незначно. Основним методом зниження емісії оксидів сірки із випускними газами є використання палива із вмістом сірки – до 0,1 % за масою. Відповідно до міжнародного стандарту ISO 8217 "Fuel Standard for marine distillate fuels" дані сорту суднових палив відносяться до класу Marine Gas Oil і характеризуються найбільшою вартістю порівняно з паливами інших класів. Використання таких палив знижує економічну ефективність суден морського транспорту. Це є одні-

єю з причин використання скрубберного очищення випускних газів, під час якого можливе використання палива із вмістом сірки до 3,5 %.

Постановка завдання. Додаткове очищення випускних газів дизелів морських суден в скруберах суттєво поширює можливість використання морських сортів палива з підвищеним вмістом сірки, сприяє тим самим зменшенню експлуатаційних витрат на придбання палива. Одночасно з цим системи скрубберного очищення вимагають додаткових витрат енергії на обслуговування обладнання, що входить до їх складу, а також є підставою збільшення опору в газовипускній магістралі дизелів та пов'язаного з цим зменшення ефективної потужності дизелів. В зв'язку з цим завданням дослідження було визначення технології управління емісією оксидів сірки під час експлуатації дизелів морських суден

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження виконувались на судне класу Bulker Carrier дедвейтом 63246 тонн. В енергетичну установку судна входили дизелі 5S60ME-C8.2 MAN-Diesel & Turbo та 6EY18ALW Yanmar. Судно здійснювало навігаційні переходи в зонах спеціального екологічного контролю (Sulphur Emission Control Areas – SECAs) та поза цими зонами. Відповідно до вимог Додатку VI MARPOL вміст сірки в паливі під час знаходження в SECAs не повинен перевищувати 0,1 %. У випадку знаходження судна поза районами SECAs дозволяється використовувати сірку з вмістом до 0,5 %, або до 3,5 % в разі використання додаткових пристроїв очищення випускних газів [5].

Для додаткового очищення випускних газів від оксидів сірки на судні було встановлено скрубберу систему очищення (рис. 1). Це дозволяло використовувати для суднових дизелів (як головного, також і допоміжних) паливо з вмістом сірки до 3,5 % за масою.

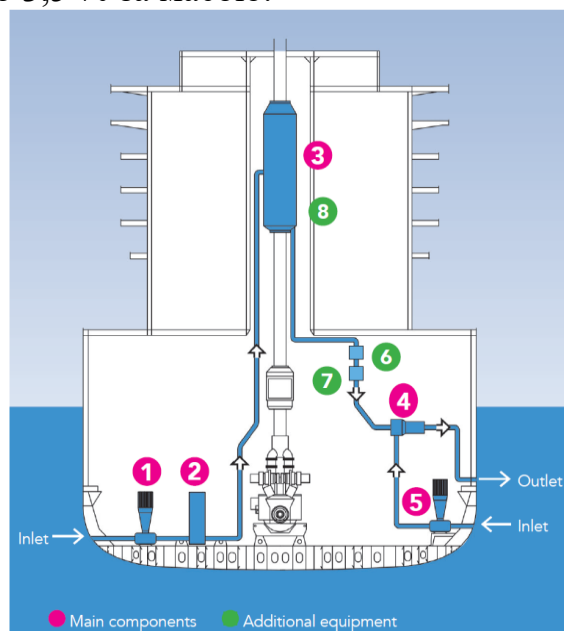


Рис. 1. Комплектація суднової системи очищення випускних газів:

- 1 – насос заборотної води; 2 – фільтр заборотної води; 3 – скруббер; 4 – змішувач;
5 – буферний насос; 6 – блок дегазації; 7 – блок фільтрації; 8 – охолоджувач газів

Очищення випускних газів виконувалося за відкритим типом. Гази від головного двигуна та трьох допоміжних двигунів (на рис. 2 не показані) надходили до скрубера 3. Для очищення газів використовувалася морська вода, яка подавалася в скрубера 3 насосом морської води 1 через фільтр 2. Продуктивність насоса 1 (залежно від вмісту сірки у паливі, потужності головного двигуна, а також кількості працюючих допоміжних двигунів) змінювалась у діапазоні 200...550 кг/год. Температура газів у скрубери 3 підтримувалася в діапазоні 200...300°C. У разі перевищення цього значення, гази охолоджувалися за допомогою охолоджувача 8. Вода після скрубера 3 надходила до блоку дегазації 6 та до блоку фільтрації 7, в яких виконувалося відділення від води газів і твердих домішок. Далі вода зливалася за борт. Для утримання необхідного рівня кислотності (рівень якої підтримувався в діапазоні рН=6,8...7,0) до води, що зливалася за борт, в змішувачі 4 додавалася забортна вода. Подача забортної води до змішувача 4 здійснювалася буферним насосом 5. Продуктивність буферного насоса змінювалася в діапазоні 200...300 кг/год. Робота всіх елементів системи контролювалася автоматично. Також автоматично підтримувалося необхідне відношення SO_2/CO_2 . Це забезпечувалося шляхом зміни продуктивності насоса забортної води 1.

Система забезпечує необхідний рівень очищення випускних газів у наступному діапазоні роботи суднової енергетичної установки:

- мінімальний експлуатаційний режим – робота одного допоміжного двигуна 6EY18ALW Yanmar на будь-якому навантаженні;
- максимальний експлуатаційний режим – робота головного двигуна 5S60ME-C8.2 MAN-Diesel & Turbo на навантаженні 85 % та двох допоміжних двигунів 6EY18ALW Yanmar на навантаженні 85%.

Також система може експлуатуватися за умови 105 % навантаження головного двигуна 5S60ME-C8.2 MAN-Diesel & Turbo та загального навантаження допоміжних двигунів 6EY18ALW Yanmar 150 %.

Система передбачає автоматичну реєстрацію місця знаходження судна, навантаження на головний двигун та допоміжні двигуни, параметри морської води в контурі очищення, а також поточне значення SO_2/CO_2 . Реєстрація цих даних проводиться з інтервалом 3 хвилини. На всіх експлуатаційних режимах, а також у всіх районах плавання (всередині та поза SECAs) робота головного двигуна 5S60ME-C8.2 MAN-Diesel & Turbo та допоміжних двигунів 6EY18ALW Yanmar відбувалася з використанням палива RMG380, вміст сірки в якому складав 2,7 % за масою.

Програма автоматичного моніторингу роботи системи очищення випускних газів дозволяла контролювати її основні параметри. Проте, для аналізу ефективності системи очищення розглядалося лише зміна відношення емісії

оксидів сірки до оксидів вуглецю за часом – $\frac{SO_2}{CO_2} = f(t)$.

Результати цих досліджень наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Моніторинг відношення SO_2/CO_2

Знаходження поза SECA		Знаходження в SECA			
Час, години	SO ₂ /CO ₂	Час, години	SO ₂ /CO ₂	Час, години	SO ₂ /CO ₂
5	18,72	50	3,75	120	3,80
10	19,21	60	4,02	130	4,05
15	17,72	70	3,72	140	3,72
20	18,68	80	3,18	150	3,63
25	20,02	90	3,82	160	3,53
30	20,83	100	4,17	170	3,61
35	19,22	110	4,15	180	3,68
40	18,32				
45	18,82				

Для кращої візуалізації отримані значення представлені у вигляді рис. 2.

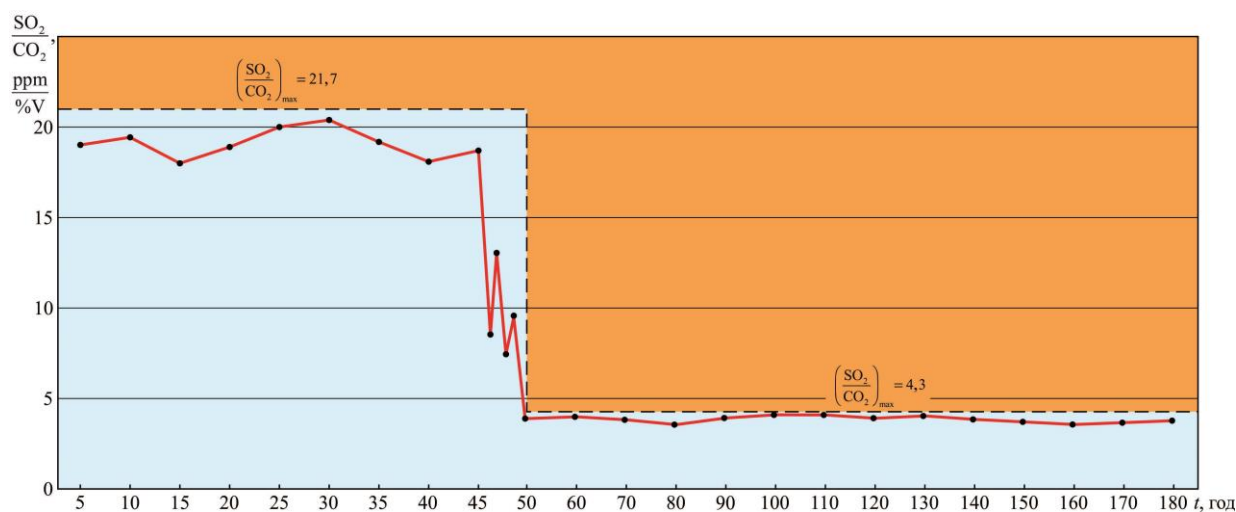


Рис. 2. Зміна відношення $\frac{SO_2}{CO_2}$ під час скрубберного очищення випускних газів під час знаходження судна поза SECA (ліворуч) та в SECA (праворуч)

Висновки і перспективи подальших досліджень. Наведені результати дозволяють зробити наступні висновки.

Управління екологічною безпекою навігаційних переходів є одним із складових, які визначають роботу морського транспорту. Особливо актуальною є підтримка екологічної безпеки для районів Північної Європи, в яких створені спеціальні екологічні райони контролю викидів оксиди сірки. Виконання міжнародних вимог щодо рівня емісії SO_x можливе шляхом додаткового очищення випускних газів. Ефективність використання методів управління екологічною безпекою може бути оцінена за екологічною стійкістю судна. Чим вище значення екологічної стійкості – тим на більшій відстані від максимально можливих значень емісії SO_x перебувають поточні значення емісії SO_x.

До недоліків методів керування екологічною безпекою відносяться втрати потужності дизеля, які пов'язані з додатковим аеродинамічним опором у газопускній магістралі. Також вимагають додаткових витрат енергії додаткове обладнання, яке забезпечує функціонування систем очищення газів (насосів морської води та буферних насосів).

Економічна ефективність скрубберного очищення випускних газів визначається можливістю використання в судових дизелях палива, вміст сірки в якому досягає 3,5 %. Дані сорти палива (порівняно з паливом із вмістом сірки до 0,5 %) мають меншу вартість. Тому використання скрубберного очищення випускних газів найбільше раціонально для морських суден з потужними енергетичними установками і, відповідно, підвищеною витратою палива.

На жаль, методи управління екологічною безпекою характеризуються додатковими ризиками та загрозами. Для системи скрубберного очищення випускних газів – це робота з відкритого контуру, при якому вода зі скруббера зливаються за борт без додаткового очищення. Це зобов'язує виконувати постійний моніторинг та забезпечувати постійний контроль її кислотного числа.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Руснак Д. Ю. Забезпечення екологічних вимог при ультразвуковій десульфурізації вуглеводних палив / Д. Ю. Руснак, С. В. Сагін // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. Вип. 40. – Одеса : НУ «ОМА». – 2020. – С. 49-54. DOI : 10.31653/smf340.2020.49-54.

2. Побережний Р.В., Сагін С.В. Забезпечення екологічних показників дизелів суден річкового та морського транспорту // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вип. 41. – Одеса: НУ «ОМА». – 2020. – С. 5-9. DOI : 10.31653/smf340.2020.5-9.

3. Sagin S., Kuropyatnyk O., Tkachenko I. Ensuring the environmental friendliness of marine diesel engines of specialized ships // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 142-156. doi: 10.31653/smf44.2022.142-156.

4. Сагін С.В., Побережний Р.В. Аналіз ефективності використання в судових дизелях палив різного фракційного та структурного складу // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 132-141. doi: 10.31653/smf45.2022.132-141.

5. Сагін С.В., Мадей В.В., Сагін С.С., Чимшир В.І., Разінкін Р.О. Аналіз екологічної стійкості та енергетичної ефективності використання скрубберного очищення випускних газів дизелів суден морського транспорту // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 47. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 157-171. doi: 10.31653/smf47.2023.157-171.

Забезпечення екологічних показників суднових дизелів шляхом перепуску випускних газів

Постановка проблеми в загальному вигляді. Сучасне суднобудування розвивається у напрямі підвищення енергетичної та економічної ефективності дизелів при виконанні жорстких екологічних міжнародних норм і правил [1]. Виконання цих завдань неможливе без точного керування на всіх експлуатаційних режимах процесами повітро- та паливоподачі, а також випуску газів, що для сучасних суднових дизелів забезпечуються електронними системами. При експлуатації суднових дизелів виникає необхідність забезпечення екологічних показників його роботи, до яких належать незгорілі вуглеводні CH_x , монооксид вуглецю CO , оксиди сірки SO_x , оксиди азоту NO_x , що входять до складу випускних газів. Основним документом, що регламентує шкідливі викиди в атмосферу від морських транспортних суден, є Додаток VI до Міжнародної конвенції щодо запобігання забрудненню суден (МАРПОЛ). Цим документом викиди оксидів сірки SO_x запропоновано нормувати відповідно до вмісту сірки у паливі, а викиди оксидів азоту NO_x – виходячи із типу суднового дизеля [2].

Одним з шляхів, які забезпечують виконання вимог МАРПОЛ щодо емісії оксидів азоту є управління випускними газами, що досягається їхньою рециркуляцією або перепуском. Системи, що забезпечують рециркуляцію випускних газів (Exhaust Gas Recirculation – EGR), як правило, застосовуються для малообертових дизелів. Для суднових середньообертових дизелів управління потоком випускних газів здійснюється шляхом їхнього перепуску (Exhaust Gas Wastegate – EGW). У цьому випадку частина випускних газів дизеля надходять безпосередньо в газовипускну магістраль, мінуючи газотурбокомпресор [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання перепуску газів минаючи газову турбіну ГТН можливе для одно- та двоступеневих систем наддуву (рис. 1). В одноступеневій системі наддуву (рис. 1, а) під час перепуску основний потік газів, що потрапляє у випускний колектор 4 після циліндрів 5, спрямовується в напрямку газотурбонагнетача (ГТН) 2, а частина потоку (яка в дизелях різних виробників знаходиться в межах 0...15 %) переспрямовується безпосередньо до газовипускної труби за допомогою клапана перепуску (клапана EWG) 1. Охолоджувач 3 забезпечує підтримання необхідної температури повітря наддуву у ресивері 6.

Для двоступеневих систем наддуву (рис. 1, б) перепуск частини потоку газів, який із циліндрів дизеля рухається у бік ГТН високого 2 та низького 7 тиску, може здійснюватися або до ГТН високого тиску 2 (за допомогою клапана перепуску 1), або за ГТН 2 (за допомогою клапана 9). За допомогою охолоджувача 8 знижується температура повітря після компресора ГТН ни-

зького тиску 7. Інші елементи установки забезпечують функції, аналогічні одноступеневій системі наддуву. Під час перепуску потоку газів здійснюється його дроселювання до тиску меншого за тиск газів за ГТН. Це попереджує явище закиду газів та гальмування потоку газів, який виходить з газової турбіни.

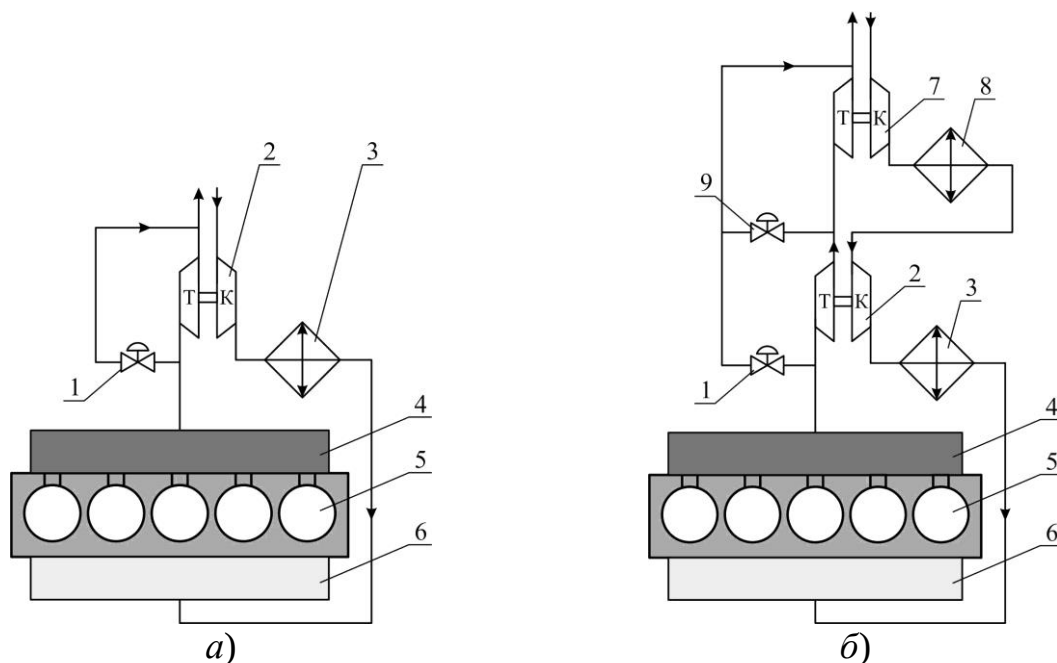


Рис. 1. Технологічні схема перепуску газів минаючи газову турбину ГТН:

1, 9 – клапан EWG; 2, 7 – ГТН; 3, 8 – охолоджувач повітря наддуву;
4 – випускний колектор, 5 – циліндри дизеля; 6 – ресивер повітря наддуву;
а – одноступеневий наддув; б – двоступеневий наддув

Постановка завдання. Використання системи EGW забезпечує зниження концентрації NO_x у випускних газах, проте при цьому (у зв'язку з погіршенням процесу згоряння) знижується потужність дизеля і збільшується питома ефективна витрата палива. Крім того, надмірне збільшення кількості газів, що перепускаються, призводить до збільшення температурної напруженості дизеля.

Виходячи з цього, метою дослідження було визначення оптимального обсягу перепуску випускних газів суднового середньообертового дизеля 6L20 Wartsila. При цьому з одного боку повинні бути забезпечені найкращі для режиму роботи дизеля екологічні показники (концентрація NO_x у випускних газах), а з іншого – мінімальне збільшення (порівняно з режимом роботи без перепуску) питомої ефективної витрати палива з одночасним підтриманням заданого діапазону теплової напруженості циліндрів дизеля.

Виклад основного матеріалу дослідження. Принципова схема системи EWG суднового дизеля 6L20 фірми Wartsila показана на рис. 2.

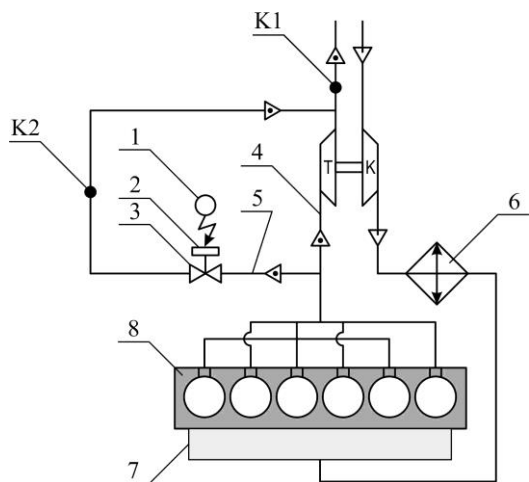


Рис. 4.2. Принципова схема суднового середньообертового дизеля 6L20 Wartsila з системою управління випускними газами EWG:

1 – контролер положення перепускного клапана; 2 – пневматичний привід перепускного клапана; 3 – перепускний клапан (клапан wastegate); 4, 5 – випускні магістралі основного і перепускного потоку газів; 6 – охолоджувач повітря наддуву; 7 – продувний ресивер; 8 – циліндри дизеля; K1, K2 – точки контролю витрат газів; Т, К – газова турбіна і повітряний компресор ГТН

Повітря, що нагнітається компресором, охолоджується в охолоджувачі наддувного повітря 6 і надходить у циліндри 8 через продувний ресивер 7. У дизелі (традиційно для середньообертових дизелів фірми Wartsila) реалізується імпульсна система газотурбінного наддуву, при якій випускні газ з циліндрів 8 окремими газоходами надходять на лопатки ГТН. Залежно від положення перепускного клапана 3 (переміщення якого здійснюється за допомогою пневматичного приводу 2 і регулюється контролером 1) випускні газ надходять або в основну магістраль 4, або в перепускную 5. Для керування перепуском випускних газів можуть використовуватися контролери, які сьогодні отримують великого поширення в судновій енергетиці.

Витрата випускних газів у магістралях 4 і 5 визначалася в точках K1 і K2 за допомогою витратоміра MT100S фірми «Siemens AG» (Німеччина). Витратоміри серії MT100 відносяться до багатоточкових (із кількістю вимірювальних зондів від 2 до 8) масових витратомірів повітря і газів, які працюють за принципом теплового розсіювання. У витратомірах MT100 технологічно розв'язана одна з головних проблем вимірників газових потоків, до якої відноситься наявність квадратичної залежності між витратою і перепадом тиску (це не дозволяє визначати витрату в діапазоні менше 30 % від максимальної через високу похибку вимірювання). Чутливість витратомірів MT100 становить 0,07...0,2 м³/с, робоча температура – до 454° С, що забезпечує їх функціональність у всьому діапазоні експлуатаційних навантажень дизеля.

Під час експерименту в точці K1 за допомогою газоаналізатора Testo350XL визначалася концентрація NO_x у випускних газах.

Судновий дизель 6L20 Wartsila забезпечував потужністю постійні групи споживачів. При цьому (залежно від досліджуваних режимів) його потужність становила 660 кВт, 805 кВт, 890 кВт, 1010 кВт, що відповідало

$0,55N_{\text{еном}}$, $0,67N_{\text{еном}}$, $0,74N_{\text{еном}}$, $0,83N_{\text{еном}}$. Похибка в зміні потужності не перевищувала $\pm 1,5\%$.

Під час проведення експерименту дизель протягом 2,5...3 годин працював на постійному навантаженні і в незмінному положенні перепускного клапана на кожному з експериментальних режимів. У зв'язку з великим часом проведення експерименту інерційність вимірювання витрати газів (характерний недолік витратомірів теплових витратомірів, до класу яких відноситься витратомір MT100S) повністю нівелювалася і не впливала на результати.

Результати експерименту наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Результати експериментів

Навантаження, %	Ступень перепуску випускних газів, δ_{EWG} , %					
	0	2	4	6	8	10
	Емісія NO_x , г/(кВт·год),					
55	7,41	7,36	7,31	7,22	7,18	7,13
65	7,62	7,52	7,38	7,29	7,21	7,18
75	7,93	7,77	7,53	7,45	7,32	7,23
85	8,46	8,10	8,01	7,68	7,57	7,31
	Питома ефективна витрата палива, b_e , г/(кВт·год)					
55	196,6	203,0	204,0	204,7	204,8	205,3
65	195,3	200,5	202,7	203,2	203,3	203,4
75	193,7	196,8	197,3	197,5	197,6	197,7
85	189,2	190,6	190,9	191,2	191,3	191,4
	Температура випускних газів, t_r , °C					
55	283	285	291	298	308	315
65	276	277	280	285	298	301
75	276	278	279	283	288	297
85	273	275	277	281	287	292

Висновки і перспективи подальших досліджень. Аналіз результатів досліджень дозволяє зробити наступні висновки:

1) для суднових середньообертових дизелів з електронним керуванням як метод, що забезпечує виконання вимог Додатка VI МАРПОЛ, може використовуватися система перепуску випускних газів – EWG, при якій частина продуктів згоряння спрямовується у випускную магістраль минаючи ГТН. Електронне управління дизелем дозволяє виконувати даний процес у гнучкому режимі в інтервалі 0...10 % від загального обсягу газів, що виходять із циліндра дизеля;

2) використання перепуску випускних газів сприяє поліпшенню екологічних показників роботи суднових середньообертових дизелів, зокрема при цьому в діапазоні експлуатаційних навантажень $(0,55...0,85)N_{\text{еном}}$ на 3,33...15,42 % знижується рівень емісії NO_x у випускних газах;

4) використання системи EWG зменшує кількість випускних газів, що надходять до ГТН, це призводить до зниження продуктивності турбокомпресора, зменшення кількості повітря, що надходить у циліндр дизеля, і зростання питомої ефективної витрати палива. При цьому для режимів, відповід-

них 55...65%-го навантаження, зростання цього показника збільшується пропорційно ступеня перепуску випускних газів δ_{EWG} і становить 2,66...4,43 % (у діапазоні $\delta_{EWG}=2...10$ %). Для навантажень, близьких до номінальної потужності (під час експерименту $0,85N_{еном}$) збільшення питомої витрати палива не перевищує 1,2 % (для максимальної величини перепуску газів $\delta_{EWG}=10$ %);

5) погіршення процесу подачі повітря циліндра під час використання системи EWG сприяє зсуву процесу згоряння палива на лінію розширення і спричиняє зростання теплової напруженості дизеля (яку можливо оцінити за значенням температури випускних газів t_f);

6) оцінка ефективності використання системи EWG як одного зі способів забезпечення вимог Додатка VI МАРПОЛ щодо обмеження емісії NO_x та екологічності морського судна, повинна проводитися шляхом комплексного оцінювання наступних параметрів роботи дизеля: кількість NO_x у випускних газах, збільшення питомої ефективної витрати палива Δb_e , температура випускних газів t_f . Як оптимальний ступінь перепуску газів слід приймати значення, яким відповідає максимальне зниження емісії NO_x під час мінімального підвищення витрати палива і одночасної підтримки t_f в межах, що не перевищують допустимий рівень теплової напруженості;

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kuropyatnyk O.A., Sagin S.V. Exhaust Gas Recirculation as a Major Technique Designed to Reduce NO_x Emissions from Marine Diesel Engines // *Naše more*. – 2019. – Vol. 66. – № 1. – P. 1 - 9. <https://doi.org/10.17818/NM/2019/1.1>.

2. Kuropyatnyk O. A. The use of bypass exhaust gases to ensure the environmental performance of marine diesel engines // *Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб.* – 2018. – Вип. 38. – С. 217 -228.

3. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A., Zablotskyi Yu.V., Gaichenia O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // *Nase More : International Journal of Maritime Science & Technology*. – 2022.– Vol. 69. – Iss.1. – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7.

4. Sagin S., Kuropyatnyk O., Tkachenko I. Ensuring the environmental friendliness of marine diesel engines of specialized ships // *Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник*. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 5-16. doi: 10.31653/smf45.2022.5-16.

Удосконалення процесу підготовки суднових важких палив

Постановка проблеми в загальному вигляді. Робота суднових двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) забезпечується різними системами, самої енергоозброєною, розгалуженої та насиченої з яких є паливна система. В даний час існує тенденція виготовлення суднових систем у вигляді модулів, при цьому кожен модуль цієї системи відрізняється за своїм цільовим призначенням, за способом перетворення енергії, за складом і виконує строго певні функції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвиток сучасної технічної науки сприяє появі різних механізмів і установок, функціонування яких в складі паливних систем забезпечує поліпшення експлуатаційних характеристик палива. Одночасно при цьому удосконалюються способи підготовки суднових палив, до яких насамперед належать використання гомогенізації [1], застосування водо-паливних емульсій [2], використання присадок до палива [3]. При цьому слід зазначити, що дані способи підготовки палива в даний час застосовується в основному з метою забезпечення екологічних параметрів роботи дизеля [4].

Постановка завдання. Таким чином, незважаючи на велику кількість досліджень, виконаних як окремими вченими, так і науковими організаціями, переважна більшість з них стосується оптимізації стандартних способів підготовки палива. З огляду на викладене, завдання дослідження полягало в розробці варіанту перекомплектації модульної схеми паливної системи суднового дизеля з урахуванням можливості використання ультразвукової обробки палива, а також вивчення впливу ультразвукової обробки палива на сірчисту корозію деталей циліндропоршневої групи (ЦПГ) дизеля.

Виклад основного матеріалу дослідження. Проведені дослідження виконувалися в паливній системі суднового середньо-обертового дизеля (СОД) S6A2 фірми «Mitsubishi», що скомпонована за модульним принципом (рис. 1, а).

Перший модуль (система очищення) забезпечує необхідний структурний склад палива і використовується як в комплексі з іншими модулями підготовки системи, так і для автономного режиму роботи. Даний модуль підготовки палива є самим енергоємним, оскільки включає до свого складу такі елементи, як відстійно-витратні-видаткові цистерни, насоси, що перекачують паливо, паливні підігрівачі і паливні сепаратори [5].

Другий модуль (система підготовки) забезпечує остаточну підготовку палива перед його безпосередньою подачею в циліндр дизеля. Основними складовими даного модуля є насоси, що підкачують паливо і циркуляційні насоси, підігрівачі палива 2-го ступеня, фільтраційні установки, автоматичні

пристрої, що забезпечують контроль суцільності потоку і регулювання в'язкості палива. В даний модуль також входить бустерна установка, за допомогою якої підтримується необхідний тиск в системі, а також деаератор, який очищає паливо від повітряних і газових домішок. Паливо в цей модуль надходить в попередньо підігрітому стані, що знижує витрати енергії на його підготовку.

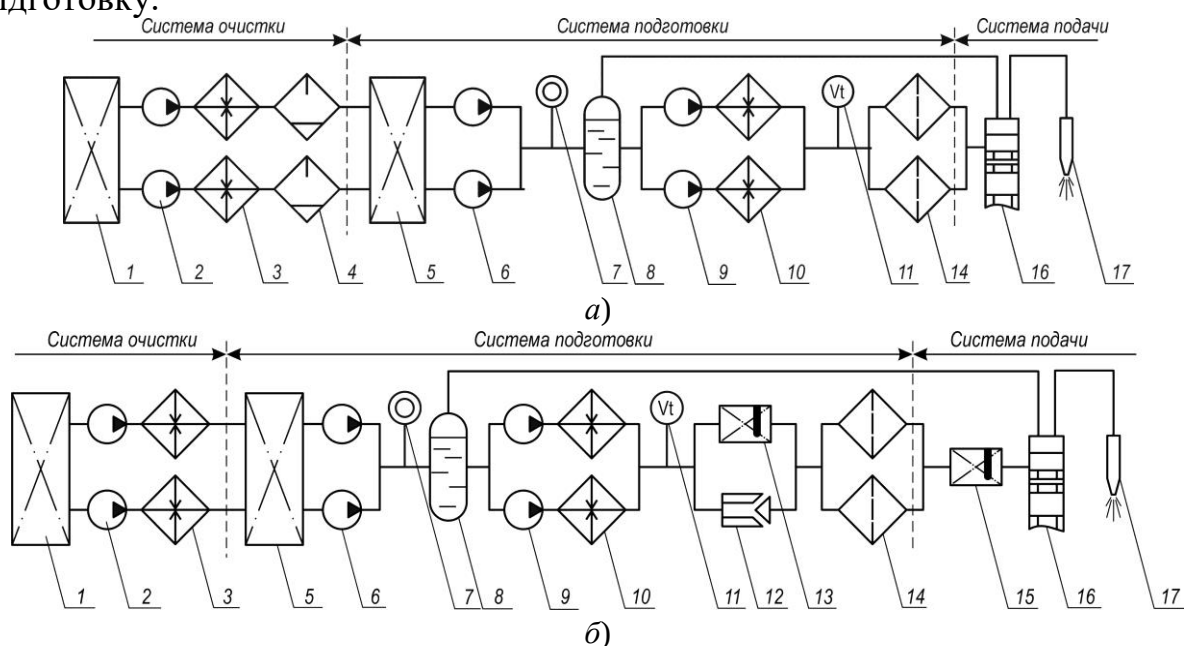


Рис. 1. Модульна схема побудови паливної системи суднового дизеля:

а) стандартна; б) при використанні ультразвукової обробки і гідродинамічної активації палива:

- 1 – відстійно-витратні цистерни; 2 – насоси, що перекачують паливо; 3 – підігрівачі палива 1-го ступеня; 4 – сепаратори палива; 5 – витратна цистерна; 6 – насоси, що підкачують паливо; 7 – витратомір; 8 – деаератор; 9 – циркуляційні насоси; 10 – підігрівачі палива 2-го ступеня; 11 – датчик в'язкості; 12 – гідродинамічний активатор палива; 13 – ультразвукова установка 1-го ступеня; 14 – автоматичний фільтр; 15 – ультразвукова установка 2-го ступеня; 16 – ПНВТ; 17 – форсунка

Третій модуль (система подачі) уявляє собою паливну систему високого тиску і забезпечує подачу палива в циліндр дизеля. Енергія в даному модулі виробляється самим дизелем і передається до палива через кінематичну схему колінчастий вал – розподільний вал – штовхач паливного насоса високого тиску (ПНВТ). Енергоємність даного процесу відноситься до механічних втрат дизеля і може досягати 5...7 % його потужності. В кінцевому рахунку, в даному модулі завдяки хімічної реакції окислення палива киснем повітря потенційна енергія палива перетворюється в теплову енергію газів і, в наслідок, в корисну роботу поршня дизеля [6].

В результаті проведених в досліджень пропонується пере комплектації модулів підготовки палива. При цьому основний акцент спрямовується на використання ультразвукової обробки палива з можливою відмовою від процесу сепарації палива, який не тільки відноситься до одного з найбільш енергоємних, а й знижує теплотворну здатність палива (за рахунок відведення в шлам горючих складових палива). Змінена система підготовки палива пока-

зана на рис. 1, б, при цьому в даній схемі відсутній вузол сепарації палива в системі очищення, а система підготовки додатково укомплектована блоками ультразвукової підготовки 1-го та 2-го ступеню. Крім того, блок ультразвукової підготовки 1-го ступеню передбачає як безпосередньо використання процесу ультразвукової кавітації, що здійснюється за допомогою генератора 13, так і гідродинамічну активацію, яку виконують в активаторі 12.

Додаткова ультразвукова обробка палива, перш за все, сприяє поліпшенню дисперсних якостей палива, а явище кавітації, що супроводжує цей процес, призводить до додаткової активації його вуглеводневих складових і розщепленню С-С і С-S зв'язків.

Як зазначалося раніше, дослідження впливу ультразвукової кавітаційної обробки палива на сірчистий знос циліндропоршневої групи (ЦПГ) суднового СОД виконувалося для дизеля S6A2 фірми «Mitsubishi» з наступними характеристиками: діаметр циліндра – 0,15 м; хід поршня – 0,19 м; номінальна потужність – 360 кВт; частота обертання колінчастого вала 1000 об/хв. Дизелі в кількості трьох штук входили до складу суднової допоміжної енергетичної установки. Дизелі мали кожен свою автономну систему подачі палива, що давало можливість проводити дослідження для окремого дизеля з паливом, які пройшли різні етапи підготовки. Паливна система одного з двигунів не підлягала перекомплектації і експлуатувалася в «штатному» стані, при цьому даний дизель приймався за «контрольний». Паливо до двох інших дизелів подавалося після додаткової кавітаційної обробки, для чого паливна система цих дизелів була доукомплектована модулем ультразвукової кавітаційної обробки (див. позиції 12, 13, 15 на рис. 1, а). У паливній цистерні, в якій відбувалася ультразвукова обробка палива, додатково встановлювався лопатковий змішувач, що забезпечувало однорідність палива в повному обсязі. Під час проведення експерименту дизелі експлуатувалися на паливі HFO380 [7, 8].

Вплив кавітаційної обробки палива на сірчисту корозію ЦПГ може бути проаналізовано на прикладі визначення зносу циліндрової втулки і верхнього поршневого кільця суднового СОД S6A2 фірми «Mitsubishi». Результати вимірювання лінійного зносу циліндрових втулок I_h і масового зносу поршневих кілець I_m наведені в табл. 1.

Табл. 1. Результати досліджень по визначенню зносу деталей суднового СОД S6A2 при різних умовах експлуатації

	Умови експлуатації	Час експлуатації, год				
		180	390	590	810	1030
Знос циліндрової втулки, I_h , мкм	1	32	39	41	50	57
	2	18	22	26	27	28
	3	10	13	14	18	19
Знос верхнього поршневого кільця, I_m , г	1	0,95	1,43	1,58	1,73	1,86
	2	0,63	0,72	0,81	0,87	0,96
	3	0,41	0,44	0,48	0,50	0,53

При цьому в табл. 1 під умовами експлуатації 1, 2, 3 розуміється: 1 – паливо без додаткової обробки (під час експлуатації системи підготовки палива дизеля в «штатному» режимі); 2 – паливо, що пройшло додаткову кавітаційну обробку (під час додаткового використання в системі підготовки палива тільки ультразвукового кавітатору); 3 – паливо, що пройшло додаткову кавітаційну обробку (під час використання ультразвукового кавітатору і додаткової подачі повітря в зону кавітації).

За отриманими даними побудовано графічні залежності (рис. 2, а, б), що характеризують зниження зносу розглянутих деталей при застосуванні додаткової ультразвукової кавітаційної обробки палива.

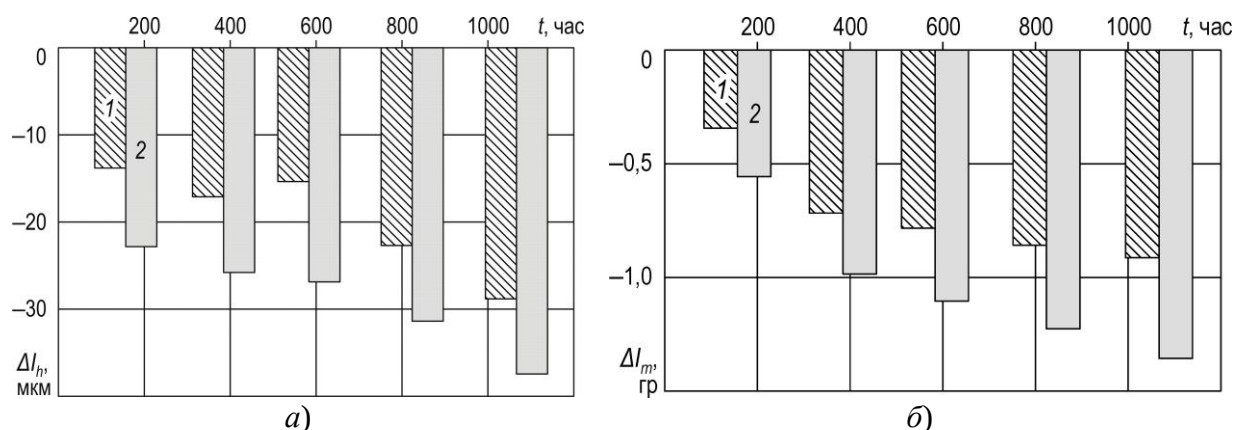


Рис. 2. Зниження корозійного зносу циліндрових втулок (а) та поршневих кілець (б) суднового дизеля S6A2 «Mitsubishi» за різних умов експлуатації: 1 – використання в системі підготовки палива ультразвукового кавітатору; 2 – використання ультразвукового кавітатору і додаткової подачі повітря в зону кавітації

Висновки і перспективи подальших досліджень. Сучасні схеми побудови паливних систем судових дизелів в модульному варіанті дозволяють проводити модернізацію і перекомплектацію окремих модулів. При цьому найбільшу ефективність приносить перекомплектація модуля (системи) підготовки. Додаткове включення в цей модуль вузлів ультразвукової обробки і гідродинамічної активації палива призводить до зниження зносу циліндропоршневої групи дизеля.

Проведені експериментальні дослідження свідчать про те, що додаткова ультразвукова обробка і гідродинамічна активація високов'язкого палива (які можливо проводити як в паралельному, так і в послідовному варіанті) сприяють зниженню в 3,2...4,7 рази 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 і також надійності роботи трибосполучення поршень-втулка циліндра.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Solodovnikov V. G. Ultrasonic fuel processing as a method of improving the technical condition and economic characteristics of ship diesels // *American Scientific Journal*, 2017. – № 15. – Iss. 2. – P. 59-62.

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

3. Sagin S., Madey V., Stoliaryk T. Analysis of mechanical energy losses in marine diesels // *Technology Audit and Production Reserves.* – 2021. – № 5 (2 (61)). – P. 26-32. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.239698>.

4. Руснак Д.Ю., Сагін С.В. Забезпечення екологічних вимог при ультразвуковій десульфурізації вуглеводних палив // *Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. Вип. 40.* – Одеса : НУ «ОМА». – 2020. – С. 49-54. DOI : 10.31653/smf340.2020.49-54.

5. Солодовніков В. Г. Забезпечення технічного стану суднових дизелів шляхом кавітаційної обробки палива // *Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. Вип. 40.* – Одеса : НУ «ОМА». – 2020. – С. 65-69. DOI : 10.31653/smf340.2020.88-94.

6. Solodovnikov V. G. Ultrasonic fuel processing as a method of improving the technical condition and economic characteristics of ship diesels // *American Scientific Journal*, 2017. – № 15. – Iss. 2. – P. 59-62.

7. 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.

8. Sagin S.; Madey V.; Sagin A.; Stoliaryk T.; Fomin O.; Kuřcera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels // *Journal of Marine Science and Engineering.* – 2022. – Vol. 10. – 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.

Карабаджак Н.Е., Сагін С.В.
Національний університет "Одеська морська академія"

Забезпечення міжнародних вимог з управління баластними водами під час експлуатації спеціалізованих суден

Постановка проблеми в загальному вигляді. Морські транспортні судна для збереження морських якостей і характеристик міцності періодично приймають водний баласт. Разом із баластною водою до суднових танків потрапляють морські організми, ікра, личинки, рослини, а також збудники небезпечних хвороб. Після скидання баласту в інших географічних районах морські організми і рослини, не зустрічаючи найчастіше природних ворогів, починають активно розмножуватися. Наслідки цього процесу у багатьох кутках світу руйнівні. Сторонні для цієї географічної зони біологічні види, що випускаються в морське середовище, призводять до порушення природної екологічної рівноваги, руйнування гідротехнічних споруд, створюють загрозу здоров'ю та життю людей і, зрештою, ведуть до екологічної катастрофи.

Потрапляння в морську екосистему чужорідних для даного регіону експансіоністських морських видів вважається однією з чотирьох (поряд із забрудненням води, надмірною експлуатацією морських ресурсів та руйнуванням морського хабітату) найнебезпечніших загроз Світовому океану. Операції скидання баластових вод вважаються потенційно небезпечними не лише Міжнародною морською організацією, а й Всесвітньою організацією охорони здоров'я. Завдані чужорідними морськими організмами збитки ліквідувати практично неможливо, принаймні на сьогодні науці невідомі досить ефективні та нешкідливі способи відновлення балансу морської екосистеми [1].

Особливо гостра проблема перевезення морського баласту стає для окремих класів суден (насамперед газозовів, нафтоналивних та накатних). Ці судна один з рейсів виконують в повному вантажу, інший – в баласті, що призводить до змушеного перевезення баласту, при цьому кількість баластних, що транспортується цими судна, дуже велика (таблиця 2).

Таблиця 2. Кількість баластних вод на морських транспортних суднах

Клас судна	Частка баласту в дедвейту судна, %
Газовози	40...44
Нафтоналивні	36...38
Накатні (типу Ro-Ro тв. Lo-Ro)	35...38
Навалювальні та нафторудовози	32...33
Контейнеровози	27...32
Рефрижераторні	21...23
Суховантажні	24...26
Універсальні	19...22
Лісовози	18...21

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Технологічні способи, що спрямовані на зменшення або повне ліквідацію негативного впливу інвазій-

них морських елементів, розробляються багатьма країнами Світу. Можливі напрями та методи обробки баласту представлені на рис. 1.



Рис. 1. Можливі методи та способи обробки водяного баласту транспортних суден

Більшість морських держав вже проводили дослідження щодо застосування різних методик обробки баластних вод у суднових умовах [2].

Аналіз результатів, отриманих щодо різних методик обробки баласту, показує, що з них немає досить ефективних і економічних. Так, наприклад, механічна обробка займає багато часу і не забезпечує видалення бактерій та мікроводоростей. Застосування хімікатів, як найдоступніший спосіб, саме собою тягне за собою ряд проблем: очевидний ризик для здоров'я екіпажу, корозія трубопроводів і насосів, забруднення морського середовища при скиданні баласту [3]. Фізична дія ультрафіолетовими променями, ультразвуком, нагрівання баластної води також небезпечна для здоров'я екіпажу, може посилити корозію, при скиданні в акваторії порту – викликати термальне забруднення [4]. В даний час більшість розвинених країн продовжують шукати вирішення проблеми знезараження водяного баласту в суднових умовах з метою запобігання біологічним інвазіям [5].

Постановка завдання. Завданням дослідження було визначення та аналіз методів очищення суднових баластних вод та зменшення таким чином інвазійного забруднення морських акваторії під час експлуатації суден морського та внутрішнього водного транспорту.

Виклад основного матеріалу дослідження. Основні методи забезпечення міжнародних вимог з управління баластними водами базуються на наступних принципах.

Перший метод – виключення скидання баласту взагалі. Це самий надійний спосіб, він застосовується в тих випадках, якщо скидання баластових вод заборонений повністю. Зрозуміло, що цей спосіб не дуже практичний.

Другий шлях – зменшення концентрації морських організмів, що втримуються в прийнятому на борт водяному баласті. Це може бути досягнуте шляхом обмеження кількості прийнятого водяного баласту, а також шляхом вибору місць приймання баласту (не слід приймати баласт на малих глибинах, районах застою води, поблизу від місць зливу стічних вод і днопоглиблювальних робіт і районів виявлення патогенних мікроорганізмів).

Третій метод полягає в обробці водяного баласту на борті судна. Уже розроблені певні технології цього процесу, рекомендовані Керівництвом ІМО по обробці баласту. Така обробка може здійснюватися різними способами:

- фізичний – нагрівання, обробка ультразвуком, ультрафіолетовим випромінюванням, магнітним полем, іонізація сріблом і т.п.;
- механічний – фільтрування, внесення змін у конструкцію судна, застосування спеціальних покриттів танків і т.п.;
- хімічний – озонування, видалення кисню, хлорування, застосування біологічних реагентів і т.п.;
- біологічний – додавання в баластову воду хижих або паразитних організмів з метою знищити шкідливі мікроорганізми.

Четвертий метод – берегова обробка – на думку Американського Бюро Судноплавства має ряд переваг. Однак необхідно врахувати, що багато суден не мають можливості здавати водяний баласт на берегові прийомні спорудження. Що стосується портів, те далеко не все з них можуть надати судну відповідні прийомні спорудження. При цьому мало імовірно, що найближчим часом порти почнуть будувати прийомне встаткування для водяного баласту, маючи ще багато не вирішених проблем із прийомним устаткуванням, необхідним правилами Конвенції МАРПОЛ.

П'ятий метод полягає в зміні баласту у водах відкритого океану або його розведенні.

Аналізуючи наведені п'ять основних методів, можна зробити висновок, що для суден, що перебувають в експлуатації, що й не мають штатного встаткування по додатковій обробці баластових вод, практично застосовними й ефективними є в цей час тільки другий і п'ятий методи.

Для суден, на яких встановлено спеціальне обладнання для запобігання біологічного забруднення світового океану баластними водами, потрібно виконувати всі вимоги що до його експлуатації, з метою попередження як транспортування мікроорганізмів з одного морського регіону до іншого, так і негативного впливу цього обладнання на здоров'я екіпажу.

Одночасно з обробкою баластних вод за допомогою спеціального обладнання на судах морського та внутрішнього водного транспорту можливо додаткове використання способів, що використовують тепловий потенціал судової енергетичної установки.

Теплові методи обробки баластових вод. До теплових методів обробки баластних вод відноситься нагрівання води в баластних танках до температури не менше ніж 45 °С. Кількість теплової енергії, яка може бути витраче-

на нагрівання баластної води, визначається складом та технічними характеристиками енергетичної установки судна. Підігрів баластної води на судні може бути здійснений шляхом утилізації тепла випускних газів головних двигунів або традиційним способом, з використанням загальносуднової системи підігріву рідин в суднових цистернах. Утилізаційний підігрів баластної води випускними газами суднових дизелів може бути здійснений контактним способом шляхом пропускання газів через потік баластної води, що розпилюється, в змішувальному теплообміннику, розташованому по ходу випускних газів.

Підігрів баластної води традиційним способом. Підігрів усієї маси баластної води безпосередньо в баластних танках може здійснюватися від суднової системи підігріву рідин теплоносіями: парою або гарячою водою, що подаються в змійовики, які розміщені в баластних танках. Якщо на судні є система теплопостачання суднових споживачів, що використовує рідкі високотемпературні теплоносія, то теплова потужність зазначеної системи обігріву з такими теплоносіями повинна бути достатньою, щоб забезпечувати необхідний підігрів баластових вод. Нагрівання баластної води може бути також здійснено у спеціальному поверхневому теплообміннику – підігрівачі баластної води. Джерелами тепла при традиційному підігріванні баластної води є судові допоміжні та утилізаційні котли, або відпрацьована пара допоміжних механізмів паротурбінної установки, якщо така установка застосована на судні.

Підігрів баластної води випускними газами основних двигунів. В даний час як головні двигуни на транспортних судах застосовуються, в основному, високоекономічні двотактні малооборотові дизелі, що працюють на низькосортних паливах, які мають під час номінального навантаження температуру випускних газів 245°C і менше. Температура випускних газів знижується в разі роботи двигуна на експлуатаційній потужності та на часткових навантаженнях, зменшуючи ефективність утилізації тепла.

Підігрів баластної води випускними газами дизель-генераторів. Середньооборотові дизелі знаходять своє застосування як дизель-генератори або у складі дизель-електричних енергоустановок. Випускні гази середньооборотових дизелів мають значно більший тепловий потенціал, ніж випускні гази малооборотових дизелів. Температура випускних газів середньооборотових дизелів становить $350...420^{\circ}\text{C}$.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Як результат проведених досліджень визначимо наступне.

Аналіз різних способів і методів обробки баластних вод свідчить, що практично застосовним і ефективним в даний час є зменшення концентрації морських організмів, що містяться в водяному баласті, що приймається на борт.

Для обробки водяного баласту на борту судна можуть бути використані різні методи, що включають фізичні, механічні, хімічні способи, а також їх комбінації.

Аналіз енергонасиченості сучасних транспортних суден і суднових систем, потенційно застосовних для знищення біологічних та мікробіологічних забруднень баластних вод, показує, що суднова енергетика та системи, зокрема, головний та допоміжні суднові двигуни, системи утилізації тепла та підігріву вантажу за своїми конструктивними особливостями можуть бути використані для додаткової обробки баластних вод.

Під час вибору методу обробки баластних вод необхідно прагнути до збільшення економічності суднової енергетичної установки за рахунок утилізації тепла, оптимального вибору потужності та раціональної комплектації складу суднового обладнання та систем.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Міжнародна конвенція про контроль суднових баластних вод й осадів та управління ними 2004 року / Ballast Water Management Convention(BWMC): Міжнародна морська організація; Конвенція, Правила, Форма, Міжнародний документ від 13.02.2004 з поправками. International Maritime Organization: веб-сайт. URL: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/BallastWaterManagement/BWMConventionandGuidelines.aspx>

2. Liu, Q.; Lu, Z.; Liu, Z.; Lin, P.; Wang, X. Ballast Water Dynamic Allocation Optimization for Revolving Floating Cranes Based on a Hybrid Algorithm of Fuzzy-Particle Swarm Optimization with Domain Knowledge // Journal of Marine Science and Engineering. 2022, 10, 1454. <https://doi.org/10.3390/jmse10101454>.

3. Hyun, B.; Cha, H.-G.; An, Y.-K.; Park, Y.-S.; Jang, M.-C.; Jang, P.-G.; Shin, K. Potential Applications of a Novel Ballast Water Pretreatment Device: Grinding Device // Journal of Marine Science and Engineering. 2021, 9, 1213. <https://doi.org/10.3390/jmse9111213>.

4. Сагін С.В., Побережний Р.В. Метод управління факторами ризику виникнення аварійних ситуацій під час експлуатації пропульсивних комплексів засобів водного транспорту // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 46. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 110-117. doi: 10.31653/smf46.2023.110-117.

5. Сагін С.В., Колегаєв М.О., Парменова Д.Г. Зниження ризиків інвазійного забруднення морських акваторії під час експлуатації суден морського та внутрішнього водного транспорту // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 47. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 131-147. doi: 10.31653/smf47.2023.131-147.

Підвищення ефективності процесу очищення судових важких палив

Постановка проблеми в загальному вигляді. Найважливішими експлуатаційними характеристиками судових двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) є показники надійності, паливної економічності та екологічної безпеки, що залежать від комплексу конструктивних та експлуатаційних факторів. Один із найбільш суттєвих факторів – якість дизельного палива. Фізичні та хімічні властивості палива впливають на процеси сумішоутворення та згоряння в циліндрах дизелів, повноту вигорання палива, паливну економічність, вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигуна, ресурс паливної апаратури та деталей циліндропоршневої групи. Найбільш поширеним способом забезпечення необхідних властивостей дизельного палива є підготовка до згоряння в циліндрі дизеля [1].

Накопичений досвід і аналіз роботи ДВЗ, які виконують функції головних / допоміжних двигунів суден морського та річкового флоту і експлуатуються на важких сортах нафтового палива, а також результати моніторингу думок фахівців-двигунобудівників свідчать про те, що якість палива може виявитися причиною ряду неполадок: підвищеного утворення вуглецевих відкладень на деталях циліндро-поршневої групи (ЦПГ) ДВЗ і в відцентрових сепараторах, інтенсифікації корозії і подальшого прогара випускних клапанів і їх сідел, погіршення процесу згоряння, підвищення температури випускних газів. Можуть виникати і такі проблеми, як зношування поршневих кілець, інтенсивне утворення відкладень на поршні, порушення гідравлічної щільності в прецизійних парах паливної апаратури високого тиску.

Поглиблення переробки нафти неминуче супроводжується збільшенням концентрації в паливі продуктів вторинних процесів. В останніх міститься значна кількість небажаних з'єднань, що погіршують експлуатацію дизельних двигунів. Цей же недолік характерний і для палив, що отримуються з альтернативної сировини. Пристосування дизелів до роботи на паливі низької якості з одночасним підвищенням їх надійності і економічності – важливе завдання, що виникає під час експлуатації ДВЗ морських суден. Існують різні технологічні і технічні способи, спрямовані на її рішення. Одним з них (найпоширенішим на суднах морського та внутрішнього водного транспорту) є очищення важкого палива [2, 3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз досліджень з підготовки судового палива до його спалювання в циліндрі дизеля показує, що на теперішній час традиційні методи очищення палива (відстоювання, сепарації, фільтрація) вичерпали свої потенційні можливості, тому використання лише цих методів не дозволяє принципово змінити процес очищення палива та підвищити глибину його використання [4]. Тому на сучасних суднах річкового та морського транспорту поширюється

впровадження додаткових способів очищення палива, які, як приклад, використовують властивості адсорбції, абсорбції, хімічного збагачення та інші, але виростання подібних додаткових методів очищення палива, не завжди можливо в судновій енергетиці [5, 6].

Постановка завдання. Під час експлуатації двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) суден морського та внутрішнього водного транспорту усе більше застосування знаходять порівняно дешеві залишкові сорти палива, у склад яких входять не лише «корисні» елементи водень Н та вуглець С (згоряння яких забезпечує виділення теплоти), але також «паливний баласт», по-перше зола та коксові залишки, згоряння яких перебігає без виділення теплоти, а також механічні домішки, до загального склад яких можуть входити: залізо Fe, з концентрацією 2...25 %, кремній Si та його з'єднання, з концентрацією 4...30 %, алюміній Al, вміст якого може досягати 4,5...5 %, мідь Cu та цинк Zn, вміст яких не перевищує 1,0 %, а також органічні сполуки з концентрацією 20...40 %. Названі компоненти відрізняються від вуглецю та водню підвищеною електричною провідністю. Саме тому існують методи, що спрямовані на вилучення цих домішок зі складу палива шляхом накладення на нього додаткових електричних полів [4].

В зв'язку з цим, завданням дослідження було вивчення процесу очищення суднового важкого палива нафтового походження за допомогою електричних полів, та визначення впливу цієї обробки на експлуатаційні характеристики палива, процес згоряння палива та технічний стан ДВЗ суден морського та внутрішнього водного транспорту.

Виклад основного матеріалу дослідження. Електричні методи очищення палив відносяться до порівняно нового наукового напрямку – електро-гідродинаміки, що вивчає питання взаємодії електричного і гідродинамічного полів у різних багатофазних системах (рідинах, емульсіях, суспензіях і ін.) однак багато вихідних положень електродинаміки поки ще цілком не розроблені та в достатньому ступені не відображають фізику процесу очищення досліджуваної рідини. Це відноситься і до палив, для яких розробка засобів електричного очищення ведеться в основному емпірично з наступним поясненням одержуваних результатів.

Метод очищення палива з використанням електричного поля – найбільш перспективний для суднових умов. Незважаючи на значну кількість вітчизняної та закордонної літератури по даному питанню, жодна з робіт не містить повних теоретичних та практичних рекомендацій для очищення суднових палив за допомогою електричного поля. У той же час методи очищення суднових палив за допомогою електричного поля (сепарація та фільтрація в електричному полі) не вимагають високих теоретичних знань від обслуговуючого персоналу, досить прості, надійні та вимагають лише початкового налаштування необхідного обладнання [5].

Вуглеводні палива є типовими діелектриками, однак частки забруднень, що входять до їх складу, можуть бути діелектриками з діелектричною про-

никністю, відмінної від діелектричної проникності палива, або провідниками.

Електричні властивості палив і водо-паливних емульсій характеризують три параметри: діелектрична проникність ϵ , Ф/м, питома електропровідність σ , см/м, напруженість пробною $E_{пр}$, В/см.

Суднові палива містять у своєму складі дистилятні та залишкові фракції переробки нафти. Відмінною рисою цих палив є утворення складних структурних систем з вуглеводнів і неуглеводних домішок. Структурними елементами неполярних палив служать насичені вуглеводні (алкени, нафтени) з діелектричною проникністю $\epsilon \approx (1,9 \dots 0,2)\epsilon_0$ і ароматичні вуглеводні з $\epsilon \approx (2,4 \dots 0,2)\epsilon_0$, де ϵ_0 , Ф/м, – діелектрична проникність повітря. На верхній границі неполярних елементів знаходяться також асфальтени з $\epsilon \approx (3 \dots 4)\epsilon_0$. До структурних елементів палив відносяться механічні домішки, частки карбенів, карбонів та глобули води, тобто всі домішки з діелектричною проникністю, яка перевищує діелектричну проникність повітря – $\epsilon \geq \epsilon_0$. В результаті молекулярних і полярних взаємодій відзначених вище елементів утворюються водо-паливні та асфальто-смолисті структури палива. Дистилятні палива, як правило, містять незначну кількість неуглеводних домішок, вплив яких на електричні властивості палива незначний. У важких суднових паливах асфальто-смолисті домішки суттєво змінюють їхні електричні властивості.

Густина та діелектрична проникність суднових палив нафтового походження знаходяться в межах:

- для дистилятного палива – $\rho = 830 \dots 850$ кг/м³, $\epsilon = (2,204 \dots 2,212)\epsilon_0$ Ф/м;
- для моторного палива – $\rho = 880 \dots 920$ кг/м³, $\epsilon = (2,442 \dots 2,557)\epsilon_0$ Ф/м;
- для важкого палива – $\rho = 940 \dots 980$ кг/м³, $\epsilon = (2,579 \dots 2,728)\epsilon_0$ Ф/м.

Із приведених даних випливає, що діелектрична проникність суднових палив не перевищує $3\epsilon_0$, тому їх можна віднести до типових неполярних діелектриків.

Таким чином, з огляду на різні електричні властивості самого палива і домішок, що знаходяться в ньому, (насамперед механічних і води), можливо робити обробку палива за допомогою електричного поля. При цьому чисте паливо, яке є діелектриком, не буде піддаватися впливові електричних полів, а механічні домішки і вода під впливом цих полів і додаткових технічних засобів можуть виводитися з палива.

Очищення важких палив за допомогою електричних полів може здійснюватися в режимах сепарації або фільтрації.

У першому випадку вплив на паливо виявляє система електродів, за допомогою яких можуть створюватися однорідні та неоднорідні електричні поля. Вилучення з потоку палива механічних домішок, здійснюється одночасно з роботою сепаратора, що накладає на потік палива електричні поля.

Під час фільтрації палива в пристроях, що забезпечують виникнення електричних полів, здійснюється накопичення механічних домішок на спеціа-

льних осередках, з наступним їх видаленням під час очищення обладнання [5].

Принципові схеми суднових сепараторів та фільтрів, що використовуються під час роботи електричні поля, наведені на рис. 1, 2.

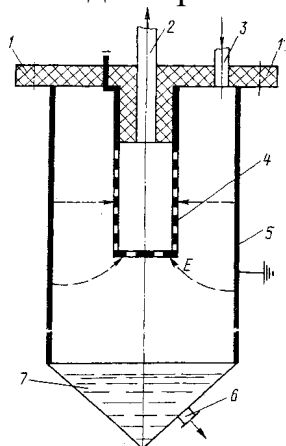


Рис. 1. Сепаратор, що очищує паливо за допомогою електричного поля, із сітчастим електродом:

- 1 – ізоляційна кришка із електродами;
- 2 – патрубок для висновку очищеного палива; 3 – прийомний патрубок;
- 4 – сітчастий електрод; 5 – циліндричний електрод; 6 – відвідний патрубок для води;
- 7 – водозбірник

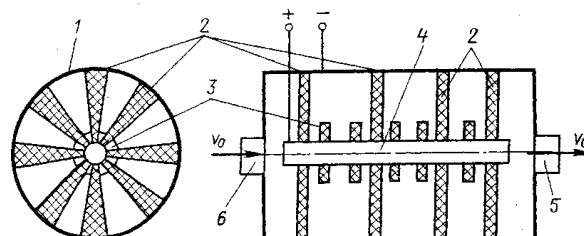


Рис. 2. Фільтр, що очищує паливо за допомогою електричного поля, із діелектричними накопичувачами бруду:

- 1 – корпус; 2 – діелектричні клин-держателі; 3 – діелектричні кільця;
- 4 – центральний електрод; 5 – вихідний отвір; 6 – вхідний отвір

Використання методу очищення палива за допомогою електричних полів має суттєві переваги перед такими методами як фільтрація (в фільтрах грубого та тонкого очищення) та сепарація палива. Підтвердженням цього є діаграми, що наведені на рис. 3 та відображають відносний остаточний вміст металевих домішок в потоці палива після відповідних методів очищення.

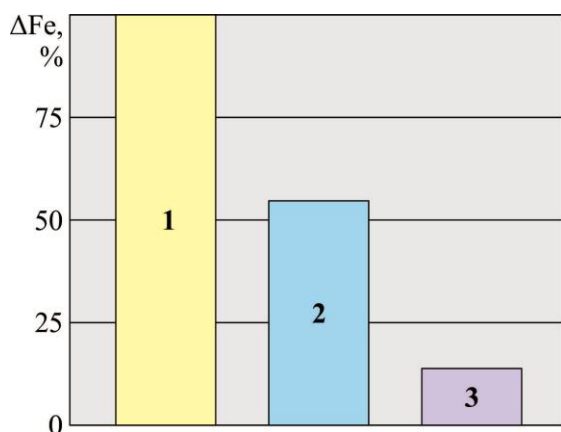


Рис. 3. Порівняння методів підготовки суднових палив за остаточним рівнем металевих домішок:

- 1 – сепарація; 2 – фільтрація, 3 – очищення (сепарація / фільтрація) за допомогою електричних полів

Як метод, за результатом використання якого в паливі залишається більша кількість металевих домішок, була прийнята сепарація (та відповідно залишковий вміст металевих домішок при цьому приймався за 100 %). Інші методи (послідовна фільтрація в фільтрах грубого та тонкого очищення з то-

нкістю відсіву 5 мкм), та очищення за допомогою електричних полів характеризуються меншими значеннями відповідно до діаграм рис. 3.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Для забезпечення надійного згоряння палива в циліндрі ДВЗ воно піддається обов'язкової попередньої обробці, мета якої – вилучення із потоку палива води та механічних домішок. Одним зі сучасних методів, за допомогою якого здійснюється обробка палива є забезпечення його очищення – є сепарація та фільтрація у обладнанні, що використовує електричні поля. Це забезпечує покращення структурного складу палива та сприяє покращення процесу згоряння та технічного стану паливної апаратури високого тиску.

Впровадження методів очищення важких палив, що засновані на використанні електричних та магнітних полів, є прикладом розвинення сучасних технологій та може бути застосовано для будь якого типу судових дизелів.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sagin A.S., Zablotzkyi Yu.V. Reliability maintenance of fuel equipment on marine and inland navigation vessels // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7–8 (July – August). – P. 14-17. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-14-17>.

2. Sagin S.V., Solodovnikov V.G. Cavitation Treatment of High-Viscosity Marine Fuels for Medium-Speed Diesel Engines // Modern Applied Science. – 2015. – Vol. 9. – № 5. – P. 269-278. DOI:10.5539/mas.v9n5p269.

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

4. Сагін С.В., Побережний Р.В. Аналіз ефективності використання в судових дизелях палив різного фракційного та структурного складу // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 31-42. doi: 10.31653/smf45.2022.31142-42.

5. Заблоцький Ю. В. Підвищення економічності роботи судових дизелів / Ю. В. Заблоцький // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. Вип. 40. – Одеса : НУ «ОМА». – 2020. – С. 12-16. DOI : 10.31653/smf340.2020.12-16.

6. Madey V.V. Usage of biodiesel in marine diesel engines // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7–8 (July – August). – P. 18-21. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-18-21>.

Вдосконалення експлуатації суден днопоглиблювального флоту

Постановка проблеми в загальному вигляді. Інтенсивний розвиток торговельних відносин пов'язано зі збільшенням провізної здатності фарватерів підхідних каналів до річковим і морським портам. У зв'язку з цим зростає необхідність проведення днопоглиблювальних робіт спеціалізованими суднами. Конструктивною особливістю суден днопоглиблювального флоту є наявність гідротехнічного комплексу для розробки ґрунтів, який включає процеси забору, підйому, завантаження трюмів суден і транспортування ґрунту відповідно до карти наміву. Необхідність підвищення ефективності експлуатації рефулерних суден робить вирішення проблеми відділення надлишкової води від ґрунту під час експлуатації судових земснарядів актуальною як з наукової, так і з практичної точки зору [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У процесі доставки вантажів морем беруть участь три основних компоненти:

- вантаж, що доставляється і формує основні доходи від перевезення;
- транспортні засоби, що доставляють вантаж і є основним джерелом експлуатаційних витрат;
- праця екіпажа, від якого залежить ефективність перевезення.

Ґрунтуючись на основному законі ринку, слід зазначити, що підвищення ефективності експлуатації суден за рахунок підвищення прибутку можна здійснити подвійно. Перший шлях - збільшення доходів (підвищенням тарифів за надані послуги, що ведуть до інфляції, збільшення провізної спроможності транспортного засобу без шкоди мореплавності). Другий шлях - зниження транспортних витрат до мінімально немінучих [2].

У зв'язку із цим, великий інтерес представляє технічна експлуатація днопоглиблювального флоту, що, крім процесу перевезення вантажів, передбачає технологічний процес видобутку ґрунтів.

Необхідність здійснення процесу видобутку ґрунтів є вкрай необхідною при виробництві гідротехнічних робіт, хоча при цьому і є екологічно шкідливою.

Очевидним є той факт, що технологічний процес видобутку ґрунтів апіорі збільшує експлуатаційні витрати судна й у зв'язку із цим у процесі інформаційного пошуку, варто приділяти особливу увагу проблемі підвищення ефективності технологічного процесу розробки.

При здійсненні інформаційного пошуку, пов'язаного з технічною експлуатацією суден днопоглиблювального флоту, як правило, використовується метод дедукції (філософський метод сходження від загального до особистого, через частку).

Інформаційний пошук здійснюється шляхом декомпозиції по окремих напрямках, що дозволяє більш точно сформулювати тематику мета й завдання досліджень [3].

Системний аналіз вимагає поділу досліджуваних процесів на об'єкт дослідження й зовнішнє середовище. Декомпозицію інформаційного пошуку по проблемі технічної експлуатації днопоглиблювального флоту з позиції менеджменту доцільно здійснити по наступних напрямках:

- ефективність завантаження земснаряда;
- технічна досконалість судна;
- експлуатаційна ефективність;
- конструкційні особливості процесу навантаження ґрунтів;
- технологічна ефективність видобутку ґрунтів на судні [4].

Постановка завдання. Метою дослідження є вдосконалення експлуатації суден днопоглиблювального флоту.

Виклад основного матеріалу дослідження. Головною метою всіх судноремонтних робіт, спрямованих на вдосконалення судна є підвищення його техніко-експлуатаційних показників з одночасним збільшенням продуктивності та якості роботи екіпажу. На підставі виконаного аналізу конструкцій суден днопоглиблювального флоту можна сформулювати головні напрямки робіт щодо вдосконалення земснарядів. До них відносяться:

- застосування нових технологій виїмки і транспортування ґрунту;
- комплектація суден новою технікою і обладнанням;
- установка на шаландах більш ефективних гідравлічних систем розмиву ґрунту;
- установка засобів автоматизації нового покоління на всіх технологічних рівнях;
- комплектація більш досконалими засобами контролю вимірювальних приладів і апаратури;
- установка силових установок, що характеризуються більш високими значеннями ККД і/або потужності;
- застосування нових конструкцій корпусу, що характеризуються меншою залежністю від зовнішніх чинників (хвилювання, глибини і т.п.);
- збільшення місцевої і загальної міцності корпусу або його елементів;
- оптимізація діючих суден за рахунок проведення судноремонтних робіт з повною або частковою заміною застарілого обладнання і механізмів;
- вдосконалення шумової та вібраційної ізоляції всіх механізмів судна за рахунок впровадження систем гасіння нового покоління або обладнання, що характеризується меншими показниками вібрації і рівня виробленого шуму.

Характерними судноремонтними роботами, спрямованими на модернізацію ґрунтової частини суден днопоглиблювального флоту є:

- 1) комплектація і ремонт насосного обладнання;
- 2) удосконалення ґрунтозабірний пристроїв;

- 3) модернізація пристроїв розподілу ґрунту при завантаженні в трюм;
- 4) регулювання консистенції пульпи;
- 5) установка розпилювачів пульпи;
- 6) комплектація сучасними системами вимірювання, контролю, автоматизації і управління.

Найбільш бажаними системами вимірювання та контролю є сучасні дистанційні комплекси, обладнані безконтактними датчиками з цифровими перетворювачами первинного сигналу.

Для визначення ефективності запропонованого методу сепарації ґрунтонесущої пульпи використовувався розроблений науково-дослідний стенд, показаний на схематичному рис. 1.

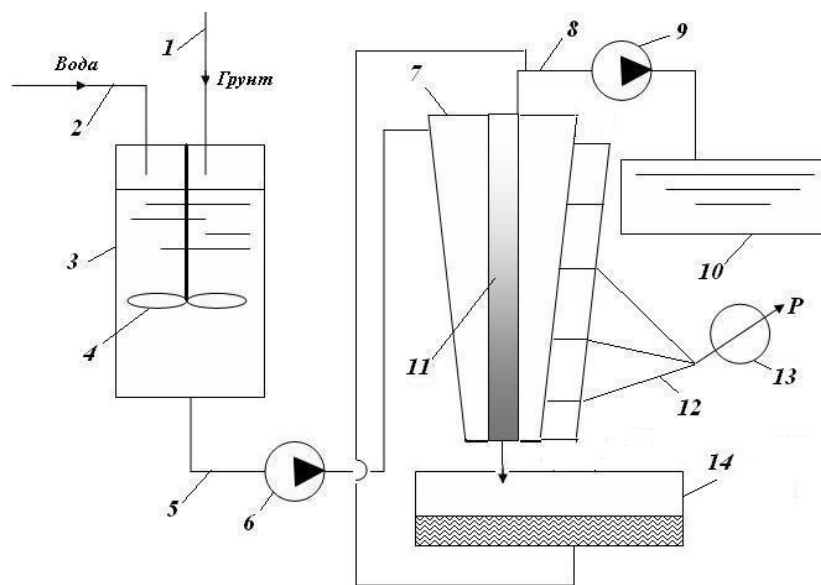


Рис. 1. Експериментальна установка:

- 1 – лінія подачі ґрунту; 2 – лінія подачі води; 3 – накопичувальний резервуар;
 4 – змішувач; 5 – лінія подачі пульпи; 6 – ґрунтовий насос; 7 – циклон; 8 – лінія відбору
 світлої пульпи; 9 – насос; 10 – водяний бак; 11 – скляна вставка; 12 – лінії відбору тиску
 по висоті циклону; 13 – манометр; 14 – накопичувальний ґрунтовий бак

На схемі видно, що експериментальна установка являє собою замкнуту гідравлічну мережу. По лініях подачі ґрунту 1 і води 2 в бак 3 подавалися в заздалегідь дозованих кількостях вихідні компоненти пульпи – вода і ґрунт. Обсяг накопичувального бака становив 1 м^3 і, всередині нього, за допомогою механічного змішувача 4 (число оборотів регулювалося від 400 до 850 об/хв) приводить в обертання за рахунок керованого електромагнітного двигуна (на рис. 1 не показаний) виходив однорідний склад ґрунтової пульпи [5].

Після підготовки пульпа по лінії подачі 5 надходила в ґрунтовий насос 6. Величини напору і витрати пульпи змінювалися дистанційно керованою запірно-регулюючої арматурою (на рис. 1 не показана). Діапазон зміни витрати при проведенні експериментів становив 1:25, а межі зміни напору ґрунтового насоса знаходилися в межах від 10 до 21 м.в.ст.

При вході пульпи в циклон 7 здійснювалася її сепарація. Відбір освітленої води виконувався по лінії 8 насосом 9 з подальшим скидом в водяний бак 10. Для візуального контролю процесу сепарації на корпусі циклону 7 були встановлені навпроти один одного дві прозорі скляні вставки 11. Відбір тиску здійснювався в 10 точках і передавався по прийомним трубках 12 на цифровий багатоканальний манометр 13. Підключення трубок, як до циклону, так і до манометру здійснювалося за допомогою гнучкого зв'язку. Сепарований ґрунт з циклону 7 надходив в накопичувальний ґрунтовий бак 14. Залишкова вода з бака відбиралася за допомогою відцентрового нагнітача 9.

Водяний насос 9 представляв собою триступеневий відцентровий насос. Марка цього нагнітача PRISMA25 4M, а його максимальна подача і напір становлять відповідно $Q=0,04 \text{ м}^3/\text{с}$, $H=42 \text{ м.в.ст.}$

Як ґрунтовий насос використовувався одноступінчатий відцентровий насос марки KSB Evamatic-Box ICS з максимальними значеннями витрати і напору відповідно рівними $Q=0,011 \text{ м}^3/\text{с}$ і $H=21 \text{ м.в.ст.}$

Всі підключення робочих ліній до насосів, циклону і накопичувальним баків здійснювалися за допомогою стандартних різьбових з'єднань. Використаний тип з'єднання повністю виключав при монтажі такі дефекти, як, протікання, несовісність в місцях стику, деформацію герметизуючих прокладок і т.і.

Дозування вихідних компонент ґрунтовій пульпи виконувалося об'ємно ваговим способом. Вага ґрунту вимірювався по сухому залишку після проведення його термічної обробки. Діаметр умовного проходу трубопроводів для подачі і відбору води становив 50 мм, а для всіх інших робочих ліній науково-дослідного стенду він дорівнював 100 мм.

Поточне значення витрати пульпи в експериментах виходило об'ємним способом шляхом вимірювання часу повного спорожнення бака 3.

Висновки і перспективи подальших досліджень. В результаті проведених досліджень зробимо наступні висновки:

1) створення судновий технології обробки і доставки ґрунту безпосередньо призводить до інтенсифікації процесу днопоглиблення, а, отже, і до вдосконалення всієї технологічної схеми його видобутку. При цьому можна констатувати, що з усіх відомих конструкцій суден днопоглиблювального флоту тільки грейферний земснаряд є єдиним типом судна, що не потребує сепарації ґрунтовій пульпи при проведенні днопоглиблювальних робіт;

2) запропонована нова судова технологія сепарації ґрунту функціонує на принципі тангенційної закрутки багатозфазного потоку ґрунтовій пульпи. При проведенні днопоглиблювальних робіт вона характеризується своєю простотою, надійністю і невисокою вартістю планомірного впровадження при проведенні судноремонтних [6].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Карьянский С.А. Постановка задач экспериментального исследования стратификации двухфазного потока типа “грунт-вода” / С.А. Карьянский // Судовые энергетические установки : науч.-техн. сб. – 2009. – Вып. 23. – Одесса : ОНМА. – С. 37-42.
2. Карьянский С. А. Технологическая схема сепарационного узла для судов дноуглубительного флота / С.А. Карьянский // Вісник Одеськ. нац. морськ. ун-ту : зб. наук. праць. – 2009. – Вып. 26 – Одеса : ОНМУ. – С. 67-72.
3. Колегаев М.А. Автоматизация рабочих процессов судовой сепарационной установки / М.А. Колегаев, С.А. Карьянский, И.В. Ткаченко, В.А. Маслов // Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сб. – 2010. – Вып. 16. – Одесса : ОНМА. – С. 43-48.
4. Колегаев М.А. Совершенствование земснарядов путем модернизации технологического процесса обработки пульпы / М.А. Колегаев, С.А. Карьянский, В.А. Маслов, Е.А. Осташко // Судовые энергетические установки : науч.-техн. сб. – 2010. – Вып. 26. – Одесса : ОНМА. – С. 4-14.
5. Малахов А. В. Основные особенности гидродинамических процессов в судовых многофазных потоках / А.В. Малахов, И.В. Ткаченко, В.В. Леонов, С.А. Карьянский // Вестн. нац. технич. ун-та Украины “Киевский политехнический институт”. – К. : Машиностроение. – 2009. – Вып. 55 – С. 311-319.
6. Малахов А.В. Узел сепарации пульпы для судовых земснарядов / А.В. Малахов, С.А. Карьянский, В.А. Маслов // Проблеми техніки : наук.-виробн. журн. – 2009. – Вип. 3 – Одесса : ОНМУ, ХНУ. – С. 59-65.

Забезпечення експлуатаційних показників палив для суднових дизелів

Постановка проблеми в загальному вигляді. В останні роки на транспортних судах морського та внутрішнього водного транспорту для середньообертових дизелів (СОД) все ширше застосовуються важкі сорти палива високої в'язкості, що мають більш низьку вартість [8, 9]. Згідно з вимогами таких провідних фірм, що будують дизелі, як Wartsila-Sulzer, MAN Diesel & Turbo суднові СОД повинні надійно експлуатуватися на всіх режимах (в тому числі на пускових і перехідних) під час використання палив з в'язкістю до $380 \text{ мм}^2/\text{с}$. Перспективи розвитку транспортного суднобудування із застосуванням СОД в світовій практиці тісно пов'язані з використанням подібних видів палива. При цьому слід зазначити, що важкі сорти палива використовуються для роботи як головних СОД, що передають свою потужність на рушій, так і допоміжних, які є приводом електричних генераторів. Крім того, в суднову практику чітко простежується тенденція використання важких сортів палива не тільки для сучасних моделей СОД, а також переведення СОД попередніх моделей (спроектованих з умовою їхньої роботи на легких сортах палива) на експлуатацію на паливі з підвищеною в'язкістю [10].

Використання в суднових дизелях палив підвищеної в'язкості перш за все пов'язано зі намаганням зменшити експлуатаційні витрати на придбання рідкого палива. Одночасно з цим підвищенню економічності роботи суднових дизелів сприяє не лише вартість палива, але також визначення оптимальних режимів його використання, а також впровадження сучасних технологій, що підвищують якість його збереження, транспортування та згоряння. До однієї з технологій, яка спрямована на підвищення економічності роботи дизелів морських суден, відноситься використання паливних присадок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виходячи з того, що в паливі знаходяться різноманітні сірчисті сполуки (елементарна сірка, сірководень, меркаптани, сульфіді, дисульфіді, тіофени, теофани, сульфокислоти та інші), що взаємодіють з деталями ЦПГ, кришкою циліндра, випускними та продувними клапанами, можна визначити такі основні шляхи захисту цих вузлів:

- виготовлення деталей дизеля з матеріалів, стійких до дії сірчистої корозії;
- виключення режимів роботи дизеля, що викликають найбільш інтенсивну електрохімічну корозію та підвищений зношування (тобто режимів з низькою температурою води, яка охолоджує стінки циліндра та циліндрову кришку);

- створення систем паливопідготовки, що знижують кількість сірчистих сполук, що надходять до циліндра дизеля;
- вибір режиму роботи системи паливопідготовки, що забезпечує найбільш якісну обробку палива [3, 4].

Постановка завдання. Завданням дослідження було визначення додаткового способу паливопідготовки, що забезпечує необхідну якість палива та одночасно сприяє зменшенню сірчистої корозії деталей дизеля.

Виклад основного матеріалу дослідження. Одним із методів паливопідготовки, що сприяє зменшенню шкідливого впливу сірки на деталі ДВЗ, є обробка палива ультразвуком. Цей спосіб насамперед сприяє поліпшенню дисперсних якостей палива, а явище кавітації, що супроводжує цей процес, призводить до додаткової активації його вуглеводневих складових та розщепленню C-S зв'язків. Одним із варіантів застосування ультразвукової обробки палива є дообладнання штатних систем паливопідготовки додатковими модулями, які здійснюють цей процес [5].

Таким модулем була доукомплектована система паливопідготовки дизелів 6NSD-M Nigita Power Systems, які мають номінальну потужність 480 кВт за частотою обертання валу 1450 об/хв, та входили у кількості трьох штук до складу суднової допоміжної енергетичної установки. Дизелі мали кожен свою автономну систему паливоподачі, що давало можливість проводити дослідження для окремого дизеля з паливом, що пройшов різні етапи підготовки. Паливна система одного з двигунів не піддавалася перекомплектації та експлуатувалася у «штатному» стані, при цьому даний дизель приймався за «контрольний». Паливо до двох інших дизелів подавалося після додаткової обробки за допомогою ультразвукових хвиль. Фрагмент ділянки дообладнання паливної системи дизелів показаний на рис. 1.

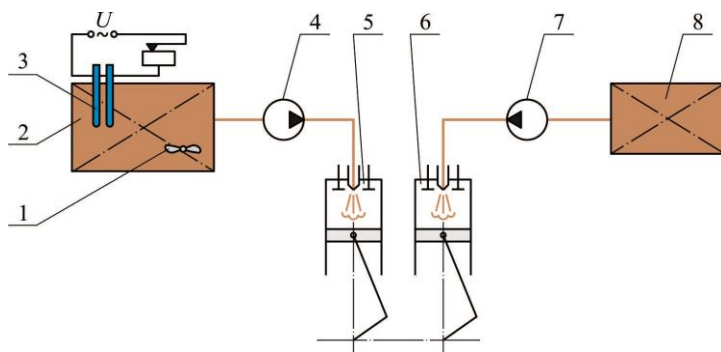


Рис. 1. Схема дообладнання системи подачі палива до двигуна (фрагмент):

- 1 – змішувач лопаткового типу; 2, 8 – паливні цистерни;
3 – ультразвукова установка; 4, 7 – паливні насоси; 5, 6 – двигуни

Двигун 6 був «контрольним» і експлуатувався в «штатному» режимі, при цьому паливо, пройшовши стандартну процедуру підготовки, подавалося до нього насосом 7 з цистерни 8. Двигуни 5 були «експериментальним». Паливо до них подавалося насосом 4 з цистерни 2, в якій паливо піддавали вплив ультразвукових хвиль за допомогою генератора УЗГ-5-М з фазовою корекцією та магнітострикційним випромінювачем. Генератор складається з кількох силових осередків та загальної системи управління. Система дозволяє регу-

лювати різницю фаз вихідної напруги осередків, домагаючись необхідного розподілу картини ультразвукового поля. Під час синфазної роботи генератор дозволяє набрати модульно будь-яку потужність у діапазоні $N_{уЗГ}=20...5000$ Вт, а також забезпечити вихідну частоту ультразвукового сигналу в діапазоні $\nu_{уЗГ}=7...35$ кГц з точністю завдання частоти до 1 Гц. При цьому експлуатація одного з дизелів проводилася на мінімально можливій температурі охолоджувальної води та мастила з точки зору забезпечення умов експлуатації та запобігання досягненню температури точки роси.

Ультразвукова установка 3 експлуатувалася в режимі $N_{уЗГ}=3200$ Вт с застосуванням магнітострикційного випромінювача $\nu_{уЗГ}=22$ кГц. Дані величини були визначені у попередніх лабораторних дослідженнях та забезпечували найкращі дисперсні показники палива. У паливній цистерні 2, в якій відбувалася ультразвукова обробка палива, додатково встановлювався лопатковий змішувач 1, що забезпечувало однорідність палива у всьому обсязі.

Для забезпечення ідентичності експерименту всім дизелів проводилася їх попередня підготовка до випробувань. Умови експлуатації дозволяли послідовно протягом 40 годин виконати повну моточистку вказаних дизелів. При цьому на всіх дизелях замінювалася поршнева група (поршні та поршневі кільця) та основні елементи паливної системи високого тиску (прецизійні пари паливного насоса високого тиску плунжер – втулка та голка – розпилювач форсунки). Крім того, перед початком експериментів для обох двигунів здійснювався контроль та регулювання паливної апаратури. При цьому паливні насоси високого тиску регулювалися на однаковий кут випередження подачі палива, а форсунки двигунів налаштовувалися на однаковий тиск підйому голки.

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. Різниця в часі роботи двигунів, а також в експлуатаційних навантаженнях на двигуни не перевищувала 4 %, що, враховуючи енергоємність об'єктів, дозволяло вважати умови роботи дизелів ідентичними. Експлуатація двигунів проводилася на тому самому сорті палива. При цьому засоби автоматичного контролю підтримували в'язкість палива незмінною протягом усього експерименту. Також ідентичними підтримувався сорт циркуляційного мастила, що забезпечує режими мащення, та його експлуатаційні характеристики. Ці заходи дозволили вважати, що виконання експерименту відбувається в однакових умовах. Умови мащення та охолодження відрізнялися лише в одного «експериментального» дизеля, який доцільно переводився на режим експлуатації, що сприяє підвищеному корозійному зношуванню деталей ЦПГ.

Під час дослідження визначався знос циліндрових втулок і верхнього поршневого кільця для «стандартного» палива, і палива, що піддалось додаткової обробки за допомогою ультразвукових хвиль.

Вимірювання зносу проводилося для двох крайніх циліндрів, які, як відомо, більш ніж інші (центральні циліндри) схильні до цього явища. Отримані в такий спосіб значення усереднювалися. Крім того, вимірювання лише на двох циліндрах суттєво скорочувало час монтажних робіт, що обмежувалося умовами експлуатації. З цих причин дослідження виконували після 170, 360, 580, 780 і 990 годин роботи двигунів – за якими було можливе тимчасове виведення дизелів з експлуатації. Результати вимірювання зносу циліндрових втулок та поршневих кілець наведено на рис. 2 та 3.

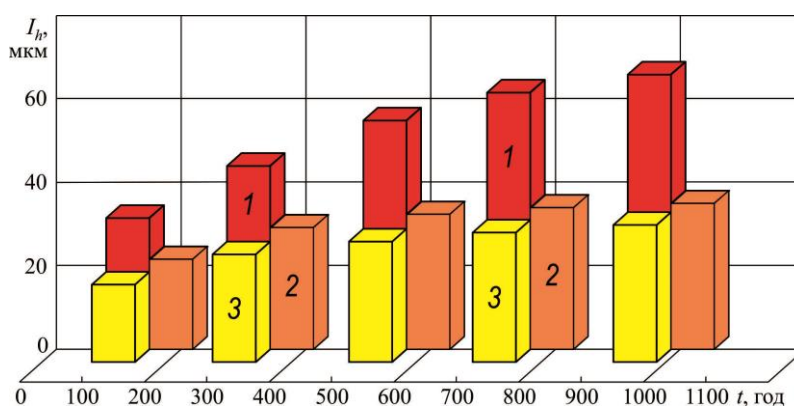


Рис. 2. Корозійний знос циліндрових втулок суднового дизеля 6NSD-M Nigita Power Systems за різних умов експлуатації:

1 – паливо без додаткової обробки (при експлуатації системи охолодження та змащування дизеля у «штатному» режимі); 2 – паливо, що пройшло додаткову ультразвукову обробку (при експлуатації системи охолодження та змащування дизеля у «штатному» режимі); 3 – паливо, що пройшло додаткову ультразвукову обробку (при експлуатації системи охолодження та змащування дизеля на мінімально допустимих температурних режимах)

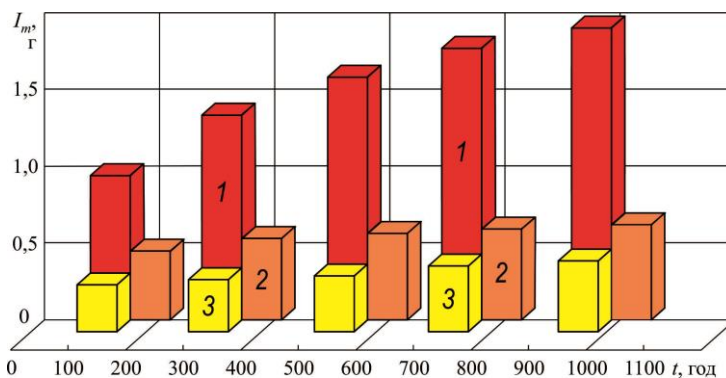


Рис. 3. Корозійний знос поршневих кілець суднового дизеля 6NSD-M Nigita Power Systems за різних умов експлуатації:

1 – паливо без додаткової обробки (при експлуатації системи охолодження та змащування дизеля у «штатному» режимі); 2 – паливо, що пройшло додаткову ультразвукову обробку (при експлуатації системи охолодження та змащування дизеля у «штатному» режимі); 3 – паливо, що пройшло додаткову ультразвукову обробку (при експлуатації системи охолодження та змащування дизеля на мінімально допустимих температурних режимах)

Висновки і перспективи подальших досліджень. Аналіз наведених результатів свідчить про те, що ультразвукова обробка палива призводить до зниження сірчистого зносу деталей ЦПГ, при цьому найбільше зниження цього параметра спостерігається для поршневих кілець, що особливо актуально, враховуючи важливість даного вузла у забезпеченні як якісних процесів стиснення, згоряння та розширення, і надійності роботи сполучення поршень – втулка циліндра. Також необхідно зазначити, що навіть в умовах, що сприяють підвищеному корозійному зносу (робота системи охолодження та змащування дизеля на мінімально допустимих температурних режимах), значення лінійного зносу циліндрових втулок, так і масового зносу поршневих кілець на 63...65 % менше аналогічних величин, отриманих для дизеля, що працює на пальному без додаткової підготовки.

Таким чином, отримані результати підтверджують доцільність застосування ультразвукової обробки сірчистих палив як додаткового методу паливопідготовки, що сприяє зниженню сірчистого зношування деталей ЦПГ суднового СОД.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sagin S.V., Sagin S.S., Fomin O., Gaichenia O., Zablotzkyi Y., Pí'st'ek V., Kučera P. Use of biofuels in marine diesel engines for sustainable and safe maritime transport // Renewable Energy. – 2024. – Vol. 224. – P. 120221. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120221>
2. Сагін А.С., Сагін С.В. Експериментальне визначення оптимальних фаз подачі палива в циліндр судових дизелів // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 206-215. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.22.
3. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // Technology Audit and Production Reserves. – 2023. – № 4(3(72)). – P. 33–42. [doi: https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039](https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039).
4. Побережний Р.В., Сагін С.В. Забезпечення екологічних показників дизелів суден річкового та морського транспорту // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. – 2020. – Вип. 41. – Одеса: НУ «ОМА». С. 5-9. DOI : 10.31653/smf340.2020.5-9.
5. Солодовніков В.Г., Руснак Д.Ю. Використання ультразвукової обробки палива у паливних системах судових середньообертових дизелів // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. – 2024. – Вип. 48. – Одеса: НУ «ОМА». С. 126-136. DOI : 10.31653/smf48.2024.126-136.

Підвищення ефективності систем наддуву суднових дизельних установок

Багаторічний досвід експлуатації суднових дизелів з турбонаддуванням свідчить про те, що в процесі їх роботи відбувається неминуче поступове погіршення технічного стану й характеристик турбокомпресора (ТК). Основною причиною зміни характеристик ТК є замет (забруднення) проточних частин турбіни й компресора, що приводить до зниження їх КПД і зміни пропускної здатності. У результаті зменшується витрата повітря на дизель, підвищуються температура випускних газів і питома витрата палива. Таким чином, у процесі експлуатації ступінь погодженості характеристик дизеля й ТК, досягнута при розрахунках, проектуванні й доведенню, частково або повністю порушується. Агресивність хімічних сполук, що входять до складу відкладань, знижує надійність елементів ТК.

Процеси утвору відкладань у ТК. їхній вплив на характеристики суднових ДВЗ специфічні й досліджені недостатньо. Маловивченими є причини утвору заметів, питання впливу замету на характеристики компресорів і турбін, способи боротьби із заметами.

Відкладання на лопатках турбіни умовно можна розділити на три основні типи: 1) зольні – сухіпепло образні відкладання товщиною 0,1...0,3 мм, що володіють відносно високою шорсткістю; 2) сажистые мазеобразні відкладання, що досягають товщини 3 мм; 3) тверді пористі відкладання, що утворюються внаслідок вигорання відкладань другого типу або при роботі дизелів на важких високо грузлих сортах палива.

Виникнення відкладань починається з утвору на лопатках смолистолакової плівки, що з'являється в результаті як високотемпературного окиснення продуктів згоряння палива безпосередньо на металевій поверхні, так і конденсації різних продуктів окиснення випускних газів. Кількість відкладань і їх тип визначаються багатьма факторами — крапкою роси парових мікродомішок потоку, температурою поверхні лопаток, сортом застосовуваного палива, режимом роботи дизеля, густиною ґрат соплових і робочих лопаток і т.д.

При температурі газів перед турбіною $T < 300$ °С, незалежно від сорту палива, відкладання мають консистенцію густої мазі з великою смолистістю (другий тип). Товщина шару стабілізується на досить високому рівні (2...3 мм).

При зниженні температури T до 200 °С в'язкість відкладань різко зменшується, а при $T < 150$ °С вони стають рідкими й здувають потоком газу.

Перехід дизеля на режими роботи з $tT > 300$ °С приводить до припинення росту відкладань і їх висушуванню. Однак товщина шару, що раніше

утворювався, при $t_t < 300$ °С мало зменшується, він тільки ущільнюється. При $t_t > 400$ °С рідина повністю випарюється з-під шару відкладань, що стикаються безпосередньо з лопаткою, внаслідок чого утворюються відкладання третього типу. Подальша експлуатація дизеля протягом 1...2 год при $t_t > 500$ °С може привести до відшаровування відкладань (режим «прожога»). «Прожог» на середніх навантаженнях дизеля ($350 < t_t < 500$) вимагає багатогодинної роботи, причому всяке короточасне скидання навантаження приводить до часткової або повній реставрації відкладань.

Таким чином, можна зробити вивід: замет проточної частини турбіни — неминучий фактор експлуатації; тип відкладань і їх товщина залежать головним чином від режимів роботи дизеля й сорту палива.

При використанні важких сортів палива максимальні відкладання спостерігаються при роботі дизелів на навантаженнях, близьких до номінальних. Це пояснюється наявністю в паливі таких елементів, як сірка, окисли ванадію, зола, натрій і ін. Відкладання на робочих лопатках турбін у цих випадках становлять 2...3 мм, а на соплових — 5...6 мм і мають надзвичайно тверду пористу структуру, близьку до структури відкладань третього типу. До складу відкладань на лопатках турбін входять п'ятиокись ванадію, сульфат натрію й інші з'єднання. Утворення максимального шару відкладань і його стабілізація відбуваються в перші 100...200 ч. роботи дизеля.

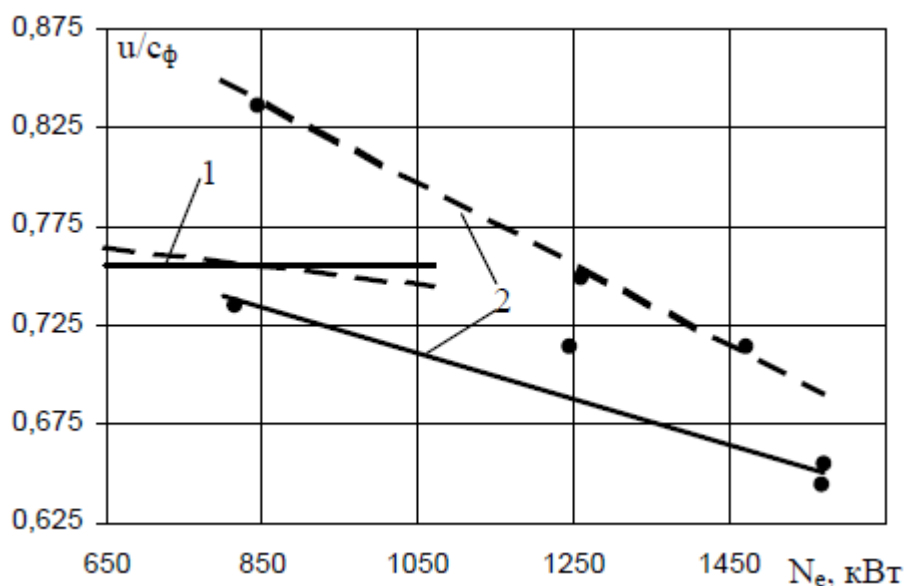


Рис. 1. Вплив забруднення турбіни на її характеристику: 1-дизель 8ЧНСП 32/48 (схема СТК); 2-дизель типу ЧН 16/17 (схема ПТК); суцільні лінії — турбіна з відкладаннями товщиною 1...2 мм, пунктирні — чиста турбіна

Відкладання (забруднення) на робітниках і соплових лопатках турбіни приводять до збільшення втрат тертя, зміні ліній струму, кутів атаки і т.д. При схемі з вільним турбокомпресором (СТК) характеристика турбіни u/c_ϕ залишається практично постійною в широкому інтервалі зміни навантаження дизеля (рис. 1), у зв'язку, із чим величина δ (u/c_ϕ) близька до нуля. Таким чином зміну, що вирішує вплив на, коефіцієнтів швидкості виявляє

шорсткість поверхні лопаток і збільшення їх товщини в результаті утвору відкладань.

Результати експериментального дослідження роздільного впливу цих двох факторів на ККД однесхідчастої турбіни наведені на рис. 2. Як видно, при невеликій відносній товщині шару відкладань основний вплив на зниження ККД турбіни виявляє відносна шорсткість $-\Delta_{ш} = -K_{ш} = K_{ш}/b_2$ шару відкладань (b_2 – хорда робочої лопатки).

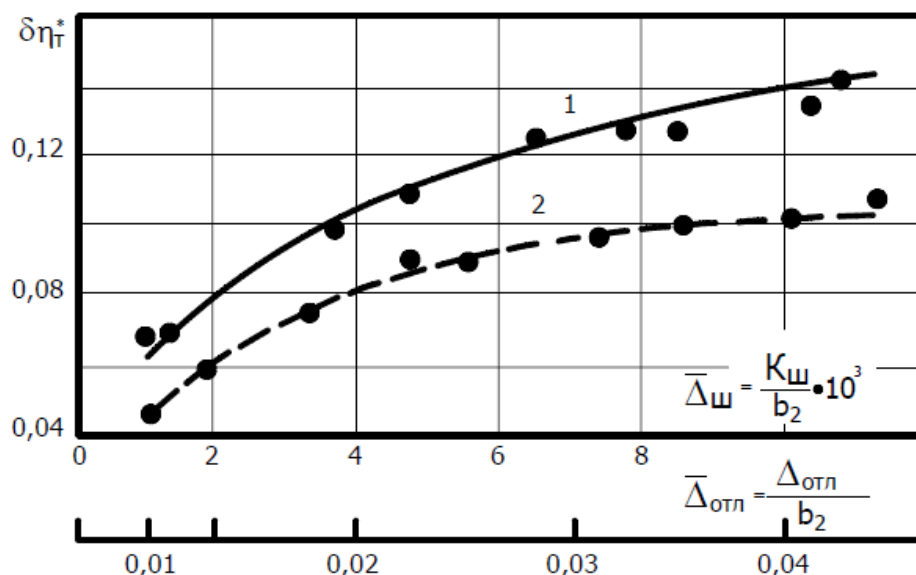


Рис. 2. Вплив шорсткості лопаток і товщини шару відкладань на відносне зниження ККД турбіни. (1 – сумарний вплив шорсткості й товщини; 2 – вплив шорсткості)

Таким чином, теоретичний аналіз і досвід експлуатації дозволяють зробити вивід про те, що середньо - експлуатаційний ККД турбіни при відкладаннях першого типу (робота на дистиллятних сортах палива й навантаженнях, близьких до номінальної) нижче стендового рівня на 5...7 % (відносних). При відкладаннях другого типу — на 8...10 %.

ЛІТЕРАТУРА

1. В.А. Пилев, Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників. Т. 4. Основи САПР ДВЗ. / В.А. Пилев, За ред. А.П. Марченка, А.Ф. Шеховцова – Харків: Видавн. центр НТУ “ХПІ”, 2004.
2. Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т.5. Екологізація ДВЗ. / Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, За редакцією А.П. Марченка, А.Ф. Шеховцова – Харків: Видавничий центр НТУ “ХПІ”, 2004.
3. Ф.И. Абрамчук, Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т.6. Надійність ДВЗ. / Ф.И. Абрамчук, За редакцією А.П. Марченка, А.Ф. Шеховцова. – Харків: Видавн. центр НТУ “ХПІ”, 2004.
4. [Суворов П.С.](#) Режим роботи суднових дизелів [Текст]: наукове видання / Суворов П.С. - Одеса : ОНМА, 2007. - 384 с.
5. [Бидуля, Н. В](#) Технічна експлуатація суднових дизельних установок [Видання четверте доповнене] : навчальний посібник . / Н.В Бидуля. Херсон : [б. и.], 2010. - 229 С.

Підвищення ефективності процесу очищення суднових

Постановка проблеми в загальному вигляді. Експлуатація суден морських та внутрішніх водних засобів транспорту під час забезпечення перевезення вантажів та пасажирів не можлива без споживання палива. Найбільш економічним з теплових двигунів, що встановлюються на морських та річкових суднах, є дизелі. Порівняно з газовими турбінами та паровими котлами суднові дизелі характеризуються найменшою питомою витратою палива (для сучасних моделей її значення не перевищує 175...180 г/(кВт·год) для двотактних дизелів та 190...195 г/(кВт·год) для чотиритактних). Найбільш поширеним типом суднового палива є рідке паливо нафтового походження. Використання газоподібного палива, а також його сумішей з рідким паливом знаходить поширення лише на спеціалізованих суднах класів LNG та LPG, на які це паливо транспортується як вантаж. При цьому, як правило, його використання можливе впродовж лише «вантажного» переходу. Після розвантаження судна та під час його повернення в баласті експлуатація дизелів здійснюється на рідкому паливі.

Палива для суднових дизелів традиційно поділяють на важкі та легкі. Подібна градація пов'язана з їхньою питомою вагою / густиною. Густина важких палив становить 950...980 кг/м³ (при цьому можливі випадки використання палива густиною понад 1000 кг/м³). Густина легких – 850...900 кг/м³. Забезпечити якісне впорскування палива з подібною густиною через розпилювачі форсунок суднових дизелів неможливо. Тому паливо піддається нагріванню, у процесі якого змінюється як густина, так і в'язкість палива. До категорії важких відносяться палива, в'язкість яких за 50 °С перевищує 50 мм²/с (у сучасних дизелях використовуються палива з в'язкістю до 500...700 мм²/с). Легкі палива характеризуються в'язкістю 2...40 мм²/с. Експлуатація суднових дизелів на режимах, що встановилися (під час навантаження 25...105 %) відбувається на важкому паливі. У цьому діапазоні роботи тепловий стан циліндрової групи дизеля забезпечує концентрацію енергії від стиснення повітря у верхній частині циліндра, що забезпечує надійне самозаймання палива. Температура самозаймання легких сортів палива нижча, ніж важких. Тому легкі сорти використовуються під час пуску та реверсу дизеля. На цих режимах (через малу частоту обертання валу дизеля) тепла енергія стиснутого повітря розосереджується по всьому циліндру. Це зменшує температуру повітря в момент упорскування палива і може бути причиною відсутності самозаймання палива [1, 84].

Палива нафтового походження, що використовують як джерело енергії теплових двигунів морських засобів транспорту, отримують шляхом дистиляції та крекінг обробки сирової нафти. Це процес пов'язаний з виділенням з нафти різних фракцій, що википають за різною температурою. Діапазон те-

мператур, за яким здійснюється википання нафти, знаходиться в широкому інтервалі – 30...400°C. Палива, що отримують за цих умов (так званої прямої перегонки нафти), відносять до палив з легким фракційним складом. Частина нафти, що не википіла за цієї температури, підлягає подальшій обробці за підвищеним тиском та википає за температури 350...700°C. Ці палива (що отримують як результат так званої вторинної перегонки нафти) відносять до палив погіршеного, або важкого, фракційного складу. При цьому саме на цих сортах паливах експлуатуються всі сучасні дизелі, тому саме ці палива вимагають спеціальної підготовки перед подачею в циліндр

Одним зі шляхів розв'язання цієї проблеми є підвищення якості очищення суднових палив підвищеної густини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні роки на транспортних суднах важкі сорти палива високої в'язкості, що мають більш низьку вартість, використовуються на всіх типах дизелів – як малообертових (МОД), також середньообертових (СОД). Згідно з вимогами таких провідних фірм, що будують дизелі, як Wartsila-Sulzer, MAN Diesel & Turbo суднові СОД повинні надійно експлуатуватися на всіх режимах (в тому числі на пускових і перехідних) при використанні палив з в'язкістю до 380 мм²/с. Перспективи розвитку транспортного суднобудування із застосуванням СОД в світовій практиці тісно пов'язані з використанням подібних видів палива. При цьому слід зазначити, що важкі сорти палива використовуються для роботи як головних СОД, що передають свою потужність на рушій, так і допоміжних, які є приводом електричних генераторів двигунів. Крім того, в судову практику чітко простежується тенденція використання важких сортів палива не тільки для сучасних моделей СОД, а й переведенні СОД попередніх моделей (спроектованих з умовою роботи на легких сортах палива) на експлуатацію на паливі з підвищеною в'язкістю.

Аналіз досліджень з підготовки судового палива до його спалювання в циліндрі дизеля показує, що традиційними методами очищення палива є відстоювання, сепарації і фільтрація, основним завданням яких є видалення з нього води, механічних домішок і золи. Це завдання сформулювалася в результаті аналізу впливу домішок, що знаходяться в паливі, на показники роботи дизеля і тих методів і засобів підготовки палива, якими володіє більшість СЕУ [4, 5].

Відстоювання палива, як метод очищення палива від механічних домішок і води, здійснюється під дією сили тяжіння за рахунок більшої густини забруднюючих частинок.

Процес фільтрації полягає в очищенні палива від механічних домішок при проходженні його, через елемент, що фільтрує. В даний час в системах підготовки важкого палива застосовують фільтри, що відокремлюють механічні домішки і воду. Простота, надійність і автоматизоване управління роботою цих фільтрів є їх перевагами в порівнянні з складними, дорогими, такими, що вимагають кваліфікованого обслуговування відцентровими

сепараторами. На багатьох морських судах спеціальні фільтраційні установки повністю замінили сепараторів.

Сепарація найбільш ефективний засіб очищення палива від води і механічних домішок. Сепарація дозволяє видалити з палива всі металеві частинки розміром більше 1 мкм і неметалічні частинки розміром 2...3 мкм, знизити зміст води 0,2 %, а також значно зменшити зольність палива. Система сепарації призначена для очищення палива від води і механічних домішок і для заповнення очищеним паливом витратних цистерн. Перед сепарацією паливо частково очищається від води і механічних домішок у відстійній цистерні. Сепарації набуває особливо важливе значення під час використання в дизелях важких палив. Підвищення якості палива шляхом сепарації дозволяє зменшити зношування деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ) і паливної апаратури, зменшити утворення нагарів в циліндрах і підвищити економічність дизеля [6].

Постановка завдання. Метою дослідження підвищення є визначення технологічної схеми сепарації важкого палива з підвищеною густиною з одночасним підвищенням надійності роботи суднового сепаратора.

Виклад основного матеріалу дослідження. Однією з сучасних систем сепарації палива є система обробки палива PureDry, яка не лише забезпечує процес сепарації палива, що далі спрямовується до дизеля, впорскується та згорає, а і виконує повторну сепарацію відпрацьованого палива з метою можливості повернення його частини в паливну систему.

Система PureDry дозволяє судновласникам отримати значні доходи від використання сепаратора, що дозволяє відновляти паливо з відходів, для повторного використання в дизельних двигунах або котлів. У той же час, це ефективно усуває проблеми, пов'язані з нафтовмісними відходами. Принцип PureDry виявився надійним і ефективним способом безперервного відновлення палива в дизельному двигуні [7, 8]. Схема системи сепарації палива надана на рис. 1.

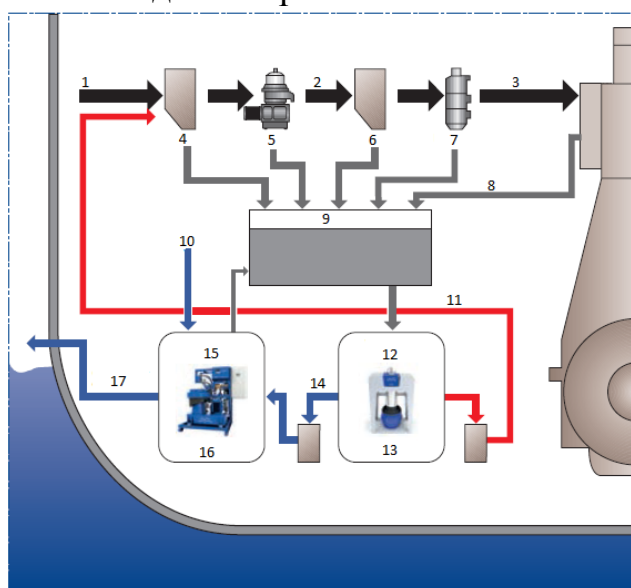


Рис. 1. Система Альфа Лаваль PureDry:

- 1 – паливо з бункерного танка;
- 2 – система обробки палива; 3 – паливо в дизельний двигун; 4 – відстійник;
- 5 – сепаратор; 6 – видаткова цистерна;
- 7 – паливний фільтр; 8 – витоки двигуна; 9 – бак з відходами палива;
- 10 – водостік лляльних вод;
- 11 – відновлене паливо;
- 12 – відновлення відпрацьованого палива; 13 – PureDry; 14 – вода;
- 15 – сепарування лляльних вод;
- 16 – сепаратор лляльних вод;
- 17 – відведення води за борт

Переваги системи:

- зниження до 2 % в паливному законопроекті відновлення палива;

- відновлене паливо може бути переведено в бункерний танк;
- зниження вуглецевого сліду діоксиду;
- утилізація відходів палива являє собою цінний внесок у скорочення викидів CO₂, для судноплавних компаній з навколишнім середовищем;
- зниження обсягів нафтовмісних відходів 99 %;
- система видаляє максимальну кількість води з відпрацьованого палива, і направляє його в систему лляльних вод, тим самим усуваючи нафтовмісні відходи;
- економія витрат на бункерування нафтових відходів;
- система сприяє значній економії в цілому;
- вартість складання відпрацьованого палива і твердих частинок;
- зниження обсягів танків для відпрацьованого палива та стічних вод.

Переваги системи також підтверджується залежностями, що наведені на рис. 2 та відображають економічність використання системи PureDry фірми Alfa-Lava за різних умов її експлуатації.

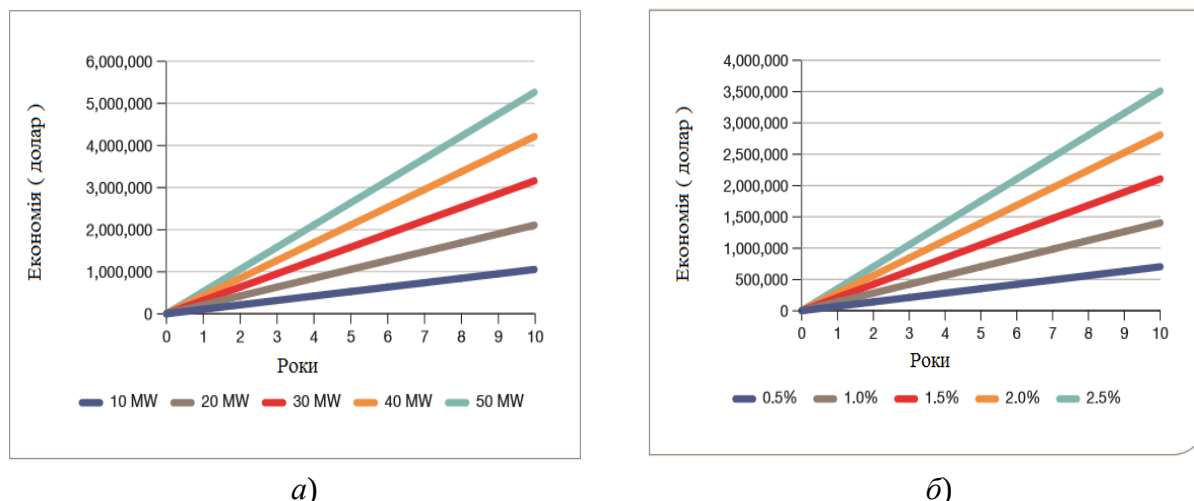


Рис. 2. Економічність використання системи PureDry фірми Alfa-Lava за різних умов її експлуатації:

a – в залежності від потужності дизеля; *б* – в залежності від вмісту механічних домішок

Висновки і перспективи подальших досліджень. В результаті проведених досліджень зробимо наступні висновки.

1) світове дизелебудування (в тому числі і суднове) продовжує розвиток тенденції до збільшення агрегатних потужностей дизелів, при цьому одночасно з підвищенням їх ефективних показників зростають енергетичні витрати, що пов'язані із забезпеченням функціонування систем підготовки палива та підтримки заданих експлуатаційних характеристик палива;

2) суднова система підготовки палива системою, експлуатація якої прямо впливає на економічність роботи судових дизелів та енергетичну ефективність всієї СЕУ;

3) широке застосування високов'язких палив та палив з підвищеною густиною в сучасних судових СОД, а також переведення СОД попередніх моделей на подібні сорти палива вимагають створення спеціальних систем і

технологій його очищення від домішок і підготовки до подальшого спалювання в циліндрі дизеля;

4) для безаварійної і ефективної роботи суднових дизелів при використанні важких сортів палива необхідна особлива увага до його очищення;

5) для зменшення витрат, що пов'язані з перевезенням та подальшою здачею на берегові станції залишків нафтопродуктів ціле подібно використовувати подвійну сепарацію палива.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сагін С.В., Побережний Р.В. Аналіз ефективності використання в суднових дизелях палив різного фракційного та структурного складу // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 31-42. doi: 10.31653/smf45.2022.31142-42.

2. Sagin A.S., Zablotskyi Yu.V. Reliability maintenance of fuel equipment on marine and inland navigation vessels // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7–8 (July – August). – P. 14-17. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-14-17>.

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

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

5. Заблоцкий Ю.В. Підвищення економічності роботи суднових дизелів // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. Вип. 40. – Одеса : НУ «ОМА». – 2020. – С. 12-16. DOI : 10.31653/smf340.2020.12-16.

7. Sagin S.V., Sagin S.S., Fomin O., Gaichenia O., Zablotskyi Y., Piřtřek V., Kuřcera P. Use of biofuels in marine diesel engines for sustainable and safe maritime transport // Renewable Energy. – 2024. – Vol. 224. – P. 120221. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120221>

8. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // Technology Audit and Production Reserves. – 2023. – № 4(3(72)). – P. 33–42. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039>.

Підвищення експлуатаційних показників суднових дизелів

Постановка проблеми в загальному вигляді. Суднові двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) є найбільшими споживачами рідкого палива. Потужність головних і допоміжних двигунів суднових енергетичних установок лежить в діапазоні від декількох сотень до десятків тисяч кіловат. При середньому питомій ефективному витраті палива 180...185 кг/(кВт·год) добова витрата палива головним двигуном може становити 50 тонн/добу, а допоміжними двигунами, кількість яких на сучасних судах до чотирьох, а число паралельно працюючих до трьох, 10...12 тонн/добу. В таких умовах навіть мінімальне зниження витрати палива на 3...4 кг/(кВт·год) призводить до суттєвої економії палива і скорочення експлуатаційних витрат.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відповідно до стандарту на паливо DIS DP-8217, розробленого міжнародною організацією по стандартизації ISO, в суднових двигунах внутрішнього згоряння використовуються два сорти дистильного палива – чисте дизельне паливо DMB і змішане паливо DMC, а також очищене паливо RM. Діапазон в'язкості палив класу DMB і DMC при 100°C лежить в межах 5...10 сСт, а їх густина при 15°C становить 820...850 кг/м³. В зв'язку з цим дані сорти палива називають легкими. Палива класу RM (RMG, RMH, RMK) мають в'язкість при 100°C 35...55 сСт і густину при 15°C 990...1010 кг/м³ і називаються важкими. Важкі сорти мають більш низьку вартість в порівнянні з легкими, що визначає їх використання в суднових дизелях для скорочення фінансових витрат на придбання палива. Також необхідно відзначити, що важкі сорти палив застосовуються для забезпечення роботи суднових дизелів на всіх режимах роботи, в тому числі на режимах пуску та реверсування [1]. Якісне згоряння палива неможливо без їх попередньої обробки. З цією метою використовують різні способи. Деякі з них (наприклад, сепарація та фільтрація) призводять до втрати теплотворної здатності палива, деякі (гомогенізація, гідродинамічне очищення) вимагають додаткових затрат енергії [2].

Постановка завдання. Різноманіття способів підготовки палива повністю не вирішує основної мети цього процесу – забезпечення згоряння палива з мінімізацією його питомої витрати.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для покращення якості підготовки палива та паливної економічності на багатьох морських судах використовується хімічна обробка палива, при якій в паливну систему за допомогою спеціальних дозуючих пристроїв вводяться спеціальні реагенти (присадки), які сприяють активації різноманітних властивостей палива. Однією з таких присадок є паливна присадка Yunic555D, яка додається в паливо підвищеної в'язкості з максимально можливим вмістом сірки. Саме

тому вона використовувалась в паливній системі суднового мало-обертового двигуна 5S50MC фірми MAN Diesel [2].

Вказана присадка має наступні характеристики. Yunic555D містить у своєму складі поверхнево-активний агент, який запобігає агломерації асфальтенів, тому забезпечує відсутність осаду у витратній цистерні, а також адсорбцію парафінових фракції на поверхнях паливної апаратури як системи низького, так і високого тиску. Підвищує диспергування складових часток палива на дуже дрібні частинки (до декількох десятків нанометрів) у його обсязі, що призводить до кращого розпилення та сумішоутворення з повітрям і покращує згоряння [3].

Рівень дозування присадок варіюється в широких межах і залежить від призначення присадки і характеристик паливної системи, в якій вона використовується. Присадки, які вводяться в паливні цистерни або окремі ділянки паливних магістралей для біологічного впливу на паливо або для зниження гідравлічних втрат, дозуються в співвідношенні 1:8000...1:12500. Присадки, що забезпечують поліпшення процесу згоряння палива, вводяться в нього в пропорції 1:1000...1:8000. І в тому, і в іншому випадку дозування може змінюватися в залежності від конструкції двигуна, експлуатаційного стану паливної системи, рівня забруднення палива в цистернах, елементарного складу палива (в залежності від вмісту домішок ванадію, натрію і сірки) [4].

Оптимальна концентрація присадки Yunic555D визначалась співвідношенням 1:6000. При використанні цієї присадки в паливній системі дизеля 5S50MC фірми MAN Diesel та його індиціюванні була отримана індикаторна діаграма, що наведена на рис. 1.

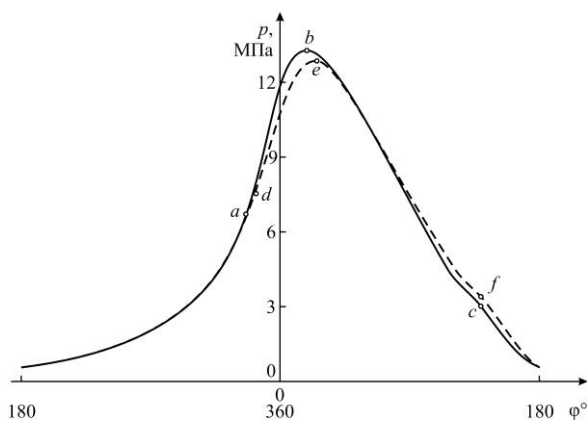


Рис. 1. Результати індиціювання суднового дизеля 5S50MC фірми MAN Diesel:

- — без використання присадки до палива Yunic555D;
- - - - при використанні присадки до палива Yunic555D

Наведені дані свідчать про покращення процесу згоряння палива, зокрема зниженню період затримки запалювання (яке у разі використання присадки Yunic555D здійснюється у точки *a*, порівняно з точкою *d*, коли дизель працює на паливі без присадки), зміщенню згоряння в бік ізохорного процесу (крива *a–b* на індикаторній діаграмі при використанні присадки Yunic555D, та крива *d–e* на індикаторній діаграмі без використання присадки), та скороченню періоду догоряння палива на лінії розширення

(крива $b-c$ на індикаторній діаграмі при використанні присадки Yunic555D, та крива $e-f$ на індикаторній діаграмі без використання присадки). Вказане сприяє зниженню питомої витрати палива на всьому діапазоні експлуатаційних навантажень дизеля (рис. 2).

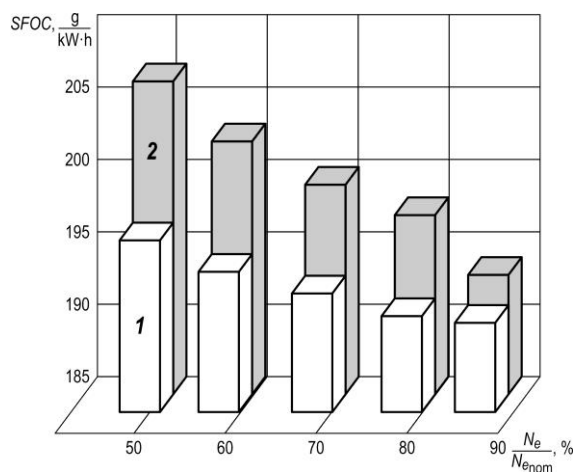


Рис. 2. Залежності питомої витрати палива SFOC дизеля 5S50MC фірми MAN Diesel від його відносної потужності $N_e/N_{e\text{ном}}$:

1 – під час використання присадки до палива Yunic555D;

2 – під час використання присадки до палива Yunic555D

Також при експериментальних випробуваннях визначався вплив присадки до палива на екологічні показники роботи суднового дизеля – вміст SO_x і NO_x в випускних газах. Результати цих досліджень наведені на рис. 3 і 4 та свідчать про поліпшення екологічних параметрів роботи дизеля, при цьому найбільше зниження рівня шкідливих викидів спостерігається в діапазоні навантажень 65...80 % – найбільш характерних для експлуатації ДВЗ морських суден [5].

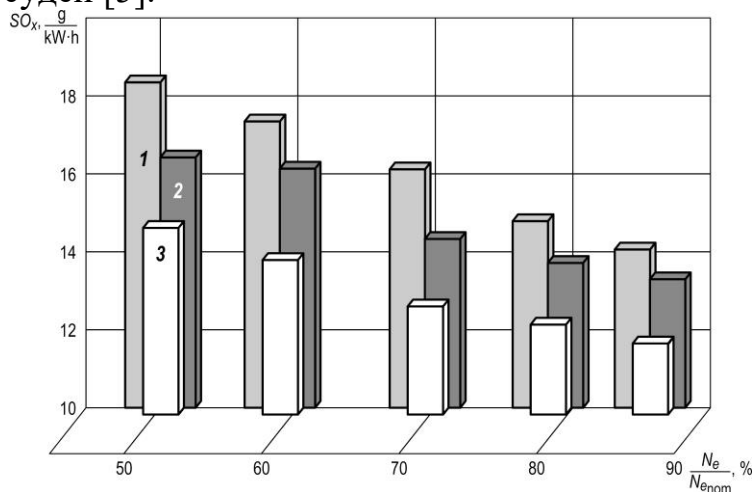


Рис. 3. Зміна концентрації SO_x в випускних газах суднового дизеля 5S50MC фірми MAN Diesel від його відносної потужності $N_e/N_{e\text{ном}}$:

1 – робота на паливі без присадки;

2 – робота на паливі з концентрацією присадки 1:4000;

3 – робота на паливі з концентрацією присадки 1:6000

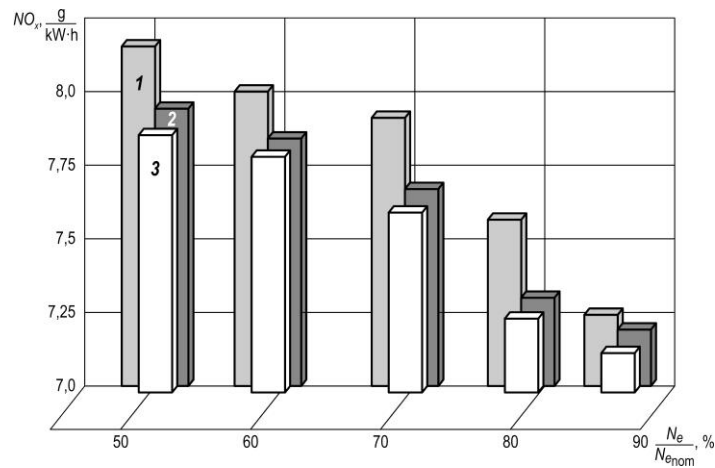


Рис. 4. Зміна концентрації NO_x в випускних газах суднового дизеля 5S50MC фірми MAN Diesel від його відносної потужності N_e/N_{enom} :

1 – робота на паливі без присадки; 2 – робота на паливі з концентрацією присадки 1:4000;
3 – робота на паливі з концентрацією присадки 1:6000

Висновки і перспективи подальших досліджень. Дослідження, що були виконані, та результати, що отримані, дозволяють зробити наступні висновки.

1. Одним з методів покращення експлуатаційних властивостей палива є використання паливних присадок, які можуть вводитися в паливну систему в різних точках: відстійному танку, витратному танку, паливних магістралях, а також перед його безпосередньою подачею в циліндр дизеля (перед паливними насосами високого тиску).

2. Використання присадок до палива призводить до підвищення паливної економічності суднового дизеля – зниженню питомої витрати палива від 3,5 до 5,8 %. 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. У разі застосування присадок до палива суттєво поліпшуються екологічні показники роботи дизеля. При цьому досягається зниження на 1,4...4,3% концентрації NO_x в випускних газах, а також на 15,6...22,9% знижується концентрація SO_x в випускних газах. Наведені факти особливо важливі в розрізі виконання вимог Annex IV MARPOL 73/78 та найбільш актуальні для чотиритактних дизелів, що тривалий час працюють у прибережних акваторіях і акваторіях морських портів.

Концентрація присадки має оптимальне значення, визначається експериментально і залежить від характеристик дизеля і палива, яке використовується при роботі дизеля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Солодовников В. Г. Обеспечение требований энергетической эффективности при подготовке тяжелых топлив для судовых двигателей внутреннего сгорания // Austria-science. – 2017. – № 7. – С. 33-37.

2. Sagin S. V., Solodovnikov V.G. Cavitation Treatment of High-Viscosity Marine Fuels for Medium-Speed Diesel Engines / S. V. Sagin, // Modern Applied Science. – 2015. – Vol. 9. – № 5. – P. 269-278. DOI:10.5539/mas.v9n5p269.

3. Zablotsky Yu.V., Sagin S.V. Enhancing Fuel Efficiency and Environmental Specifications of a Marine Diesel When using Fuel Additives // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9. – Iss. 46. – P. 353-362. DOI: [10.17485/ijst/2016/v9i46/107516](https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i46/107516).

4. Zablotsky Yu. V. Reducing of thermal factor of exit-gas system of marine medium-speed diesel engine due to the usage of fuel additives // Science and Education : material of the XIII international research and practice conference, Munich, November 2nd – 3rd, 2016. – Munich : Vela Verlag Waldkraiburg. – 2016. – P. 96-103.

5. Zabloysky Yu.V. Sagin S.V. Maintaining Boundary and Hydrodynamic Lubrication Modes in Operating High-pressure Fuel Injection Pumps of Marine Diesel Engines // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9. – Iss. 20. – P. 208-216. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i20/94490.

Левічев В.В., Парменова Д.Г.
Національний університет "Одеська морська академія"

Підвищення екологічних показників роботи суднових дизелів

Постановка проблеми в загальному вигляді. Найважливішими експлуатаційними характеристиками суднових двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) є показники надійності, паливної економічності та екологічної безпеки, що залежать від комплексу конструктивних та експлуатаційних факторів. Один із найбільш суттєвих факторів – якість дизельного палива. Фізичні та хімічні властивості палива впливають на процеси сумішоутворення та згоряння в циліндрах дизелів, повноту вигорання палива, паливну економічність, вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигуна, ресурс паливної апаратури та деталей циліндропоршневої групи. Найбільш поширеним способом забезпечення необхідних властивостей дизельного палива є підготовка до згоряння в циліндрі дизеля [1].

Накопичений досвід і аналіз роботи ДВЗ, які виконують функції головних / допоміжних двигунів суден морського та річкового флоту і експлуатуються на важких сортах нафтового палива, а також результати моніторингу думок фахівців-двигунобудівників свідчать про те, що якість палива може виявитися причиною ряду неполадок: підвищеного утворення вуглецевих відкладень на деталях циліндро-поршневої групи (ЦПГ) ДВЗ і в відцентрових сепараторах, інтенсифікації корозії і подальшого прогара випускних клапанів і їх сідел, погіршення процесу згоряння, підвищення температури випускних газів. Можуть виникати і такі проблеми, як зношування поршневих кілець, інтенсивне утворення відкладень на поршні, порушення гідравлічної щільності в прецизійних парах паливної апаратури високого тиску.

Поглиблення переробки нафти неминуче супроводжується збільшенням концентрації в паливі продуктів вторинних процесів. В останніх міститься значна кількість небажаних з'єднань, що погіршують експлуатацію дизельних двигунів. Цей же недолік характерний і для палив, що отримуються з альтернативної сировини. Пристосування дизелів до роботи на паливі низької якості з одночасним підвищенням їх надійності і економічності - важливе завдання, що виникає при експлуатації ДВЗ суден морського та річкового транспорту. Існують різні технологічні і технічні способи, спрямовані на її рішення. Одним з них (найпоширенішим на суднах морського та внутрішнього водного транспорту) є очищення важкого палива.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В даний час пропонується широкий спектр розв'язання завдання підвищення екологічних показників роботи суднових дизелів, проте ступінь їхньої ефективності неоднозначний. Вирізняють кілька напрямків:

- 1) підвищення якості організації робочого процесу;
- 2) підвищення якості традиційних видів палива, використання присадок, водопаливних емульсій та застосування альтернативних видів палива;

3) застосування систем очищення викидів ОГ суднових дизелів.

Відомо, що оксиди азоту утворюється із суміші азоту з киснем під час досягнення температури в зоні горіння 1200...1300 °С. У той же час, цепна реакція утворення NO_x (відповідно до всіма визнаною теорії Зельдовича) виникає за температурою більш за 1500 °С. З цих значень температури починається некерований процес утворення оксидів азоту, що виявляється в збільшенні їх емісії в довкілля. Саме тому всі технологічні способи, що спрямовані на зменшення емісії оксидів азоту, пов'язані зі зниженням температури під час згоряння палива в циліндрі дизеля. На це спрямовані «первинні» способи зниження емісії NO_x – тобто такі, що діють на процес згоряння палива (рис. 1).

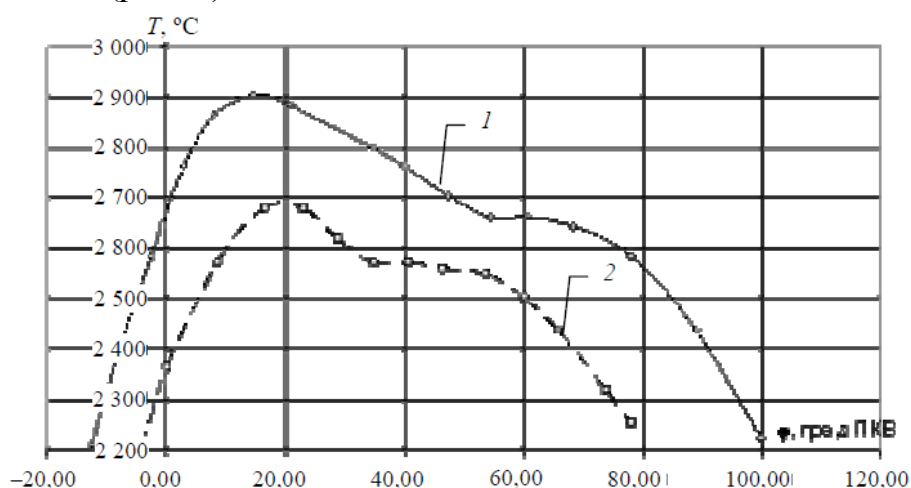


Рис. 1. Зміна температури в циліндрі дизеля під час згоряння палива:

1 – без використання первинних способів зменшення емісії NO_x ;

2 – з використанням первинних способів зменшення емісії NO_x

Високий ступінь очищення випускних газів суднових дизелів (до 90...95 %) від NO_x досягається за допомогою каталітичних генераторів (SCR-реакторів), що встановлюються у випускному колекторі. Цей варіант очищення відноситься до «вторинних» способів зниження емісії NO_x – таких, дія яких спрямована безпосередньо на випускні гази. Використання технології селективного каталітичного поновлення (Selective Catalytic Reduction – SCR) потребує значних додаткових витрат, які за різними оцінками досягають 40...70 \$ США на 1 кВт потужності дизеля. Тобто додаткові витрати на одне судно середньої водотоннажності з сумарною потужністю енергетичної установки (головного двигуна 8000...8500 кВт та допоміжних двигунів потужністю 1200...1500 кВт) становлять 370...700 тис. \$ США.

Альтернативою зазначеним способам скорочення емісії шкідливих домішок з газами, що йдуть, може служити використання водопаливних емульсій.

Фінська фірма «Wartsila» пропонує застосовувати в дизелях емульговане паливо на базі високов'язкого палива та додавання до 30 % водної фази та 0,5 % спеціальної присадки, що використовується для інтенсифікації горіння та підвищення стабільності утвореної емульсії.

Корпорація MAN-B&W у встановлених на круїзних суднах середньообертових дизелях нового покоління L48/60 і L58/64 використовує водопаливну емульсію з 15 % водомісткістю, що готується на базі високов'язкого палива та додатково змішується гідродинамічними ультразвуковими пристроями. Зміст NO_x у випускних газах дизелів йдуть, знизився до 6,7 г/(кВт·год). Відповідно до наведеної на рис. 2 діаграмою, що визначає послідовність введення в дію обмежень викидів NO_x згідно з розробленим ІМО технічним кодексом, використання MAN-B&W водопаливної емульсії забезпечує емісію NO_x з випускними газами практично вдвічі нижче нормативів ІМО.

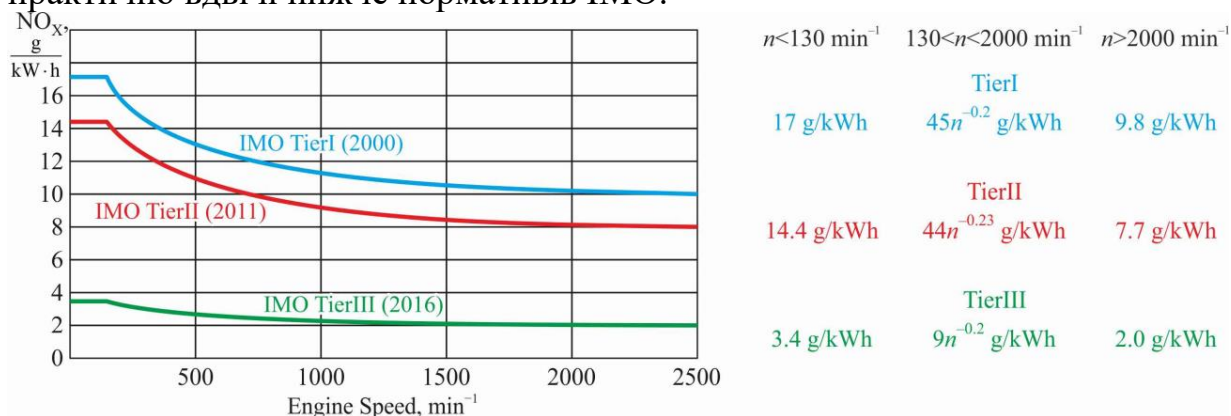


Рис. 2. Вимоги щодо емісії оксидів азоту з випускними газами суднових дизелів

Слід також визначити, що більшість суден морського та внутрішнього водного транспорту, які на теперішній час знаходяться в експлуатації, відносяться до рівнів ІМО Tier I та ІМО Tier II, тобто ці судна спущені на воду в період 2000...2011 рр. та до 2011...2016 рр. відповідно. Забезпечення вимог щодо емісії оксидів азоту з подібних суден можливо шляхом оптимізації робочого процесу та вдосконаленням конструкційних та експлуатаційних характеристик паливної апаратури високого тиску. Досягнення вимог Tier III можливо лише шляхом додаткових методів, до одного з яких відноситься використання водопаливних емульсій.

Постановка завдання. З урахуванням вищевикладеного, завданням дослідження було визначення впливу водопаливних емульсій на емісію оксидів азоту суднових дизелів та оцінка доцільності використання цього способу для підвищення екологічних показників роботи суднових дизелів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Методики та пристрої приготування водопаливних емульсій та прямого впорскування води в циліндри суднових дизелів розробляються, апробуються та впроваджуються давно, але можуть виявлятися мало-придатними для роботи дизелів на маневрових режимах, що виконуються зазвичай на прибережних акваторіях та безпосередньо в морських та річкових портах, розташованих, як правило, у межах населених пунктів. Порівняно легко ця проблема розв'язується застосуванням розробленої фірмою Wartsila системи автоматизованого приготування водопаливної емульсії, за умови чіткого визначення допустимого вмісту води в складі емульсії для кожного режиму роботи

дизеля (технологія Water in Water emulsion – WWE). Логічно припустити, що вплив величини вмісту води в емульсії далеко не однаково впливає на концентрацію різних компонентів, що входять до складу випускних газів. Тому вивчення співвідношення вмісту води в водопаливній емульсії та основні компонентів шкідливих викидів випускних газів суднових двигунів внутрішнього згоряння вимагає додаткового та ретельного вивчення.

Комплексні дослідження можливостей переведення суднових дизелів на водопаливну емульсію широкого типорозмірного ряду виконувалось фірмою Wartsila на чотиритактних дизелях серії R. Результати деякої частини цих випробувань, що виконувались на дизелі 6R32E, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Вміст шкідливих речовин у випускних газах суднового дизеля 6R32E на режимі номінального навантаження під час використання водопаливної емульсії

Показник	Сорт палива	
	DMA30 (вміст сірки S=0,08 %)	RMG380 (вміст сірки S=0,49 %)
Оксиди азоту NO _x , г/(кВт·год)	12,6	10,5
Оксиди вуглецю CO, г/(кВт·год)	10,5	2,3
Незгорілі вуглеводні CH, г/(кВт·год)	0,8	0,8
Оксиди сірки SO, г/(кВт·год)	2,3	10,1
Значення димності, індекс bosh	Максимальний	0,2

Аналізуючи результати досліджень, можна відзначити підвищення екологічних показників роботи дизеля під час його експлуатації на водопаливній емульсії.

До недоліків роботи дизелів на водопаливній емульсії слід віднести обмеження їх потужності до рівня не вище 75 % від номінального значення, через недостатню продуктивність паливних насосів. Це пов'язано з необхідністю збільшення циклової подачі водопаливної емульсії відносно циклової подачі чистого палива пропорційно вмісту води в емульсії.

Окремо визначимо результати, щодо визначення питомої витрати палива b_e та емісії оксидів азоту NO_x суднового дизеля 6R32E під час використання водопаливної емульсії (комплекс відповідних випробувань на яких вміст води в водопаливній емульсії коливався в діапазоні 0...30 % виконувався на 75 % навантаженні дизеля). Результати досліджень наведені на рис. 3

Аналіз результатів, що наведені на рис. 3, свідчить, що додавання води до палива сприяє не лише підвищенню екологічних показників роботи суднових дизелів, але також покращує їх економічність.

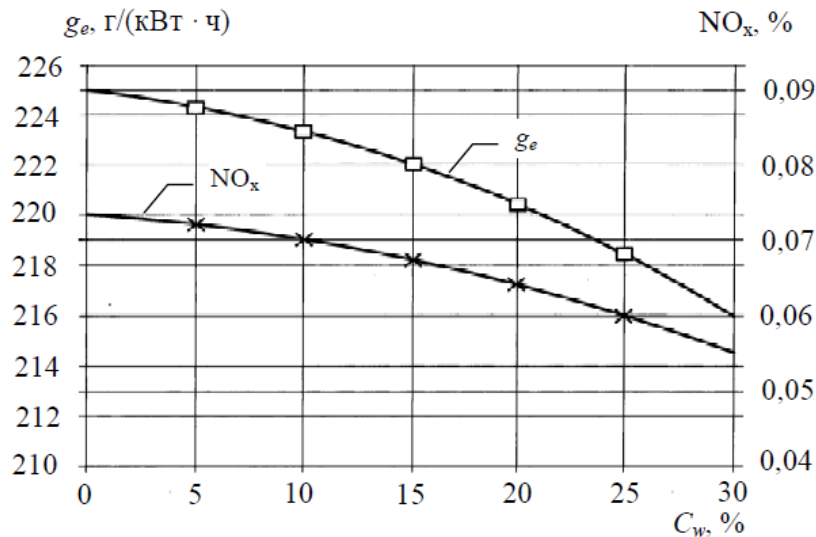


Рис. 3. Залежність питомої витрати палива g_e та емісії оксидів азоту NO_x суднового дизеля 6R32E на режимі 75 % навантаження під час використання водопаливної емульсії

Висновки і перспективи подальших досліджень. Під час розв'язання питання щодо переведення дизельної установки судна на водопаливну емульсію доцільно враховувати ступінь форсування двигунів, сорт палива та умови експлуатації судна. Оптимальна концентрація води у водопаливній емульсії для двигунів із середнім ефективним тиском до 1,5 МПа, як правило, не рекомендується вище за 15...20 %. Для більш форсованих двигунів, з середнім ефективним тиском до 2,0 МПа вона може сягати 30...40 % залежно від вимог, які висуваються до вмісту шкідливих речовин в випускних газах та до економічності двигуна.

Емульсія може готуватися безпосередньо перед використанням палива в двигуні, також і шляхом заповнення витратної цистерни паливом та водою та їх якісного змішування. Визначальними в цьому випадку є властивості палив, що використовуються, та наявність емульгуючих присадок. Таким чином, варіюючи концентрацію води та присадки у водопаливній емульсії, можливості паливної апаратури можна розробити рекомендації щодо застосування водопаливної емульсії у будь-яких умовах експлуатації кожного конкретного суднового дизеля.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сагін С.В., Побережний Р.В. Аналіз основних способів зниження емісії оксидів азоту дизелів суден морського та внутрішнього водного транспорту // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 44. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 132-141. doi: 10.31653/smf44.2022.132-141.
2. Sagin S., Kuropyatnyk O., Tkachenko I. Ensuring the environmental friendliness of marine diesel engines of specialized ships // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 142-156. doi: 10.31653/smf44.2022.142-156.
3. Сагін С.В., Побережний Р.В. Аналіз ефективності використання в судових дизелях палив різного фракційного та структурного складу // Суднові

енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 132-141. doi: 10.31653/smf45.2022.132-141.

4. Сагін С.В., Побережний Р.В. Метод управління факторами ризику виникнення аварійних ситуацій під час експлуатації пропульсивних комплексів засобів водного транспорту // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 46. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 110-117. doi: 10.31653/smf46.2023.110-117.

5. Сагін С.В., Сагін А.С. Контроль та діагностування надійності та економічності дизелів морських та річкових засобів транспорту // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 46. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 118-131. doi: 10.31653/smf46.2023.118-131.

Забезпечення вимог marpol щодо очищення суднових вод, що містять нафту

Постановка проблеми в загальному вигляді. На судах морського та внутрішнього водного транспорту очищення вод, що містять нафту відноситься до найбільш актуальних завдань, розв'язання якого безпосередньо пов'язане з надійністю технічної експлуатації суднового обладнання, а також з охороною довкілля від забруднення водами, що містять нафту особливо під час судноплавства в прибережних районах. Основні причини, через які здійснюється забруднення довкілля водами, що містять нафту наведені на рис. 1.

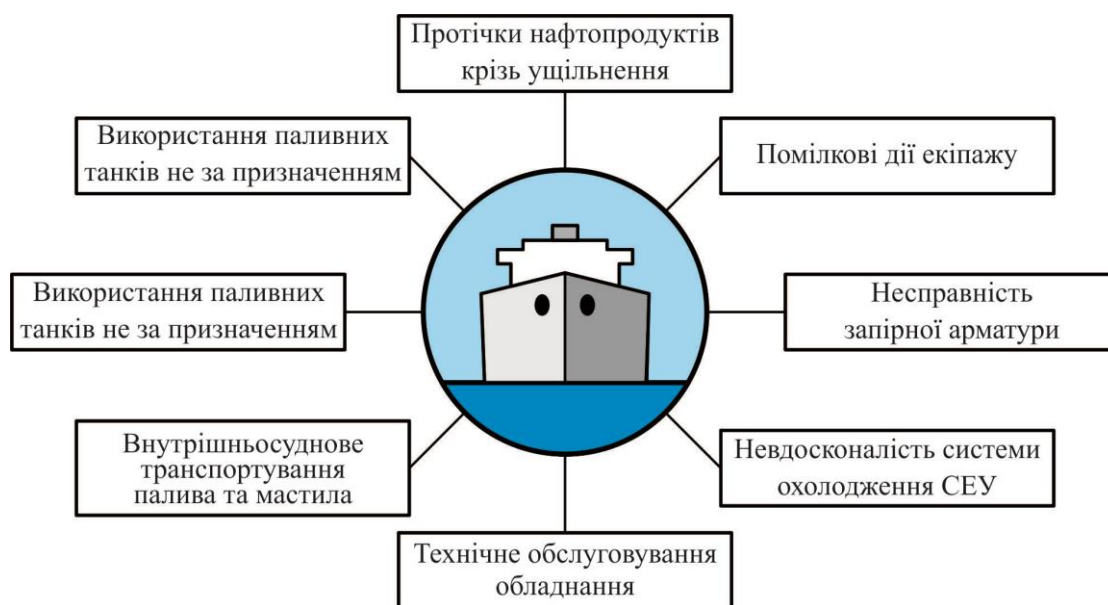


Рис. 1. Основні причини забруднення довкілля водами, що містять нафту наведені

Рівень очищення вод, що містять нафту від нафтових складових регламентується вимогами MARPOL – основного міжнародного документа з захисту водного та повітряного середовища від забруднень з морських та річкових суден. На судах морського та внутрішнього водного транспорту для очищення вод, що містять нафту набули поширення сепараційні установки відстійно-коалесцентного типу. Однак це просте та достатнє ефективне обладнання виявилось практично непридатним, коли в суднових енергетичних установках (насамперед дизелях, як найбільших споживачах палива нафтового походження) стали використовувати важкі сорти рідкого палива із густиною 950...980 кг/м³.

Нафтоводина суміш, що містить такі вуглеводні в емульгованому стані, не поділяється гравітацією навіть за умовою нагрівання. Тому дочистити воду після коалесцентної обробки можна лише фільтруванням її через нафтомісткий пористий матеріал. Звідси ефективність очищення лляльних вод залежить переважно від людського чинника, визнаного економією фінансових

коштів під час придбання запасних фільтроелементів і сплату послуг за виконання ремонтних робіт. Аналіз сучасних суднових технічних засобів очищення лляних вод показав, що вибір технології очищення лляльних вод і прийомів її реалізації є не завжди обґрунтованими, а отже, і неефективними. Причиною цього є відсутність достатніх знань про структуру та властивості води як рідини та краплинних нафтопродуктів у ній. Тому завдання забезпечення вимог MARPOL щодо очищення суднових вод, що містять нафту є актуальними та потребують постійного вивчення та вдосконалення методів, що їх забезпечують [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для виділення нафтопродуктів з вод, що містять нафту на судні має бути обладнання, що забезпечує сепарацію та фільтрацію. Судна, що не мають фільтруючого обладнання, повинні зберігати всі води, що містять нафту на борту та здавати їх на берегові або плавучі приймальні споруди [2].

Відповідно до існуючих вимог будь-яке судно валовою місткістю 400 рег. тонн і більше, але менше ніж 10000 рег. тонн має бути оснащено фільтруючим обладнанням. Відповідно до Додатку I, Правила 16, Конвенції MARPOL, судно валовою місткістю 10000 рег. тонн і більше повинно бути оснащено фільтруючим обладнанням та пристроєм сигналізації та автоматичного припинення скидання нафтовмісної суміші у разі, якщо вміст нафти у стоку перевищує 15 млн^{-1} (рис. 2) [3, 4].

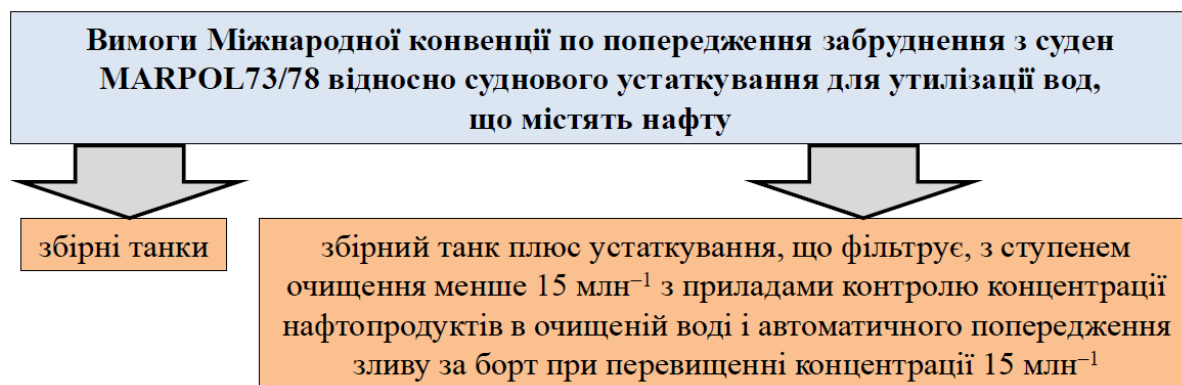


Рис. 2. Вимоги MARPOL щодо суднового обладнання з очищення ВМН

Постановка завдання. Метою дослідження є оптимізації технологічної схеми очищення вод, що містять нафту, яка забезпечує вміст нафти в воді, що містять нафту перед її видаленням за борт не більше 15 млн^{-1} за найменший час з найменшими втратами енергії.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для успішного розв'язання завдання підвищення ефективності очищення вод, що містять нафту безпосередньо в суднових умовах необхідно використовувати комплексний системний підхід, якій дозволяє враховувати вплив усіх елементів суднової енергетичної установки на якість очищення.

З проведеного аналізу різних способів і типів сепараторів для очищення вод, що містять нафту витікає, що найбільш перспективними і такими, що мають значні можливості підвищення ефективності роботи є коалесциючі елементи, що мають нежорстку структуру, що дозволяє робити їх ефективну

регенерацію. До таких коалесциючих елементів при відповідному конструктивному виконанні можна віднести тканинні фільтруючі елементи, мембранні фільтруючі елементи і коалесциючі елементи, що виконані у вигляді шару гранул. Суттєвий вплив на якість очищення спричиняє тип пристрою, що перекачує і місце його розташування в системі для очищення вод, що містять нафту.

Найбільш ефективним технічним рішенням для цієї сфери застосування є динамічні системи очищення вод, що містять нафту в яких використовується метод відцентрової сепарації, реалізований за допомогою високошвидкісних тарілчастих сепараторів [4].

Діюча в статичних системах сепарації природна сила гравітації (навантаження $1g$) в таких динамічних системах може бути збільшена в тисячі разів. Один звичайний відцентровий тарілчастий сепаратор дорівнює по ефективності традиційній статичній системі з площею відстою 20000 м^2 .

Крім того, гіроскопічний ефект рідини, що обертається з високою швидкістю усередині барабана сепаратора, нівелює дію кильової і бортової хитавиці. Результат – незмінно висока ефективність розподілу компонентів. Відцентрові тарілчасті сепаратори вже впродовж десятків років демонструють прекрасну ефективність очищення дизельного палива і мастила від води та твердих часток в морській індустрії [6].

Як сепаратор, що забезпечує виконання всіх вимог по якості очищення ВМН, доцільно використання сучасного сепаратору WWPX307 в комплексі з сепараційною установкою PureBilge.

Схема утворення вод, що містять нафту надана на рис. 1.

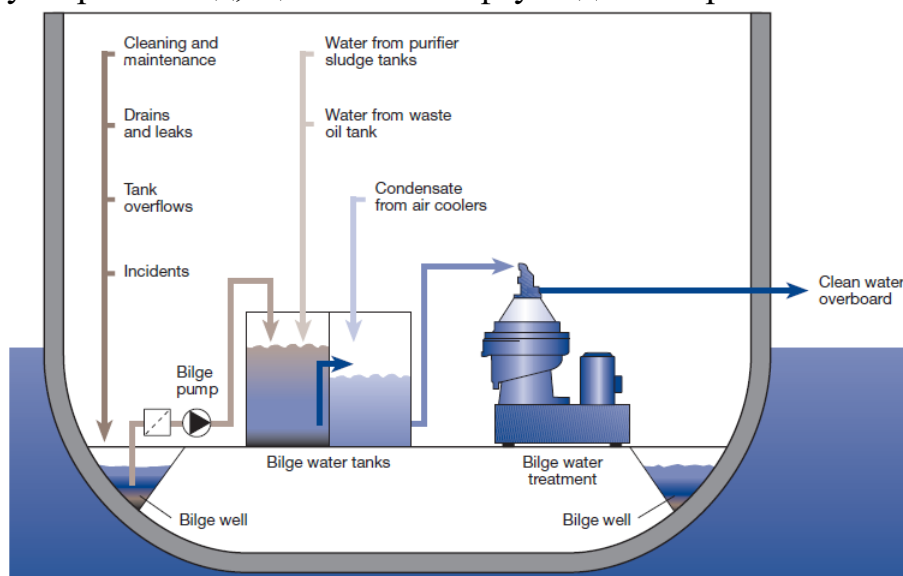


Рис. 1. Схема утворення вод, що містять нафту

Принцип дії установки сепарації PureBilge з сепаратором WWPX307 показаний на рис. 1.

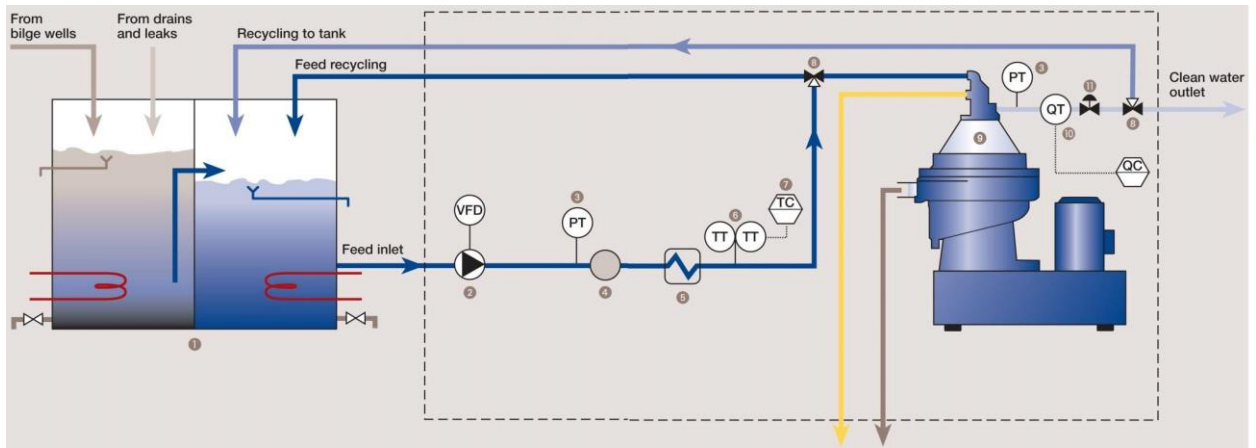


Рис. 1. Сепараційна установка PureBilge:

- 1 – двохстадійний відстійний танк льяльних вод; 2 – живильний насос;
 3 – манометр; 4 – фільтр; 5 – нагрівач; 6 – температурний трансмітер;
 7 – температурний контролер; 8 – триходовий клапан переключення;
 9 – BWPX 307 високо швидкісний відцентровий сепаратор; 10 – водо-мастильний ко-
 лектор; 11 – моделюючий клапан постійного тиску

Установка працює в такій спосіб. Живильний насос з регулюванням частоти направляє води, що містять нафту або трюмні води тільки з відстійного танка. Далі льяльна вода проходить через сітчастий фільтр, який затримує великі часток з рідини перед входом в теплообмінник, який піднімає температуру рідини на необхідному рівні, як правило, між 60° і 70°C, для оптимальної ефективності розподілу. Потім триходовий перемикальний клапан направляє рідину на сепарацію, якщо дотримані усі умови технологічного процесу, такі, як температура, тиски подачі і швидкість сепаратора.

Якщо який-небудь процес умов не виконується, клапан знову перемикає циркуляцію рідини знову у відстійний танк льяльних вод. Високошвидкісний відцентровий сепаратор безперервно обробляє великі об'єми льяльних вод. Випуск мастила безперервно відводиться в резервуар відпрацьованого масла.

Тверді частки, які збираються на периферії чаші сепаратора відводяться з перервами в шламовий танк. Розвантаження, яке зазвичай встановлюється на 20 хвилин, відбувається в задані інтервали залежно від установки. Вбудований водяний насос, або диск дифузора, постійно розвантажує відділену льяльну воду через вихід чистої води з сепаратора.

Відведення льяльних вод залежить від вмісту нафти в них, яке безперервно контролюються на точці відбору проб. Якщо вміст нафти нижче заданої межі (яка може бути встановлена в межах 5...15 млн⁻¹), відділена вода, що містить нафту може бути видалена безпосередньо за борт або в «чистий» танк води, що містить нафту для зливу за борт пізніше.

Експлуатація сепараційного та фільтруючого обладнання повинна здійснюватися в суворій відповідності з наявними на них інструкціями. Перевищення, наприклад, швидкості перекачування, заданою інструкцією, може стати причиною збільшення вмісту нафти в водах, що скидаються. Максима-

льну швидкість перекачування слід застосовувати при низькій концентрації нафти та воді, а при обробці сильно забрудненої води швидкість перекачування рекомендується знижувати.

Усі відмови в роботі сепараційного та фільтруючого обладнання необхідно фіксувати у формулярах на це обладнання. У разі коли встановлене на судні обладнання через свої технічні характеристики або через несправність не може знизити вміст нафти в воді, що містить нафту та / або баластових водах до максимально допустимого рівня (15 млн^{-1}), скидання за борт не проводиться. В цьому випадку воду, що містить нафту необхідно збирати в судові відстійні цистерни з подальшим здаванням в портову приймальну споруду.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Під час експлуатації судових енергетичних установок необхідно суворо дотримуватися вимог конвенції MARPOL, а також впроваджувати в судову енергетику технічне обладнання, яке не лише забезпечує виконання нормативних вимог цієї конвенції, але й гарантує їх виконання з високим ступенем резервування. Як таке обладнання можливо використання сучасної системи сепарації вод, що містять нафту – PureBilge, в склад якої включений сепаратор BWPX307. Ця система забезпечує рівень очищення вод, що містять нафту у діапазоні $5...7 \text{ млн}^{-1}$, що дозволяє безпечно скидання очищених вод в будь-яких районах Світового океану та дозволяє судовласникам виконувати відповідні існуючі на теперішній час екологічні вимоги.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sagin S. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe / S. Sagin, O. Kuropyatnyk, A. Sagin, I. Tkachenko, O. Fomin, V. Píštěk, P. Kučera // *Journal Marine Science and Engineering*. – 2022. 10, 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331/>
2. Ткаченко И.В. Использование гидродинамической суперкавитации для разделения и очистки нефтесодержащих вод морских судов / И.В. Ткаченко // *American Scientific Journal*. – 2017. – № 15. – Т. 2. – С. 59-62.
3. Ткаченко І. В. Розробка технології розділення і очищення вод, що містять нафту / І. В. Ткаченко // *Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. Вип. 40. – Одеса : НУ «ОМА». – 2020. – С. 24-30. DOI : 10.31653/smf340.2020.24-30.*
4. Ткаченко І. В. Використання в судових енергетичних установках технології гідродинамічної суперкавітації для розділення і очищення вод, що містять нафту / І. В. Ткаченко // *Вісник Одеського національного морського університету : Зб. Наук. праць, 2020. – № 2(62). – С. 130-141. DOI 10.47049/2226-1893-2020-1-130-141.*

Визначення критерію оцінки якості перебігу процесу інертизації вантажних танків суден-газовозів

Постановка проблеми в загальному вигляді. В теперішній час природний газ займає домінуючу позицію серед інших видів палива в багатьох країнах Світу. Природний газ використовується двигунах автомобільного, залізничного та морського транспорту, а також в стаціонарної енергетики та для забезпечення побутових потреб.

Зріджений природний газ є найкращою формою для перевезення та зберігання газу на судах. Однак, все обладнання для зберігання, передачі та використання газу має бути сконструйоване так, щоб постійно підтримувалися необхідні кріогенні умови. Крім того, всі технологічні операції з підготовки вантажних танків суден до транспортування ЗПГ, завантаження ЗПГ на судно-газовоз, транспортування ЗПГ з порту завантаження до порту вивантаження, вивантаження ЗПГ, зачищення вантажних танків після вивантаження ЗПГ повинні виконуватися відповідно до розроблених рекомендацій та забезпечувати конструкційну надійність, пожежо- та вибухобезпеку, екологічність та енергоефективність. Це є необхідною вимогою для безпечного та надійного функціонування суден, що забезпечують перевезення зрідженого газу [1].

Обов'язковим етапом вантажних операцій в порту вивантаження ЗПГ є інертизація танків. Після закінчення вивантаження в вантажних трюмах суден-газовозів завжди залишається декілька частина вантажу. Це пов'язано з неминучим підвищенням температури ЗПГ під час його вивантаження. Одночасно з цим частина залишків ЗПГ, що перевозився як вантаж, випаровується та (за властивостями газу) займає весь вільний обсяг вантажного танка. Саме на попередження цього ефекту спрямована інертизація вантажних танків, під час якої в них з тиском, підвищеним в порівнянні з тиском залишків парів вантажу, подається інертний газ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Прагнення прискорити вантажні операції та скоротити час стоянки судна змушує виконувати процес інертизації з максимально можливим для вантажної системи тиском інертного газу [2, 3]. При цьому саме максимально можливий тиск інертного газу, що подається в вантажні танки, є єдиним показником, що вказується нормативних документах, які регулюють виконання вантажних операцій. Одночасно з цим не існує документів, які визнають критичний тиск в системі інертизації, перебільшення якого призводить до порушення суцільності поділяючого шару. При цьому цей тиск може бути різний для різного вантажу, а також для різної кількості остаточного вантажу, що залишився в донній частині вантажного танку після проведення технологічної операції з його вивантаження [4, 5].

Постановка завдання. Викладене підтверджує актуальність завдання з визначення критерію оцінки якості перебігу процесу інертизації вантажних танків суден-газовозів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Якісний (концентрація азоту в атмосфері вантажного танку) та кількісний (час інертизації) показники процесу інертизації залежать від тиску, з яким інертний газ подається до вантажного танку. При цьому критерієм оцінки перебігу процесу інертизації є суцільність поділяючого шару, який знаходиться у вантажному танку між інертним газом та парами залишків вантажу. Підвищення тиску нагнітання інертного газу сприяє скороченню часу інертизації, але при цьому у випадку досягнення надкритичного тиску відбувається руйнування поділяючого шару. Це змушує повторювати інертизацію, що призводить до збільшення її загальної тривалості, а також підвищує стоянковий час судна та, відповідно, пов'язані з цим витрати. Негативна дія надкритичного тиску виявляється в його локальної (зонної) дії на окремої ділянці поділяючого шару, що знаходиться навпроти вхідного отвору, скрізь яке інертний газ потрапляє до вантажного танку. Зменшення локального тиску інертного газу на поділяючий шар можливо за рахунок переспрямування потоку газу під час його потрапляння до вантажного танку.

Переспрямування потоку інертного газу з одночасний гасінням його швидкості забезпечується шляхом встановлення додаткової параболоподібної відбивної поверхні. Це дозволяє збільшувати загальний тиск інертного газу при чому зменшується його локальна дія та попереджається контактні взаємодії струменю газу з поверхнею поділяючого шару. Це забезпечує цілісність поділяючого шару та сприяє проведенню процесу інертизації з максимально можливим тиском інертного газу.

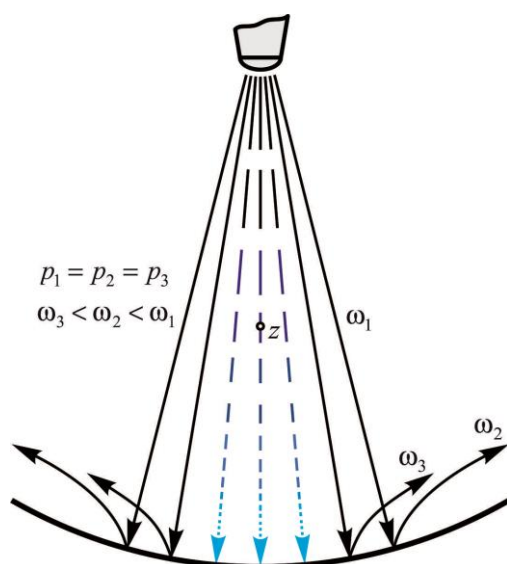


Рис. 1. Виникнення явищ розпаду та гасіння струменю інертного газу

За умовою малих швидкостей руху струменю газу під час його стикання з параболоподібною відбивною поверхнею через явище конвективної дифузії здійснюється розпад струменю (рис. 1).

Основними характеристиками процесу розпаду струменю є довжина її суцільної. У випадку встановлення напроти вхідного газового отвору параболоподібної відбивної поверхні разом з розпадом струменю газу виникає явище його гасіння. Цьому сприяє зворотні потоки інертного газу, що відбиваються від встановленої поверхні та рухається в зустрічному з основним потоком напрямку (рис. 1).

Для підтвердження запропонованого рішення на судні-газовозі вантажомісткістю 38646 м³ була виконана модернізація системи інертних газів, яка полягала в встановленні параболоподібної відбивної поверхні в верхньої частині вантажного танку. Встановлення подібної відбивної поверхні не впливало на кількість вантажу, що завантажувався в танк.

Вимірювання концентрації азоту за висотою вантажного танку під час випробувань здійснювалась на протязі 12 год. Під час досліджень тиск інертного газу складав 1,0 МПа (що є максимально можливим з рекомендованого фрахтувальником експлуатаційного діапазону) та 1,05 МПа (що є максимально можливим з експлуатаційних значень генератору інертних газів). результати досліджень наведені в таблицях 1-2.

Таблиця 1. Зміна концентрації азоту під час тиску нагнітання 1,00 МПа

Час, год	Концентрація азоту за різною висотою вантажного танку				
	0,95h	0,8h	0,5h	0,2h	0,05h
2	100	82	64	32	6
4	100	92	78	64	43
6	100	100	97	82	65
8	100	100	100	100	100
10	100	100	100	100	100
12	100	100	100	100	100

**Зеленим виділено час, за який завершується процес інертизації.*

Таблиця 2. Зміна концентрації азоту під час тиску нагнітання 1,05 МПа

Час, год	Концентрація азоту за різною висотою вантажного танку				
	0,95h	0,8h	0,5h	0,2h	0,05h
2	100	86	72	56	22
4	100	100	83	77	54
6	100	100	100	100	97
8	100	100	100	100	100
10	100	100	100	100	100
12	100	100	100	100	100

**Зеленим виділено час, за який завершується процес інертизації.*

Порівняння результатів досліджень, що відображають зміну концентрації азоту в атмосфері вантажного танку під час використання стандартної системи інертизації вантажних танків та модернізованої системи інертизації наведено на рис. 2, 3.

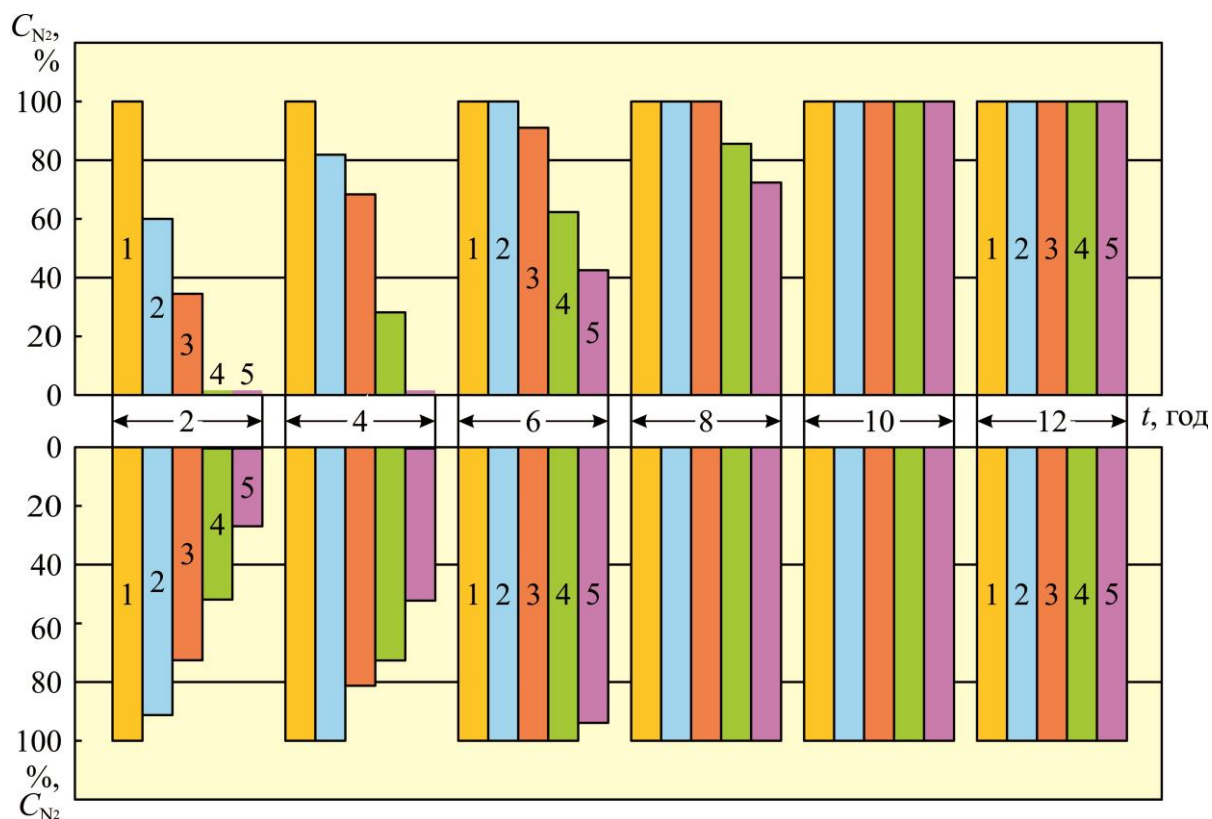


Рис. 2. Зміна концентрації азоту у вантажних танках судна-газовозу вантажомісткістю 38646 м³ без модернізації (верхня частина, тиск нагнітання 1,00 МПа), з модернізацією (нижня частина, тиск нагнітання 1,10 МПа): 1 – 0,95h; 2 – 0,8h; 3 – 0,5h; 4 – 0,2h; 5 – 0,05h

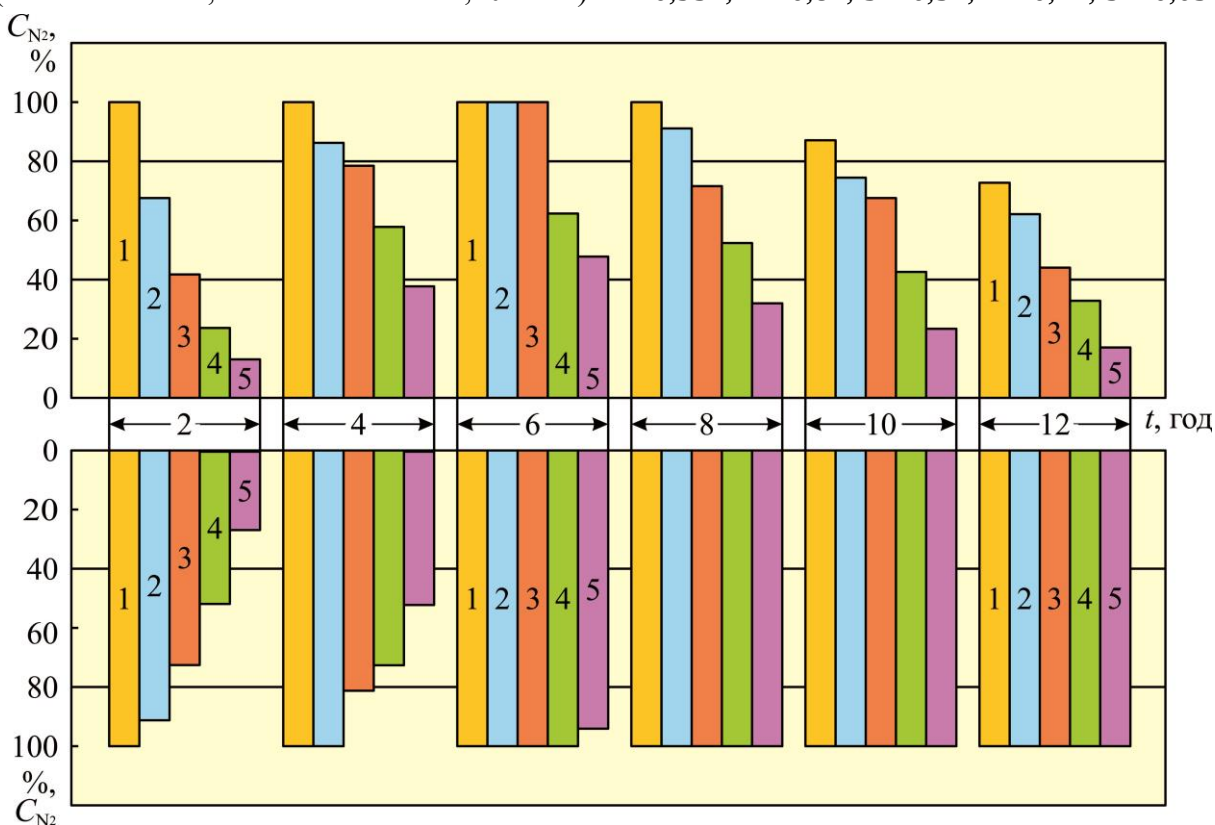


Рис. 3. Зміна концентрації азоту у вантажних танках судна-газовозу вантажомісткістю 38646 м³ без модернізації (верхня частина, тиск нагнітання 1,05 МПа), модернізована (нижня частина, тиск нагнітання 1,10 МПа): 1 – 0,95h; 2 – 0,8h; 3 – 0,5h; 4 – 0,2h; 5 – 0,05h

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

1. Інертизація вантажних танків після вивантаження перевезеного вантажу є обов'язковим технологічним процесом забезпечення якого можливо шляхом заповнення танків азотом, якій або генерується на судні, або подається з берегу.

2. Якісне проведення процесу інертизації можливо лише за умовою забезпечення стійкості та суцільності поділяючого шару, за допомогою якого попереджається сумішоутворення між парами вантажу, що залишився в танку після вивантаження, та інертним газом, що подається у вантажний танк.

3. Рекомендований фрахтувальником діапазон тиску інертного газу, що подається в вантажний танк для забезпечення процесу інертизації, не визначає найбільш раціональних значень – таких, за якими процес інертизації можливо виконати за найменший час з одночасним постійним підтриманням стійкості та суцільності поділяючого шару. Зменшення тиску нагнітання інертного газу сповільнює процес інертизації та збільшує його тривалість. Збільшення тиску нагнітання інертного газу прискорює інертизацію та скорочує час її проведення, але при цьому виникає небезпека руйнування поділяючого шару. Це призводить до виникнення сумішоутворення між інертним газом та парами залишків вантажу та змушує виконувати повторну інертизацію вантажних танків.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сагін С.В., Матейко О.В. Аналіз способів інертизації вантажних танків суден-газовозів // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 47. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 148-156. doi: 10.31653/smf47.2023.148-156.

2. Сагін С.В., Матейко О.В. Особливості інертизації вантажних танків під час перевезення вогнебезпечних речовин // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 2(40). – С. 36-49. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.03.

3. Матейко О.В. Оптимізація процесу інертизації вантажних танків суден-газовозів // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2024. – Вип. 48. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 75-88. doi: 10.31653/smf48.2024.75-88.

4. Matieiko O. Selection of optimal schemes for the inerting process of cargo tanks of gas carriers / O. Matieiko // Technology Audit and Production Reserves. – 2024. – №4(1(78)). – С. 43–50. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.310699>.

5. Matieiko O. Monitoring of the inertization of cargo tanks of LNG class vessels / O. Matieiko // Technology Audit and Production Reserves. – 2024. – № 5(1(79)). – С. 30–37. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.314048>.

Підвищення ефективності систем наддування суднових дизелів

Надійна та економічна робота двигуна може бути забезпечена за умови нормального функціонування всіх його вузлів і агрегатів. Газообмін у дизелях визначальним чином впливає на робочий процес дизеля, забезпечуючи його необхідною кількістю свіжого повітря і відводячи відпрацьовані гази.

Збільшення потужності надувного агрегату істотне значення має також конструкція повітряного тракту від турбокомпресора до циліндра, газовідвідного тракту після турбіни, де відбуваються істотні втрати через їх недосконалість.

Актуальне поліпшення ресурсних, економічних і екологічних показників суднових дизельних установок працюючих в умовах противотиску за рахунок науково обґрунтованого вдосконалювання схем газообміну, паливоподачі, впровадження нових режимних і конструктивних розв'язків роботи сучасних СЕУ.

Сучасні ДВЗ доповнюється теплоутилізаційним контуром, до складу якого входить перетворювач теплової енергії газів, що відробили, наприклад, утилізаційний паровий або водогрійний котел, генератор утилізаційної абсорбційної холодильної машини.

Залежно від ступеня утилізації теплоти кожний перетворювач має конкретний аеродинамічний опір, який створює підвищений тиск на випуску дизеля. Це підвищення впливає на експлуатаційні характеристики двигуна.

Метою даної роботи є дослідження робочого процесу, а також вибір принципової схеми й розробка системи наддування двигуна з підвищеним опором на випуску.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні завдання:

- оцінити вплив наявності підвищеного противотиску на випуску на показники робочого процесу (ефективні показники й показники токсичності дизельного двигуна);
- зробити аналіз різних систем воздухопостачання;
- розробити найвигіднішу систему воздухопостачання з погляду техніко економічних показників і компоновання на двигуні;
- на основі проведених досліджень розглянути можливість вибору системи повітропостачання й наддування, що дозволяє найбільше ефективно експлуатувати судновий дизель.

Зміна опору при збереженні циклової подачі палива приводить до зміни параметрів робочого тіла по всьому газоповітряному тракту дизеля. При

цьому, насамперед міняється відносної потужності турбіни (компресора) і коефіцієнта залишкових газів (рис.1).

Зменшення потужності головного двигуна приводить до зниження швидкості судна й, відповідно, його рентабельності. Для збереження швидкості судна потрібне збільшення потужності двигуна до розрахункового значення, на що затрачається додаткова кількість палива. Збільшення годинної витрати палива ΔB наведено на рис.2.

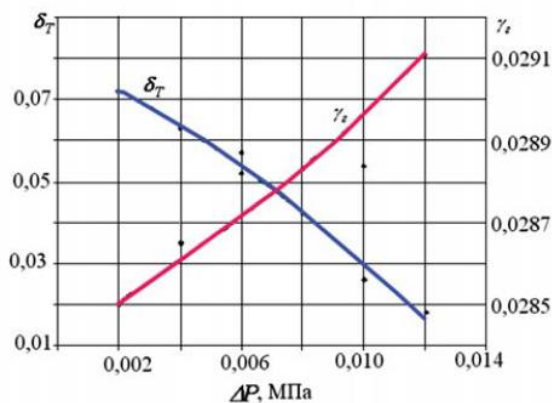


Рис.1 Залежності відносної потужності турбіни (компресора) і коефіцієнта залишкових газів від зміни опору випускного тракту

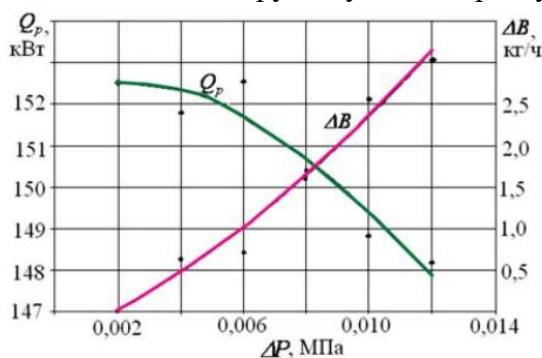


Рис.2 Залежності резерву утилізації й годинної витрати палива від зміни опору на випуску

Зниження температури робочого тіла наприкінці процесу наповнення приводить до зменшення його температури в момент початку подачі палива, а це збільшує час затримки запалення палива τ_i (або підвищується кут повороту колінчатого вала φ_i , відповідний до часу затримки самозапалювання палива) (рис.3).

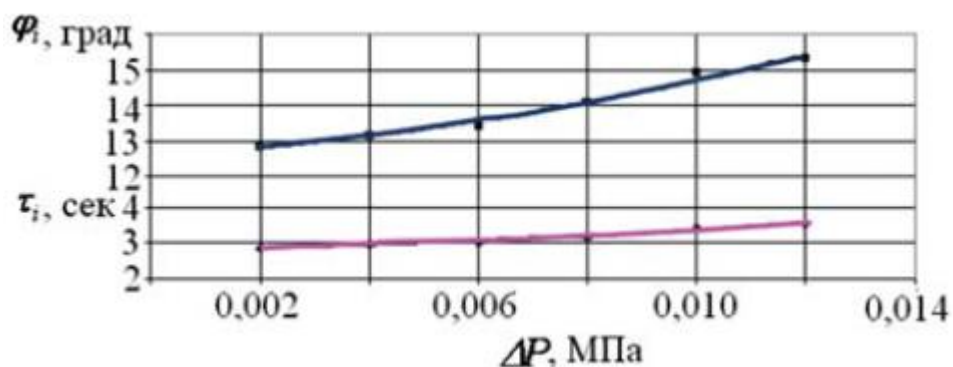


Рис.3 Залежності часу затримки запалення палива τ_i і відповідного кута повороту колінчатого вала φ_i від зміни опору на випуску

У результаті проведених досліджень виявлене, що підвищення опору на випуску дизеля впливає на експлуатаційні параметри, підвищує тепло напруженість двигуна, при цьому зменшуються потужність і ККД.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Марченко А.П. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т. 3. Комп'ютерні системи керування ДВЗ. / А.П. Марченко, А.Ф. Шеховцов, Н.К. Рязанцев – Харків: Видавн. центр НТУ “ХПІ”, 2004.
2. В.А. Пилєв, Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників. Т. 4. Основи САПР ДВЗ. / В.А. Пилєв, За ред. А.П. Марченка, А.Ф. Шеховцова – Харків: Видавн. центр НТУ “ХПІ”, 2004.
3. [Кодымский Э.И.](#) Особливості технічної експлуатації суднових малооборотних дизелів [Текст]: науково-популярна література / Э И. Кодымский Э.И. . Одесса : ЛАТСТАР, 2002. - 132 с.
4. [Суворов П.С.](#) Режими роботи суднових дизелів [Текст]: наукове видання / Суворов П.С. - Одесса : ОНМА, 2007. - 384 с.
5. [Бидуля, Н. В](#) Технічна експлуатація суднових дизельних установок [Видання четверте доповнене] : навчальний посібник . / Н.В Бидуля. Херсон : [б. и.], 2010. - 229 С.
6. Регістр судноплавства України, Київ, 2013.

Поліпшення експлуатаційних показників роботи суднових дизелів

Постановка проблеми в загальному вигляді. Суднові двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ), що виконують функції головних двигунів (ГД) або допоміжних двигунів (ДД) є найбільшими споживачами рідкого палива. Основними типами суднових дизелів є мало-обертові (МОД) та середньо-обертові (СОД). Як паливо для ДВЗ використовуються рідкі нафтопродукти, які традиційно поділяються на важкі і легкі (дизельні). Ця класифікація базується на питомій вазі, а точніше густини палива, яка для дизельних палив при 20°C лежить в межах 840...860 кг/м³, а для важких до 980 кг/м³ [1].

До суднових СОД відносяться двигуни, частота обертання колінчастого вала яких на номінальному режимі складає 300...1000 об/хв. У разі використання СОД як ДД колінчастий вал дизеля безпосередньо з'єднаний з ротором електрогенератора та їх частоти обертання збігаються. Якщо СОД виконує функції ГД колінчастий вал дизеля і гребний вал з'єднані редукторною передачею, що забезпечує знижену частоту обертання гребного гвинта в порівнянні з частотою обертання колінчастого вала двигуна. СЕУ з СОД як ГД застосовуються в світовому суднобудуванні вже багато років [3]. Найбільшого поширення подібні дизелі отримали на пасажирських суднах, контейнеровозах малого і середнього водотоннажності, а також на спеціалізованих суднах (морських і океанських буксирах, рефулерних суднах, суднах забезпечення нафтовидобувних платформ і ін.), де вони використовуються в складі дизель-редукторних агрегатів з відбором потужності для приводів електроагрегатів, гідронасосів та інших суднових механізмів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні роки на транспортних суднах для СОД все ширше застосовуються важкі сорти палива високої в'язкості, що мають більш низьку вартість [2, 3]. Згідно з вимогами таких провідних фірм, що будують дизелі, як Wartsila-Sulzer, MAN-B&W суднові СОД повинні надійно експлуатуватися на всіх режимах (в тому числі на пускових і перехідних) при використанні палив з в'язкістю до 380 мм²/с. Перспективи розвитку транспортного суднобудування із застосуванням СОД в світовій практиці тісно пов'язані з використанням подібних видів палива. При цьому слід зазначити, що важкі сорти палива використовуються для роботи як головних СОД, що передають свою потужність на рушій, так і допоміжних, які є приводом електричних генераторів двигунів. Крім того, в судову практику чітко простежується тенденція використання важких сортів палива не тільки для сучасних моделей СОД, а й переведенням СОД попередніх моделей (спроектованих з

умовою роботи на легких сортах палива) на експлуатацію на паливі з підвищеною в'язкістю.

Експлуатаційні режими роботи суднових СОД забезпечуються як важкими, так і легкими сортами палива. Частота обертання колінчастого вала суднових МОД становить 80...100 об/хв, а мінімальне значення цього ж параметра для СОД – 450...500 об/хв. Це призводить до того, що навіть при підвищеній для СОД в порівнянні з МОД тривалістю подачі палива в циліндр час впорскування палива і, відповідно, час його окислення, запалення і згоряння скорочується в 3...4 рази. Ще однією причиною використання в СОД легких сортів палива є їх часта робота на режимах пуску і часткового навантаження. При цьому частина теплової енергії, підведеної в процесі стиснення, втрачається через погано прогрітих поверхонь деталей ЦПГ, що істотно знижує температуру в циліндрі в момент впорскування палива і змушує використовувати палива з меншою температурою самозаймання.

Екологічні вимоги, що пред'являються до СЕУ в цілому і до суднових дизелів зокрема, змушують проводити їх експлуатацію на паливах з пониженим вмістом сірки. Згідно з вимогами Міжнародної конвенції MARPOL, в деяких особливих районах вміст сірки у використовуваному паливі не повинно перевищувати 0,1 %. При цьому слід враховувати, що нафтопереробна промисловість в даний час ще не готова до виробництва необхідних обсягів палив з подібним змістом сірки, а на ринок надходить палива, фракційний склад яких містить до 3% сірки, використання яких можливо лише за умовою додаткового очищення випускних газів.

Застосування палива подібного фракційного складу погіршує якість процесу згоряння, що, в тому числі, призводить до підвищеного зносу деталей ЦПГ, циліндрових кришок, випускних клапанів, а також прогорання лопаток газотурбонагнетачів (ГТН) і елементів газовипускного тракту.

Використання важких палив в суднових СОД вимагає створення систем паливопідготовки і забезпечення таких режимів їх експлуатації, які здатні нейтралізувати шкідливі впливи фізико-хімічних властивостей і домішок палива на надійність, довговічність і економічність дизеля.

Постановка завдання. Завданням дослідження було розробка способу, засобів і ефективного режиму десульфуризації високов'язкого палива системою паливопідготовки судового СОД.

Виклад основного матеріалу дослідження. Рішення задач по десульфуризації палива, як правило, відноситься до стаціонарної енергетики і виконується на берегових нафтопереробних комбінатах. Це тільки підкреслює актуальність пошуку оптимальних варіантів видалення сірки з палива в умовах експлуатації морського судна.

Як способи десульфуризації палива в суднових умовах можуть бути використані:

- тонка фільтрація;
- гідроочищення;

- змішування палива з єднальними реагентами з подальшим відстоюванням, фільтрацією або сепарацією осадка;
- окислювальне відновлення;
- ультразвукова кавітаційна обробка.

Дослідження виконувались на суднових СОД 6L16/24 фірми MAN B&W Diesel Group, що були встановлені на універсальному судні дедвейтом 13600 тонн. Дизелі знаходились в однаковому технічному стані та під час проведення досліджень експлуатувались на однакових навантаженнях. Паливо, що впорскувалось до одного з дизелів піддавалось ультразвукової обробці. Оптимальна частота ультразвукових хвиль та потужність ультразвукового генератору були визначені під час попередніх лабораторних досліджень

Фракційний і елементарний склад палива, його експлуатаційні характеристики і якість підготовки впливають не тільки на технічний стан деталей дизеля (зокрема на корозійний знос ЦПГ), але і на показники робочого процесу ДВЗ. Тому під час проведення експериментальних досліджень контролювалися і визначалися не тільки стан ЦПГ дизеля, але і такі показники як максимальний тиск циклу і температура газів у випускному колекторі.

Характер зміни даних величин показаний на рис. 1, 2 [1, 3].

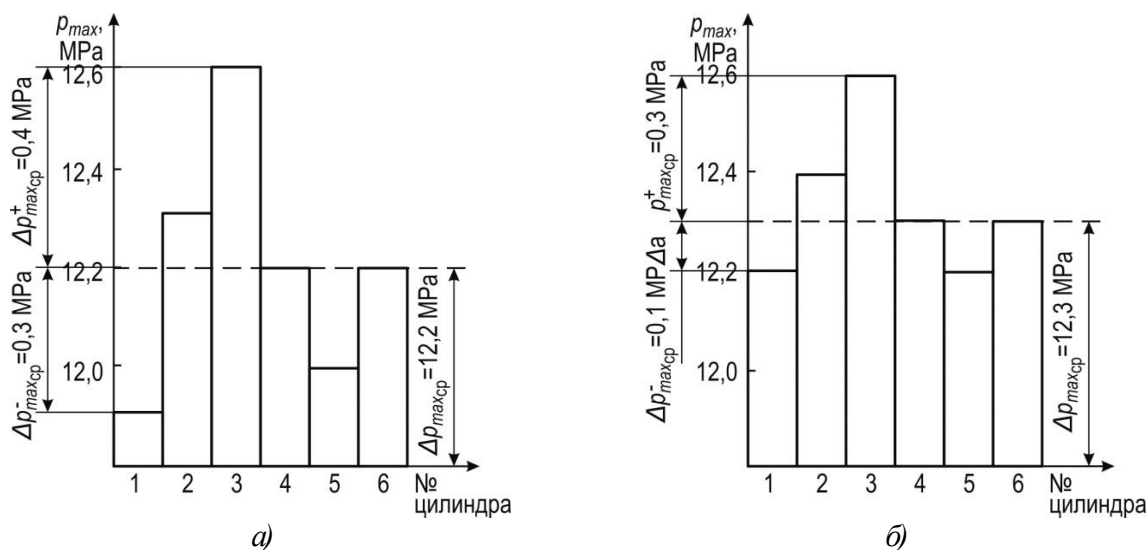


Рис. 1. Неузгодженість максимального тиску циклу по циліндрах суднового СОД 6L16/24 фірми MAN B&W Diesel Group за різних умов проведення експерименту:

а) паливо без додаткової обробки (експлуатація системи паливopідготовки дизеля в «штатному» режимі); б) паливо з додатковою ультразвуковою обробкою

Висновки і перспективи подальших досліджень. Результати, отримані при визначенні експлуатаційних параметрів роботи дизеля (максимального тиску циклу і температури газів у випускному колекторі) свідчать про зниження як механічних, так і теплових навантажень на дизель під час використання високов'язкого сірчастого палива, що пройшло додаткову ультразвукову обробку.

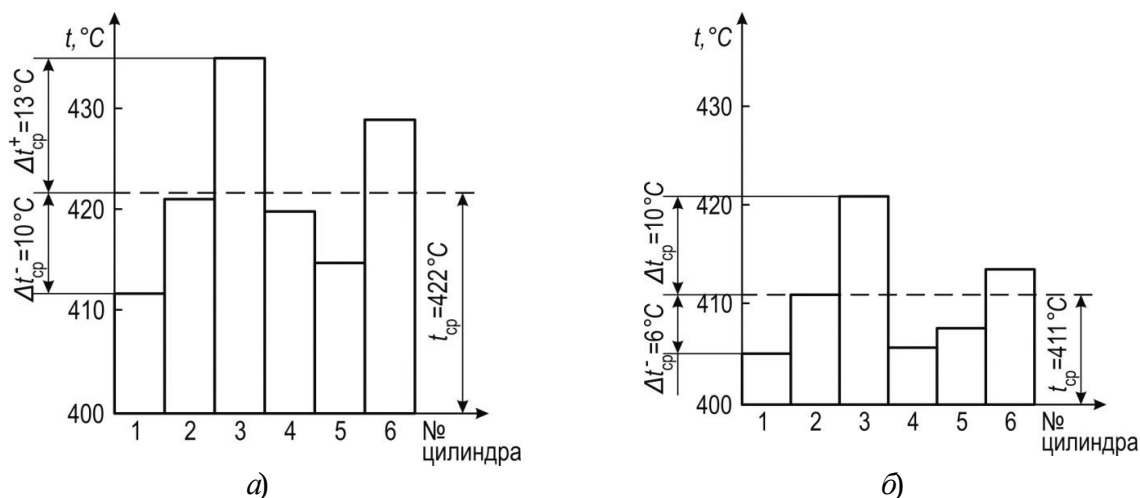


Рис. 2. Неузгодженість температури випускних газів по циліндрах суднового СОД 6L16/24 фірми MAN B&W Diesel Group за різних умов проведення експерименту:
а) паливо без додаткової обробки (експлуатація системи паливопідготовки дизеля в «штатному» режимі); б) паливо з додатковою ультразвуковою обробкою

Згідно з вимогами Правил технічної експлуатації суднових технічних засобів неузгодженість даних величин по циліндрах дизеля від середнього значення не має перевищувати $\pm 3,5\% \Delta p_{\max}$ і $\pm 10^{\circ}\text{C}$. Зменшення даного інтервалу в разі використання кавітаційної обробки палива сприяє зниженню динамічних навантажень на кривошипний механізм дизеля та зменшення нерівномірності частоти обертання дизеля. Обидва цих параметра, в свою чергу, знижують згинальні і скручують, на колінчастому валу дизеля. Крім того, зростання ступеня неузгодженості величини максимального тиску циклу по циліндрах дизеля (що характерно для використання палива без додаткової ультразвукової обробки) свідчить як про підвищення триботехнічних втрат в елементах паливної апаратури дизеля, так і гіршому розпилюванні палива.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Солодовніков В.Г. Використання ультразвукової обробки в модульних схемах побудови суднових систем паливопідготовки // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. Вип. 38. – Одеса : НУ «ОМА», 2018. – С. 158-168.
2. Sagin S., Madey V., Stoliaryk T. Analysis of mechanical energy losses in marine diesels // Technology Audit and Production Reserves. – 2021. – № 5 (2 (61)). – Р. 26-32. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.239698>.
3. Руснак Д.Ю., Сагін С.В. Забезпечення екологічних вимог при ультразвуковій десульфурізації вуглеводних палив // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. Вип. 40. – Одеса : НУ «ОМА». – 2020. – С. 49-54. DOI : 10.31653/smf340.2020.49-54.

Вдосконалення процесів підготовки палив для дизелів суден морського та внутрішнього водного транспорту

Постановка проблеми в загальному вигляді. Найважливішими експлуатаційними характеристиками судових двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) є показники надійності, паливної економічності та екологічної безпеки, що залежать від комплексу конструктивних та експлуатаційних факторів. Один із найбільш суттєвих факторів – якість дизельного палива. Фізичні та хімічні властивості палива впливають на процеси сумішоутворення та згорання в циліндрах дизелів, повноту вигорання палива, паливну економічність, вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигуна, ресурс паливної апаратури та деталей циліндропоршневої групи. Найбільш поширеним способом забезпечення необхідних властивостей дизельного палива є підготовка до згорання в циліндрі дизеля [1].

Накопичений досвід і аналіз роботи ДВЗ, які виконують функції головних / допоміжних двигунів суден морського та річкового флоту і експлуатуються на важких сортах нафтового палива, а також результати моніторингу думок фахівців-двигунобудівників свідчать про те, що якість палива може виявитися причиною ряду неполадок: підвищеного утворення вуглецевих відкладень на деталях циліндро-поршневої групи (ЦПГ) ДВЗ і в відцентрових сепараторах, інтенсифікації корозії і подальшого прогара випускних клапанів і їх сідел, погіршення процесу згорання, підвищення температури випускних газів. Можуть виникати і такі проблеми, як зношування поршневих кілець, інтенсивне утворення відкладень на поршні, порушення гідравлічної щільності в прецизійних парах паливної апаратури високого тиску.

Поглиблення переробки нафти неминуче супроводжується збільшенням концентрації в паливі продуктів вторинних процесів. В останніх міститься значна кількість небажаних з'єднань, що погіршують експлуатацію дизельних двигунів. Цей же недолік характерний і для палив, що отримуються з альтернативної сировини. Пристосування дизелів до роботи на паливі низької якості з одночасним підвищенням їх надійності і економічності - важливе завдання, що виникає при експлуатації ДВЗ суден морського та річкового транспорту. Існують різні технологічні і технічні способи, спрямовані на її рішення. Одним з них (найпоширенішим на судах морського та внутрішнього водного транспорту) є очищення важкого палива.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз досліджень з підготовки судового палива до його спалювання в циліндрі дизеля показує, що на теперішній час традиційні методи очищення палива (відстоювання, сепарації, фільтрація) вичерпали свої потенційні можливості, тому використання лише цих методів не дозволяє принципово змінити процес очищення палива та підвищити глибину його використання [2, 3]. Тому на

сучасних судах морського та внутрішнього водного транспорту поширюється впровадження додаткових способів очищення палива, які, як приклад, використовують властивості адсорбції, абсорбції, хімічного збагачення та інші, але виростання подібних додаткових методів очищення палива, не завжди можливо в судновій енергетиці [4].

Постановка завдання. Використання в суднових дизельних енергетичних установках нафтових палив погіршеної якості (таких, що за температурою 20°C мають густину до 950...980 кг/м³ та в'язкість до 750 сСт) вимагає під час їх підготовки використовувати додаткові методи, які сприятиме підвищенню ефективності процесу очищення суднових важких палив. При цьому подібні методи повинні легко «вбудовуватися» в судову систему підготовку палива, характеризуватися ефективністю та бути безпечними для судового обладнання та екіпажу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Електричні властивості палив і водо-паливних емульсій характеризують три параметри: діелектрична проникність ϵ , Ф/м, питома електропровідність σ , см/м, і напруженість пробною $E_{пр}$, В/см.

Дистилятні палива, як правило, містять незначну кількість неуглеводних домішок, вплив яких на електричні властивості палива незначний. У важких суднових паливах асфальто-смолисті домішки, а особливо металеві компоненти, істотно змінюють їхні електричні властивості.

Електрична провідність суднових важких палив також змінюється за умовою потрапляння до них води. Чиста дистильована вода – полярний діелектрик. У випадку наявності солей у воді, що характерно для умов експлуатації суден морського транспорту та систем підготовки палива суднових дизелів, провідність води різко міняється. Існує однозначний зв'язок між солоністю і питомою електропровідністю води. Солоність вимірюється числом грамів солі, розчинених у 1 л води (%). Солоність морської води у Світовому океані може досягати 36...38%, що змінює її питому електропровідність до $\sigma=5...6$ см/м, тобто в порівнянні з прісною водою провідність зростає на шість порядків. Розчинена в паливі вода ніколи не буває чистою, тому її питома електропровідність підвищується на тричотири порядку і досягає значень $\sigma=0,04...0,1$ см/м.

Зі збільшенням температури води росте її питома електропровідність. Аналітична залежність електропровідності води від температури може бути представлена наближеною формулою

$$\sigma = 0,055 + 0,018t + 0,08S + 0,002S_t;$$

де S – солоність води при температурі 20°C, %,

t – температура води, °C;

S_t – солоність води температури t , %,

Підвищення змісту води в паливі приводить до збільшення середнього значення діелектричної проникності і зростання питомої електропровідності.

Таким чином, з огляду на різні електричні властивості самого палива і домішок, що знаходяться в ньому, (насамперед механічних і води), можливо робити обробку палива за допомогою електричного поля. При цьому чисте паливо, яке є діелектриком, не буде піддаватися впливові електричних полів, а механічні домішки і вода під впливом цих полів і додаткових технічних засобів можуть виводитися з палива.

Очищення важких палив за допомогою електричних полів може здійснюватися у режимах сепарації або фільтрації.

Системи електродів, за допомогою яких можуть створюватися електричні поля, надзвичайно різноманітні. Однак не кожна із цих систем може бути використана в сепараторах, які використовують електричне поле. Необхідність відводу очищеного палива та води вимагає часто сполучення різнорідних функцій в одному конструктивному елементі: вивідних патрубків і електродів, електродів і корпусу і т.і. [5, 6].

На рис. 1 представлено схематичний розріз сепаратора, що очищує паливо за допомогою електричного поля, де для поділу водо-паливної емульсії використовується неоднорідне електричне поле. Це поле створюється двома взаємно перпендикулярними електродами: штировим і пластинчастим з отворами. Робоча область сепаратора утворюється двома сполученими сферами, між якими й розташовується штировий електрод. Для усунення перенапруг під штировим електродом розміщується діелектрична вставка.

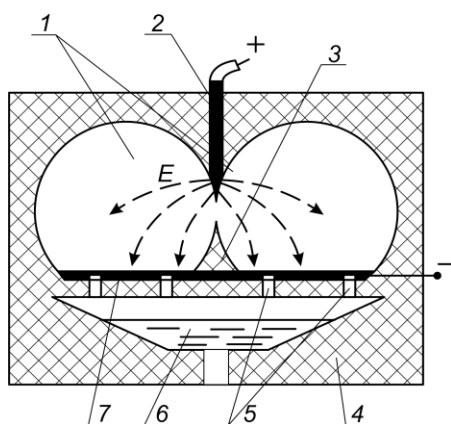


Рис. 1. Схематичний розріз сепаратора, що очищує паливо за допомогою електричного поля, зі штировим електродом:

- 1 – робоча область із паливом; 2 – штировий електрод; 3 – діелектрична вставка;
- 4 – діелектричний корпус сепаратора; 5 – отвору для проходу води; 6 – водозбірник;
- 7 – пластинчастий електрод з отворами

У такому полі коагуляція водяних крапель відбувається за рахунок взаємодії дипольної глобули води з неоднорідним полем. Потрапляючи на пластинчастий електрод, ці краплі через отвори збираються у водозбірнику.

Недоліком цієї системи можна вважати те, що дрібнодисперсне середовище (краплі малих розмірів) можуть здобувати при зіткненні із пластинчастим електродом однойменний заряд і в силу цього

відштовхуватися від нього й рухатися в напрямку до штирового електрода, тобто процес очищення палива від води в цьому випадку буде вповільнюватися.

Під час прокачування та транспортування палива на частках, що забруднюються, з'являються заряди, викликані тертям часток об паливо і часток друг об друга. Крім того, частки можуть здобувати заряди від зіткнення з робочими електродами. Знак утворених зарядів залежить від електрофізичних властивостей частки. Саме ці фізичні особливості важких нафтових палив покладено в основу функціонування фільтрів, що використовують для очищення палива електричні поля [6].

Найпростіша схема електрофільтра, що очищує паливо за допомогою електричного поля, представлена на рис. 2. У корпусі 1 фільтра розміщено два пластинчасті електроди 3, що створюють однорідне електричне поле E_0 . На робочі електроди наклеюються пористі пластини 2 з діелектрика, які затримують механічні домішки, що рухаються до електродів. Забруднене паливо надходить у зону очищення, де нерозчинні різнополярні частки забруднень 4 зазнають силового впливу й залежно від знака заряду забруднень просуваються до позитивного або до негативного електрода. Поблизу електрода частки затримуються пористим діелектриком, який у міру забруднень замінюється чистим.

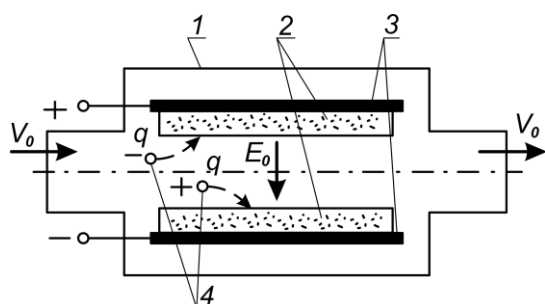


Рис. 2. Електрофільтр, що очищує паливо за допомогою електричного поля, із однорідним електричним полем:
1 – корпус фільтра; 2 – пористі пластини з діелектрика; 3 – пластинчасті електроди; 4 – нерозчинні різнополярні частки забруднень

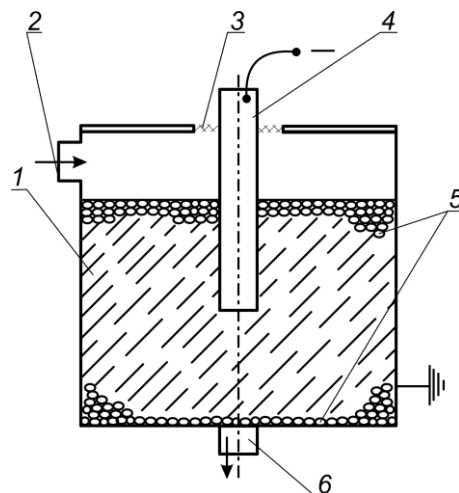


Рис. 3. Електрофільтр, що очищує паливо за допомогою електричного поля, із керамічними кульками:
1 – металевий корпус; 2 – вхідний отвір; 3 – ізоляційна втулка для робочого електрода; 4 – робочий електрод; 5 – керамічні кульки; 6 – вивідний отвір

Необхідність періодичної зміни діелектричного матеріалу (фільтрапакета) є основним недоліком розглянутої конструкції електрофільтра.

Зазначений вище недолік усунутий у конструкції електрофільтра, що наданий на рис. 3, у якому діелектричний заповнювач утворюється керамічними кульками. Перебуваючи в електричному полі, створюваному робочим електродом і заземленим корпусом, керамічні кульки поляризуються та до них притягаються дрібні заряджені частки забруднень.

Регенерація фільтра проводиться при знятій нарузі рухом рідини у зворотному напрямку, при цьому з кульок, позбавлених поляризаційних зарядів, частки забруднень змиваються.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Впровадження методів очищення важких палив, що засновані на використанні електричних та магнітних полів, є прикладом розвинення сучасних технологій та може бути застосовано для будь якого типу судових дизелів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Занько О. Н. Технология использования рабочих веществ в судовых энергетических установках / О. Н. Занько, В. Н. Калугин, И. В. Логишев. – Одесса : Фенікс, 2005. – 508 с.

2. Sagin S.V., Solodovnikov V.G. Cavitation Treatment of High-Viscosity Marine Fuels for Medium-Speed Diesel Engines // Modern Applied Science. – 2015. – Vol. 9. – № 5. – P. 269-278. DOI:10.5539/mas.v9n5p269.

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

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

5. Заблоцкий Ю. В. Підвищення економічності роботи судових дизелів / Ю. В. Заблоцький // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. Вип. 40. – Одеса : НУ «ОМА». – 2020. – С. 12-16. DOI : 10.31653/smf340.2020.12-16.

6. Солодовников В. Г. Использование в судовых дизелях топлив различного фракционного и структурного состава / В. Г. Солодовников // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2014. – № 33. – Одесса : ОНМА. – С. 110-117.

Підвищення ефективності експлуатації циркуляційних систем мащення суднових чотиритактних дизелів

Постановка проблеми в загальному вигляді. Основними генераторами енергії на судах морського та внутрішнього водного транспорту є двигуни внутрішнього згоряння (дизелі). Однієї з систем, що забезпечують їх функціонування, є система мащення. Двотактні суднові дизелі використовують дві системи мащення – лубрикаторну (за допомогою якої мастило подається на стінки циліндрової втулки) та циркуляційну (мастило в якій спрямовується до підшипників колінчатого валу). Чотиритактні (середньообертові) дизелі комплектуються лише циркуляційною системою мащення, в якій мастило потрапляє до всіх контактних вузлів дизеля, основними з яких є пари тертя поршневе кільце – втулка циліндра та вкладиш підшипника – колінчатий вал [1].

Високі температури, вібрація, мінімізація проміжків у парах тертя та інші фактори призводять до того, що переважним режимом мащення суднових середньообертових дизелів стає режим граничного тертя. Саме в цьому режимі відбувається основний знос поверхонь, що труться, причому знос деталей залежить від поверхневої активності моторного мастила (його здатності створювати граничний мастильний шар). У цьому проявляється змащувальна здатність (маслянистість) моторного мастила [2]. Активація та підвищення змащувальної здатності моторного мастила сприяє зменшенню зносу в парах тертя та призводить до мінімізації втрат механічної енергії дизеля під час її трансформації в корисну роботу [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зменшення контактних напружень в парах тертя підвищує експлуатаційну надійність дизелів суден морського та внутрішнього водного транспорту, тому визначенню способів підвищення змащувальної здатності моторного мастила присвячена велика кількість наукових досліджень. При цьому науковцями пропонувались різні, іноді взаємовиключні, технології за допомогою яких можливо розв'язання вказаного завдання. Деякі рішення, наприклад використання ефектів радіоактивного опромінювання, небезпечно для екіпажів суден морського та внутрішнього водного транспорту. Деякі інші, такі як використання магнітних, електричних та акустичних полів, втрачають ефективність в умовах суднових енергетичних установках, в яких магнітні, електричні та акустичні хвилі генеруються мимовільно, тому утворюють випадкові перешкоди.

Для умов експлуатації систем мащення суднових середньообертових найбільш доцільно використання ультразвукової обробки, додавання до мастила поверхнево-активних речовин, модифікація поверхонь тертя структурованими покриттями. Вказані способи сприяють зміні

структурних складових моторних мастил — підвищують довжину молекулярного ланцюга, забезпечують односпрямовану орієнтацію молекул в граничному мастильному шарі, та значно підвищують його адсорбційну товщину [4-6].

Постановка завдання. Завданням дослідження було визначення впливу структурних характеристик адсорбційного шару моторного мастила (крайових кутів змочування та товщини) на експлуатаційні показники суднового дизеля, в системі циркуляційного мащення якого воно використовується.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для визначення впливу крайових кутів змочування на якість перебігу процесу мащення виконувались комплексні дослідження, які полягали в визначенні структурних характеристик моторних мастил (крайового кута змочування та товщини адгезійного шару мастила), а також експлуатаційних показників моторного мастила (лужного числа та вмісту механічних домішок) та експлуатаційних показників суднового дизеля (механічного коефіцієнту корисної дії, тиску стиснення та температури випускних газів), мащення якого забезпечується цими мастилами. Дослідження виконувались на суднових середньообертових дизелях 6L16/24 MAN Diesel, які входили до складу допоміжної енергетичної установки судна типу General Cargo дедвейтом 15600 тонн. В циркуляційній системі мащення дизелів використовувалось моторне мастило Mobilgard ADL30 фірми Mobil [7, 8].

Принципова схема система циркуляційного мащення дизелів надана на рис. 1.

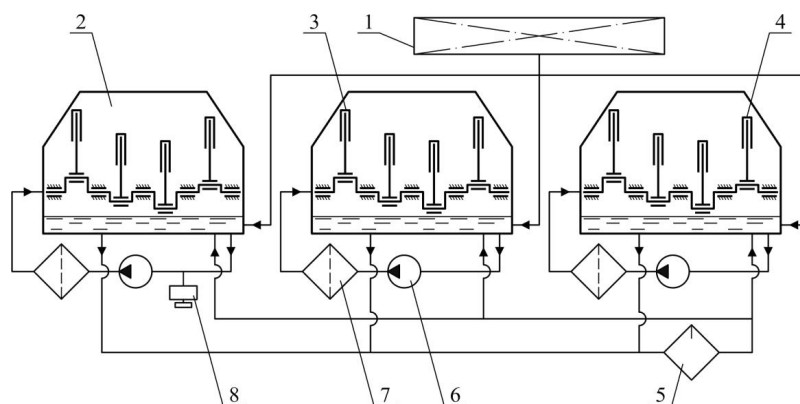


Рис. 1. Схема суднової системи циркуляційного мащення під час проведення експериментальних досліджень:

- 1 – цистерна циркуляційного мастила; 2 – дизель № 1; 3 – дизель № 2; 4 – дизель № 3;
5 – сепаратор мастила; 6 – циркуляційний мастильний насос; 7 – мастильний фільтр;
8 – дозерний пристрій

Подача мастила до мащення колінчатого валу та підшипників дизелів 2, 3, 4 забезпечувалась циркуляційним насосом 6 (окремо для кожного з дизелів). Очищення мастила виконувалось за допомогою фільтра 7 (також окремо для кожного дизеля) та сепаратора 5 (який послідовно підключався до систем мащення кожного з дизелів). Поповнення обсягу мастила в картері дизелів здійснювалось з цистерни 1.

Дослідження виконувались на двох дизелях, що на початок випробувань мали однаковий ресурс (позиції 2, 3 на рис. 1). Під час випробувань дизелі

експлуатувались на рівних між собою навантаженнях. У випадку, коли потужності двох дизелів (на яких проводились дослідження) було недостатньо для забезпечення суднових потреб в електричній енергії, використовувався третій дизель (позиція 4 на рис. 1). Також лише цей дизель використовувався у випадку, коли для забезпечення потреби судна в електричній енергії вистачало потужності одного дизелю.

Як спосіб, що забезпечує підвищення структурних характеристик моторного мастила (а саме крайових кутів змочування), було обрано додавання поверхнево-активних речовин (ПАР). В науково-дослідницькій лабораторії було визначена оптимальна концентрація ПАР в об'ємі моторного мастила, при якій забезпечуються максимальні кути змочування [4, 5].

До системи мащення одного з дизелів (позиція 1 на рис. 1) за допомогою дозерного пристрою (позиція 8 на рис. 1) додавалась ПАР. Час введення ПАР до загального обсягу який забезпечував підтримання її оптимальної концентрації був визначений в попередній дослідженнях та контролювався шляхом вимірювання остаточного лужного числа (Total Base Number – TBN) моторного мастила.

Дослідження виконувалися під час океанських переходів судна, тривалість яких становила 12...18 днів. При цьому (у зв'язку з відсутністю маневрових та швартових режимів, а також вантажних операцій) експлуатація дизелів відбувалася без стрибкоподібної зміни навантаження. Стан паливної апаратури (паливних насосів високого тиску та форсунок), а також її регульовальні параметри (тиск нагнітання, кут початку подачі палива) всіх дизелів були ідентичні. У системах мащення та охолодження дизелів підтримувалися однакові значення температури та тиску. Перед початком експериментів у циркуляційних системах мащення дизелів було повністю замінено мастило. Компенсація витрати мастила на вигар для кожного з дизелів виконувалася в обсязі 100 літрів через 100 годин експлуатації.

Для виконання завдання дослідження під час проведення експерименту визначався механічний коефіцієнт корисної дії (ККД) дизеля – η_m , тиск стиснення – p_c , температура випускних газів $t_{вг}$, а також фіксувалися значення TBN мастила у відповідні часові інтервали його роботи. Визначення механічного ККД здійснювалося методом постійної витрати палива, визначення тиску стиснення та температури випускних газів – за допомогою системи діагностування показників робочого циклу суднового дизеля Doctor, визначення TBN масла виконувалося в судновій технічній лабораторії фірми Cylinder Scrape-Down Oil Analysis відповідно до рекомендованих технологій та послідовності [6].

Зміна структурних характеристики моторного мастила контролювалась шляхом визначення крайових кутів змочування θ та товщини його адсорбційного шару $d_{ш}$ шляхом вимірювання цих показників в проміжки часу, що відповідають визначенню показників роботи дизелів.

За результатами комплексних досліджень побудовані діаграми (рис. 2, 3), які відображають зміну експлуатаційних показників дизеля 6L16/24 MAN Diesel та структурних характеристик моторного мастила Mobilgard ADL30 фірми Mobil.

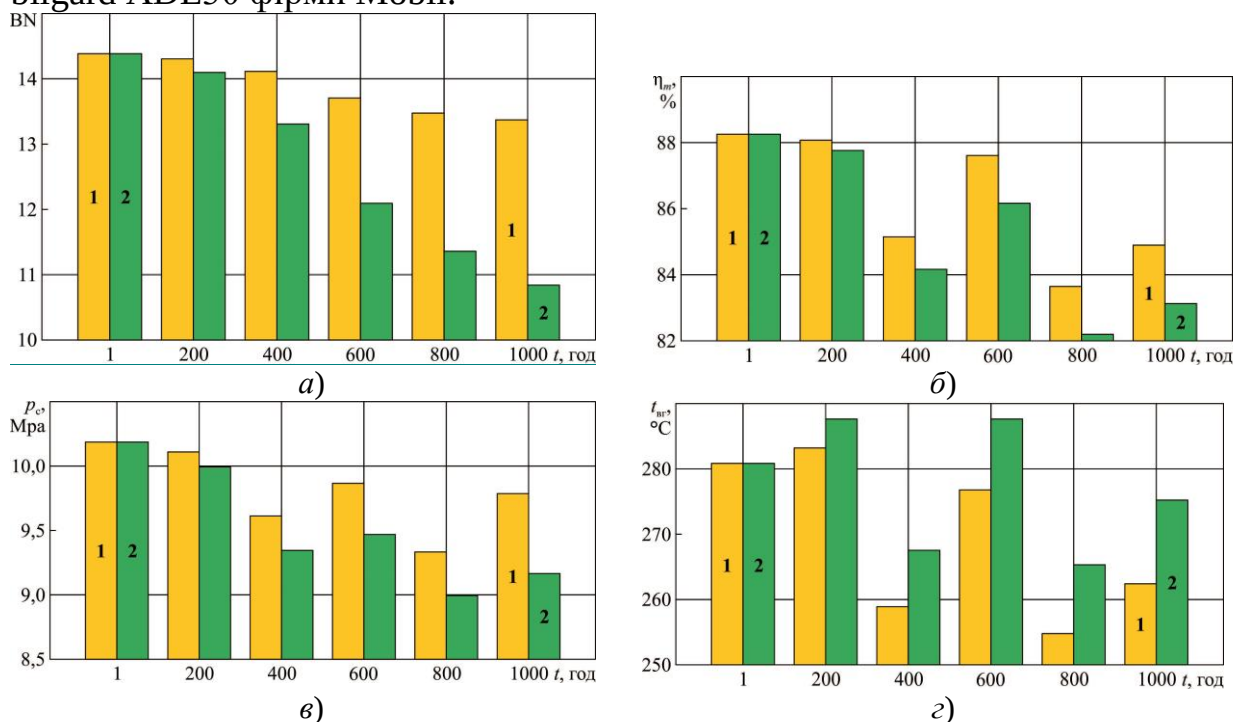


Рис. 2. Зміна експлуатаційних показників суднового дизеля 6L16/24 MAN Diesel та моторного мастила Mobilgard ADL30 Mobil:

a – загальне лужне число; *б* – механічний ККД; *в* – тиск стиснення; *з* – температура випускних газів; 1 – дизель № 1; 2 – дизель № 2

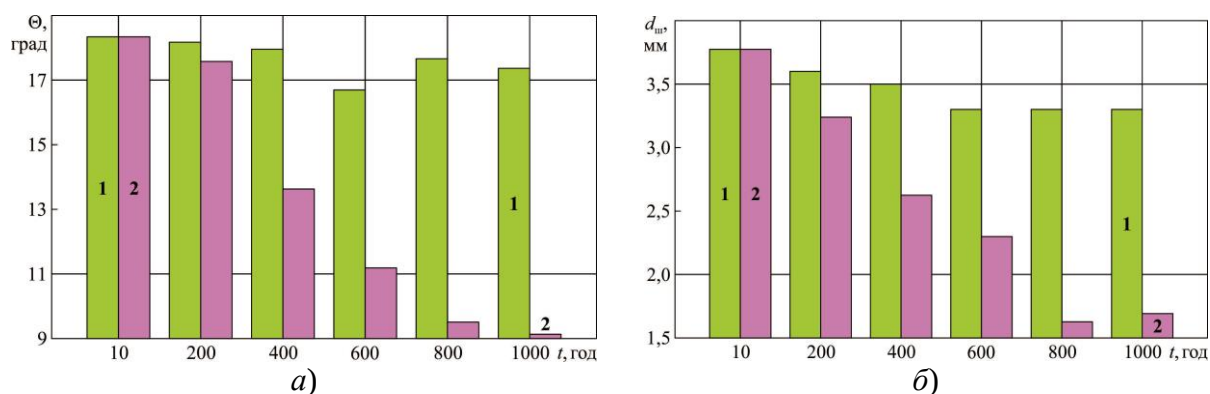


Рис. 3. Зміна структурних показників моторного мастила Mobilgard ADL30 Mobil:

a – крайовий кут змочування; *б* – товщина адсорбційного шару; 1 – дизель № 1; 2 – дизель № 2

Висновки і перспективи подальших досліджень. Проведеними дослідженнями встановлено взаємозв'язок структурних показників моторних мастил (зокрема крайового кута змочування та товщини адсорбційного шару) та експлуатаційних показників суднових дизелів (зокрема тиску стиснення, механічного ККД, температури випускних газів). Збільшення значень вказаних структурних показників моторного мастила (яке досягається шляхом додавання до моторного мастила поверхнево активних

речовин) забезпечує зменшення механічних втрат під час отримання корисної роботи. Встановлений факт пояснюється підвищенням гідравлічної щільності в парах тертя судового дизеля та збільшенням пружнодемпфуючих властивостей моторного мастила.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sagin S., Madey V., Stoliaryk T. Analysis of mechanical energy losses in marine diesels // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2021. – № 5 (2(61)). – P. 26-32. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.239698>.
2. Сагин С.В. Определение диапазона стратификации вязкости смазочного материала в трибологических системах судовых дизелей // *Вісник Одеськ. нац. мор. ун-ту. Зб. наук. праць*. – 2019. – Вип. 1(58). – С. 89 - 100.
3. Stoliaryk T. Analysis of the operation of marine diesel engines when using engine oils with different structural characteristics // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2022. – Vol. 5(1(67)). – P. 22-32. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.265868>.
4. Столярик Т.О. Прогнозування механічних втрат в судових дизелях // *Суднові енергетичні установки : наук. -техн. зб.* – 2022. – Вип. 44. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 142-156. doi: [10.31653/smf44.2022.142-156](https://doi.org/10.31653/smf44.2022.142-156).
5. Сагин С.В., Столярик Т.О. Аналіз експлуатаційних характеристик моторних мастил судових дизелів // *Суднові енергетичні установки: наук. - техн. зб.* – 2021. – Вип. 43. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 69-80. doi: [10.31653/smf343.2021.69-80](https://doi.org/10.31653/smf343.2021.69-80).
6. Sagin S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Fomin O., Kučera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels // *Journal Marine Science and Engineering*. – 2022. –Vol. 10. – Iss. 10. – P. 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.
7. Sagin S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Fomin O., Kučera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels // *Journal Marine Science and Engineering*. – 2022. –Vol. 10. – Iss. 10, 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.
8. Sagin S.V., Stoliaryk T.O. Comparative assessment of marine diesel engine oils // *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*. – 2021. – Vol. 7-8. P. 29-35. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-29-35>.

Підвищення екологічності роботи суднових дизелів шляхом використання альтернативних палив

Постановка проблеми в загальному вигляді. В теперішній час найбільше докільля забруднюють вихлопи двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ). Ані атомна енергетика, ані промисловість не дають такого обсягу викидів, як ДВЗ. Саме тому до специфічних завдань експлуатації суднових енергетичних установок відносяться запобігання утворенню та нейтралізації екологічно небезпечних речовин, що утворюються під час використання нафтових палив. В результаті згоряння палива утворюються вуглекислий газ CO_2 , оксиди сірки – SO_2 та SO_3 , водяні пари, оксиди азоту NO_x та різні леткі речовини. Перенасичення атмосфери вуглекислим газом веде до так званого парникового ефекту. Крім атмосферного повітря, забруднення від ДВЗ за рахунок витоків і розливів палива, мастила, охолоджуючих рідин, організації несанкціонованих відкритих звалищ зі змінних компонентів двигунів, насамперед масляних фільтрів, зношених запчастин, суднової ганчір'я і т.і., піддаються ґрунт і вода [1]. У всіх країнах зростає кількість захворювань, викликаних азотовмісними сполуками. Тому останнім часом велика увага приділяється зниженню у продуктах згоряння ДВЗ шкідливих речовин, особливо оксидів азоту NO_x . Якщо не вжити відповідних заходів, то у найближчі 50 років територія планети виявиться непридатною для життя людини. Саме тому зусилля науковців спрямовані нині на пошук альтернативного палива – дешевого, калорійного та екологічно чистого [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До складу важкого палива (порівняно з легким) входить підвищений вміст сірки (до 0,5 %) та азоту (до 1,0 %). Під час їх згоряння утворюються токсичні компоненти – оксиди сірки SO_x та азоту NO_x , які негативно впливають на екологію та людину. У зв'язку з цим останнім часом велика увага приділяється зниженню у випускних газах (ВГ) шкідливих речовин, особливо оксидів азоту NO_x [3, 4]. З метою зниження концентрації цих речовин використовують різні методи і технології: упорскування води в повітряний та випускний ресивер, рециркуляція випускних газів, використання для забезпечення процесу згоряння альтернативного палива [5].

Постановка завдання. Протягом останніх десятиліть ведуться інтенсивні дослідження альтернативних палив. При цьому кращим вважається часткове заміщення традиційних видів моторного палива синтетичними рідкими вуглеводнями, які отримуються з природного газу, в силу їх низької собівартості. Крім традиційних палив, вже застосовують альтернативні палива, в тому числі спиртовмісні, які в дизелях, правда, що обмежені в використанні. Таким чином, дослідження альтернативних видів суднових палив, та вивчення їх впливу на робочий процес а також екологічні

показники суднових ДВЗ є важливою та актуальною проблемою, розв'язання якої буде сприяти покращенню роботи суднових дизелів та зменшенню їх негативного впливу на довкілля.

Виклад основного матеріалу дослідження. Альтернативні палива отримують в основному з сировини нафтового походження і застосовують для скорочення споживання нафтопродуктів. Основними видами альтернативного палива є: зріджені горючі гази; спирти, продукти їх переробки і суміші з нафтовим паливом; паливні суміші; штучне рідке та газове паливо (біопаливо і біогаз); рослинні оливи; водень.

Привабливість спиртових палив полягає в тому, що їх можна отримати з будь-якої вуглеводневої сировини, як мінеральної (природний газ, вугілля, горючі сланці), так і органічної (картопля, буряк, інші сільськогосподарські культури, рослинні відходи, водорості та ін.). Серед переваг спиртових палив необхідно також відзначити наявність в їх молекулах атомів кисню, що дозволяє помітно поліпшити екологічні показники токсичності ВГ двигунів внутрішнього згоряння [4].

Серед спиртів найбільш привабливим для використання в ДВЗ є етиловий спирт (ЕС), або етанол. Це обумовлено хорошими екологічними якостями етанолу (його гранично допустима концентрація в повітрі робочої зони – найвища серед всіх спиртів) і можливістю його отримання з різних сировинних ресурсів. Результати експерименту, що підтверджують доцільність використання суміші ДП та ЕС, наведені у таблиці 1.

Таблиця 1. Показники дизеля 4ЧН11/12,5 при роботі на різних паливах

Показник	ДП	96%ДП+4%ЕС
Часова витрата палива, G_T , кг/год	20,10	20,00
Обертальний момент дизеля, M_e , Н·м	322	318
Питома ефективна витрата палива, b_e , г/(кВт·год)	218,4	220,0
Ефективний ККД дизеля, η_e	0,374	0,376
Димність ВГ, K_X , %	16,0	12,0
Інтегральні питомі масові викиди, г/(кВт·год):		
оксидів азоту e_{NO_x}	7,018	5,798
оксиду вуглецю e_{CO}	1,723	1,879
незгорілих вуглеводнів e_{CH_x}	0,788	0,836

Однією з серйозних проблем, що виникають під час використання етанолу як моторного палива, є його погана змішуваність з нафтовим ДП та рядом альтернативних палив. Основна причина цього – наявність в етанолі, отриманому шляхом бродіння біомаси, значної кількості води, яка дуже погано поєднується з нафтопродуктами.

Із числа видів перспективного палива для ДВЗ особливої уваги заслуговує хімічно інертний діметиловий ефір. Діметилефір CH_3-O-CH_3 – безбарвний газ, який при тиску в 5,3 бар переходить в рідкий стан і не має сірки, розчиняється в етанолі, воді. В наш час це єдине синтетичне паливо, яке забезпечує повну заміну традиційного дизельного палива. Основною

сировиною для виробництва $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ повинна стати природна сировина, яка синтезує природний газ метан CH_4 .

Використання як моторного палива діметилового ефіру $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ дозволяє зменшити викиди в атмосферу оксидів вуглецю CO/CO_2 , вуглеводнів C_nH_m і оксидів азоту NO_x на 30...70 % в порівнянні зі звичайним рідким вуглеводневим паливом. Результати експериментів, що це підтверджують, надані у таблиці 2.

Таблиця 2. Технічні показники робочого циклу ДВЗ при зміні складу робочої суміші палива

Показники	ДП	Суміші палива, % ДП+% ДМЕ				ДМЕ
		90+10	80+20	70+30	60+40	
Теплота згоряння палива, кДж/кг	42500	41140	39780	38420	37060	28900
Теоретична кількість повітря для згоряння 1 кг палива, кг/кг	14,5	13,94	13,27	12,86	12,32	9,08
Індикаторний ККД	0,449	0,448	0,453	0,454	0,453	0,450
Інтегральні питомі масові викиди, г/(кВт·год):						
оксидів азоту e_{NO_x}	7,12	5,52	3,35	2,85	2,62	2,5
оксиду вуглецю e_{CO}	4,16	3,07	2,64	2,16	1,85	1,52
незгорілих вуглеводнів e_{CH_x}	1,13	0,81	0,68	0,42	0,29	0,25

Без перебільшення можна сказати, що дві проблеми, які неминуче стоять перед людством – виснаження запасів вуглеводних палив і небезпека наростаючого забруднення навколишнього середовища – таять в собі цілком реальну перспективу загибелі цивілізації під впливом її же створених загроз. Заміна вуглеводневих палив воднем могла б радикально їх розв'язати. Подання про водень як про «паливо майбутнього» досить міцно утвердилася як серед фахівців, так і серед тих, кого взагалі цікавить майбутнє енергетики і транспорту. Дійсно, вода, основний продукт окислення водню, майже не затримує тепло біля поверхні Землі на відміну від вуглекислого газу, у величезній кількості викидається в атмосферу не тільки транспортом, а й усіма тепловими енергоустановками. Таким чином, проблема «парникового ефекту» знімається повністю. У продуктах згоряння водню не містяться токсичні продукти неповного згоряння вуглеводневих палив – окис вуглецю, вуглеводні і тверді частинки.

Щоб масштабне використання водню в якості палива для транспортних енергоустановок стало реальністю, повинні бути вирішені два складні завдання:

- по-перше, організувати його масове і недороге виробництво;
- по-друге, створити ефективні та надійні засоби зберігання запасу цього найлегшого в природі газу на борту судна в кількості, необхідній для забезпечення необхідної дальності автономного плавання.

Обидва завдання принципово можна розв'язати, хоча для організації виробництва водневого палива буде потрібно знайти шляхи для

багаторазового збільшення виробництва електроенергії. У вирішенні проблеми зберігання за останні десятиліття досягнуто значного прогресу.

Моторні властивості водню – висока детонаційна стійкість, швидке згоряння і широкі межі займистості – сприяють створенню водневих двигунів.

Разом з тим існує ряд проблем, що ускладнюють отримання таких же потужних показників, як у дизельного двигуна. По-перше, хоча теплотворна здатність водню в розрахунку на одиницю маси майже в чотири рази вище, ніж у дизельного палива, стехіометричне співвідношення по відношенню до повітря також приблизно втричі вище. У поєднанні з низькою густиною газоподібного водню це призводить до того, що теплота згоряння одиниці об'єму водню-повітряної суміші нижче, ніж у дізельно-повітряної. Це означає пропорційне зниження циліндрової потужності при рівних умовах організації процесу. Це зниження може бути компенсоване швидшим і повним згорянням водню. Існує ще ряд причин, що ускладнюють використання стехіометричних сумішей в водневому двигуні.

Однією з проблем, пов'язаних з перекладом існуючих ДВЗ на водневе паливо, є небезпека передчасного займання водню-повітряної суміші.

Крім того, при переведенні діючих ДВЗ на водневе паливо слід вважатися з можливістю суттєвого підвищення механічних і теплових навантажень на деталі двигуна. Причина цього – висока швидкість згоряння водню. Швидкість поширення ламінарного полум'я для водню в кілька разів вище, ніж для вуглеводневих палив. Розрахункові і експериментальні дані, отримані при випробуваннях двигунів, що працюють на водні, показали, що швидкість поширення турбулентного полум'я в першому наближенні пропорційна швидкості ламінарного полум'я, відповідно, менше тривалість згоряння. При відсутності спеціальних заходів це призводить до підвищення тиску і температури в циліндрі двигуна.

Необхідно також враховувати, що підвищена температура в зоні згоряння призводить до прискореного утворення окислів азоту через окислення атмосферного азоту. Це може звести нанівець ефект усунення оксидів вуглецю та вуглеводнів, оскільки оксиди азоту мають більш сильну отруйну дію, ніж сполуки вуглецю.

Таким чином, для отримання всіх переваг, які потенційно дає водневе паливо, необхідно врахувати весь комплекс факторів, які можуть викликати погіршення потужних, економічних і екологічних показників, і намітити шляхи їх усунення або компенсації. Найбільш доцільний шлях вирішення таких завдань – комплексне моделювання всіх процесів в двигуні. У цьому випадку, на відміну від експериментальних підходів, можна отримати порівнянні дані про результати тих чи інших заходів, які не залежать від їх конкретного конструктивного рішення.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Суднові енергетичні установки є крупними споживачами рідких палив, що призводить не лише до підвищених витрат на його придбання, підготування та використання, але й на

погіршення екологічних показників навколишнього середовища. Одним зі шляхів, що забезпечують покращення екологічних показників роботи судових ДВЗ є використання альтернативних палив. При цьому, найбільш доцільним є використання етанолу та диметилового ефіру, які з різною концентрацією додаються до дизельного палива, та таким чином утворюють паливну суміш. Найбільш ефективним видом альтернативного палива є водень, що володіє майже чотириразовою перевагою в теплотворній здатності у порівнянні з дизельним паливом. При цьому можливості використання водневих дизелів потребують глибокого попереднього теоретичного вивчення та моделювання.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sagin S., Karianskyi S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Tkachenko I. Impact of Biofuel on the Environmental and Economic Performance of Marine Diesel Engines // Journal of Marine Science and Engineering. – 2023. – Vol. 11(1). – P. 120. <https://doi.org/10.3390/jmse11010120>
2. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // Technology Audit and Production Reserves. – 2020. – Vol. 4 (3(72)). – P. 33–42. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039>.
3. Madey V. Assessment of the efficiency of biofuel use in the operation of marine diesel engines // Technology Audit and Production Reserves. – 2022. – № 2(1(64)). – С. 34–41. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.255959>.
4. Сагін С.В., Мадей В.В., Сагін А.С. Робота судового дизеля на біодизельному паливі // Автоматизація судових технічних засобів : наук. -техн. зб. – 2021. – Вип. 27. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 93 - 107. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-93-107.
5. Madey V.V. Usage of biodiesel in marine diesel engines // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7–8 (July – August). – P. 18-21. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-18-21>.

Підвищення ефективності процесу знезараження баластних вод

Постановка проблеми в загальному вигляді. Однією з головних проблем порушення екосистеми в морській фауні є випадкова чи навмисна інтродукція інвазійних чужорідних видів (ІЧВ) за межами їхнього природного місця існування, що призводить до серйозних екологічних та економічних проблем. На сьогодні найбільшою причиною появи антропогенних чужорідних організмів є морський транспорт, який бере баласт з такими інвазійними бактеріями в одному районі плавання, перевозить його в баластних танках і потім скидає в іншому районі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для рішення цієї проблеми можна використовувати декілька методів, починаючи зі здачі баласту на берегові приймальні споруди для подальшої обробки та закінчуючи заміною баласту у відкритому океані на відстані 200 миль від найближчого берега і на глибині 200 м. Але такі способи є не дуже ефективними та зручними, тому застосовується обробка водяного баласту на борту судна. Вже розроблено певна кількість технологій по обробці та знезараженню баластних вод, які рекомендовані керівництвом Міжнародної морської організації. [1]

Постановка завдання. Головним завданням наукового дослідження є визначення способів обробки заборотної води та інноваційні рішення усунення факторів, що негативно впливають на ефективність процесу знезараження баластних вод.

Виклад основного матеріалу дослідження. Найбільш розповсюдженим судновим обладнанням для знезараження заборотної води вважаються установки, які працюють за методом електролізу або ультрафіолетового опромінення.

Застосування електролізу полягає в пропусканні постійного електричного струму між анодом і катодом всередині установки, через це створюється електричне поле, яке розщеплює молекули води та розчинені солі. На аноді під час електролізу утворюється хлор, який розчиняється в воді, утворюючи висококонцентрований розчин гіпохлориту натрію, і далі повертається в головну водяну баластну трубу після видалення водню під час реакції. Гіпохлорит натрію є ефективним дезінфікуючим розчином, здатним вбивати спори та личинки патогенів. Великим недоліком електролізу є утворення побічного продукту водню (H_2), який вибухонебезпечний при змішуванні з повітрям. Тому для цього впроваджують додаткове обладнання для видалення водню з системи електролізу(рис. 1).

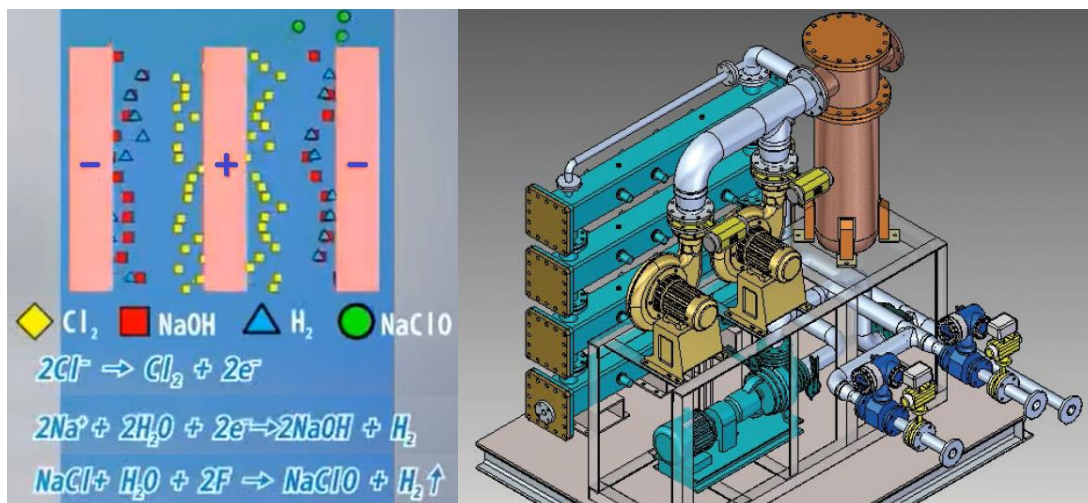


Рисунок 1 – Технологія видалення водню через спеціальне обладнання

Робота установки полягає в тому, що бульбашки водню, які утворюються під час електролізу, надходять у циклон конічного типу з електролізною морською водою для створення турбулентного потоку. Під час високошвидкісного обертання в циклоні вони розбиваються на більш дрібні, а потім піднімаються разом із водяною парою. Після двоетапного процесу поділу пара переходить у рідкий стан та повертається назад, тоді як водень розбавляється двома повітродувками до безпечної концентрації та викидається за борт через окремий трубопровід [2].

Другим недоліком електролізу є залежність окислення морської води від температури, тобто реакція не створює дезінфікуючого процесу при температурі заборотної води нижче 15°C . Тому воду потрібно підігріти в додатковому паровому теплообміннику або в електричному підігрівачі, при якому підвищується споживання енергії.

Іншим методом знезараження баластної води є застосування ламп ультрафіолетового опромінення. Цей метод заснований на використанні певної довжини хвилі ультрафіолетового світла (254 нм), яке має здатність проникати в клітини мікроорганізмів і руйнувати їхню ДНК. Це призводить до нездатності мікроорганізмів розмножуватися і функціонувати, внаслідок чого вони стають неактивними та нездатними до виживання. УФ-лампи (3 кВт кожна) встановлюються в колби, зроблені з кварцового скла, які поміщені у камеру з мельхіорового, бронзового чи кварцового сплаву. Всі ці елементи збираються в один реактор, в якому між колбами проходить морська вода для подальшого знезараження.

Недоліком обробки УФ-опроміненням є те, що ефективність такої систем залежить від загальної кількості зважених речовин і прозорості води, іншими словами, від того наскільки вода каламутна. Чиста вода дозволяє використовувати високий потік через УФ-реактор та низьку потужність ламп. Проблеми виникають, коли судно працює на мілководді в лиманах із сильними приливними рухами води. Високий рівень кількості зважених речовин призведе до зниження рівня пропускання УФ-променів. Тому для підвищення ефективності УФ-обробки застосовують два технічних рішення:

впровадження початкової фільтрації та оптимізацію потоку води і потужності УФ-ламп. [3, с.21].

Видалення мікроорганізмів розміром понад 50 мікронів може бути здійснено лише за допомогою пристроїв для розділення часток, таких як автоматичні фільтри зворотної очистки або за наявності кількох циклонних сепараторів. Використання таких фільтрів чудово допомагає не тільки зменшити каламутність води, а й запобігти накопиченню цього бруду на поверхнях головних знезаражувальних елементів всередині обладнання.

Для остаточного вирішення проблеми, спричиненою низькою якістю води, використовується стратегія оптимізації дози ультрафіолету, а саме: зменшення потоку води та збільшення потужності незалежно або одночасно. Зменшення потоку означає, що встановлення УФ-системи, яка відповідає баластному насосу з продуктивністю 1500 м³/год., буде обмежено обробкою 750 м³/год. або 300 м³/год. у водах із низькою якістю. Для протидії впливу зниження ультрафіолетового пропускання (УФП) у воді низької якості збільшують потужність для досягнення вищої інтенсивності ультрафіолетового випромінювання (ІУВ) і забезпечення необхідної дози ультрафіолетового випромінювання (ДУВ)(рис. 2).

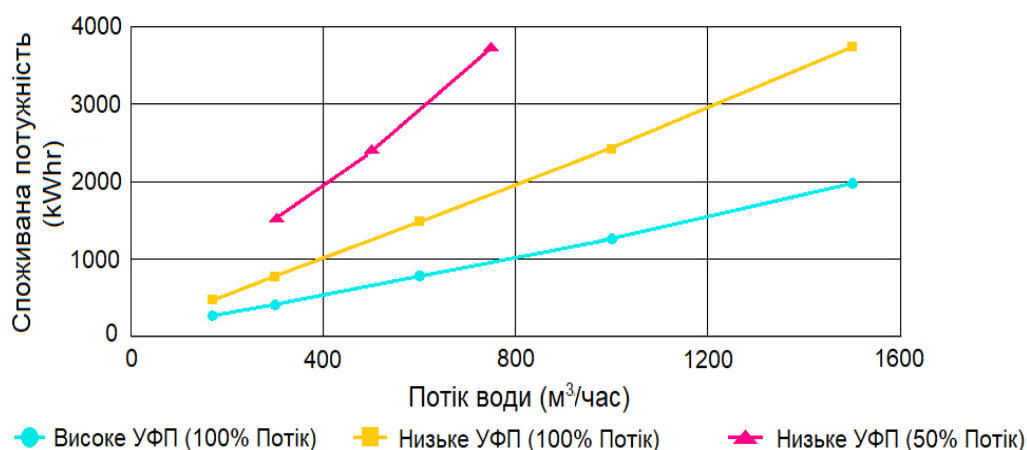


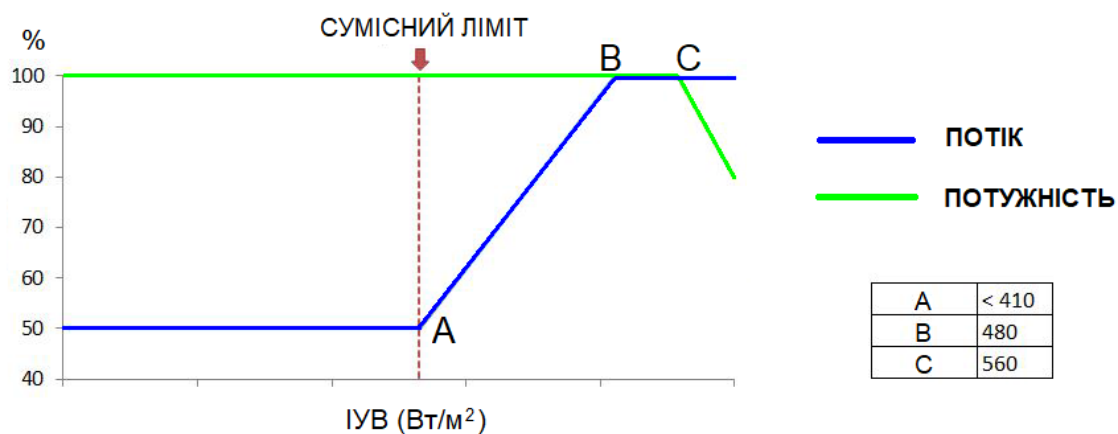
Рисунок 2 – Споживання електроенергії УФ-установки обробки баластних вод

Відсоток вбитих організмів у воді після обробки залежить від застосованої дози ультрафіолету. Доза ультрафіолетового випромінювання (ДУВ) залежить від інтенсивності ультрафіолетового випромінювання (ІУВ) та часу опромінення й визначається як добуток між цими двома параметрами. ІУВ вимірює кількість світла (або енергії), що досягає певної точки вимірювання [3, с.9].

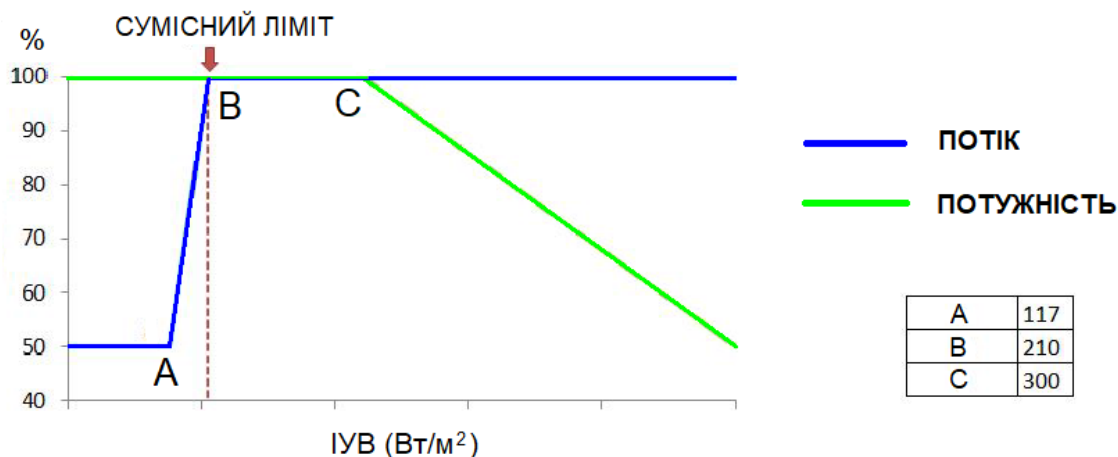
Виробник УФ баластних установок «AlfaLaval» застосовує системи з регулюванням потужності УФ-ламп відповідно до вимог конкретного порту або регіону. Очищення прісної води з солоністю ≤ 1 PSU вимагає іншої оптимізації потужності та контролю потоку, тому вони відрізняються під час очищення прісної води та морської води. Солоність розраховується системою керування на основі вхідних даних від датчика провідності та датчику температури. На рисунку 3 показано керування потоком та

оптимізацію потужності залежно від ІУВ та солоності разом із сумісним лімітом. [4, с.19]

Під час очищення прісної води потік (синя лінія) встановлюється якомога більшим, щоб повністю очистити воду. Між точками інтенсивності ультрафіолетового випромінювання (А) та (В) потік води регулюється між 50% і 100% повної пропускної здатності. Чим вище значення ІУВ, тим вищий потік.



а)



б)

Рисунок 3 – Графіки регулювання потоку води та оптимізації потужності ультрафіолетових ламп «AlfaLaval»: а) – прісна вода; б) – морська вода

При обробці солонуватої морської води вище допустимого ліміту потік (синя лінія) завжди становить 100 % від повної пропускної здатності, але коли ІУВ падає нижче сумісної межі, потік води зменшується до максимум 50%. Мета оптимізації потужності полягає в тому, щоб заощадити електроенергію, зменшивши потужність ламп (зелена лінія) до мінімального значення, необхідного для повного очищення води. Потужність регулюється, коли ІУВ у воді перевищує точку (С). Вихідна потужність регулюється від 50% до 100% повної потужності.[4, с.20]

Висновки і перспективи подальших досліджень. Причиною появи антропогенних чужорідних організмів в морській фауні є перевезення та

скидання баласту морським транспортом, через що було прийнято впровадження установок по обробці водяного баласту на борту судна. Головним недоліком електролізу є утворення вибухонебезпечного водню (H_2), а для його повного видалення з системи потребується додатково застосовувати спеціальне обладнання, яке несе за собою великі витрати та потребує додаткове місце для монтажу. Ефективність обробки ультрафіолетовим опроміненням погіршується у водах з низьким УФ-пропусканням. Результат дослідження показав, що в таких водах раціонально застосовувати автоматичний фільтр зворотної очистки або декілька циклонних сепараторів (в залежності від розміру очисної установки), які, зокрема, запобігають накопиченню бруду на поверхнях знезаражувальних елементів. Такі фільтри показали високу надійність та ефективність фільтрації і можуть бути встановлені також на електролізних установках. Окрім цього ефективність очищення досягається використанням методу автоматичної зміни потоку води та оптимізації потужності на УФ-лампи в прісних та морських водах, як це реалізовано в УФ-системах «AlfaLaval». При цьому досягається не тільки підвищення ефективності обеззаражування за рахунок стабільного рівня УФ-випромінювання, а й продовжується термін служби УФ ламп, оскільки стабільний струм і контроль потоку води в реакторі мінімізують знос лампи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Міжнародна конвенція про контроль суднових баластних вод й осадів та управління ними 2004 року / Ballast Water Management Convention (BWMC): Міжнародна морська організація; Конвенція, Правила, Форма, Міжнародний документ від 13.02.2004 з поправками. International Maritime Organization: вебсайт. URL: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/BallastWaterManagement/Pages/BWMCConventionandGuidelines.aspx>
2. Introduction to SUNRUI BalClor ballast water treatment system, №12. KEEPER, Keep Your Ship Green: вебсайт URL: <https://keepermarine.com/introduction-to-sunrui-balclor-ballast-water-treatment-system%E2%88B9%E2%88B9/>
3. Ballast Water Treatment Systems Performance Analysis & Review, 2020. – 23 p. URL: https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2020/11/ERMA-First-Research-on-BWMS-2020_11.pdf
4. System Manual - PureBallast 3.2 CompactFlex IMO/USCG PB-03569, 2019. – 439 p. URL: <https://pdf.nauticexpo.com/pdf/alfa-laval-mid-europe/alfa-laval-pureballast-3-compact-flex/30729-109745.html>

Підтримка експлуатаційних характеристик технічних рідин під час їх транспортування на морських судах

Постановка проблеми в загальному вигляді. Перевезення, що виконуються суднами морського транспорту, не обмежуються насипними, наливними та об'ємними вантажами. Поряд із судами класів Bulk Carrier, Oil Product/Crude, Oil/Chemical Tanker, Container Ship існує клас спеціалізованих суден Platform Supply Vessels (PSV). Головне призначення PSV – постачання нафтовидобувних платформ паливом та мастилом, необхідними для роботи енергетичної установки бурової платформи, а також спеціальним обладнанням та технічними рідинами, які необхідні для виробничого процесу видобутку нафти. Щоб забезпечити максимальну продуктивність буріння, а також тривалий час підтримувати функціональні властивості бурильних суспензій, до складу суспензій (основу якого становлять вуглеводні) вводять спеціальні реагенти (наприклад, розчини солей NaCl , KCl , CaCl_2 , MgCl_2 , а також кремній органічні сполуки). Зміст легованих компонентів у загальній масі бурильної суспензії може становити 10...15 %, а їхня питома вага перевищує питому вагу вуглеводневої основи, в яку вони вводяться [1]. Знаходження бурильної суспензії у статичному стані під час її транспортування з берега на нафтову платформу призводить до поступового осадження більш важких реагентів на дно вантажного танка. Це призводить до стратифікації густини бурильної суспензії по глибині вантажного танка та зниження її седиментаційної стійкості. Крім того, осадження важких компонентів бурильної суспензії є причиною підвищення гідравлічного опору під час її перекачування з вантажного танка судна на бурову платформу, а в деяких випадках може призвести до пошкодження вантажних насосів. Подальше видалення осаду з вантажних танків проводиться механічним способом і вимагає додаткових витрат енергії та часу, і перше і друге збільшує фінансові витрати та знижує економічні показники роботи суден PSV.

Тому підтримання експлуатаційних характеристик бурильних суспензій під час їх транспортування морськими суднами класу PSV є актуальним прикладним науково-технічним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підтримка функціональних характеристик бурильних суспензій забезпечує надійне функціонування обладнання та безперервність процесу видобутку нафти. Найчастіше вивчення цих питань відбувається для континентальних родовищ, тобто для умов, які не враховують специфіку транспортування та передачі бурильних суспензій на морські чи океанські бурові платформи [2]. Питання забезпечення функціональних властивостей та експлуатаційних характеристик технічних рідин, якими є бурильні суспензії, стосовно морської галузі практично не вивчені. Латентне погіршення їх густини та седиментаційної стійкості не завжди мо-

же бути визначено, оцінено та усунуто судновим екіпажем. Правила їх транспортування, а також регулювання густини бурильної суспензії та підтримання значення густини з допустимим діапазоном неузгодженості не мають підтверджених практичних рекомендацій [3, 4].

Постановка завдання. Мета дослідження – розробка способу автоматичного регулювання седиментаційної стійкості бурильної суспензії під час її транспортування у вантажних танках суден класу PSV. Це забезпечить:

- підтримку функціональних властивостей бурильної суспензії;
- мінімізацію утворення осаду важких компонентів, якими легована бурильна суспензія;
- зниження додаткового споживання енергії, пов'язаного із постійною роботою циркуляційних насосів, та скорочення часу перекачування бурильної суспензії з вантажних танків судна на нафтовидобувну платформу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Підтримка експлуатаційних характеристик робочих (паливо, мастило) та технічних (мастильно-охолоджувальні розчини, бурильні суспензії) рідин забезпечується шляхом їх додаткової гідродинамічної, ультразвукової та хімічної обробки. Під час гідродинамічної обробки потік рідини піддається ударним силовим навантаженням змінної частоти з одночасним збільшенням швидкості та зміною напрямку її руху. Це сприяє розриву молекулярних зв'язків між елементами дисперсної фази та підтримці дисперсності та однорідності всього об'єму рідини [3]. Під час ультразвукової обробки у потоці рідини відбувається імпульсне підвищення та зниження тиску в локальних обсягах рідини. При цьому, за рахунок виникнення кавітаційних процесів виникають додаткові турбулентні потоки, які підвищують однорідність і запобігають розшарування рідини. У разі використання хімічної обробки обсяг рідини вводяться додаткові реагенти, які за рахунок міжмолекулярних взаємодій забезпечують підтримку однорідності рідини на потрібному рівні протягом періодів зберігання і транспортування. Наведені способи вирішення проблеми підтримки густини та седиментаційної стійкості технічних рідин застосовуються для палив та масил, які використовуються в судових енергетичних установках морського та внутрішнього водного транспорту [4].

Порушення технології гідродинамічної або ультразвукової обробки технічних рідин (зокрема бурильних суспензій) може призвести до надмірного подрібнення дисперсної фази та подальшого зниження їх триботехнічних характеристик. Це згодом негативно впливатиме на процес буріння [1]. Під час хімічної обробки в складі бурильних суспензій залишаються реагенти, які можуть надавати корозію або руйнівний вплив на металеві або синтетичні елементи системи буріння та циркуляції бурильної суспензії на нафтовидобувній платформі, негативно впливати на екологію, а також підвищувати рівень механічних втрат.

Судна класу PSV відносяться до середньошвидкісного класу (їхня максимальна швидкість, як правило, не перевищує 12...13 вузлів). Тому тривалість їх переходу (а, відповідно, час транспортування бурильної суспензії)

від порту до нафтової платформи становить 2...3 дня. Крім того, можливі випадки, коли деякі експлуатаційні та технологічні причини, а також несприятливі погодні умови спричиняють необхідність дрейфу або стоянки біля бурових платформ. Тривалість цього проміжку часу може коливатися від кількох годин до 5...7 днів.

Саме в таких умовах працювало спеціалізоване морське судно класу PSV водотоннажністю 7320 тонн, на якому виконувались дослідження. Конструкція судна передбачала прийом та транспортування бурильної суспензії у чотирьох вантажних танках, попарно розташованих на лівому та правому борту судна. Відмінність габаритних розмірів вантажних танків (довжини, ширини та глибини) один від одного не перевищувала 0,1%. Також практично однаковою була об'ємна кількість бурильної суспензії, яка в них транспортувалася. Як спосіб, що знижує стратифікацію щільності бурильної суспензії, можливе використання додаткової циркуляції суспензії між танками (рис. 1). При цьому додаткові циркуляційні насоси 5 і 6 здійснюють перекачування бурильної суспензії з нижньої частини танків 3 і 4 у верхню частину танків 4 і 3. Судова система транспортування бурильної суспензії додатково комплектувалася системою автоматичного регулювання густини бурильної суспензії, до складу якої входили ноутбук 1, на який передавались показання ареометру 2) та мікроконтролер 7.

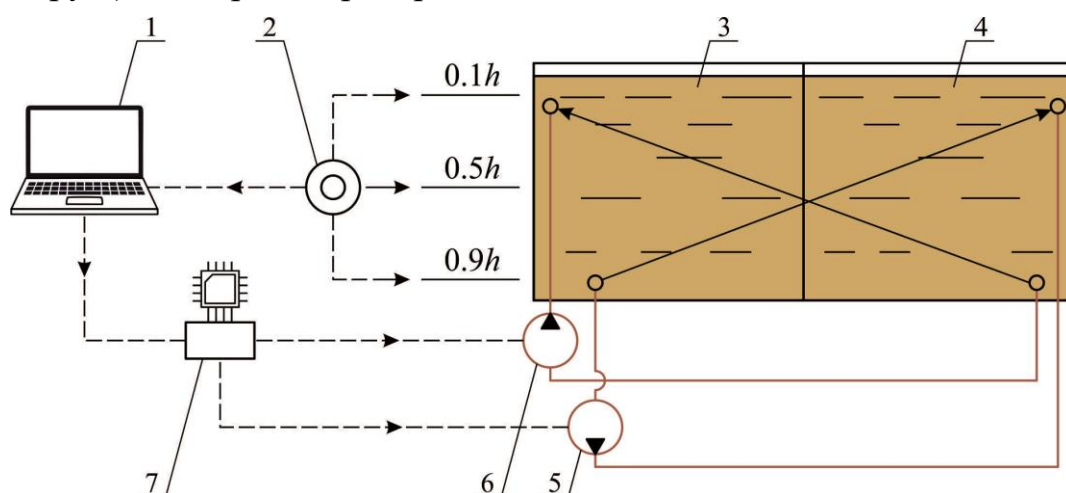


Рис. 1. Забезпечення додаткової циркуляції бурильної суспензії у вантажних танках судна та технологія проведення експериментальних робіт:

- 1 – ноутбук; 2 – ареометр; 3, 4 – вантажні танки для перевезення бурильної суспензії;
5, 6 – додаткові циркуляційні насоси, 7 – мікроконтролер

Зміна структурного стану бурильної суспензії оцінювалося шляхом вимірювання її густини на рівнях, що відповідають 10, 50 і 90 % загальної глибини танка. Для вимірювання густини використовувався занурювальний ареометр (позиція 2 на рис. 1), що дозволяє виконувати вимірювання в діапазоні $650 \dots 1630 \text{ кг/м}^3$ з точністю $\pm 1 \text{ кг/м}^3$ [5]. На кожному з рівнів виконувалось по шість вимірів, отримані таким чином значення усереднювалися. Також усереднювалися значення густини на рівні $0,1h$, $0,5h$, $0,9h$ (де h – глибина танку) в попарно розташованих з кожного борту судна танках (у двох з яких транспортування бурильної суспензії виконувалося без примусової циркуля-

ції, у двох – з примусової циркуляцією). Цикл вимірювань густини та подальша фіксація отриманих значень у програмі ноутбука не перевищували 10 хв.

Седиментаційна стійкість бурильної суспензії оцінювалася як зміна вертикальної густини поблизу поверхні та донної частини вантажного танку

$$\Delta\rho = \frac{\rho_{90} - \rho_{10}}{\rho_{90}} 100\%, \quad (1)$$

де ρ_{90} , ρ_{10} – густина бурильної суспензії на рівнях $0,9h$ та $0,1h$ відповідно (рис. 1).

Великі значення $\Delta\rho$ відповідають збільшенню кількості осаду легованих елементів, більш високому ступеню розшарування бурильної суспензії та зниженню її седиментаційної стійкості.

Значення седиментаційної стійкості було входним параметром для контролера 7, який забезпечував включення / вимкнення насосів примусової циркуляції 5 та 6 (рис. 1). Дослідження виконувались за умови постійних зовнішніх обурень (зокрема при хвилюванні моря менше 3 балів за 12-бальною шкалою) під час руху судна та очікування підходу до бурової платформи. Морський перехід PSV відбувався без зміни стійкості, тому висота рівня бурильної суспензії в вантажному танку вважалася постійною. Зміна температури бурильної суспензії під час її транспортування не перевищувала $\pm 1^\circ\text{C}$, що не впливало на коефіцієнт лінійного розширення та не призводило до збільшення її обсягу у вантажному танку. Експериментальні дослідження виконували протягом 48 годин, інтервал вимірювання густини бурильної суспензії становив 6 годин. Оброблені результати експерименту наведені на рис. 2.

Програмований мікроконтролер (позиція 7 на рис. 1) був налаштований таким чином, що при досягненні стійкості седиментації значення 7 % відбувалося включення циркуляційних насосів (позиції 5 і 6 на рис. 1). Примусова циркуляція сприяла зниженню розшарування суспензії бурильної і відновленню її однорідності. При досягненні седиментаційної стійкості величини 2 % програмований мікроконтролер (позиція 7 на рис. 1) здійснював вимкнення циркуляційних насосів (позиції 5 та 6 на рис. 1). Це забезпечувало зниження витрати енергії на їхню роботу та підвищувало конструктивний коефіцієнт енергетичної ефективності судна [3, 5].

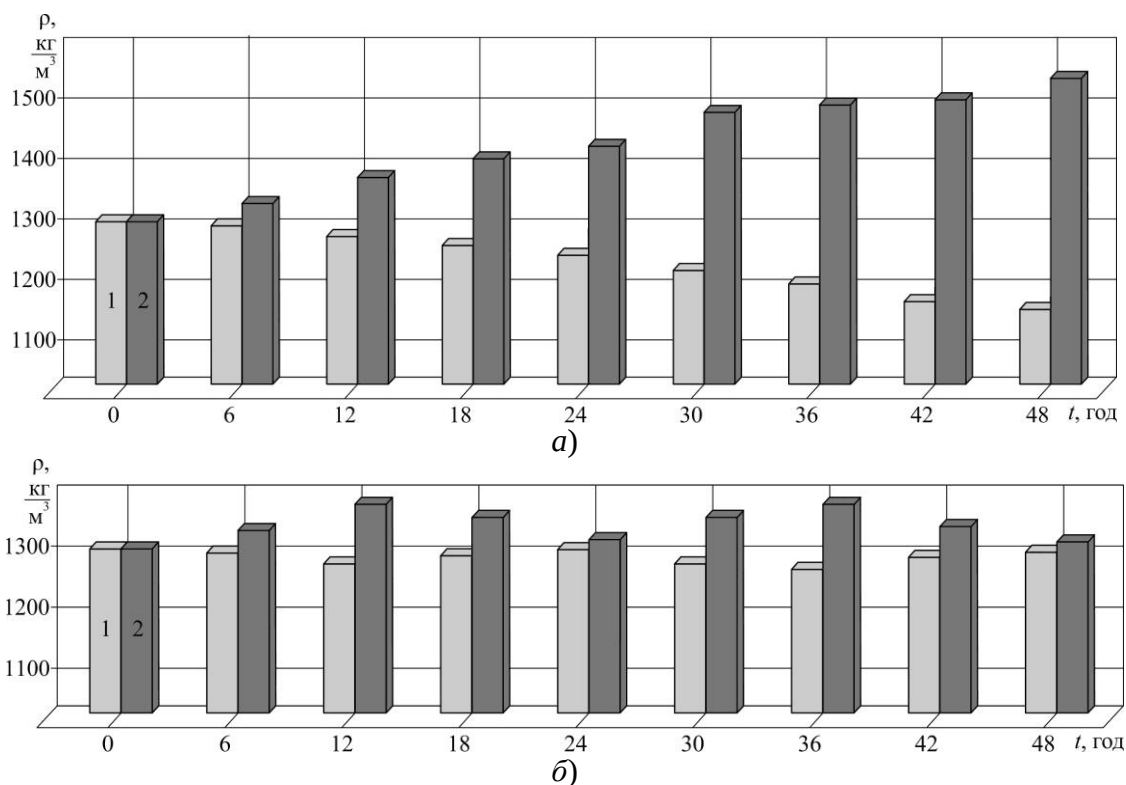


Рис. 2. Зміна густини, ρ , бурильної суспензії в залежності від часу:

а – транспортування без модернізації конструкції системи, *б* – транспортування з додатковою Х-подібною циркуляцією

Висновки і перспективи подальших досліджень. Дослідження, що проведені в системі транспортування бурильної суспензії морського судна класу PSV водотоннажністю 8820 тонн, дозволяють зробити такі висновки.

1. Під час транспортування бурильної суспензії відбувається її розшарування, збільшення густини в донній частині вантажного танка та зменшення на поверхні танка. Експериментально підтверджено, що за умовою 48-годинного транспортування відбувається:

- збільшення густини бурильної суспензії в донній частині до 19,7%;
- зменшення густини на поверхні – до 7,8 %;
- зниження седиментаційної стійкості бурильної суспензії за глибиною вантажного танка – до 29,85%.

2. Одним з методів, що запобігають розшарування бурильної суспензії та утворення осаду з важких компонентів, якими вона легована, а також автоматичного регулювання її седиментаційної стійкості є створення додаткової Х-подібної циркуляції бурильної суспензії між рядом розташованими вантажними танками. Використання програмованих мікроконтролерів (які виконують увімкнення / вимкнення циркуляційних насосів) можливе забезпечення наступних умов транспортування бурильної суспензії:

- збільшення густини бурильної суспензії в донній частині до 0,3 %;
- зменшення густини на поверхні – до 0,25 %;
- зниження седиментаційної стійкості суспензії бурильної по глибині вантажного танка – до 8 01 %.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Карьянский С.А. Обеспечение эксплуатационных характеристик высокоплотных технических жидкостей при их транспортировке морскими судами / С.А. Карьянский, Д.Н. Марьянов // Вісник Одеського національного морського університету : Зб. наук. праць, 2020. – Вип. 1(61). – С. 97-105. doi.org/10.47049/2226-1893-2020-1-97-105.
2. Maryanov D. Development of a method for maintaining the performance of drilling fluids during transportation by Platform Supply Vessel / D. Maryanov // Technology Audit and Production Reserves. – 2021. – №5(2(61)). – С. 15-20. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.239437>.
3. Карьянский С.А. Регулирование плотности бурильной суспензии при ее транспортировке судами класса Platform Supply Vessels / С.А. Карьянский, Д.Н. Марьянов // Автоматизація суднових технічних засобів : наук. -техн. зб. – 2021. – Вип. 27. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 52 - 62. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-52-62.
4. Maryanov D. Control and regulation of the density of technical fluids during their transportation by sea specialized vessels / D. Maryanov // Technology Audit and Production Reserves. – 2022. – № 1(2(63)). – Р. 19-25. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.252336>.
5. Мар'янов Д.М. Удосконалення системи зберігання та циркуляції бурильної суспензії на судах типу Platform Supply Vessel / Д.М. Мар'янов // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вип. 43. – Одеса: НУ «ОМА». – 2021. – С. 54 - 68. doi: 10.31653/smf343.2021.54-68.

Забезпечення процесу інертизації вантажних приміщень нафтових танкерів

Постановка проблеми в загальному вигляді. Ефективність експлуатації суден, що призначені для перевезення сирої нафти та нафтопродуктів, крім транспортних операцій, визначається технологіями, які використовуються під час підготовки судна до прийому нового вантажу. Однією з таких технологій є інертизація вантажних танків, яка передують будь-яким вантажним операціям. У технології управління та контролю процесом інертизації вантажних танків на танкерах існує ряд недоліків. Перш за все до них відносяться: велика тривалість процесу; відсутність технічних засобів інтенсифікації процесу заміщення атмосфери танку; невідповідність вимірів концентрації атмосфери танку на виході реальним значенням усередині вантажного танку [1]. Сукупність цих недоліків неспроможна гарантувати високу ефективність процесу інертизації вантажних приміщень танкера, з цієї причини процес інертизації вантажних танків нафтоналивного судна займає значний час та впливає на економічність та екологічність роботи морського судна [2].

Основні принципи роботи системи інертного газу на танкерах базуються на спалюванні дизельного палива в генераторі інертних димових газів, який є окремим пристроєм, що не пов'язаний із судовим контуром підготовки палива. Отриманий під час функціонування генератора інертний димовий газ після проведення низки операцій з його очищення та зниження температури спрямовується до вантажних танків.

Відповідно до вимог SOLAS технічні показники, за якими інертного газу повинні подаватися до вантажних танків нафтоналивних суден визначаються такими значеннями: концентрація кисню в інертного газу повинна бути не більше 5%; концентрація кисню у вантажному танку – менше за 8 %; температура інертних газів – менше за 65 °С.

Модернізація системи інертного газу танкерів передбачає проведення дослідницьких робіт з двох напрямів: конструктивної зміни технології підготовки палива в системі генерування інертних газів та вдосконалення технології інертизації вантажних танків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Висхідний вимушений рух атмосфери у вантажному танку з його подальшим видаленням з танку викликається дією сили з боку інертного газу, що подається у вантажний танк. Ця сила утворюється через зміну густини багатофазної суміші усередині танка, а також є наслідком взаємопов'язаних між собою процесів перенесення теплоти та передачі маси через різні концентрації інертного газу та атмосфери танка. Температурна стратифікація багатофазного потоку, що рухається в суміші з атмосферою танка по висоті вантажного

приміщення, також є одним із факторів, що впливають на швидкість заміщення атмосфери усередині вантажного танка [3]. За умовою зміни температури від 20 °С до 50° С густина повітря змінюється на 10 % від 1,2 кг/м³ до 1,09 кг/м³ [4].

У роботах [5, 6] показано, що у разі вимушеної конвекції поле течії в замкнутому обсязі перестає залежати від механізмів теплопередачі та поточного поля температур. Цей факт безпосередньо вказує на доцільність використання подачі струменів інертного газу у вантажні приміщення танкера. Основна спрямованість досліджень механізму використання подачі струменів інертного газу у вантажний танк судна має бути призначена для розв'язання завдання щодо скорочення часу його інертизації та зменшенню енергетичних втрат на його проведення.

Під час інертизації вантажного танку подача струменів інертного газу повинна бути узгодженою зі потоком повітря, що рухається з невисокими швидкостями всередині жорстких стінок вантажного танку, що обмежують його. Основну зміну динамічні характеристики багатофазного потоку газів та повітря будуть зазнавати у кутових зонах [7]. З цієї причини дуже важливою є подача струменів інертного газу саме в центральну частину висхідного повітряного потоку. У цьому випадку великомасштабні турбулентні вихори в середині вантажного танку призводитимуть до скорочення часу його інертизації, що сприятиме зменшенню стоянкового часу судна та, відповідно, пов'язаних з цим витрат [8].

Постановка завдання. Основним завданням досліджень є встановлення ступеня впливу параметрів газового потоку (якій утворюється генератором інертних димових газів) на вході в вантажний танк на характер зміни концентрації кисню у атмосфері танку. За кінцевий результат розв'язання цього науково-прикладного завдання визначено скорочення часу інертизації вантажних приміщень нафтоналивних суден.

Виклад основного матеріалу дослідження. На стадії експериментального вивчення процесу інертизації вантажного танку за рахунок удосконалення подачі інертного газу були використані три технологічні схеми, які показані на рис. 1.

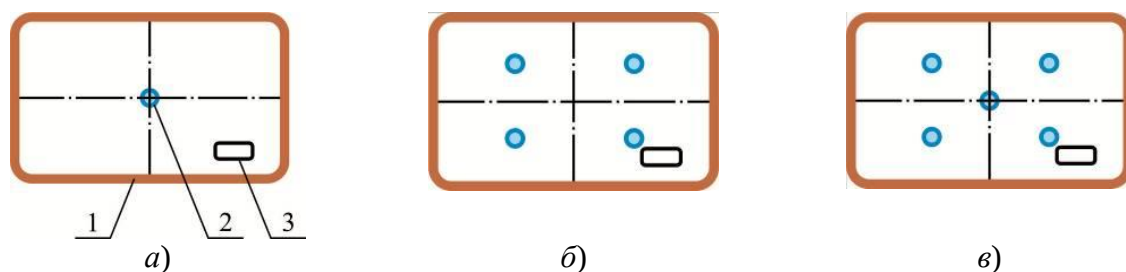


Рис. 1. Схеми подачі інертного газу у вантажний танк:

а – перша, *б* – друга, *в* – третя схеми; 1 – вантажний танк; 2 – сопло подачі газів (розміщено на днище танку); 3 – вихідний отвір (розміщено у верхній частині танку)

Під час експериментів використовувалося три однакові за пропускною здатністю сопла, але з різними кутами розкриття α конуса факела струменя інертних газів рівними 30° , 60° та 90° (рис. 2).

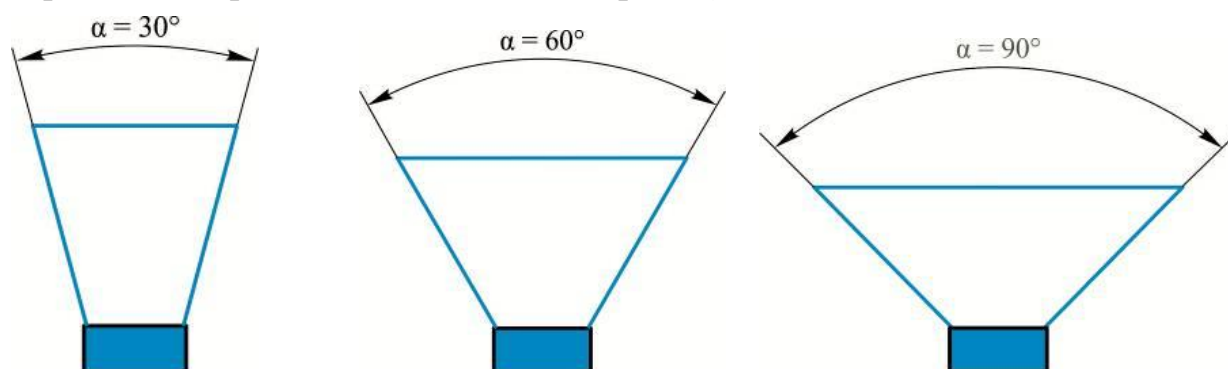


Рис. 2. Подач інертних газів в вантажні танки з різними кутами розкриття факелу

Перша схема (рис. 1, а) містила лише одне джерело струменя з кутом розкриття $\alpha=60^\circ$ (рис. 2, б). Воно розміщувалося в центральній точці днища вантажного танку. Друга схема (рис. 1, б) містила чотири джерела струменів інертних газів, які розміщувались хрестоподібно на днищі танку. Сопла встановлювалися по діагоналі в чотирьох центрах однакових прямокутних зон днища танку. Їхній кут розкриття для створення конусного факелу струменя становив $\alpha=30^\circ$ (рис. 2, а). Цей кут використовувався з метою виключення взаємного впливу струменів інертного газу один на інший під час їх спрямування в об'єм танку. Третя схема (рис. 1, в) була комбінована. Кількість джерел струменів дорівнювала п'яти. На початку процесу подачі інертного газу використовувалися чотири джерела, що розміщувались по кутам танку з кутом розкриття $\alpha=30^\circ$ (рис. 2, а). Під час зниження вихідного значення концентрації кисню в повітрі на тридцять відсотків подача інертного газу відбувалася лише з п'ятого – центрального джерела струменя. У ньому використовувалося сопло, що створює кут розкриття конуса факела струменя $\alpha=90^\circ$ (рис. 2, в). З початком роботи центрального сопла всі кутові джерела подачі струменів інертного газу відключалися [37, 38].

Для всіх трьох схем подачі інертного газу у вантажний танк було отримано залежність зміни концентрації кисню від часу під час процесу інертизації. Вимірювання проводилися одночасно на різних висотах у шести вантажних приміщень.

Результати порівняння зі стандартною технологією показано на рис. 3. В зв'язку з тим, що під час проведенні експериментів головним завданням був вибір найбільш ефективної схеми подачі інертного газу, тривалість роботи газоаналізатора була обмежена періодом о 5 годині.

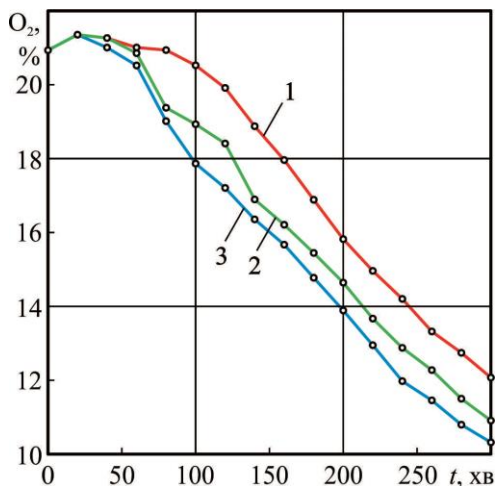


Рис. 3. Зміни концентрації кисню у вантажному приміщенні нафтоналивного судна за різних кутів струменя інертного газу: 1 – 60° (стандартна схема); 2 – 30°; 3 – 90°

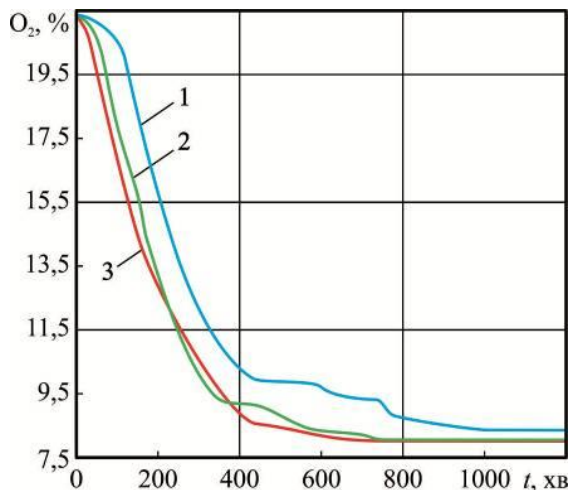


Рис. 4. Зміна концентрації кисню у вантажному приміщенні нафтоналивного судна за різною подачею інертного газу: 1 – стандартна; 2 – удосконалена; 3 – розрахунок

Як свідчать результати, що наведені на рис. 3, якісний характер процесу зменшення концентрації кисню всередині вантажного приміщення у всіх чотирьох випадках залишався практично ідентичним. Це вказує на те, що вплив кута розкриття факела струменя інертного газу на характер заміщення атмосфери танка не є основним і що на процес впливає ступінь стратифікації густини багатофазного потоку газів і повітря всередині вантажного приміщення танкера. Результати що наведені на рис. 3, також свідчать, що якість роботи другої технологічної схеми подачі інертного газу у порівнянні з першою схемою краще, але найбільше скорочення часу інертизації вантажного приміщення було досягнуто з використанням третьої технологічної схеми. У порівнянні з використанням традиційної подачі інертного газу зміни в кращу сторону за інших рівних умов призвели до додаткового зменшення концентрації кисню за той же період інертизації вантажного танка.

Порівняння результатів вимірювань, що описують весь процес зміни концентрації кисню у вантажному приміщенні танкера з використанням удосконаленої та стандартної технології подачі інертного газу показано на рис. 4. Також на рис. 4 наведено дані теоретичних розрахунків (суцільна лінія) процесу інертизації вантажного танка. Експериментальні дані, що показані на рис. 4, були отримані одночасно, коли проводився процес інертизації двох ідентичних вантажних танків. Подача газу відбувалася за стандартною технологічною схеми (рис. 1, а) та з використанням розробленої комбінованої схеми (рис. 1, в).

Висновки і перспективи подальших досліджень. Проведені дослідження та отримані результати дозволяють зробити наступні висновки:

1. Використовувана нині технологія інертизації вантажних приміщень танкерів характеризується великою тривалістю часу цього процесу. Для розв'язання цієї проблеми запропоновано підвищити якість процесу

інертизації вантажних приміщень танкеру за рахунок використання удосконаленої подачі струменів інертного газу.

2. Під час інертизації танку подача струменів інертного газу має бути узгодженою зі структурою потоку повітря, що рухається з невисокими швидкостями всередині жорстких стінок вантажного танку, що обмежують його. Для цього була розроблена комбінована схема подачі інертного газу до вантажного танку судна.

3. Запропонована технологія подачі інертного газу у вантажний танк забезпечує поліпшення процесу інертизації нафтоналивного судна, що відображається в скороченні часу, якій потрібен на його проведення.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бражнік І.Д. Изменение рабочих характеристик системы инертизации танкера за счет принудительной подачи газов // Науковий вісник Херсонської державної морської академії: Науковий журнал. – 2019. – № 1(20). – Херсон: ХДМА. – С. 4 - 11.

2. Бражнік І.Д. Модернизация процесса вентиляции грузовых трюмов танкера с помощью системы инертных газов // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія: «Технічні науки». – 2019. – Т. 30(69) – № 5. – С. 129 - 133.

3. Малахов О.В., Колегаев М.О., Бражнік І.Д., Ліхогляд К.А. Характеристики процесу тепло-масопереносу в застосуванні до вентиляції інертними газами вантажних трюмів танкерів // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2019. – Вип. 39 – Одеса: НУ«ОМА». – С. 56 - 68.

4. Anand S., Suresh S., Santhosh Kumar D. Heat Transfer Studies of Supercritical Water Flows in an Upward Vertical Tube // Journal of Heat and Mass Transfer Research. – Semnan : Semnan University Press. – 2019. – Vol. 6. – Iss. 2. – P. 155 - 167.

5. Reif A., Büchner A., Rehfeldt S., Klein H. Outer heat transfer coefficient for condensation of pure components on single horizontal low-finned tubes // Heat and Mass Transfer. – Berlin : Springer, 2019 – Vol. 55. – Iss. 1. – P. 3 - 16.

6. Shervani-Tabar M.T., Parsa S., Ghorbani M. Numerical study on the effect of the cavitation phenomenon on the characteristics of fuel spray // Mathematical and Computer Modelling. – Amsterdam: Elsevier. – 2012. – No 56. – P. 105 - 117.

7. Kolegaev M.O., Brazhnik I.D. Main ways of tanker inert gas system modernization // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 38. – Одеса : НУ«ОМА». – С. 200 - 216.

8. Malakhov O.V., Kolegaev M.O., Brazhnik I.D., Saveleva O.S., Malakhova D.O. New Forced Ventilation Technology for Inert Gas System on Tankers // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. – 2020. – Vol. 9. – Iss. 4. – P. 2549 - 2555.

Підвищення ефективності суднових дизелів шляхом хімічної обробки палива

Постановка проблеми в загальному вигляді. Найважливішими напрямками вдосконалення суднових енергетичних установок, оснащених двигунами внутрішнього згоряння, є скорочення витрати палива, поліпшення екологічних характеристик, насамперед щодо викидів шкідливих речовин з випускними газами, за умовою збереження високих ресурсних показників. Зазначені завдання розв'язуються за рахунок удосконалення робочого циклу дизеля та утилізації відведеної від двигуна теплоти, оптимізації процесів паливоподачі та сумішутворення, модернізації систем регулювання теплового стану двигуна та вибору найбільш раціональних режимів охолодження. Суттєвий вплив на показники надійності, економічності та екологічної безпеки надає також вид палива, що споживається судновою енергетичною установкою (насамперед дизелями), та його якість.

Судна морського та внутрішнього водного транспорту є одними з основних споживачів дизельного палива, що є продуктом переробки нафти. Якість палива суттєво впливає на експлуатаційні показники суднових енергетичних установок: економічність; надійність; екологічну безпеку, що визначається за токсичністю та димністю відпрацьованих газів. В даний час якість дизельного палива регламентує міжнародним стандартом ISO 8217:2024 "Products from petroleum, synthetic and renewable sources – Fuels (class F) – Specifications of marine fuels". Цей стандарт встановлює значення фізико-хімічних показників, що визначають якість палива, таких як цетанове число, фракційний склад, кінематична в'язкість, температури застигання, помутніння, спалаху, масова частка сірки, вміст водорозчинних кислот і лугів, концентрація фактичних смол, кислотність, йодне число, зольність та ін. Для забезпечення необхідних значень окремих фізико-хімічних показників на завершальній стадії виробництва дизельних палив суміш дистилятної газойлевої фракції і продуктів, отриманих в результаті каталітичного крекінгу і гідрокрекінгу, вводяться присадки, що поліпшують одну або кілька властивостей дизельного палива [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Посилення вимог до експлуатаційних показників суднових енергетичних установок за умовою забезпечення положень стандарту ISO 8217, обумовлює необхідність підвищувати якість палива шляхом проведення їх хімічної обробки (яка досягається через використання присадок) не тільки в процесі виробництва палив, але і в процесі експлуатації дизелів. Саме тому продовжуються активні дослідження з розробки сучасних присадок до дизельного палива.

Присадки для дизельного палива поділяються на такі групи: депресорно-диспергуючі; депресорні; диспергатори парафінів; протизносні (змащуваль-

ні); цетанопідвищувальні (промотори займання); активатори горіння; багатофункціональні. До найбільш важливих відносяться цетанопідвищувальні присадки або промотори займання, вплив яких визначається цетановим числом, та активатори горіння.

Механізм дії цетанопідвищуючих присадок полягає у легкому гомолітичному розпаді їх молекул по зв'язках O-O або O-N, у прискоренні передпум'яних реакцій, сприянні розгалуженню окислювальних ланцюгів та утворенню нових реакційних центрів. Ці присадки діють лише на початкових стадіях процесу горіння. В результаті збільшується здатність вуглеводнів до більш повного окислення (згоряння), і реакція протікає в умовах, близьких до ідеальних [2].

На відміну від цетанопідвищуючих присадок, активатори (каталізатори) горіння сприяють виникненню сил вільного переходу, ослаблення міжмолекулярних зв'язків та спрощення просторової структури вуглеводнів. Структура палива стає більш однорідною, з рівномірним просторовим розташуванням вуглеводнів у всьому обсязі (рис. 1).

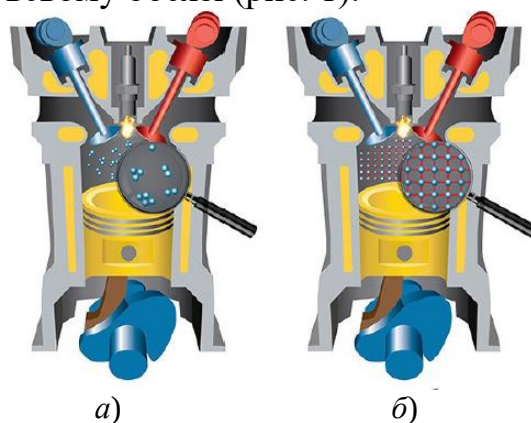


Рис. 1. Вплив активатора горіння на структуру паливоповітряної суміші: а – без активатора горіння; б – з активатором горіння

Аналіз науково-технічної та патентної літератури показав, що розробці присадок до дизельного палива приділяється велика увага як науково-дослідним, так і виробничим організаціям. Цетанопідвищувальні присадки представлені фірмами Exxon (Paradyne-668), Castrol (Castrol TDA), BASF (Kerobrizol EHN), Clariant (Dodycet 5073), Ethyl (HiTec 4103W), Librizol (ADX 733), Dif Combustion BDC та ін.

Як правило в науково-технічній та патентній літературі, інформація про присадки не містить даних про їх хімічний склад та фізико-хімічний механізм впливу на процес згоряння дизельного палива та інші експлуатаційні показники дизельних двигунів [3].

Постановка завдання. У зв'язку з вищевикладеним, метою дослідження було визначення впливу хімічної обробки палива на економічність роботи судових дизелів, як однієї з основних складових їх ефективності.

Виклад основного матеріалу дослідження. Однією з присадок, що покращують процес згоряння дизельного палива, є NagroBoost, яка має наступні характеристики: густина – 821 кг/м^3 ; нижча теплотворна здатність – 44718 кДж/кг ; температура спалаху – 63°C ; температура самозаймання –

[illegible]

1 – дизель; 2 – генератор водню; 3 – паливопідкачуючий насос; 4 – змішувальна камера;
5 – паливний насос високого тиску; 6 – форсунка; 7 – датчик навантаження;
8 – тахогенераторний датчик; 9 – накопичувальна камера присадки; 10 – електричний ре-
гулюючий клапан; 11 – електронний блок управління; 12 – задатчик; 13 – блок порівнян-
ня; 14 – канал транспортування палива; 15 – канал транспортування паливної суміші (па-
лива та присадки); 16 – канал подачі паливної суміші під тиском у форсунку; 17, 18 – ка-
нали подачі присадки; 19, 20 – канали подачі електроенергії; 21-24 – канали подачі елект-
ричних сигналів

$$b_e = \frac{3600V_{\text{п}}\rho_{\text{п}}}{N_e};$$

$$b_e = \frac{3600V_{\Pi}\rho_{\Pi}}{N_e};$$

N_e – експлуатаційна потужність дизеля, кВт.

Відповідно з характеристиками на присадку NagroBoost її рекомендована концентрація в паливі складає 0,01...0,05 %. В зв'язку з цим під час дослідження зміст присадки в паливі приймався 0,01 %, 0,02 %, 0,03 %, 0,04 % та 0,05 %. Дослідження виконувались на режимах, що відповідали 50 %, 60 %, 70 %, 80 % та 90 % від номінальної потужності. На кожному з досліджува-

них режимів (кожний з яких відповідав окремому вмісту присадки та окремому навантаженню) тривалість випробувань складала 1 год. Це забезпечувало стали температурні та навантажувальні режими та гарантувало коректність проведення вимірювань та подальших розрахунків. Результати дослідження наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Зміна питомої витрати палива за різних умов проведення експерименту

Вміст присадки в паливі	Експлуатаційна потужність дизеля, %				
	50	60	70	80	90
0	238	228	226	222	218
1	228	221	216	214	213
2	221	214	214	208	208
3	231	224	218	214	215
4	218	214	212	208	206
5	234	226	224	218	216

Примітка: 0 – робота дизеля з використанням палива без присадки; 1, 2, 3, 4, 5 – робота дизеля з використанням палива з присадкою з концентрацією 0,01 %, 0,02 %, 0,03 %, 0,04 % та 0,05 % відповідно

З метою кращої візуалізації, результати, що наведені в таблиці 1, узагальнені в вигляді рис. 3.

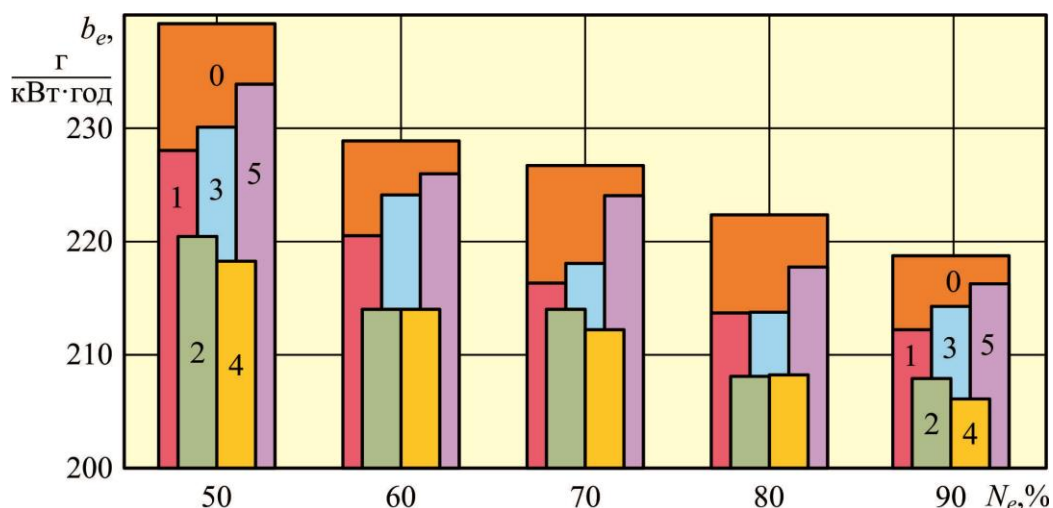


Рис. 3. Зміна питомої витрати палива за різних умов проведення експерименту: 0 – робота дизеля з використанням палива без присадки; 1, 2, 3, 4, 5 – робота дизеля з використанням палива з присадкою з концентрацією 0,01 %, 0,02 %, 0,03 %, 0,04 % та 0,05 % відповідно

Відхилення питомої витрати палива під час використання присадки від експлуатаційного режиму, якій відповідав роботи дизеля з використанням палива без присадки, визначалось за виразом

$$\Delta b_e = \frac{b_e^0 - b_e^i}{b_e^0} \cdot 100\%;$$

Для всіх досліджуваних режимів мінімальна витрата палива відповідала умовам, за якими вміст присадки в паливі складав 0,04 %; максимальна витрата палива – у випадку, коли концентрація присадки дорівнювала 0,05 %.

Діаграма, що відображає діапазон зниження питомої витрати палива під час використання присадки, наведена на рис. 4.

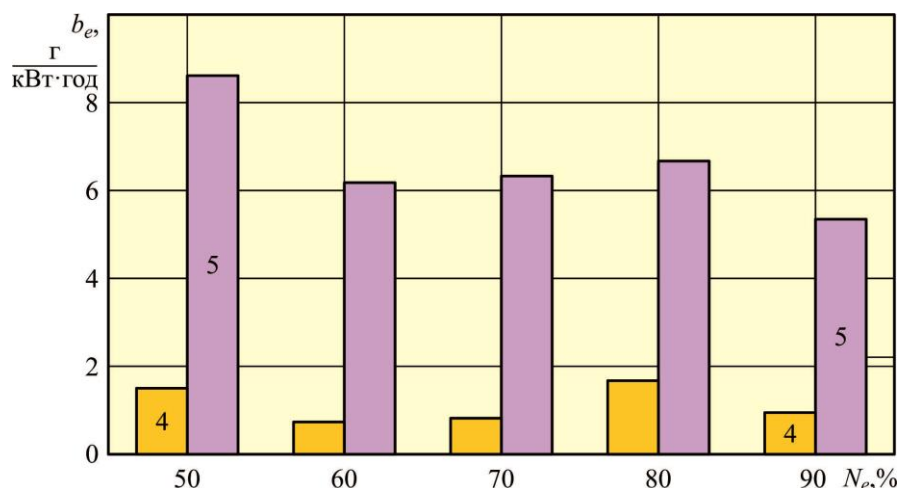


Рис. 3. Зміна питомої витрати палива за різних умов проведення експерименту

Висновки і перспективи подальших досліджень.

1. Хімічна обробка палива призводить до підвищення ефективності суднових дизелів, що виражається в зменшенні питомої витрати палива. При цьому на різних режимах роботи суднового дизеля можливо досягти зниження питомої витрати палива від 0,9 до 8,4 %.

2. Максимальне підвищення паливної економичності відбувається в діапазоні 75...85 % навантаження дизеля, тобто режимів, що характеризуються найбільшим експлуатаційним періодом роботи, а також підвищеної теплової напруженістю.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Zablotskyi Yu.V., Sagin A.S. Applying of fuel additives in marine diesel engines // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2021 – Вип. 43. – Одеса: НУ «ОМА». – С. 5 - 17.

2. Побережний Р.В., Сагін С.В. Забезпечення екологічних показників дизелів суден річкового та морського транспорту // Суднові енергетичні установки: наук. -техн. зб. – 2020. – Вип. 41. – Одеса: НУ "ОМА". – С. 5 - 9.

3. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A., Zablotskyi Yu.V. Gaichenia O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // Nase More : International Journal of Maritime Science & Technology. – 2022.– Vol. 69. – Iss. 1. – P. 53 - 61.

Забезпечення міжнародних вимог під час проведення баластних операцій на морських судах

Постановка проблеми в загальному вигляді. Баластова вода приймається для забезпечення безпечної експлуатації судна під час рейсу. Така практика зменшує навантаження на корпус, забезпечує маневрену стабільність, покращує ходові якості, забезпечує стійкість та дотримання характеристик міцності судна. Судна проектуються та будуються для пересування по воді, маючи на борту вантаж, такий як нафта, руда, зерно і т.і. Тому, якщо судно здійснює плавання порожнім для приймання вантажу або вивантажило якийсь вантаж в одному порту та прямує до наступного порту заходу, на борт повинен бути прийнятий баласт для досягнення необхідних умов безпечної експлуатації. З 80-х років XIX століття як баласт використовується вода, завдяки чому з'являється можливість уникнути навантаження твердих матеріалів, що займає тривалий час, і потенційної небезпечної нестійкості судна в результаті зміщення баласту під час рейсу. Для суден деяких типів потрібна велика кількість водяного баласту, головним чином в таких рейсах, коли судно йде без вантажу, включаючи суховантажні судна, рудовози, танкери та судна для перевезення зрідженого газу. Під час навігаційних переходів в районах нестійкої погоди порожніми, деякі суховантажні судна приймають баласт не тільки в баластові танки, але також в один або кілька вантажних трюмів. Для інших суден, майже за всіх умов завантаження, потрібна менша кількість баласту для контролю стійкості, диференту та крену. До них відносяться контейнеровози, пороми, судна для перевезення генерального вантажу, пасажирські судна, пороми ро-ро, рибальські судна, плавучі рибозаводи та військові кораблі.

Схема переміщення живих організмів з баластними водами суден морського транспорту показана на рис. 1.

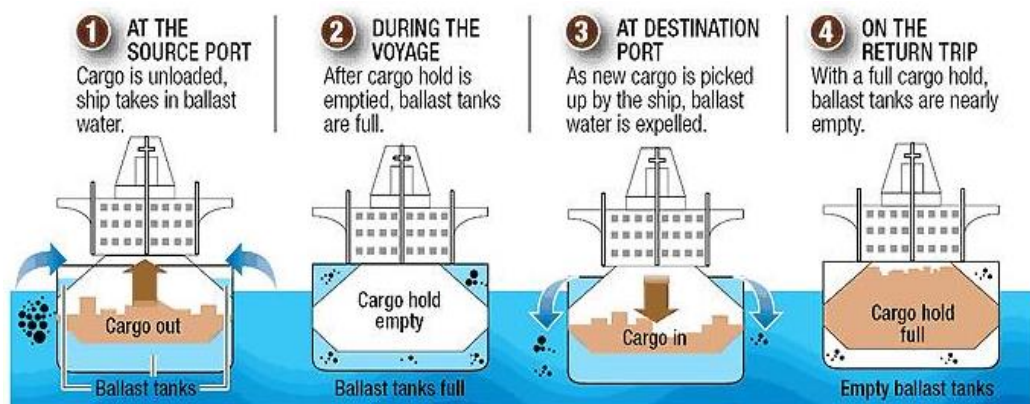


Рис. 1. Схема переміщення живих організмів з баластними водами суден морського транспорту

Чужорідні живі організми, що переміщуються через океани у водяному баласті суден, створюють значні проблеми для морського середовища, дер-

жавного майна та здоров'я людини. На відміну від нафтових розливів та інших видів забруднення моря, що викликається судноплаством, екзотичні організми та морські види не можуть бути видалені шляхом очищення або поглинені океанами. Після розповсюдження в нових акваторіях їх практично неможливо ліквідувати, а тим часом вони можуть призвести до згубних наслідків. Таким чином, впровадження технологій, що попереджують зараження прибережних вод баластовою водою є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Боротьба з переносом водних організмів з водяним баластом є великим і важким завданням навіть для розвинених країн, тим більше вона є складною для країн, що розбудовуються, оскільки вимагає в першу чергу більших фінансових витрат. Для організації допомоги країнам, що розвивається в розв'язку питань, пов'язаних з водяним баластом, була створена спеціальна Всесвітня програма по обробці баластної води (Global Ballast Water Management Programmer – Globallast) [2].

Оскільки баластування суден є в цей час невід'ємною частиною морських перевезень і уникнути цього процесу неможливо, основним шляхом припинення поширення небажаних мікроорганізмів є запобігання їх скидання із суден у портах. Відповідно до даних Американського Бюро Суднопластва, присвяченим процедурам зміни баласту, існує п'ять методів обробки баластної води для мінімізації ризику скидання небажаних організмів, причому кожний з них має свої недоліки [3].

Перший метод – виключення скидання баласту взагалі. Це самий надійний спосіб, він застосовується в тих випадках, якщо скидання баластових вод заборонений повністю. Зрозуміло, що цей спосіб не дуже практичний.

Другий шлях – зменшення концентрації морських організмів, що втримуються в прийнятому на борт водяному баласті. Це може бути досягнуте шляхом обмеження кількості прийнятого водяного баласту, а також шляхом вибору місць приймання баласту (не слід ухвалювати баласт на малих глибинах, районах застою води, поблизу від місць зливу стічних вод і днопоглиблювальних робіт і районів виявлення патогенних мікроорганізмів).

Третій метод полягає в обробці водяного баласту на борті судна. Уже розроблені певні технології цього процесу, рекомендовані Керівництвом ІМО по обробці баласту.

Четвертий метод – берегова обробка – на думку Американського Бюро Суднопластва має ряд переваг. Однак необхідно врахувати, що багато суден не мають можливості здавати водяний баласт на берегові прийомні спорудження. Що стосується портів, те далеко не все з них можуть надати судну відповідні прийомні спорудження. При цьому мало імовірно, що найближчим часом порти почнуть будувати прийомне встаткування для водяного баласту, маючи ще багато не вирішених проблем із прийомним устаткуванням, необхідним правилами Конвенції МАРПОЛ.

П'ятий метод полягає в зміні баласту у водах відкритого океану або його розведенні [4].

Постановка завдання. Метою дослідження є вибір найбільш сприятливого способу обробки водяного баласту, використання якого забезпечує виконання вимог програми Globallast.

Виклад основного матеріалу дослідження. Під час вибору методу обробки баласту завжди слід пам'ятати, що він повинен відповідати наступним критеріям: бути безпечним, економічним та ефективним, одночасно з цим він не повинен завдавати шкоди довкіллю.

В даний час в морській індустрії працює велика кількість фірм, що займаються розробкою і постачанням на судна систем по обробці та очистці баластних вод. Однією з таких фірм є фірма Panasia, яка розробила систему очищення баластових вод GloEn-Patrol. Схема системи GloEn-Patrol показана на рис. 2.

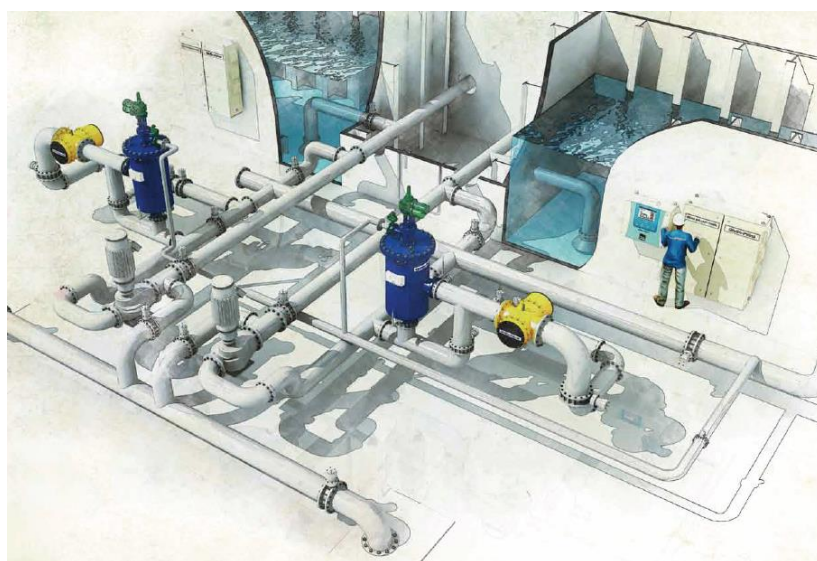


Рис. 2. Розташування механізмів системи GloEn-Patrol

Використовуючи на 100 % технологію фізичного очищення, GloEn-Patrol™ ефективно дезінфікує шкідливі мікроорганізми, що мешкають у водному середовищі, в тому числі і патогенні організми в баластній воді, виробляючи обробку без використання різних токсичних речовин як в процесі баластування, так і під час де-баластування.

Система GloEn-Patrol забезпечує фільтрацію баластних вод з фільтром 50 мкм з автоматичної зворотним промиванням і подальшу обробку баластної води ультрафіолетовим (УФ) випромінюванням. Під час прийому баласту система функціонує, очищаючи воду за допомогою двох блоків – фільтра та блоку УФ, а під час скидання баласту працює тільки блок УФ. Схема роботи системи GloEn-Patrol при баластировкi і де-баластировкi показана на рис. 3.

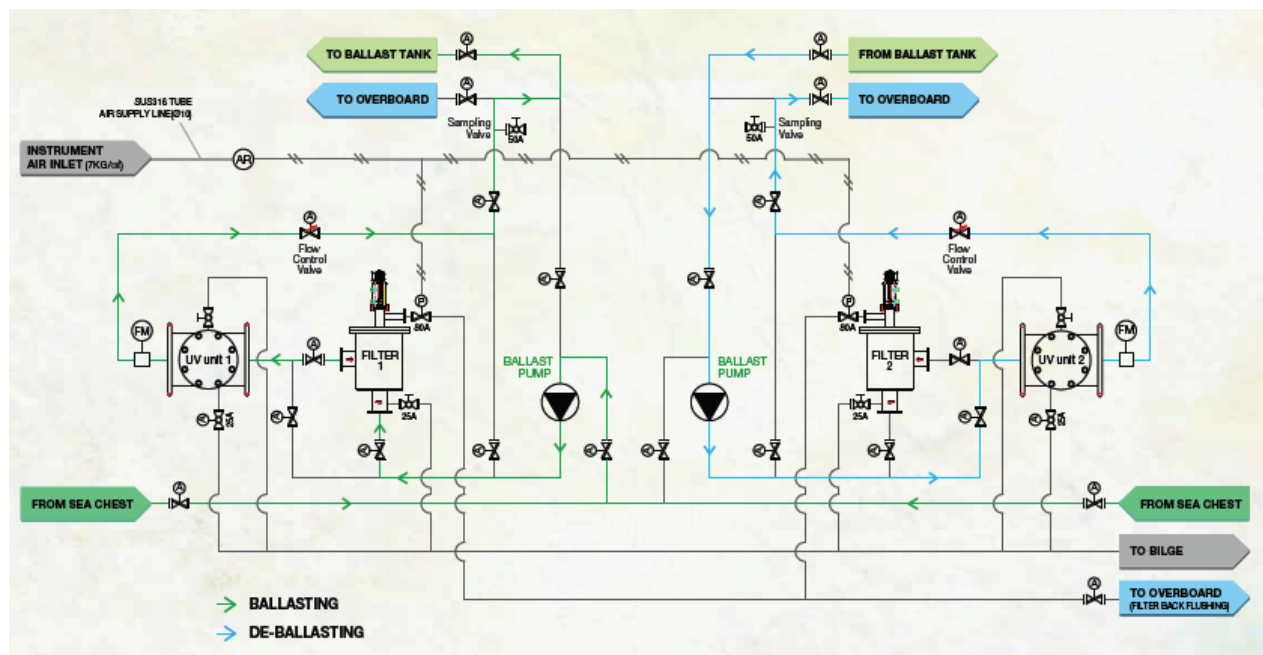


Рис. 3. Схема роботи системи GloEn-Patrol під час баластировки і де-баластировки

Залежно від характеристик судна система GloEn-Patrol може випускатися в різному виконанні (таблиця 1).

Таблиця 1. Технічні характеристики системи GloEn-Patrol

Модель	Пропускна здатність, м³/год	Модель	Пропускна здатність, м³/год
GloEn-P150	150	GloEn-P1000	1000
GloEn-P250	250	GloEn-P1200	1200
GloEn-P350	350	GloEn-P1500	1500
GloEn-P500	500	GloEn-P2000	2000
GloEn-P700	700	GloEn-P2500	2500
GloEn-P800	800	GloEn-P3000	3000

Фірма Panasia доклала максимум зусиль для придбання для GloEn-Patrol схвалення AMS (Альтернативної системи управління) від берегової охорони США, що дало зелене світло для компанії, що працює на ринку США, хоча існують різні технології і обладнання від інших виробників по всьому світу. Маючи такий дозвіл, судна, оснащені системою GloEn-Patrol™, тепер можуть заходити в порти США, незважаючи на запити від компаній управління водним транспортом, які оперують в Америці, в тому числі і в Сполучених Штатах. Крім того, Panasia GloEn-Patrol отримала сертифікат АТЕХ для вибухобезпечного типу установок, таким чином, є можливість вводити в експлуатацію системи, призначені для роботи у вибухонебезпечному середовищі.

GloEn-Patrol™ – це комбінована система очищення, яка використовує переваги фільтрації і ультрафіолетового опромінювання. Ця технологія є найбільш привабливою по відношенню до навколишнього середовища і

спроектована оптимальним чином для установки і роботи на судах будь-якого типу.

Фільтр не тільки перешкоджає проникненню організмів розміром більше 50 мкм, але також допомагає мінімізувати утворення відкладень в баластних цистернах, що вигідно для судноплавних компаній, оскільки дозволяє скоротити витрати на обслуговування і очищення баластових цистерн.

При попередньої обробки фільтр відсіває відкладення і організми розміром більше 50 мкм, а ті, розмір яких менше 50 мкм, знешкоджуються шляхом ультрафіолетового опромінювання.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Однією зі екологічних проблем є проблема перенесення мікроорганізмів з баластними водами морських суден. Транспортування шкідливих морських організмів, що втримуються в баластних водах суден, – глобальна проблема охорони навколишнього середовища, що виявляє серйозний вплив на морські екосистеми, рибальство й навіть на здоров'я людини в багатьох регіонах миру. Однією з технологій, що забезпечує виконання вимог програми Global-Last, є суднова системи GloEn-Patrol, яка забезпечує очищення баластних вод завдяки їх ультрафіолетового випромінювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Міжнародна конвенція про контроль судових баластних вод й осадів та управління ними 2004 року / Ballast Water Management Convention(BWMC): Міжнародна морська організація; Конвенція, Правила, Форма, Міжнародний документ від 13.02.2004 з поправками. International Maritime Organization: веб-сайт. URL: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/BallastWaterManagement/BWMConventionandGuidelines.aspx>

2. Costello K.E. Assessing the potential for invasive species introductions and secondary spread using vessel movements in maritime ports / K.E. Costello, S.A. Lynch, R. McAllen, R.M. O’Riordan, S.C. Culloty // Marine Pollution Bulletin. – 2022. – Vol. 177. — Pp. 113496. DOI: 10.1016/j.marpolbul. 2022.113496.

3. Kim A.R. How to control and manage vessels’ ballast water: The perspective of Korean shipping companies / A.R. Kim, S.W. Lee, Y.J. Seo // Marine Policy. – 2022. – Vol. 138. – Pp. 105007. DOI: 10.1016/j.marpol.2022.105007.

4. Venkatnarayanan S. Survival and recovery of planktonic organisms in prolonged darkness and their implications on ballast water management / S. Venkatnarayanan, P.S. Kumar, V. Pandey, K. Ratnam, D.K. Jha // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. – 2022. – Vol. 549. – Pp. 151697. DOI: 10.1016/j.jenbe.2022.151697.

Підвищення ефективності діагностики і контролю робочого процесу суднового дизеля

Постановка проблеми в загальному вигляді. Періодичний аналіз параметрів робочого процесу в циліндрах двигунів дає можливість оптимізувати їхню роботу, рівномірно розподіляти навантаження між циліндрами та вчасно виявляти небезпечні тенденції у зміні технічного стану основних систем та вузлів. Безаварійну роботу двигунів внутрішнього згоряння / дизелів суден морського та внутрішнього водного транспорту можна забезпечити шляхом регулярного контролю параметрів робочого процесу в окремих циліндрах дизеля. Періодичний контроль дозволяє виявити дефекти циліндрів, виникнення та розвиток яких здійснюється під час експлуатації не лише дизелів, а також обслуговуючих їх систем. Деякі дефекти можуть бути виявлені з індикаторних діаграм робочого процесу:

- через контроль зміни тиску в циліндрі за різних кутів повороту колінчатого валу – $p=f(\varphi)$ або $p=f(CA)$;
- шляхом аналізу форми індикаторної діаграми на ділянках стиснення і згоряння;
- через аналіз основних параметрів робочого процесу – максимального тиску згоряння p_z ($p_{\max}$), тиску наприкінці стиснення p_c (p_{comp}), середнього індикаторного тиску p_i (MIP), кута початку впорскування $\varphi_{\text{впор}}$ (ignition points) та інших.) [1].

Прикладами таких дефектів є зниження середнього індикаторного тиску, максимального тиску згоряння або тиску наприкінці стиснення.

Діагностика і контроль робочого процесу дизелів суден морського та внутрішнього водного транспорту дозволяє здійснювати їх регулювання таким чином, щоб забезпечити низький рівень емісії шкідливих викидів, насамперед оксидів азоту NO_x (концентрація яких в випускних газах регламентується відповідно до вимог ІМО), а також оксиду вуглецю CO (якій відноситься до токсичних газів) та діоксиду вуглецю CO_2 (якій відноситься парникових газів) [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З метою забезпечення контролю робочого процесу дизеля суден морського та внутрішнього водного транспорту використовуються різні системи. Прикладом їх є:

- система PED фірми «Pielstick» (Франція) – за її допомогою контролюється стан рамових підшипників колінчастого валу та верхнього поршневого кільця, агрегатів турбокомпресора;
- система «Vibrometr» фірми «Vibrometr» (Швейцарія) діагностує вузли циліндропоршневої групи (ЦПГ), системи упорскування палива, та турбокомпресора, стан поршневих кілець та паливних насосів високого тиску

(ПНВТ), а також такі параметри, як частота і напрямок обертання колінчастого валу, максимальний тиск згоряння і характеристики упорскування;

- система Mesom фірми «Statronik» (Норвегія) призначена для діагностування дизелів, турбін, котлів, за її допомогою реєструються такі параметри: рівень вібрації механізмів, температури підшипників турбін, втулок циліндрів, температура випускних газів, тиск у різних точках газоповітряного тракту;

- системи «Komos» фірми МН1 (Японія) призначені для діагностування головного та допоміжних двигунів через визначення максимального тиску згоряння, тиску наприкінці стиснення, індикаторного тиску та параметрів випускних газів;

- система DEPAS, що дозволяє визначити основні показники робочого циклу суднового дизелю.

Постановка завдання. Основною причиною відхилення показників робочого процесу від встановлених та регламентованих заводом-виробником значень є порушення в роботі паливної апаратури та газовипускної системи, а також погіршення технічного стану деталей ЦПГ. Метою роботи є розробка технології діагностики паливної апаратури високого тиску, приводу клапанів газорозподілу сучасних двотактних двигунів за допомогою паралельного аналізу вібродіаграм та індикаторної діаграми.

Виклад основного матеріалу дослідження. Під час аналізу одного з найбільш характерних дефектів ЦПГ (зниження в робочому циліндрі тиску наприкінці стиснення p_{comp}) існує неоднозначність в разі розгляду зміни тиску лише за індикаторною діаграмою. Зменшення величини p_{comp} може бути викликано декількома причинами: зносом втулки циліндра, зносом та / або залипанням поршневих кілець, нещільністю закриття випускного клапану. Всі ці фактори спричинять один наслідок – зниження параметра p_{comp} та у подальшому як наслідок цього зниження p_{max} та МІР [3]. Таким чином, справжня причина дефекту може залишитись нез'ясованою.

Крім дефекту зниження тиску наприкінці стиснення, деякі інші експлуатаційні дефекти, що виявляються на індикаторних діаграмах, можуть бути викликані різними причинами. В першу чергу це дефекти паливної апаратури високого тиску та дефекти механізму керування клапанами газорозподілу. Необхідно підкреслити, що саме ці дефекти найчастіше виникають під час експлуатації дизелів морських та річкових суден. Особливо це стосується дефектів паливної апаратури високого тиску. Наприклад, пізнє згоряння палива в циліндрі, виявлене шляхом аналізу кута початку впорскування на індикаторних діаграмах, також може бути наслідком декількох причин: пізнього кута впорскування палива та / або зносу прецизійних вузлів паливної апаратури високого тиску та зниження тиску палива перед форсунками під час впорскування. Тому виявити окремі експлуатаційні дефекти за допомогою одного лише аналізу індикаторних діаграм досить складно.

Також на ряд показників робочого процесу двигуна, серед яких затримка samozаймання та деякі характеристики згоряння палива у циліндрі двигуна-

на впливає температура палива перед паливним насосом високого тиску (ПНВТ), що регулюється системою стабілізації температури палива. Основним вузлом цієї системи є компресор холодильної установки, що підтримує необхідну температуру охолоджувальної води. Своєчасне виявлення несправностей клапанів компресорів систем стабілізації температури палива, що проявляються досить часто, дозволяє уникнути багатьох аварійних ситуацій у роботі дизелів, пов'язаних із раптовою зміною температури палива.

Безпосередні вимірювання та аналіз діаграм тиску впорскування палива перед форсунками могли б дати повну діагностичну інформацію про технічний стан паливної системи високого тиску. Однак такі вимірювання неможливо проводити за допомогою переносних пристроїв в умовах експлуатації. Це пов'язано з високим ризиком виникнення пожежі під час протікання палива у місцях встановлення датчиків в системі високого тиску. Тому такі вимірювання обмежені сучасними вимогами ІМО та більшістю морських сертифікаційних суспільств [4].

Альтернативою прямим вимірам є застосування вібродатчиків на магнітній платформі. Такі датчики повністю відповідають сучасній стратегії неруйнівного контролю параметрів під час діагностування дизелів суден морського та внутрішнього водного транспорту. Магнітні вібродатчики можуть бути швидко встановлені на обране місце, що скорочує загальний час вимірів і дає можливість витримати умови псевдостационарного режиму навантаження під час діагностування двигунів.

Вібродіаграми та індикаторні діаграми $p=f(\text{CA})$ записуються одночасно та аналізуються паралельно. Такий паралельний аналіз дозволяє з'ясувати точну причину дефекту чи уточнити її. Особливо чутливим запропонований метод виявився для аналізу дефектів паливної апаратури високого тиску та випускних клапанів. Використання магнітних вібродатчиків для контролю роботи паливної апаратури високого тиску та клапанів дають цінну інформацію про технічний стан основних вузлів, таймінгу паливоподачі та таймінгу газорозподілу двигунів.

Індикаторна діаграма та вібродіаграма форсунки та клапана, що відповідають нормальному технічному стану двигуна для режиму максимальної експлуатаційної потужності MCR, показані на рис. 1.

Індикаторна діаграма $p=f(\text{CA})$ записується за допомогою датчика тиску, встановленого на індикаторний кран дизеля за допомогою спеціального пристрою.

Для вимірювання та аналізу діаграм впорскування палива необхідно встановити магнітний вібродатчик на вільну частину торця форсунки. Для отримання вібродіаграми закриття клапану точка установки вібродатчика – на кришці циліндра приблизно напроти місця контакту тарілки клапану з кришкою, як показано на рис. 1.

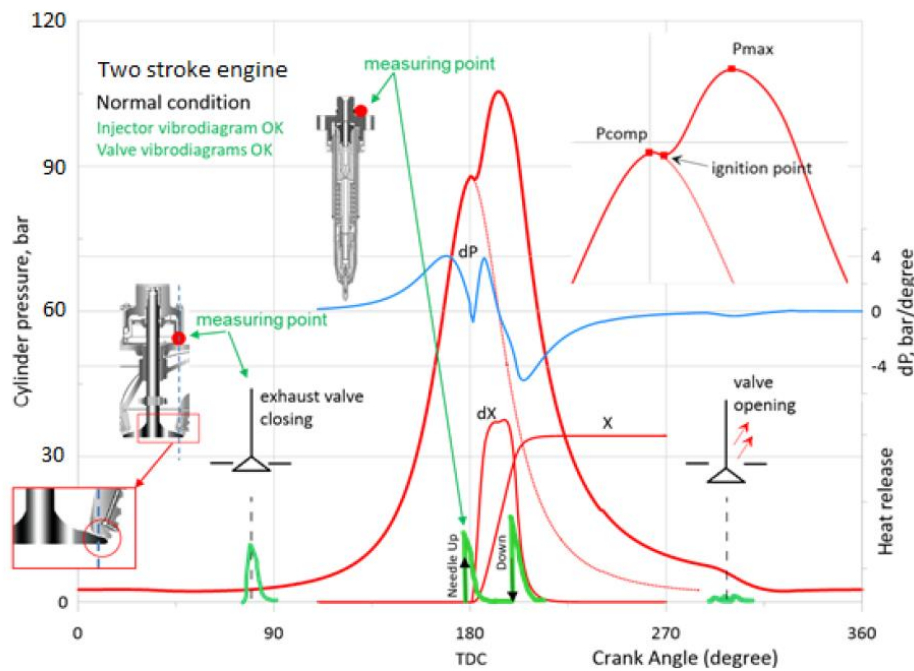


Рис. 1. Робочий процесу та вібродіаграми форсунки та випускного клапана суднового двотактного двигуна

Випробування на двотактних дизелях показали, що в більшості випадків з торця форсунки може бути записана вібродіаграма закриття клапана [3], тому часто достатньо використовувати тільки цю одну точку установки – торець форсунки. В результаті змін з двох датчиків та подальшого розрахунку верхньої мертвої точці (ВМТ) судновий механік отримує записані одночасно індикаторну діаграму $p=f(\text{CA})$ – (див. рис.1) та оброблену вібродіаграму форсунки та випускного клапану. Обидві діаграми і поєднані по кутку повороту колінчастого валу.

Високий тиск палива під час впорскування створює зусилля, що перевищує силу затягнутої пружини голки форсунки, голка піднімається вгору, ударяючись об верхній упор. Внаслідок цього удару вібродатчик фіксує імпульс з характерними загасаючими коливаннями (див. рис. 1). Після амплітудної демодуляції вібросигналу визначається перший імпульс, що відповідає підйому голки форсунки (Needle Up). Наприкінці впорскування, після відсічки та припинення подачі палива з боку паливного насоса високого тиску, тиск перед форсункою падає, та пружина повертає голку на місце. Удар голки в посадкове місце розпилювача форсунки створює другий віброімпульс (Needle Down). Необхідно зазначити, що передні фронти віброімпульсів відповідають повному підйому і повній посадці голки. При цьому впорскування палива в циліндр починається трохи раніше, в момент початку підйому голки. Фазова тривалість підйому голки варіюється для різних типів двигунів і становить менше $0,3^\circ$ повороту колінчастого валу для більшості двотактних суднових дизелів, протягом якої в циліндр впорскується менше 3 % від циклової порції палива [4]. Таким чином, фазу моменту повного підйому голки та удару її об верхній упор (Needle Up на рис. 1) можна вважати фазу дійсного кута впорскування палива в циліндр дизеля.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Діагностування перебігу робочого процесу, якій відбувається в циліндрі дизеля, є невід’ємною складовою їх технічного обслуговування.

Аналіз вібродіаграм паливної апаратури та механізму газорозподілу двигуна, записаних паралельно з індикаторними діаграмами, дає хороші діагностичні результати.

За допомогою вібродатчика на магнітній платформі можна визначити:

- фази підйому та посадки голки форсунки, експлуатаційні дефекти форсунки;
- початок та кінець циркуляції палива в паливній системі;
- фази початку подачі та відсічення палива ПНВТ;
- фази закриття і, в деяких випадках, відкриття клапанів газорозподілу;
- фази упорскування мастила в системі циліндрового мащення та експлуатаційні дефекти лубрикаторів.

Можлива також опосередкована оцінка гідроцильності паливної апаратури і тиску впорскування палива. Таку інформацію можна отримати безпосередньо під час експлуатації за допомогою магнітного вібродатчика. Розглянутий спосіб отримання інформації доступний та зручний у процесі експлуатації. Разом з алгоритмічним методом розрахунку та корекції ВМТ, аналіз вібродіаграм паралельно з індикаторними діаграмами $p=f(\text{CA})$, дозволяє отримати таку інформацію, яка раніше була доступна тільки в лабораторних умовах.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сагін С.В., Бондар С.А. Метод попередження аварійних ситуацій під час експлуатації суднових дизелів за аналізом потоку відмов його основних вузлів // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 46. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 101-109. doi: 10.31653/smf46.2023.101-109.
2. Сагін С.В., Сагін А.С. Контроль та діагностування надійності та економічності дизелів морських та річкових засобів транспорту // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 46. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 118-131. doi: 10.31653/smf46.2023.118-131.
3. Varbanets R., Zalozh V., Shakhov A., Savelieva I., Piterska V. Determination of top dead centre location based on the marine diesel engine indicator diagram analysis // Diagnostyka. – 2020. – № 21(1). – P. 51-60. <https://doi.org/10.29354/diag/116585>.
4. Varbanets R. etc. Acoustic Method for Estimation of Marine Low-Speed Engine Turbocharger Parameters // Journal of Marine Science and Engineering. – 2021. – Vol. 9. – P. 321. <https://doi.org/10.3390/jmse9030321>.

Підвищення ефективності експлуатації системи охолодження суднового дизеля

Постановка проблеми в загальному вигляді. Система охолодження є важливим компонентом суднового дизеля, яка забезпечує стабільну роботу двигуна, запобігає перегріву та підтримує оптимальний температурний режим для ефективного згоряння палива. У сучасних умовах дедалі більше уваги приділяється підвищенню енергоефективності суднових енергетичних установок, зменшенню експлуатаційних витрат та відповідності екологічним стандартам [1].

Суднові дизелі працюють у складних умовах, що характеризуються високими навантаженнями та постійною зміною режимів роботи. Це ставить підвищені вимоги до систем охолодження, які повинні забезпечувати ефективне тепловідведення та надійну роботу двигуна. Традиційні системи охолодження часто мають обмежену продуктивність, що вимагає впровадження нових технічних рішень для їх оптимізації [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Актуальність дослідження обумовлена необхідністю впровадження інноваційних підходів до проектування та експлуатації систем охолодження, які враховують сучасні тенденції у галузі енергозбереження, автоматизації та екологічної відповідності [3, 4]. У цьому дослідженні розглянуто способи підвищення ефективності систем охолодження шляхом удосконалення конструкції теплообмінників [5], використання автоматизованих насосів із PID-регуляторами та впровадження технологій рекуперації тепла [6].

Постановка завдання. Завдання дослідження:

- 1) провести аналіз сучасних систем охолодження суднових дизелів;
- 2) виконати моделювання роботи системи охолодження в MATLAB Simulink;
- 3) розробити технічні рішення для оптимізації конструкції теплообмінників та насосів;
- 4) дослідити вплив автоматизації на стабільність температурного режиму;
- 5) оцінити можливості впровадження технологій рекуперації тепла.

Виклад основного матеріалу дослідження. Запропоновані інноваційні технічні рішення забезпечують підвищення продуктивності систем охолодження на 2,5 %, зниження енергоспоживання насосів на 19,3 %. Результати моделювання в MATLAB Simulink підтвердили ефективність використання PID-регуляторів і пластинчастих теплообмінників у сучасних системах охолодження.

Результати дослідження можуть бути використані при модернізації суднових енергетичних установок, що сприятиме підвищенню їх енергоефективності, надійності та екологічності.

Система охолодження суднового дизеля виконує такі завдання:

- підтримка температурного балансу – забезпечення рівномірного тепловідведення з поверхонь циліндрів та інших компонентів двигуна;
- запобігання перегріву – попередження термічних деформацій і передчасного зносу деталей;
- економічна ефективність – зниження витрат пального завдяки оптимальному температурному режиму згоряння палива.

Дослідження було спрямоване на підвищення ефективності системи охолодження суднового дизеля шляхом оптимізації її основних компонентів і впровадження автоматизованих систем управління. Для аналізу ефективності запропонованих рішень виконано моделювання в середовищі MATLAB Simulink.

Для дослідження було створено модель системи охолодження, яка включала наступні елементи.

Теплообмінник:

Тип: пластинчастий теплообмінник.

Основні параметри:

коефіцієнт теплопередачі $k=120 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$;

площа поверхні теплообміну $A=25 \text{ м}^2$;

температура охолоджувальної рідини: на вході ($T_{in} = 90^\circ\text{C}$),
на виході $T_{out} = 50^\circ\text{C}$

Насос:

Тип: автоматизований насос із PID-регулятором.

Основні параметри:

витрата охолоджувальної рідини $Q=0,00014 \text{ м}^3$;

коефіцієнт корисної дії $\eta=85 \%$;

напір $H=5 \text{ м}$.

Автоматизована система управління:

контролер: PID-регулятор;

мета: підтримка оптимальної витрати охолоджувальної рідини залежно від температури двигуна.

Охолоджувальна рідина:

рідина з підвищеною теплопровідністю – $0,62 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

Результати моделювання дали такі результати.

Розрахунок потужності тепловідведення:

$$Q_{heat} = k \cdot A \cdot \Delta T = 120 \cdot 25 \cdot (90 - 50) = 120,000 \text{ Вт (або 120 кВт)}$$

Розрахунок енергоспоживання насоса:

$$P_{pump} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta} = \frac{1000 \cdot 9.81 \cdot 0.00014 \cdot 5}{0.85} = 8.07 \text{ Вт}$$

Економія енергії:

$$\Delta P = 10 - 8.07 = 1.93 \text{ Вт (або 19.3\%)}$$

Результати моделювання підтвердили, що запропоновані зміни в конструкції системи охолодження дозволяють:

- 1) підвищити ефективність роботи системи за рахунок зниження температурного навантаження;
- 2) зменшити енергоспоживання насосів і витрати на технічне обслуговування;
- 3) забезпечити стабільну та економічну роботу суднового дизеля в широкому діапазоні режимів.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Результати дослідження дозволяють зробити наступні висновки.

1. Щодо ефективності системи охолодження. Впровадження сучасних рішень, зокрема пластинчастих теплообмінників, автоматизованих насосів та інноваційних охолоджувальних рідин, дозволило підвищити ефективність системи охолодження суднового дизеля на 20...25 %.

2. Щодо енергозбереження. Використання автоматизованих насосів із PID-регуляторами дозволило зменшити енергоспоживання на 19,3 % забезпечуючи стабільність температурного режиму у важких умовах експлуатації.

3. Щодо практичної значущості. Результати дослідження підтвердили, що запропоновані технічні рішення не лише покращують ефективність систем охолодження, але й знижують експлуатаційні витрати, що робить їх перспективними для впровадження на сучасних судах.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на впровадження адаптивних систем управління, які враховують зміни умов експлуатації в реальному часі, а також використання альтернативних енергетичних джерел для охолодження.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ISO 8868:2022. Technical requirements for cooling systems of marine diesel engines. [Internet]: <https://www.iso.org/standard/28919.html>.
2. Smith J. Advanced Cooling Systems for Marine Engines. Maritime Energy Journal, 2023. [Internet]: <https://www.researchgate.net>.
3. ResearchGate. Research of the Efficiency of Marine Diesel Fuel Cooling System. 2023. [Internet]: <https://www.researchgate.net/publication/356239400>.
4. Academia. Automation in Cooling Systems of Marine Engines. 2024. [Internet]: <https://www.academia.edu>.
5. Міністерство транспорту України. Наказ "Про затвердження Правил технічної експлуатації річкових портових гідротехнічних споруд" від 29.03.2004 № 251 (Із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства транспорту та зв'язку № 551 (з1117-05) від 15.09.2005).
6. Maritime Research Institute. Heat Recovery Systems in Marine Cooling Systems. 2022. [Internet]: <https://maritimeresearchinstitute.org>.

Федоренко О.В., Заблоцький Ю.В.
Національний університет "Одеська морська академія"

Зниження енергетичних втрат під час мащення підшипників ковзання суднових дизелів

Постановка проблеми в загальному вигляді. Ефективне використання сучасного форсованого суднового двигуна внутрішнього згоряння (СДВЗ) значною мірою залежить від технічного стану та надійності роботи його деталей. Збільшення інтенсивності експлуатації СДВЗ призвело до значного підвищення вимог щодо їх надійності [1]. Аналіз експлуатації СДВЗ показує, що терміни проведення поточних та середніх ремонтів визначаються технічним станом деталей кривошипно-шатунного механізму, серед яких найбільш відповідальні та швидко зношуються – підшипники ковзання колінчастого валу. Саме тому підвищення експлуатаційної надійності СДВЗ багато в чому визначається безвідмовною роботою та технічним станом підшипників ковзання колінчастого валу.

У процесі роботи підшипників ковзання СДВЗ має місце знос робочих поверхонь, який обумовлений тим, що під час експлуатації неминуче виникають режими граничного мащення [2]. Граничний режим мащення характеризується наявністю безпосереднього контакту поверхонь в зоні тертя, що сприяє збільшенню адгезійних зв'язків. Таким чином, взаємодія поверхонь супроводжується підвищенням тепловиділенням (внаслідок високотемпературних спалахів у дискретних контактах), деформаціями та втратою загальної маси, що переходять у зовнішнє середовище. Зношування, як результат контактної взаємодії деталей, призводить до незворотної зміни їх геометричних параметрів і втрати працездатності [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В даний час існують два основні наукові напрями, метою яких є вирішення проблем адаптації роботи підшипників у складі СДВЗ, що забезпечують мінімальні втрати на тертя та мінімізацію величини зношування. Одне займається вдосконаленням антифрикційних матеріалів, у тому числі виготовляються підшипники, а друге спрямовано на поліпшення властивостей мастильних матеріалів [4]. На наш погляд, найбільш перспективним напрямом підвищення надійності підшипників ковзання у складі СДВЗ, з урахуванням мінімізації витрат, є покращення триботехнічних властивостей мастильних матеріалів [5]. З цією метою розроблені функціональні присадки в моторне мастило, основним принципом роботи яких є самоорганізація наноструктурних плівок пластичного металу на поверхнях тертя, що реалізують ефект беззносності. Присадки містять у своєму складі дрібнодисперсну фазу нанопорошків міді та алюмінію із середньою величиною частинок 50 нм у середовищі жирних кислот у певних пропорціях [6].

Постановка завдання. У зв'язку з вищевикладеним, метою дослідження було визначення впливу функціональних присадок до моторних мастил на

енергетичні втрати, що виникають в підшипниках ковзання судових дизелів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження виконувались на судових середньообертових дизелях 6L18/24 фірми MAN-Diesel&Turbo. Три подібних дизеля використовувались в складі допоміжної енергетичної установки судна водотоннажністю 16740 тонн. Кожен з дизелів мав окрему систему мащення, що дозволяло для кожного з дизелів використовувати масильні матеріали з різними характеристиками [7]. Принципова схема системи циркуляційного мащення дизелів надана на рис. 1.

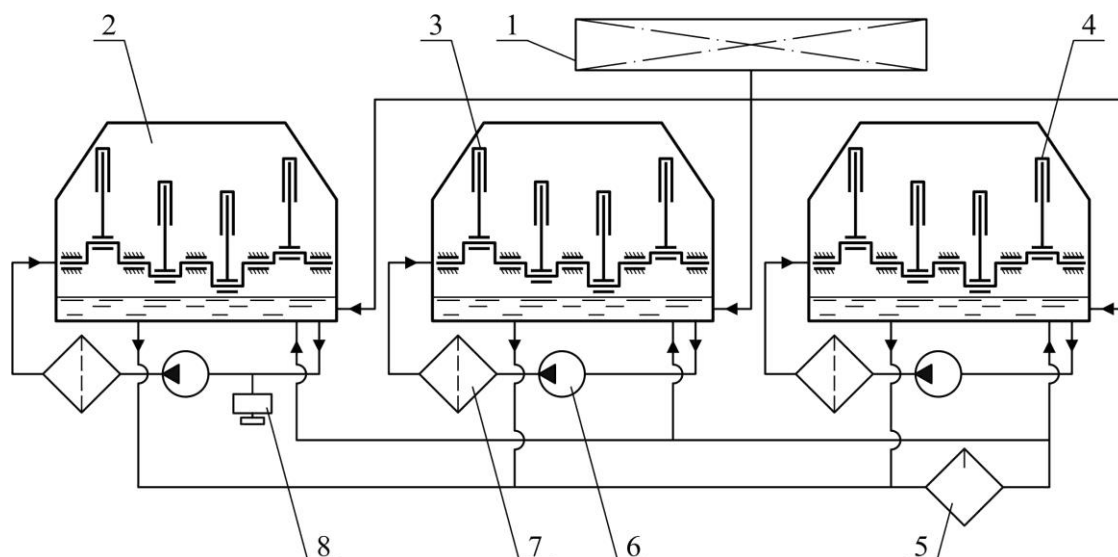


Рис. 1. Схема судової системи циркуляційного мащення під час проведення експериментальних досліджень:

- 1 – цистерна циркуляційного мастила; 2 – дизель № 1; 3 – дизель № 2;
4 – дизель № 3; 5 – сепаратор мастила; 6 – циркуляційний мастильний насос; 7 – мастильний фільтр; 8 – дозерний пристрій

Подача мастила до вузлів мащення колінчатого валу та підшипників дизелів 2, 3, 4 забезпечувалась циркуляційним насосом 6 (окремо для кожного з дизелів). Очищення мастила виконувалось за допомогою фільтра 7 (також окремо для кожного дизелю) та сепаратора 5 (який послідовно підключався до систем мащення кожного з дизелів). Поповнення обсягу мастила в картері дизелів здійснювалось з цистерни 1.

Дослідження виконувались на двох дизелях, що на початок випробувань мали однаковий ресурс (позиції 2, 3 на рис. 1). Під час випробувань дизелі експлуатувались на рівних між собою навантаженнях. У випадку, коли потужності двох дизелів (на яких проводились дослідження) було недостатньо для забезпечення судових потреб в електричній енергії, використовувався третій дизель (позиція 4 на рис. 1). Також лише цей дизель використовувався у випадку, коли для забезпечення потрібності судна в електричній енергії вистачало потужності одного дизелю.

Як спосіб, що забезпечує підвищення структурних характеристик моторного мастила, було обрано додавання поверхнево-активних речовин

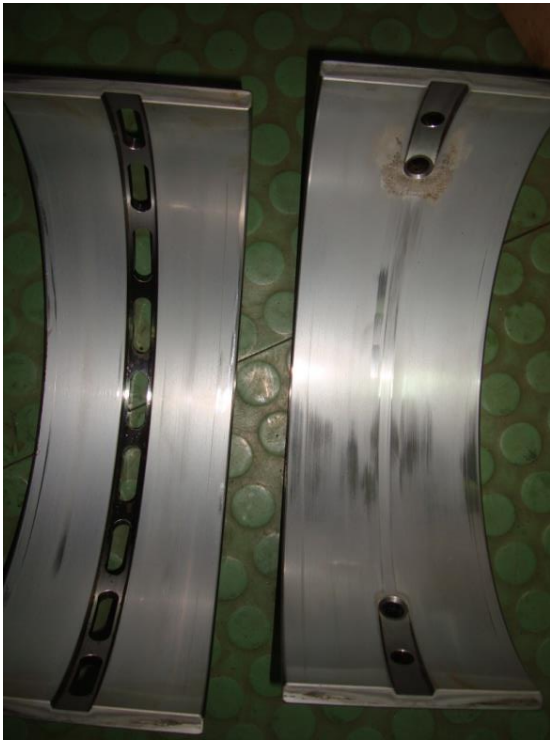
(ПАР). В науково-дослідницької лабораторії було визначена оптимальна концентрація ПАР в об'ємі моторного мастила, при якій забезпечуються максимальна самоорганізація наноструктурних плівок пластичного металу на поверхнях тертя.

До системи мащення одного з дизелів (позиція 1 на рис. 1) за допомогою дозерного пристрою (позиція 8 на рис. 1) додавалась ПАР.

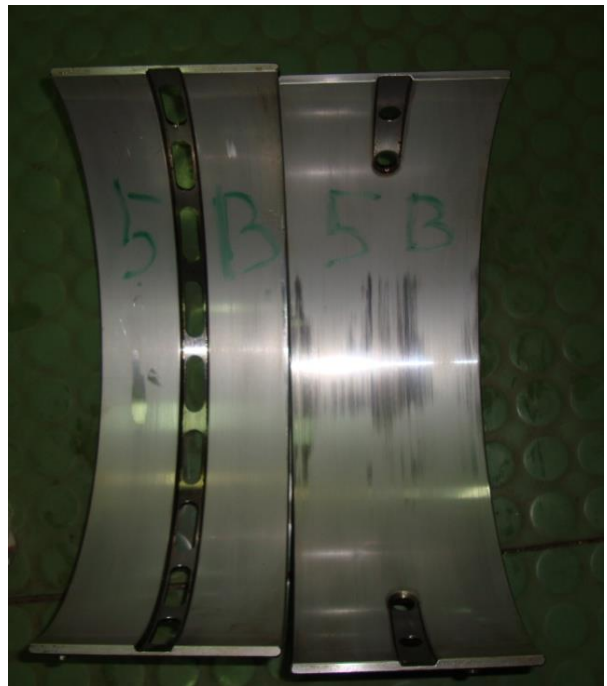
Дослідження виконувалися під час океанських переходів судна, тривалість яких становила 12...18 днів. При цьому (у зв'язку з відсутністю маневрових та швартових режимів, а також вантажних операцій) експлуатація дизелів відбувалася без стрибкоподібної зміни навантаження [19, 20]. Стан паливної апаратури (паливних насосів високого тиску та форсунок), а також її регулювальні параметри (тиск нагнітання, кут початку подачі палива) всіх дизелів були ідентичні [21, 22]. У системах мащення та охолодження дизелів підтримувалися однакові значення температури та тиску. Перед початком експериментів у циркуляційних системах мащення дизелів було повністю замінено мастило. Компенсація витрати мастила на вигар для кожного з дизелів виконувалася в обсязі 100 літрів через 100 годин експлуатації [23-25].

Для визначення впливу ПАР на технічний стан вкладишів підшипників по закінченні регламентного терміну експлуатації підшипникових вузлів проводилась оцінка зносу їх несучих поверхонь. Для цієї мети визначався знос вкладишів підшипників. Стан вкладишів підшипників СДВЗ в системі мащення якого не використовувалась ПАР показано на рис. 2. Стан вкладишів підшипників в системі мащення якого використовувалась ПАР показано на рис. 3.

Ураховуючи нерівномірність навантаження на різні циліндри дизеля, технічний стан підшипникових вузлів відрізняється один від одного. Це особливо проявляється у нерівномірному зносі вкладишів підшипників. При цьому вкладиші циліндрів підшипників, що розташовані ближче до споживача енергії (гвинту або електричному генератору), мають більший знос порівняно з вкладишами, що знаходяться далі від споживача енергії. Тому як найбільш інформативні на рис. 2 та рис. 3 подані вкладиші 1-го та 2-го циліндрів, знос яких був мінімальний, та 5-го та 6-го циліндрів, знос яких був максимальний.



Циліндр № 1



Циліндр № 2



Циліндр № 5



Циліндр № 6

Рис. 2. Стан підшипників дизеля 6L18/24 фірми MAN-Diesel&Turbo, в системі мащення якого не використовувалась ПАР



Циліндр № 1



Циліндр № 2



Циліндр № 5



Циліндр № 6

Рис. 3. Стан підшипників дизеля 6L18/24 фірми MAN-Diesel&Turbo, в системі мащення якого використовувалась ПАР

Висновки і перспективи подальших досліджень. Проведеними дослідженнями встановлено взаємозв'язок самоорганізації наноструктурних плівок пластичного металу на поверхнях тертя з енергетичними втратами, що виникають під час експлуатації підшипників ковзання судових дизелів. Підвищення самоорганізації наноструктурних плівок, яке досягається шляхом додавання до моторних мастил поверхнево-активних речовин, сприяє зменшенню енергетичних втрат в судових дизелях, яка виражається в зниженні зносу вкладишів підшипників.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зверьков Д.О., Сагін С.В. Зниження механічних втрат у судових дизелях // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 40. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 20-25. DOI : 10.31653/smf341.2020.20-25.
2. Sagin S., Madey V., Stoliaryk T. Analysis of mechanical energy losses in marine diesels // Technology Audit and Production Reserves. – 2021. – № 5 (2(61)). – P. 26-32. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.239698>.
3. Stoliaryk T. Analysis of the operation of marine diesel engines when using engine oils with different structural characteristics // Technology Audit and Production Reserves. – 2022. – Vol. 5(1(67)). – P. 22-32. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.265868>.
4. Заблоцький Ю.В., Сагін А.С. Визначення динамічних навантажень під час зміни режимів мащення прецизійних пар паливної апаратури судових дизелів // Суднові енергетичні установки : наук. -техн. зб. – 2022. – Вип. 44. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 121-131. doi: 10.31653/smf44.2022.121-131.
5. Столярик Т.О. Прогнозування механічних втрат в судових дизелях // Суднові енергетичні установки : наук. -техн. зб. – 2022. – Вип. 44. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 142-156. doi: 10.31653/smf44.2022.142-156.
6. Sagin S.V., Stoliaryk T.O. Comparative assessment of marine diesel engine oils // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7-8. – P. 29-35. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-29-35>.
7. Sagin S., Madey V., Sagin A. Stoliaryk T., Fomin O., Kučera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels // Journal Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10. – Iss. 10. – P. 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.

Фролов М.С., Парменова Д.Г.

Національний університет «Одеська морська академія»

Забезпечення виконання вимог щодо скорочення викидів оксидів сірки з суден

Актуальність проблеми. В останні десятиріччя забруднення довкілля оксидами сірки (SOx), що утворюються при спалюванні паливно-повітряної суміші на морських судах, стало однією з найбільш обговорюваних проблем у міжнародному співтоваристві. В умовах посиленої уваги до кліматичних змін та якості повітря проблема скорочення викидів SOx набула особливої важливості для світового судноплавства.

Введення суворих норм Додатка VI Міжнародної конвенції щодо запобігання забрудненню з суден 1973 року, зміненої Протоколом 1978 року з поправками (МАРПОЛ 73/78), спрямованих на скорочення вмісту сірки в судновому паливі, а також створення зон контролю викидів (Emission Control Areas, ECA), стало важливим кроком для зниження рівня забруднення атмосфери. В зонах ECA з 2012 року встановлено вимогу використання палива із вмістом сірки не більш ніж 0,1% (рис.1) [1], а в 2020 році допустимий рівень вмісту сірки в судновому паливі, що може використовуватися поза зонами ECA у міжнародних водах, знизився з 3,5% до 0,5%. Ці заходи вимагають від судновласників значних вкладень у технології контролю викидів, такі як перехід на низькосірчисте паливо і встановлення систем очищення вихлопних газів (скрубєрів). Вжиття цих заходів необхідне для забезпечення відповідності стандартам та захисту навколишнього середовища від шкідливого впливу SOx.



Рисунок 1 – Зони контролю викидів (ECA) – на території Північної Америки та північної частини Європи, які діють на даний момент

Виклад основного матеріалу дослідження.

Одним з основних заходів забезпечення відповідності вимогам Додатка VI МАРПОЛ 73/78 є використання палива з низьким вмістом сірки, наприклад, палива Very Low Sulfur Fuel Oil (VLSFO), вміст сірки в якому становить менше 0,5%. Однак використання такого палива має кілька значних недоліків. По-перше, воно дорожче за традиційний мазут (Heavy Fuel Oil, HFO), що збільшує операційні витрати судноплавних компаній. Крім того, низькосірчисте паливо не завжди доступне у віддалених портах, що потребує ретельного планування маршрутів.

За даними міжнародних аналітичних агентств, середні ціни на морське паливо у 2024 році становлять приблизно:

- мазут з високим вмістом сірки (HSFO) – 450\$ за метричну тонну;
- паливо з дуже низьким вмістом сірки (VLSFO) – 650\$ за метричну тонну;
- морський газойль (MGO) – 1250\$ за метричну тонну [2].

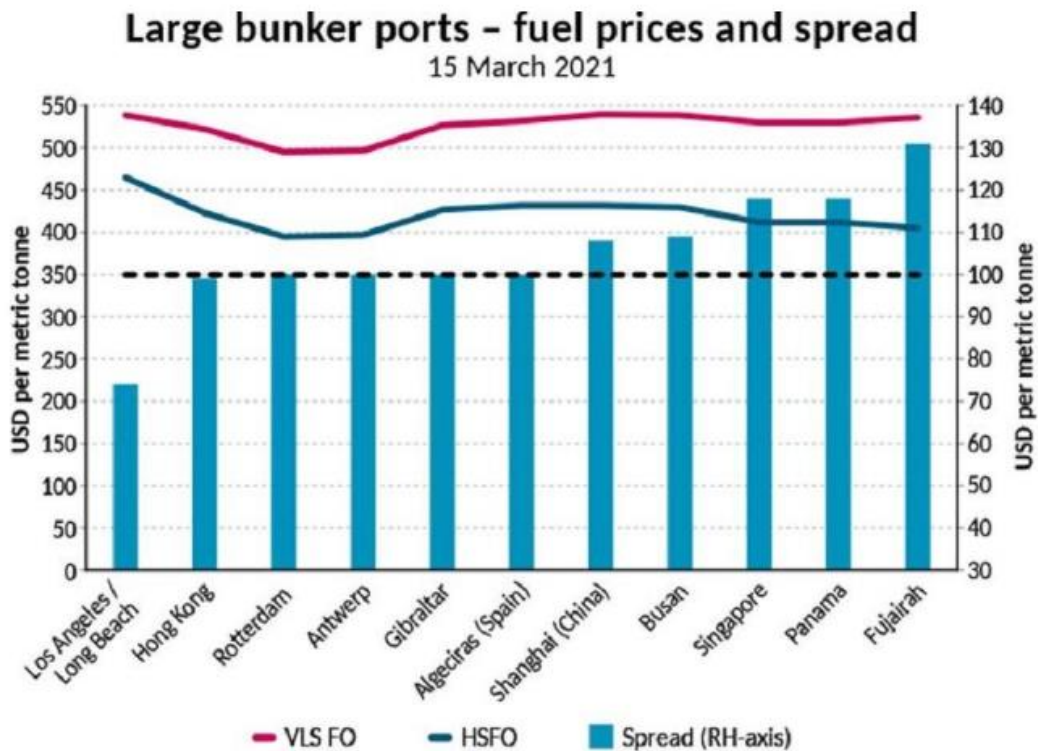


Рисунок 2 – Розподіл цін на VLSFO та HFO станом на 2021 рік

Другим методом є встановлення скрубера або системи очищення вихлопних газів, що дозволяють судну використовувати паливо з високим вмістом сірки (HSFO), одночасно знижуючи викиди SO_x. Скруббер – це технологічний пристрій для очищення газового потоку від забруднюючих речовин, таких як тверді частинки, оксиди сірки та інші газоподібні сполуки з використанням рідинного або сухого сорбенту [3]. Скрубери працюють на основі принципу абсорбції, при якому забруднюючі речовини вступають у хімічну взаємодію з рідиною або сорбентом, що призводить до їх поглинан-

ня або нейтралізації. Залежно від типу скрубера можуть застосовуватися різні схеми роботи, такі як закритий і відкритий цикли. Вологі скрубери використовують воду або лужні розчини для захоплення забруднювачів, у той час як сухі скрубери використовують тверді реагенти, наприклад, гранули вапняку. На рисунку 3 представлена класифікація морських скруберів.

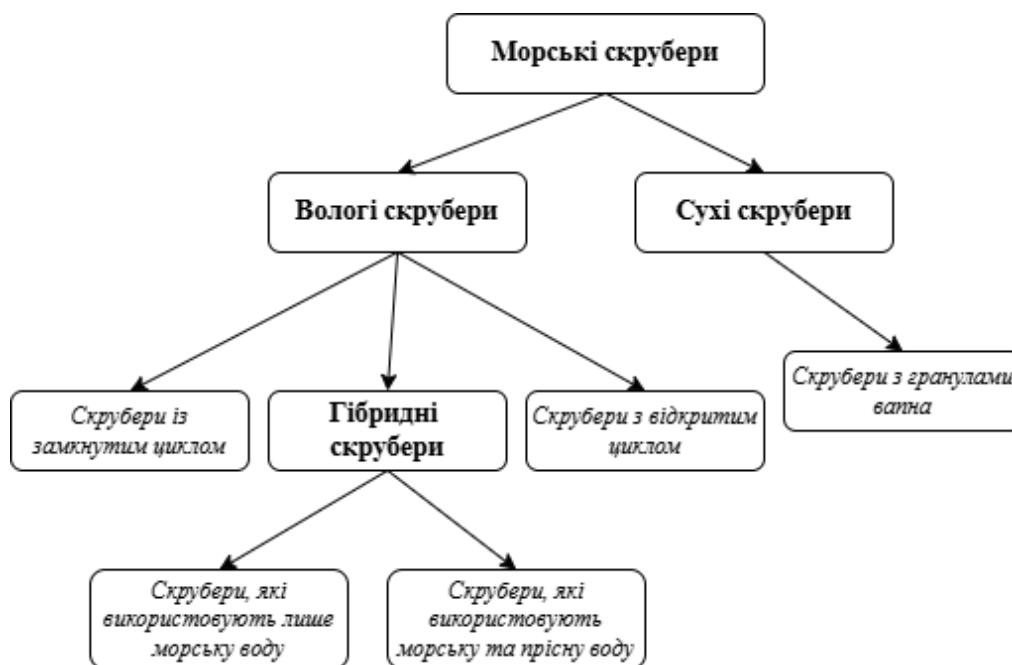


Рисунок 3 – Класифікація морських скруберів за принципом дії

Вологі скрубери мають кілька підтипів:

- із закритим циклом – працюють у замкнутій системі, де циркулює та ж сама вода. Вода фільтрується та повторно використовується, що знижує споживання води та зменшує забруднення;
- з відкритим циклом – використовують свіжу морську воду для очищення газів, після чого вода скидається за борт. Це простіше, але призводить до скидання забруднюючих речовин в море.

Гібридні скрубери можуть працювати як у закритому, так і у відкритому циклі, залежно від умов і потреб. Також поділяються на ті, які:

- використовують лише морську воду – орієнтовані працювати у морській воді і найчастіше працюють у відкритому циклі;
- з декількома варіантами роботи на морській та прісній воді можуть адаптуватися до умов, працюючи як з морською, так і з прісною водою.

Скрубери з гранулами вапняку – це сухі скрубери, що використовують тверді речовини, які реагують із сіркою у вихлопних газах, нейтралізуючи її та осаджуючи як твердий осад.

Практичний досвід великих судноплавних компаній показує, що встановлення скруберів може бути економічно доцільним. За даними досліджень, до кінця 2020 року близько 4 000 суден були оснащені скруберами, і цей показник продовжує зростати (рис. 4) [4]. Багато компаній обґрунтову-

ють таке рішення не лише економічною вигодою, а й прагненням до довгострокової стійкості та відповідності екологічним стандартам.

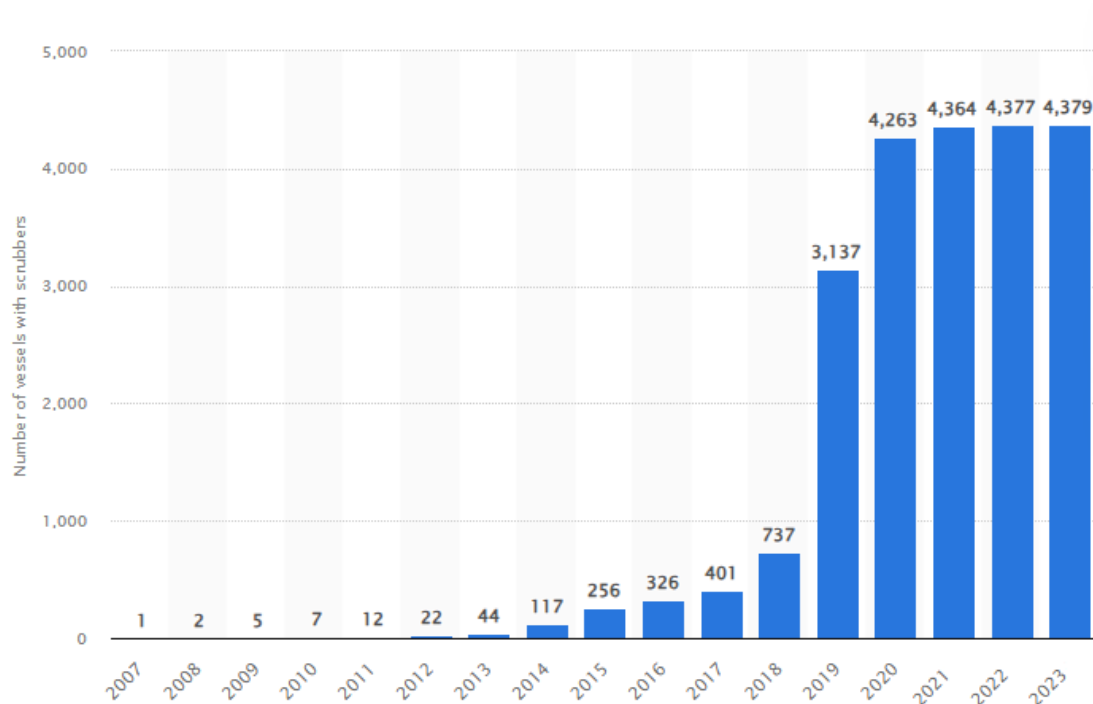


Рисунок 4 – Кількість суден, обладнаних системами очищення вихлопних газів

Встановлення скрубера на морське судно вимагає початкових вкладень від \$2 до \$5 мільйонів доларів залежно від типу скрубера, розміру судна та складності установки [5]. Ці витрати включають закупівлю обладнання, встановлення та модернізацію систем судна, необхідних для ефективної роботи скрубера. Крім того, судно може бути виведено з експлуатації на кілька тижнів, що також спричиняє додаткові втрати.

Середній термін окупності вкладень в установку скрубера становить від 1 до 3 років, залежно від маршруту, типу судна та палива [6]. Це зумовлено тим, що завдяки скрубелу судно може використовувати більш дешевше паливо, тоді як судна без скрубелів змушені використовувати більш дороге низькосірчисте паливо. На якнайшвидшу окупність впливає також вартість самого палива та частота рейсів і інтенсивність роботи судна.

Наприклад, такі країни як Південна Корея та Японія вже зараз активно інвестують в скрубери для очищення вихлопних газів на судах, дозволяючи використовувати більш доступне паливо з високим вмістом сірки. Цей метод забезпечує зниження викидів SOx до 98% [7] і залишається однією з найефективніших довгострокових технологій для суден, що працюють на маршрутах із високим трафіком.

Третім методом можна вважати перехід на альтернативні види палива. Як довгострокову стратегію можна розглядати перехід на зріджений природний газ (ЗПГ), метанол, аміак та водень. Використання ЗПГ дозволяє значно знизити викиди SOx та інших забруднюючих речовин. У Нідерландах та Японії вже роблять ставку на впровадження альтернативних видів палива.

Наприклад, порт Роттердам у Нідерландах активно розвиває інфраструктуру для бункерування ЗПГ та водню, а Японія підтримує розробки суден, що працюють на екологічно чистих видах палива. Проте цей підхід вимагає значних інвестицій у переобладнання суден та розвиток інфраструктури для зберігання та доставки палива, особливо в портах.

Висновки. Методи зниження викидів SO_x, що застосовуються у судноплавстві для виконання вимог Додатка VI МАРПОЛ 73/78, включають, зокрема, використання низькосірчистого палива, встановлення скрубберів та перехід на альтернативні види палива.

Проведений аналіз показав, що враховуючи довгострокові експлуатаційні витрати для кожного із запропонованих методів з урахуванням маршрутів та доступності інфраструктури для бункерування, в умовах високого попиту на низькосірчисте паливо компаніям доцільніше встановлювати скрубери на суднах, що працюють на тривалих маршрутах, навіть з урахуванням того, що впровадження скрубберів потребує регулярного моніторингу та технічного обслуговування для забезпечення їх ефективної роботи. Однак, оскільки екологічні вимоги дедалі ставатимуть суворішими, судноплавним компаніям важливо налагоджувати тісне співробітництво з міжнародними та національними органами для оперативного впровадження нових екологічних стандартів та вирішення технічних і фінансових питань, що виникають.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. MARPOL CONSOLIDATED EDITION 2022. Articles, Protocols, Annexes and unified interpretations of the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the 1978 and 1997 Protocols Incorporating all amendments in force on 1 November 2022. Seventh edition, International Maritime Organization. London, 2022.
2. Riviera Maritime Media. "Analysis: Tankers, Scrubbers and the VLSFO – HSFO Price Spread." March 22, 2021.
3. Hesketh, H., & Scheffner, K. Wet Scrubbers: Second Edition. Taylor & Francis, 2019.
4. Clarksons Research. Scrubber Uptake and Market Impact. 2020.
5. Maritime Hub. "Scrubbers: The Costs & Retrofit Time." July 7, 2024.
6. Hempel. "The Scrubber Dilemma and the Impact of Selecting the Optimum Hull Coating."
7. Wärtsilä Corporation. Exhaust Gas Cleaning Systems: Technical and Operational Aspects. 2021.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ І РЕМОНТ СЕУ

УДК 629.12.565.3

Афанасенко М.Р., Андрюхін І. В., Козьмініх М.А.
Національний Університет "Одеська морська академія"

Визначення надійності установки охолодження рефрижераторного контейнеру

Основною перевагою рефрижераторних контейнерів для транспортування є їх здатність підтримувати постійний температурний діапазон, забезпечуючи свіжість і якість товарів, що швидко псуються. Рефрижераторні контейнери можуть підтримувати певні температурні діапазони, як правило, від $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-22\text{ }^{\circ}\text{F}$) до $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($86\text{ }^{\circ}\text{F}$), залежно від вимог вантажу. Такий точний контроль температури гарантує, що товари прибудуть до призначення в оптимальному стані.

Ще однією перевагою рефрижераторних вантажних перевезень є те, що контейнери рефрижераторні можуть перевозити широкий спектр чутливих до температури вантажів, включаючи заморожені, охолоджені та навіть нагріті товари. Ця універсальність робить їх придатними для різних галузей промисловості: від харчової та медичної до хімічної та електронної.

Рефрижераторні контейнери також дозволяють розширювати ланцюжки постачання, оскільки продукти можуть поставлятися з різних місць. Це допомагає диверсифікувати ринки та знизити ризики в ланцюжку постачання. Використовуючи рефрижераторні контейнери, компанії можуть отримати доступ до нових ринків та охопити споживачів у регіонах, які раніше були недоступними. Для тих, хто займається сільським господарством та морепродуктами, це може стати переломним моментом.

Хоча рефрижераторні перевезення обходяться дорожче, ніж традиційні перевезення сухих вантажів, це економічно ефективне рішення підтримки якості продукції та скорочення відходів. Зберігаючи свіжість, рефрижераторні контейнери дозволяють споживати свіжі продукти, які інакше могли б піти у відходи через обмежений місцевий попит. Попри на додаткові витрати, переваги тривалішого терміну зберігання не мають собі рівних.

Сучасні контейнери рефрижераторні розроблені з урахуванням енергоефективності. Вони використовують передові технології ізоляції та охолодження, що знижує споживання енергії та мінімізує їх вплив на навколишнє середовище.

Рефрижераторні контейнери також мають складні системи моніторингу. Якщо умови відхиляються від бажаного діапазону, спрацьовують сигнали тривоги та оповіщення, що допомагає забезпечити цілісність свіжого вантажу на борту.

Ефективні холодильні контейнери є незамінним інструментом у сучасній логістиці, гарантуючи, що товари, що швидко псуються, фармацевтичні препарати та інші чутливі до температури товари дійдуть до місця призначення в оптимальному стані. Однак, як і будь-яке обладнання, холодильні установки мають свій власний набір проблем з обслуговуванням та усуненням несправностей, які потребують уваги.

Холодильний контейнер, що добре обслуговується, має вирішальне значення для підтримки якості та безпеки вашого вантажу під час транспортування. Нехтування обслуговуванням може призвести до дорогого пошкодження товару.

Розгляньмо деякі поширені проблеми з обслуговуванням:

1. Регулярне обслуговування є наріжним каменем безвідмовної роботи холодильної установки. Недотримання графіка та проведення планових перевірок та ремонтів може призвести до різних проблем.
2. Холодильні установки, що правильно обслуговуються, більш надійні та ефективні. Регулярне обслуговування може виявити та усунути потенційні проблеми до того, як вони посиляться. Наслідки зневаги до обслуговування
3. Нехтування обслуговуванням холодильного контейнера може призвести до зниження енергоефективності, нестабільних температур або навіть виходу з експлуатації всього агрегату. Крім того, це може призвести до дорогого аварійного ремонту та втрати вантажу.
4. Сам холодильний агрегат потребує спеціального обслуговування для оптимальної роботи. Регулярне очищення деталей обладнання, включаючи змійовики та вентилятори, має вирішальне значення. Бруд і сміття, що накопичилися, можуть перешкоджати теплообміну і знижувати ефективність.
5. Витік холодоагенту не тільки впливають на охолоджувальну здатність, а й становлять загрозу навколишньому середовищу та безпеці. Дуже важливо регулярно перевіряти наявність витіку холодоагенту та оперативно усувати їх.
6. Частини, що рухаються, такі як двигуни й вентилятори, вимагають правильного мастила. Недостатнє мастило може призвести до підвищеного тертя, перегріву та передчасного виходу з ладу компонентів. Згодом різні компоненти можуть зношуватися. Зношуються деталі необхідно своєчасно замінювати, щоб запобігти відмові системи.
7. Ізоляція та герметизація контейнера відіграють важливу роль у підтримці необхідної температури. Ізоляція з часом погіршується, а пошкоджена ізоляція може спричинити коливання температури. Регулярний огляд та заміна пошкодженої ізоляції мають вирішальне значення.

8. Правильна герметизація необхідна для запобігання витоку повітря. Прокладки та ущільнення слід перевіряти та замінювати при необхідності для підтримки герметичності.

До головних частин холодильної установки рефрижераторного контейнера відносяться:

1. компресора ;
2. Повітряний конденсатор;
3. Повітроохолоджувач;
4. Регенеративний теплообмінник (РТО);
5. Ресивер – водяний конденсатор;
6. Терморегулюючий вентиль (ТРВ);
7. «Регулюючі клапана» ;
8. Мікропроцесор;
9. Фільтр – осушувач.

Зі всіх вузлів холодильної установки рефрижераторного контейнера найчастіші відмови пов'язані з виходом з ладу компресора. Середній робочий час складає 50%. Статистичні данні що наведені у відкритих джерелах дозволяють визначити наступні середні значення основних показників надійності холодильних компресорів:

1. параметр потоку відмов λ , 1/рік – 0,015;
2. середній час відновлення t_B , год – 20;
3. інтенсивність відновлення μ , 1/год - $5 \cdot 10^{-2}$.

Вони найбільш критичні, у порівнянні з іншими елементами холодильної установки. Виходячи із цього можливо зробити висновок, що у першу чергу потрібно забезпечити підтримку температурного режиму в вантажному об'ємі контейнера під час ремонту. Останні технологічні розробки та майбутні завдання

Технологія рефрижераторних контейнерів, ймовірно, постійно розвиватиметься в міру появи нових завдань. Ці досягнення стосуються, з одного боку, конструкції контейнерів, з другого боку, експлуатації та управління цим устаткуванням.

З точки зору дизайну, ми можемо виділити дедалі більше використання легких і міцних матеріалів, таких як бамбук, для виготовлення підлог транспортних контейнерів. Це стосується, наприклад, французької компанії CMA CGM.

Ми також можемо нещодавно відзначити запуск японської компанією Ocean Network Express першого у світі двотемпературного рефрижераторного контейнера, оснащеного технологією контрольованої атмосфери. Знімний роздільник дозволяє розділити контейнер на дві зони з різними температурами від -30°C до $+30^{\circ}\text{C}$.

З точки зору контролю та регулювання робочих параметрів цих контейнерів досягнення вражають і повинні продовжувати слідувати один за одним, особливо через зростання штучного інтелекту (II) Параметри експлуатації, які необхідно контролювати, численні і є значними

фінансовими проблемами, пов'язаними з ризиком пошкодження вантажу у разі відмови

Повітряний потік, що забезпечує охолодження контейнера, є найважливішою частиною контейнера рефрижераторного. Крім контролю температури повітря, ефективна вентиляція є ще однією важливою характеристикою транспортного контейнера рефрижераторного. Фрукти, овочі та рослини виділяють CO₂, воду, тепло та етилен.

Якщо ці компоненти не видаляються, вони можуть зіпсувати вантаж, викликаючи неконтрольоване дозрівання, старіння та зміну смаку. Тому рефрижераторні контейнери підтримуються вентильованим свіжим повітрям. Вологість також відіграє важливу роль у збереженні продуктів. Система осушення підтримує правильний рівень вологості у контейнері

Для контролю всіх цих параметрів, а також електроживлення мікропроцесори безперервно реєструють і передають дані за допомогою віддалених модемів. Моніторинг перших контейнерів рефрижераторних здійснювався з використанням досить простих технологій. В основному це стосувалося підтримки бажаної температури за допомогою механічних систем охолодження. Згодом стали використовуватися все більш досконалі датчики.

Сьогодні стандартами є моніторинг у реальному часі, системи сигналізації та віддалене керування. Інтелектуальні рефрижераторні контейнери, оснащені датчиками IoT (дозволяють здійснювати моніторинг температури, вологості та інших основних факторів навколишнього середовища в реальному часі без використання зовнішніх пристроїв.

Ці технологічні досягнення створюють нові ризики, пов'язані з безпекою даних і кібербезпекою в цілому, але також генерують поліпшення на високому рівні, які важко було собі уявити донедавна, зокрема завдяки штучному інтелекту (II). II допомагає аналізувати дані датчиків і може передбачати, коли рефрижераторний контейнер, швидше за все, вийде з ладу або вимагатиме обслуговування. Такий підхід знижує ризик відмови рефрижераторного контейнера під час транспортування та пошкодження чи погіршення якості товарів. Прогностичне обслуговування не тільки підвищує надійність, а й оптимізує споживання енергії

Однак прогностичне обслуговування – це лише один приклад застосування II. Ймовірно, у майбутньому на нього буде покладено ще більше завдань, таких як прогностичний аналіз на основі всіх контрольованих параметрів, оптимізація продуктивності та енергоефективності, оптимізація маршрутів, інтеграція з керуванням ланцюжками постачання

Висновок

Вибраний напрямок досліджень обумовлений постійним зростанням у морських контейнерних перевезень, у тому числі рефрижераторних контейнерів. При цьому питання надійності холодильного обладнання набору морських контейнеровозів залишається окремою проблемою.

Відмова холодильного обладнання на борту судна може призвести до пошкодження вантажу та штрафних санкцій щодо перевізника.

У сфері логістики ефективні холодильні транспортні контейнери мають вирішальне значення підтримки якості та безпеки чутливих до температури товарів. Однак вони не застраховані від проблем з обслуговуванням та усунення несправностей.

Регулярне обслуговування, своєчасне розв'язання загальних проблем та профілактичні заходи мають вирішальне значення для забезпечення безперебійної роботи рефрижераторних контейнерів та цілісності вантажу, що міститься в них. Залишаючись пильними та проактивними, підприємства можуть знизити ризик та підтримувати надійність холодильних транспортних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Козьмініх Н.А., Андріанов Д.В. Методи оцінки надійності суднових холодильних установок у процесі експлуатації. Науково-технічна збірка "Судові енергетичні установки", Вип. 28, Одеса 2011
2. Міждержавний стандарт ГОСТ 27301-95. Надійність у техніці. Розрахунок надійності. Основні засади.
3. Танірбергенова А.А. Розрахунок надійності багатoeлементних систем. -Сб. Трудів Кар.ГТХ, 2011, с.с. 83-85.
- 4.<https://www.msc.com/en/lp/blog/solutions/refrigerated-shipping-containers-benefits>

Биковець М.В., Козьмініх М.А.
Національний Університет "Одеська Морська Академія"

Поліпшення експлуатаційних характеристик вантажних систем суден метановозів

У сучасному світі морський транспорт відіграє ключову роль у глобальній економіці, особливо у сфері транспортування зрідженого природного газу (ЗПГ). Зростання попиту на ЗПГ як на більш екологічно чисте джерело енергії призвело до активного розвитку інфраструктури для його транспортування морем. Основну роль у цьому процесі відіграють спеціалізовані судна-метановози, які забезпечують доставку ЗПГ на великі відстані при збереженні його в зрідженому стані.

Системи вторинного скраплення газу є важливим компонентом вантажних систем метановозів, оскільки дозволяють мінімізувати втрати ЗПГ під час транспортування. Природне випаровування газу у процесі перевезення неминуче, але завдяки вторинному скрапленню можна повертати випаруваний газ у зріджений стан, зберігаючи його в танках судна.

Основна мета цієї роботи полягає у вдосконаленні експлуатаційних характеристик вантажних систем метановозів, зокрема систем вторинного скраплення газу. Це дозволить не тільки знизити енергетичні витрати на процес скраплення, а й підвищити надійність та безпеку роботи судна в цілому. У цій роботі розглядаються сучасні технології вторинного скраплення газу, аналізуються їхні переваги та недоліки, а також пропонуються шляхи для оптимізації цих процесів.

Перевезення зрідженого природного газу (ЗПГ) стало важливою складовою міжнародного енергетичного ринку. ЗПГ має перевагу перед традиційними паливами завдяки низькому вмісту шкідливих викидів, що сприяє його популярності на тлі глобальної тенденції до зниження вуглецевого сліду. Судна-метановози, спеціально розроблені для транспортування ЗПГ, оснащені сучасними технологіями, що забезпечують ефективність, безпеку і надійність перевезень.

На сьогодні більшість метановозів використовують або мембранні, або сферичні танки, призначені для зберігання газу при наднизьких температурах (-162°C), що необхідно для збереження його у зрідженому стані. Системи вторинного скраплення газу на метановозах відіграють вирішальну роль, оскільки забезпечують зворотне скраплення випаруваного газу, який може бути повторно використаний як паливо для судових двигунів або повернутий до вантажних танків.

Сучасні системи вторинного скраплення працюють за різними технологічними схемами, серед яких каскадні установки та установки з прямим циклом скраплення газу. Кожна з них має свої особливості в плані енергоефективності та експлуатаційних характеристик. Наприклад, каскадні

установки дозволяють досягати високого рівня енергоефективності завдяки використанню поетапного охолодження, проте вони потребують більш складного обслуговування. Прямотокові установки простіші в експлуатації, але мають вищі енергетичні витрати.

Таким чином, з огляду на потребу в підвищенні енергоефективності та зниженні експлуатаційних витрат, питання вдосконалення вантажних систем метановозів, зокрема їх систем вторинного скраплення, стає надзвичайно актуальним. Впровадження інноваційних підходів дозволить суттєво оптимізувати процеси транспортування ЗПГ, знижуючи витрати енергії та мінімізуючи вплив на навколишнє середовище.

Система вторинного скраплення газу на суднах-метановозах є ключовою складовою, що забезпечує утримання зрідженого природного газу (ЗПГ) у стабільному стані під час транспортування. Основна мета цієї системи полягає в тому, щоб запобігти втратам вантажу внаслідок природного випаровування, підтримуючи газ у зрідженому стані.

Основні компоненти системи вторинного скраплення газу:

- компресори – підвищують тиск газу до рівня, необхідного для його подальшого зрідження. Компресори є важливими елементами системи, оскільки вони забезпечують стискання випаруваного газу, підготовлюючи його для охолодження;
- конденсатори – забезпечують охолодження газу до температури конденсації, що дозволяє переводити його в рідкий стан. У процесі конденсації газ віддає надлишок тепла, яке відводиться системою охолодження;
- теплообмінники – служать для передачі тепла між газом і охолоджувальним середовищем. Сучасні теплообмінники, такі як пластинчасті та спіральні, дозволяють зменшити теплові втрати та забезпечують ефективний процес охолодження;
- розширювальні клапани – знижують тиск газу перед конденсацією, сприяючи його охолодженню та переходу в рідкий стан.

Система вторинного скраплення газу працює на основі термодинамічного циклу, що складається з чотирьох основних етапів:

- а) стискання – випаруваний газ піддається компресії, що збільшує його тиск і підготовлює до охолодження;
- б) охолодження – під час охолодження газ втрачає частину енергії і наближається до температури конденсації. На цьому етапі газ проходить через теплообмінники, що забезпечують ефективний відвід тепла;
- в) конденсація – при досягненні температури конденсації газ переходить у рідкий стан. Конденсатори виконують цю функцію, перетворюючи газ назад у ЗПГ;

- г) розширення – після конденсації рідина може бути розширена за допомогою клапанів, що сприяє підтримці низької температури та стабільності рідкого стану.

Для визначення ефективності системи використовуються такі основні формули:

Коефіцієнт енергетичної ефективності ($\eta_{\text{еф}}$):

$$\eta_{\text{еф}} = \frac{Q_{\text{конденсатора}}}{W_{\text{компресора}}},$$

де $Q_{\text{конденсатора}}$ — теплова потужність, відведена конденсатором, а

$W_{\text{компресора}}$ — енергія, спожита компресором.

Теплообмінна потужність (Q):

$$Q = m * c * \Delta T,$$

де m — масова витрата газу,

c — теплоємність,

ΔT — різниця температур між вхідним і вихідним потоком.

Система вторинного скраплення газу на метановозах дозволяє значно зменшити втрати вантажу, а також забезпечити можливість використання випаруваного газу як додаткового палива для суднових двигунів, підвищуючи загальну енергоефективність судна.

Вибір схеми вторинного скраплення газу на суднах-метановозах визначається низкою факторів, серед яких енергоефективність, надійність та експлуатаційна простота. У сучасній практиці застосовуються кілька основних типів систем вторинного скраплення, зокрема каскадні та прямотоккові установки. Кожна з них має свої особливості та забезпечує різний рівень ефективності залежно від умов експлуатації.

Основні типи систем:

Каскадні установки — ці системи використовують декілька охолоджувальних контурів, що дозволяє досягти нижчих температур охолодження поетапно. Каскадні установки відрізняються високою енергоефективністю, оскільки кожен контур працює в оптимальному температурному діапазоні, зменшуючи загальні витрати енергії. Проте вони є більш складними в обслуговуванні та потребують високої кваліфікації персоналу.

Прямотоккові установки — ці установки забезпечують скраплення газу за допомогою одного потоку охолоджувального середовища. Вони простіші в конструкції та мають нижчі експлуатаційні витрати. Однак прямотоккові системи характеризуються вищими витратами енергії, оскільки охолодження відбувається без поділу на етапи, що призводить до меншої ефективності тепловіддачі.

Таблиця 1 – Порівняльна таблиця ефективності схем вторинного скраплення

Параметр	Каскадні установки	Прямотоккові установки
Енергоефективність	Висока	Середня
Складність обслуговування	Висока	Низька
Початкові витрати	Високі	Середні
Надійність	Висока, за належного догляду	Середня
Придатність для великих обсягів	Висока	Обмежена

Основні формули для оцінки енергоефективності

Коефіцієнт енергетичної ефективності системи для каскадних установок:

$$\eta_{\text{каскад}} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{\sum_{i=1}^n W_i},$$

де Q_i — теплова потужність кожного контуру каскаду,

W_i — спожита енергія компресора кожного контуру,

n — кількість контурів.

Коефіцієнт енергоефективності для прямотоккових установок:

$$\eta_{\text{прямоток}} = \frac{Q_{\text{конденсатора}}}{W_{\text{компресора}}},$$

де $Q_{\text{конденсатора}}$ — потужність конденсатора,

$W_{\text{компресора}}$ — енергія, спожита компресором.

Згідно з проведеним аналізом, каскадні установки є більш ефективними для великих обсягів транспортування ЗПГ, хоча вимагають більших інвестицій та складнішого обслуговування. Прямотоккові установки можуть бути економічно вигідними для менших обсягів або коротших маршрутів, де питання енергозбереження не настільки критичне.

Підвищення ефективності систем вторинного скраплення газу на суднах-метановозах є важливим завданням, оскільки від цього залежить енергоефективність судна в цілому, а також зменшення експлуатаційних витрат і зниження екологічного впливу. Існує кілька методів для досягнення цієї мети, які включають використання новітніх технологій, оптимізацію компонентів системи та впровадження енергозберігаючих підходів.

Основні методи підвищення ефективності:

Використання високоефективних теплообмінників:

Сучасні пластинчасті та спіральні теплообмінники забезпечують ефективніше тепловідведення завдяки збільшеній площі поверхні теплопередачі. Використання таких теплообмінників знижує енергетичні витрати на охолодження, оскільки вони дозволяють досягти необхідної температури з меншою витратою енергії.

Формула для розрахунку ефективності теплопередачі в теплообміннику:

$$Q = U * A * \Delta T_{\text{середнє}}$$

де U — коефіцієнт теплопередачі,
 A — площа поверхні теплообміну,
 ΔT середнє — середня різниця температур між потоками.

Оптимізація роботи компресорів:

Використання багатоступневих компресорів з регулюванням продуктивності дозволяє знизити споживання енергії на кожному етапі стискування. Багатоступневі компресори забезпечують компресію газу з поетапним охолодженням, що значно підвищує ефективність стискування.

Формула для визначення енергетичної ефективності компресора:

$$\eta_{\text{компресора}} = \frac{W_{\text{вих}}}{W_{\text{вх}}},$$

де $W_{\text{вих}}$ — корисна робота,
 $W_{\text{вх}}$ — загальна спожита енергія.

Впровадження автоматизованих систем керування:

Автоматизація дозволяє в режимі реального часу відслідковувати роботу систем вторинного скраплення, оперативно регулюючи параметри для досягнення оптимальної продуктивності. Сучасні системи контролюють тиск, температуру, витрату газу і енергоспоживання, що сприяє зниженню втрат енергії та підвищенню загальної ефективності.

Покращення ізоляції танків:

Використання новітніх ізоляційних матеріалів, таких як аерогелі, дозволяє значно зменшити теплові втрати в танках для зберігання ЗПГ. Завдяки ефективній ізоляції зменшується обсяг випаруваного газу, що дозволяє скоротити витрати на повторне скраплення.

Рециклінг випаруваного газу для живлення двигунів:

Частина випаруваного газу може бути спрямована на живлення суднових двигунів. Це дозволяє зменшити використання традиційного палива і знизити експлуатаційні витрати. Такий підхід також сприяє зменшенню викидів CO_2 , що відповідає екологічним стандартам ІМО.

Ключові формули для підвищення ККД холодильних установок:

Коефіцієнт корисної дії (ККД) холодильного циклу:

$$COP = \frac{Q_{\text{корисне}}}{W},$$

де $Q_{\text{корисне}}$ — кількість корисного тепла, відведеного системою,
 W — загальна спожита енергія.

Розрахунок енергозбереження при впровадженні нових технологій:

$$E_{\text{економія}} = E_{\text{до}} - E_{\text{після}}$$

де $E_{\text{до}}$ — енергія, що витрачається до впровадження,
 $E_{\text{після}}$ — енергія після впровадження технологічного удосконалення.

Методи підвищення ефективності систем вторинного скраплення дозволяють не лише зменшити витрати енергії, а й знизити загальні експлуатаційні витрати, що робить транспортування ЗПГ більш економічно вигідним і екологічно безпечним.

Висновки

Ефективність каскадних систем: каскадні системи вторинного скраплення показали найвищий рівень енергоефективності за рахунок використання багатоконтурного охолодження. Вони забезпечують поетапне зниження температури, що дозволяє мінімізувати витрати енергії на скраплення випарованого газу.

Впровадження інноваційних теплообмінників: використання вискоефективних теплообмінників, таких як пластинчасті та спіральні, суттєво знижує теплові втрати в процесі скраплення, що підвищує загальну продуктивність системи.

Автоматизація та контроль параметрів: автоматизовані системи контролю забезпечують своєчасне регулювання параметрів роботи системи, знижуючи втрати енергії та підвищуючи точність процесу вторинного скраплення. Це дозволяє підтримувати стабільні умови транспортування та зменшувати ризик аварійних ситуацій.

Підвищення енергоефективності за рахунок покращення ізоляції: використання сучасних ізоляційних матеріалів дозволяє мінімізувати випаровування газу в танках, що зменшує обсяг роботи системи вторинного скраплення і, відповідно, витрати енергії.

Економія палива через рециклінг випарованого газу: частина випарованого газу може бути використана як паливо для суднових двигунів, що дозволяє зменшити використання традиційного палива та сприяє зниженню викидів CO₂, що відповідає сучасним екологічним стандартам ІМО.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Козьмініх М.А., Системи скраплення газу на морських судах. Методичні рекомендації. Одеса: ОНМА, 2021. – 124 с.
2. Методичні вказівки для виконання дипломної роботи магістра / [уклад.: І.І. Сагін, М.А. Козьмініх]. Одеса: ОНМА, 2023. – 92 с.
3. Сагін С.В., Енергетична ефективність суднових енергетичних установок. Одеса: ОНМА, 2022. – 315 с.
4. Сидоренко В.П., Основи теплообмінних процесів в системах суднового охолодження. Одеса: ОНМА, 2019. – 286 с.

Вдосконалення системи мащення циліндрів суднових дизелів

Надійність і довговічність роботи суднових дизелів у відомій мірі визначається швидкістю зносу деталей циліндро-поршневої групи, одними з основних питань, що грають першорядну роль у визначенні терміну служби якої, є питання організації мащення її тертьових поверхонь [1].

Як показує експлуатація суднових двигунів, завищені витрати мастила приводять до збільшення продуктів його відпрацьовування, відкладенням на деталях циліндра, у продувних вікнах циліндра, у продувному ресивері й у випускному тракті [2].

Недостатня подача мастила служить причиною порушення цілісності мастильної плівки на робочій поверхні циліндра й виникнення напівсухого або сухого тертя, погіршується рухливість, відбувається защемлення і пригорання поршневих кілець.

Для ефективного захисту втулки від корозійного зношування - нейтралізуючі властивості мастильної плівки повинні бути достатніми не тільки в районах виходу мастила, але й між ними. Тим часом, питання, розподіли мастила й своєчасної зміни його на дзеркалі циліндра вивчене недостатньо. Розв'язання цього питання є кінцевою метою ефективної організації мащення циліндра.

Останнім часом намітилися три напрямки розвитку систем мащення циліндрів суднових двигунів:

- - модернізація чинних мастильних систем, шляхом зміни гідравлічних характеристик нагнітального тракту;
- - розробка й удосконалювання акумуляторних систем мащення;
- - створення нових систем мащення циліндрів (з електронним керуванням подачею).

В данному дослідженні представлені результати підвищення ефективності лубрикаторної системи шляхом її модернізації.

Відомий вузол мащення циліндрової втулки, що складається зі штуцера з отвором для мастила, незворотного клапану, накидної та притискної гайок та ущільнень. Штуцер має один отвір, вісь якого збігається з віссю штуцера [2].

Недоліки даного вузла:

- неефективне мащення дзеркала циліндрової втулки завдяки великому діаметру мастильного отвору;
- при організації процесу мащення не враховується температура та в'язкість мастильних матеріалів;
- великий мастильний отвір певним чином негативно впливає на міцність циліндрової втулки.

Найбільш близьким аналогом є вузол мащення циліндрової втулки, що складається зі штуцера з отвором для мастила, незворотного клапана,

накидної та притискної гайок та ущільнень. Для організації процесу мащення на дзеркалі циліндрової втулки виконані похилі поглиблення (канавки) [3].

Недоліки застосування одного отвору для надання мастильних матеріалів та поглиблень на дзеркалі циліндрової втулки полягають у тому, що:

- похилі поглиблення є джерелом концентрації механічних напружень та забруднення у циліндровій втулці;
- збільшуються витрати на технічне обслуговування двигуна;
- при організації процесу мащення не враховується температура та в'язкість мастильних матеріалів.

Задачею дослідження є створення вузла мащення циліндрової втулки, що забезпечить більш ефективне мащення дзеркала циліндрової втулки, відсутність вузлів концентрації механічних напружень та забруднення у циліндровій втулці, організацію процесу мащення з урахуванням дійсної температури та в'язкості мастильних матеріалів, підвищення ресурсу циліндрової втулки, можливість швидкої імплементації у виробничий процес та у зниженні експлуатаційних витрат та одночасному збереженні простоти технічних рішень вузлів мащення відомих типів.

Поставлена задача вирішується тим, що вузол мащення циліндрової втулки, що складається зі штуцера з отвором для мастила, незворотного клапана, накидної та притискної гайок та ущільнень, згідно з запропонованим рішенням, кулька незворотного клапана притискується пружиною, що спирається на біметалеву мембрану, а у тілі втулки канали для мащення виконані під кутом до осі штуцера.

Технічний ефект досягається завдяки тому, що комбінація отворів та пружних елементів забезпечує:

зменшення концентрації механічних напружень вузла мащення та забруднення у циліндровій втулці;

більш ефективне мащення дзеркала циліндрової втулки;

- організацію процесу мащення з урахуванням дійсної температури та в'язкості мастильних матеріалів;

підвищення робочого ресурсу циліндрової втулки;

зниження експлуатаційних та ремонтних витрат;

можливість швидкої імплементації у виробничий процес.

Суть розробки пояснюється кресленням, де зображено корпус штуцера 1, який містить незворотний клапан 2. У корпусі клапана містяться сталева кулька 3, яка перекриває канал мащення. Кульку підтискує пружина 4, яка спирається на біметалеву мембрану 5. Корпус незворотного клапана фіксується у корпусі штуцера накидною гайкою 6. Штуцер фіксується у тілі циліндрової втулки 10 різьбовим з'єднанням. Мастило потрапляє до дзеркала втулки через отвори 11, які виконані під кутом до осі штуцера. Між штуцером та втулкою та між штуцером та тілом блоку циліндрів встановлені мідні ущільнення. До тіла блоку циліндрів ущільнення притискується гайкою притискною 7 через шайбу 8.

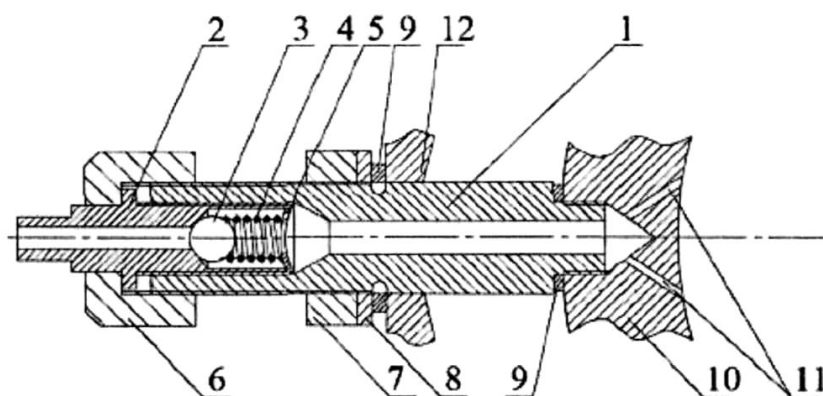


Рис.1. Вузол мащення циліндрової втулки:

1 - корпус штуцера; 2 - корпус незворотного клапана; 3 - кулька; 4 - пружина; 5 - біметалева мембрана; 6 - гайка накидна; 7 - гайка; 8 - шайба; 9 - ущільнення; 10 - циліндрова втулка; 11 - похилі отвори мащення 12 - блок циліндрів.

У статичному режимі (двигун вимкнено) кулька незворотного клапана, яка притискується пружиною та мембраною, замикає канал мащення.

У динамічному режимі (двигун працює) мастило під тиском надходить від лубрикатора до незворотного клапана. Коли тиск досягне номінального значення, мастило відтискує кульку і через центральний отвір у штуцері та похилі отвори надходить до дзеркала циліндрової втулки. Завдяки похилим отворах мастило рівномірно розподіляється по дзеркалу, а самі отвори зменшеного діаметра не спричиняють появу точок концентрації напружень у тілі втулки.

Якщо відбувається зміна температури та в'язкості мастильного матеріалу біметалева мембрана підсилює або зменшує сумарний тиск на кульку незворотного клапана. Тим самим відбувається організація процесу мащення з урахуванням дійсної температури та в'язкості мастильних матеріалів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Богач В.М. Підвищення ефективності суднових дизелів шляхом удосконалення лубрикаторних систем: Монографія / В.М. Богач – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – 294 с.
2. Богач В.М. Вплив газу на рух мастила по дзеркалу циліндра / В.М. Богач, А.М. Шебанов, Ю.М. Довиденко, І.Е.Слінський. // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вып. 43. - Одеса: НУ «ОМА», 2021. С.126-139.
3. Богач В.М. Особливості роботи лубрикаторних систем суднових довгоходових двигунів / Богач В.М., Довіденко Ю.М., Дуранов О.П. // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вып. 44. - Одеса: НУ «ОМА», 2022. С. 53-63.

Граждан М.Ю., Кочков В.А., Хлієва О. Я.
Національний університет «Одеська морська академія»

Аналіз можливих шляхів підвищення енергоефективності суднового холодильного обладнання

Суднові холодильні системи використовуються на борту водних засобів транспорту і зазвичай призначені для охолодження вантажних трюмів, рефрижераторних контейнерів, комфортного та технологічного кондиціювання повітря та охолодження провізійних камер. Ці системи відрізняються від стаціонарних не тільки фізичними аспектами, але й тим, що суднові системи повинні бути спроектовані таким чином, щоб витримувати часті запуски і зупинки, а також вібрації та хитівку. Для здійснення процесів заморожування або охолодження на суднах холодильне обладнання може працювати безперервно тижнями, але за певних умов може запускатися і зупинятися щодня.

На засобах водного транспорту на сьогодні використовуються переважно парокомпресійні холодильні машини, які характеризуються доволі значним споживанням електроенергії. Підвищення їх енергетичної ефективності є пріоритетним напрямом як при проектуванні та виготовленні цього обладнання, так й при його експлуатації.

Головним завданням виробників суднової парокомпресійної холодильної техніки різного призначення є підвищення її ефективності, зокрема компресорів і теплообмінних апаратів, що входять до її складу. Ця ідея не втратила своєї актуальності з моменту зародження холодильної галузі промисловості до наших днів.

В останні роки, коли необхідність підвищення ефективності холодильних та кліматичних установок, а також зниження їх впливу на навколишнє середовище значно загострилася, найбільш обговорюваними стали високоефективні установки, в яких реалізовано один або декілька технічних рішень підвищення їх поточного та річного холодильного коефіцієнта COP (coefficient of performance). Основні технічні рішення з підвищення енергетичної ефективності холодильного обладнання наведено нижче:

- застосування компресорів, вентиляторів повітряних конденсаторів та випарників з інверторним регулюванням продуктивності,
- робота компресорів з мінімальним перепадом робочих тисків, або з т.зв. «плаваючою» температурою конденсації,
- робота конденсаторів та випарників із мінімальним перепадом температур,
- використання в установках холодоагентів, які забезпечують більш високий COP, порівняно з традиційними робочими тілами, а також спеціалізованих під них компресорів (якщо це потрібно, наприклад для аміаку),

- застосування в установках різних систем переохолодження рідкого холодоагенту,
- застосування в установках різних систем проміжного дроселювання рідкого холодоагенту,
- застосування затоплених випарників,
- застосування регенеративних теплообмінників.

Доцільність впровадження описаних вище технічних рішень суттєво залежить від типу холодильного обладнання, температурних умов його експлуатації, фінансових можливостей на реалізацію проекту, наявності вільного простору та багатьох факторів. Перш ніж реалізовувати, наприклад, технічні рішення з впровадження певних систем переохолодження рідкого холодоагенту або проміжного дроселювання рідкого холодоагенту можна провести теоретичний аналіз та оцінити доцільність цього рішення та ефективні експлуатаційні режими (ступень переохолодження, величин проміжного тиску). Для певних холодильних систем з певними холодоагентами такі технічні рішення можуть оказатися взагалі недоцільними.

Одним з напрямів підвищення енергоефективності суднових холодильних систем є вибір робочого тіла, яке забезпечує підвищення COP. Але, наприклад, такий перспективний холодоагент як пропан (R290) заборонено використовувати як холодоагент на борту судна з причини горючості.

Як висновок, можна зробити висновок, що загальних універсальних способів підвищення енергоефективності судового холодильного обладнання не існує, кожне технічне рішення потребує теоретичного, а можливо й експериментального аналізу перед його впровадження в певне схемне рішення холодильної системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ASHRAE. Handbook of Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineering, Inc. Atlanta: ASHRAE. 2017.
2. Hafner I., Gabrielli C., Widell K. Refrigeration units in marine vessels: Alternatives to HCFCs and high GWP HFCs. Copenhagen: Nordic Council of Ministers. 2019.
3. Колієв И.Д. Суднові холодильні установки: Навчальний посібник. Одеса: Фенікс, 2009.

Гриньков А. С., Козьмініх М.А.

Національний Університет «Одеська Морська Академія»

Аналіз ефективності використання вторинної пари вантажу в якості палива для головного двигуна

Через постійне зростання цін на нафту і палива, одержувані з неї, а також

значне посилення вимог, пов'язаних з екологічними показниками суднових двигунів, змушують все більше виробників шукати альтернативні рішення, пов'язані як з пошуком нових палив, так і способів їх використання в суднових дизелях.

Використання зрідженого природного газу (ЗПГ) в якості палива для головних суднових двигунів, а також для виробництва електроенергії з метою забезпечення потреб на судах під час стоянки в портах дозволяє зтримувати зростання забруднення і виконувати жорсткі екологічні обмеження.

Екологічний аспект переходу на використання ЗПГ є визначальним при виборі конкретного шляху виконання вимог конвенції МАРПОЛ 73/78. Економічні переваги зрідженого газу дозволяють в прийнятні терміни окупити витрати на пристосування судна до роботи на ЗПГ, на технологічне обладнання та вартість бункерування.

Застосування газу дозволяє істотно скоротити кількість шкідливих викидів порівнянно з паливами нафтового походження повністю виключити викиди сірки, кардинально (на 90%) знизити викиди оксидів азоту (NOX) і істотно (на 30%) знизити викиди твердих частинок і діоксиду вуглецю (CO₂).

Більш того, відсутні видимий дим, шламові осадження, викиди свинцю, викиди бензолу знижуються на 97%.

До інших переваг ГП можна віднести відсутність рідких фракцій, що виключає розрідження масла в зоні роботи поршневих кілець, а практично повна відсутність зольності призводить до поліпшення умов змащення і підвищенню терміну служби циркуляційного масла. В результаті ресурс двигунів, що працюють на газі, може бути збільшений в 1,3-1,5 рази, у стільки ж знижені витрати на обслуговування і ремонт

Крім екологічних аспектів в даному випадку дуже важливі і економічні. Перехід на газове паливо на судах забезпечує зниження експлуатаційних витрат за рахунок низької вартості газу, менших витрат на ТО і т.д.

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

Постало питання використання газу в якості палива на флоті для судів-газовозів. Накопичення досвіду їх експлуатації дозволило розширити область при трансформаційних змін ГП в дизелях судів інших типів.

Сьогодні використання газу це перспективний напрямок для судів - автомобілевозів, пасажирських, контейнеровозів, поромів і т.д. Специфічні умови роботи судів наклали свої відбитки на розвиток паливних систем суднових двигунів, що працюють на газі. В першу чергу це пов'язано з необхідністю зберігати можливість роботи двигуна на рідких паливах, яка виникає кожного разу, коли судно рухається в баласті. Крім того, склад газів може змінюватися в залежності від виду вантажу, умов плавання і часу. Паливна система повинна адекватно реагувати на такі зміни і забезпечувати роботу двигунів на номінальних режимах. Виходячи з цього, основна маса суднових 10 двигунів створюється сьогодні двопаливними, тобто здатними працювати на газовому, рідкому паливі або на обох паливах відразу в різних пропорціях.

В нинішній час більшість сортів морських палив відповідають вимогам МАРПОЛ Додаток №6 Tier II щодо викидів NOx в атмосферу. Однак дотримання рівня Tier III вимагає зниження температури згорання палива або використання системи рециркуляції вихлопних газів. В обох випадках ефективність двигуна знижується, що підштовхує експлуатаційні витрати на судно. Друга методика скорочення NOx, зазвичай використовується на суші в промисловості та транспорті - це селективне каталітичне відновлення (SCR). Однак ця технологія для використання на суднових двигунах ще розробляється. Для того щоб відповідати вимогам МАРПОЛ при роботі головних двигунів на легких та важких сортах палива використовується система очищення вихлопних газів. Хоча ця технологія добре розвинена, її застосування на судні має безліч недоліків:

- об'єм споживання корпусу суден;
- збільшення потужності та дедвейт;
- підйом судового центру ваги (зниження стійкості судна);

Варіант технології скруббер є у використанні палив з низьким вмістом сірки. До числа найважливіших якостей природного газу, що роблять його привабливим для суднової енергетики і дозволяють створювати ефективні двигуни з низьким вмістом шкідливих викидів, відноситься перш всього висока екологічність. У газових видів палива відношення водень / вуглець становить 2,5-4,0, а молекули хімічно стійкі і прості за будовою. Це забезпечує високоякісне протікання процесу згорання палива, бездетоннаційну роботу двигуна і більш високу екологічну чистоту продуктів

Посилення екологічних норм і зростання цін на традиційні види суднового палива є основними рушійними силами для використання природного газу як палива на водному транспорті. Найбільшої шкоди завдають викиди оксидів азоту (NOx), з яких основну масу складає монооксид азоту (NOx), що утворюються в камері згорання поршневих двигунів.

Застосування природного газу дозволяє практично повністю виключити викиди сірки, істотно скоротити викиди оксидів азоту і вуглецю, а також

твердих часток. Спочатку газове паливо на водному транспорті знайшло практичне застосування на метановозах, де вантаж що безперервно випаровується використовують 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.

Переваги газового палива по енергетичним властивостям по відношенню до палива на основі нафти визначаються вищим октановим числом, питомою теплотою згоряння, стехіометричним ставленням (кількістю повітря необхідного для повного згоряння палива) і більш низькою теплотою згоряння стехіометричної суміші. За питомими витратами праці, капіталовкладенням і споживчої вартості газ значно економічніше нафтового палива. Застосування газового палива дозволяє суттєво скоротити кількість шкідливих викидів в порівнянні з паливом на основі нафти - повністю виключити викиди сірки, знизити викиди оксидів азоту (NO_x) (на 90%) і істотно знизити викиди діоксиду вуглецю (CO₂) (на 30%). Одним з найбільш перспективних шляхів скорочення витрат дизельного палива, зниження шкідливих викидів при одночасному виконанні завдання по збільшенню моторесурсу двигунів і широкого застосування газу є перехід СЕУ на газове паливо.

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 тиск в газопроводі має становити 150-250 кгс/см² (в залежності від навантаження). Температура кінця такта стиснення складає 500-600°C, що є недостатнім для надійного запалення газу, тому перед подачею газового палива подається мала доза запального палива.

Технологія подачі газу під низьким тиском заснована на спалюванні збіднених газоповітряних сумішей і реалізована в двигунах Wärtsilä XDF і RT-flexDF. Газ подається в циліндр, за допомогою двох гідравлічно керованих форсунок, розташованих посередині втулки циліндра. В кінці такту стиснення газоповітряна суміш запалюється за допомогою вприскування малої дози запального палива. З огляду на стиснення газоповітряної суміші двигуни схильні до детонаційного режиму горіння. Антидетонаційні властивості характеризуються метановим числом, тому що газове паливо є сумішшю газів.

Існуючі на сьогоднішній день технології використання природного газу в суднових малооборотних двигунах принципово різні. З точки зору динамічних і потужних показників очевидними перевагами володіє технологія подачі газу під високим тиском. Однак, екологічні характеристики, капіталовкладення та експлуатаційні витрати значно краще у двигунів з низьким тиском подачі газу.

Зміна режиму роботи двигунів з низьким тиском подачі газу є предметом деяких обмежень через особливості процесу горіння газоповітряної суміші. Обмеження збільшення циклової подачі газу, особливо на режимах близьких до номінального, визначені граничними значеннями коефіцієнтів надлишку повітря, які в свою чергу обумовлені пропуском запалення в циліндрі при збідненості газоповітряної суміші і детонаційними горінням при її збагаченні (рис. 1).

Приємистість двигунів з високим тиском подачі газу порівняна з дизелями, що працюють на рідкому паливі, зважаючи на більш широкого допустимого діапазону коефіцієнта надлишку повітря.

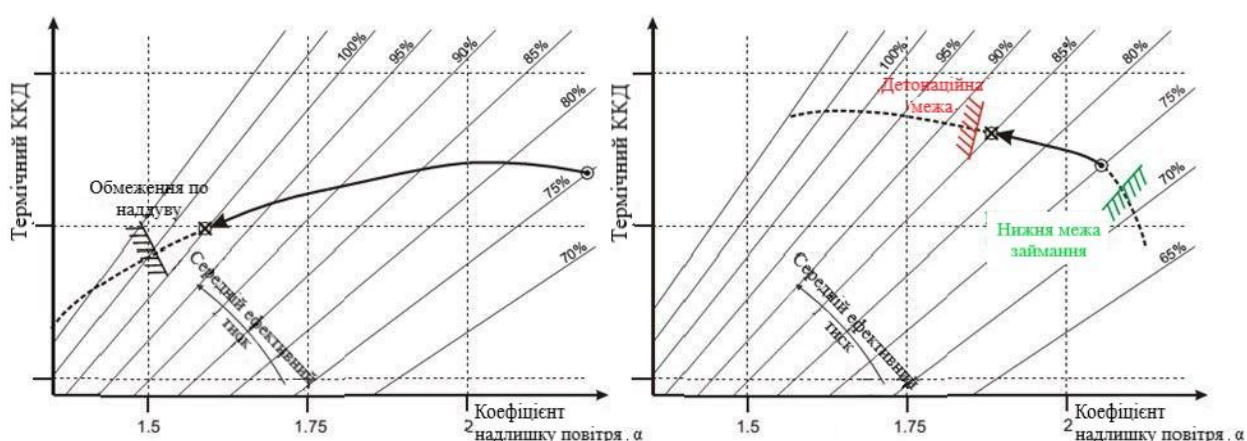


Рис. 1. Збільшення циклової подачі газу при постійному потоці повітря в циліндр

Основна проблема розробки систем газоподачі є у високому змінному тиску газу в залежності від навантаження двигуна. Для вирішення цієї проблеми було розроблено два типи системи УПСГ, які зображено на рисунку 2.

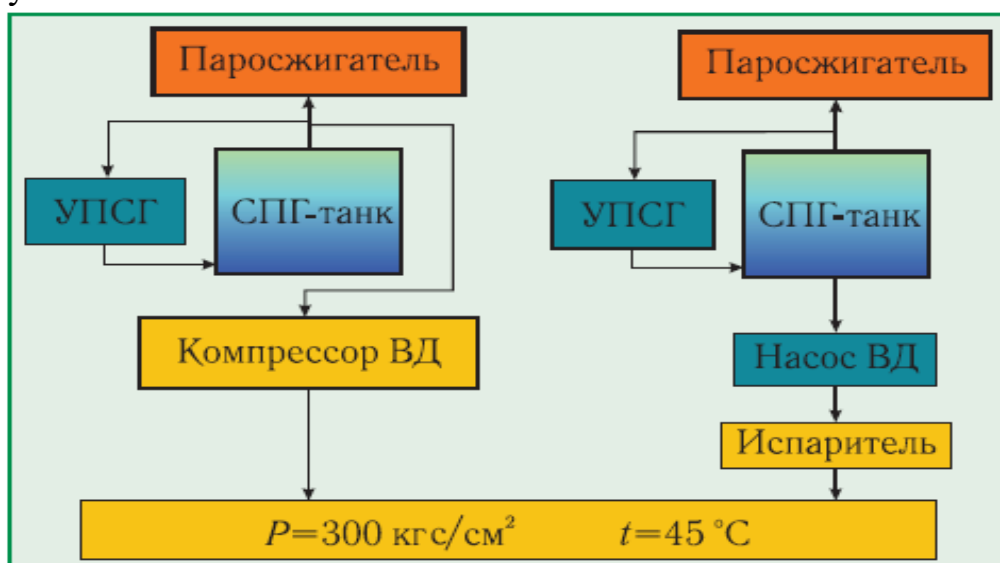


Рис. 2. Функціональні схеми варіантів реалізації систем газоподачі

У першій з систем передбачається використання компресора високого тиску (КВТ), який відсмоктує пари вантажу з купола вантажного танка, тим самим стабілізуючи тиск, і під тиском 18 кгс/см² направляє їх в головний двигун. При такому компонованні наявність УПСГ є обов'язковим.

У другій системі використовується насос високого тиску (НВТ) та випарник. НВТ стискує газ, відібраний з танку до тиску 300 кгс/см². Після цього до випарнику СПГ газифікується та одночасно підігрівається до необхідної температури. Наявність УПСГ в даному випадку є обов'язковим, так як випарки грузу не відбираються з грузових танків.

В наші часи ці дві схеми використовуються різними виробниками та представлені у різних варіантах. Різноманітність модифікацій супроводжується різними умовами експлуатації газовозів. Наприклад, судно може працювати як транспортна ланка між терміналами, де важливими факторами є швидкість, економічність, мінімальні втрати вантажу. У разі регазифікаційного газовоза важливішим є потужність електростанції, ніж швидкість його ходу, так як ці судна десятки років стоять на терміналі.

Можливо зробити висновок, що основною метою переходу на газове паливо є економічність та екологічність, так як ціна на нафтове паливо постійно зростає разом зі значним посиленням вимог, пов'язаних з екологічними показниками судових двигунів. Застосування природного газу дозволяє практично повністю виключити викиди сірки, істотно скоротити викиди оксидів азоту і вуглецю, а також твердих часток.

Переваги газового палива по енергетичним властивостям по відношенню до палива на основі нафти визначаються вищим октановим числом, питомою теплотою згоряння, стехіометричним ставленням (кількістю повітря необхідного для повного згоряння палива) і більш низькою теплотою згоряння стехіометричної суміші. За питомими витратами праці, капіталовкладенням і споживчої вартості газ значно економічніше нафтового палива.

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

Кожна технологія має свої переваги та недоліки.

У якості палива можна використовувати як пари вантажу, так і зріджений газ, який в процесі потрібно випаровувати. В залежності від тиску подачі газу у ДВС, у системі паливо підготовки встановлюється додаткове обладнання

(компресор високого тиску, насос високого тиску і Т.Д.)

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Козьмініх М.А., Дулдієр О.П, Чепаліс І.В. Системи скраплення газу та вантажні системи суден-газовозів: Навчальний посібник, Одеса: НУ "ОМА", 2018-68с.

2. С.Э. МакИнтош, П.Г. Ноубл, Дж. Роквелли и К.д. Рамлахан. Морская транспортировка природного газа// Нефтегазовое обозрение. Лето 2008. Том 20, №2: 58-73.
3. Чепалис І.В., Козьмініх М.А., Повторне скраплення газів як метод стабілізації тиску в вантажних танках метановозів. НТЗ Суднові енергетичні установки– 2014.– с. 41-47.– НУ «ОМА»
4. Чепалис І.В. Проблеми стійкої роботи газодизеля при використанні природно випарувався вантажу метановозів як палива / Вісник ГУМРФ. - 2015. - С. 65-73.
5. Чепалис І.В. Аналіз систем подачі природного газу в двотактні газодизелі на суднах-метановозах // Технічні гази, 2016. - № 3. - С. 65-70.
6. Міжнародна конвенція по запобіганню забрудненню з суден 1973 року // [Електронний ресурс]. – Сайт: Верховної Ради України. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/896_009
8. Project Guide "ME-GI Dual Fuel MAN B & W Engines" [Електронний ресурс]: <https://marine.mandieselturbo.com>

Гузь В.А., Нікольський В.В.

Національний університет "Одеська морська академія!"

Удосконалення організації технічної експлуатації судна шляхом використання штучного інтелекту

Сучасні суднові механізми та системи управління потребують високої кваліфікації та значного обсягу технічної інформації для підтримки їх безперебійної експлуатації. Це особливо актуально для машинної команди, яка повинна приймати оперативні рішення під час експлуатації і обслуговування систем судна. Однак, через складність систем і різноманітність технічних параметрів, навіть найдосвідченіші спеціалісти стикаються з труднощами у швидкому доступі до необхідних даних. Саме в цьому контексті штучний інтелект (ШІ) виступає як потужний інструмент для підтримки машинної команди, забезпечуючи швидкий доступ до інформації та допомогу в прийнятті рішень.

Впровадження ШІ як помічника для машинної команди суден дозволяє значно оптимізувати робочі процеси, зменшуючи навантаження на персонал і мінімізуючи ризики, пов'язані з людським фактором. Система ШІ, інтегрована з базами технічної інформації, може в режимі реального часу надавати доступ до інструкцій, алгоритмів діагностики та рекомендацій щодо усунення несправностей, що дозволяє команді швидко знаходити рішення в складних експлуатаційних ситуаціях.

Основні функції ШІ як помічника машинної команди.

- **Пошук інформації та доступ до технічної документації.** ШІ надає миттєвий доступ до широкої бази даних технічної інформації, що значно зменшує час на пошук необхідних даних. Така система дозволяє швидко знаходити інструкції щодо обслуговування і технічних параметрів, забезпечуючи команду машинного відділення актуальною та точною інформацією для ефективної роботи.
- **Аналіз технічних параметрів та діагностика.** Система ШІ здатна автоматично аналізувати параметри роботи суднових механізмів і сигналізувати про потенційні несправності. Завдяки алгоритмам машинного навчання, ШІ може ідентифікувати відхилення від норми на ранній стадії, пропонуючи команді рекомендації щодо необхідних заходів для запобігання аварійним ситуаціям.
- **Підтримка прийняття рішень в екстрених ситуаціях.** В умовах аварійних ситуацій ШІ може оперативно надавати рекомендації на основі аналізу поточного стану системи та «історичних» даних. Це дозволяє знизити ризик помилок, пов'язаних з людським фактором, та сприяє швидкому реагуванню на нестандартні умови експлуатації.

Використання ШІ як помічника в роботі машинної команди сприяє підвищенню ефективності експлуатації суднових систем, мінімізує вплив людського фактору та забезпечує безперервний доступ до необхідної

інформації. В сучасних умовах, коли автоматизація відіграє ключову роль в експлуатації суден, впровадження ШІ дозволяє значно покращити якість технічного обслуговування, знижуючи навантаження на персонал і забезпечуючи оперативність роботи в будь-яких умовах.

Впровадження штучного інтелекту як помічника для машинної команди є перспективним рішенням для оптимізації технічної експлуатації суден. Це дозволяє значно підвищити швидкість прийняття рішень, ефективність діагностики та своєчасність технічного обслуговування, що є важливим фактором для забезпечення безпеки та безперервної роботи суднових механізмів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Dirk Zee ChatGPT - User Manual November 2023. [Internet]. Available from: <https://ru.scribd.com/document/690678639/ChatGPT-User-Manual-by-dirkzee-com-1> (Дата звернення 10.11.2024 р.).
2. Open AI GPT-4 [Internet]. Available from: <https://openai.com/index/gpt-4/> (Дата звернення 10.11.2024 р.).
3. Open AI Hello GPT-4o May 2024. [Internet]. Available from: <https://openai.com/index/hello-gpt-4o/> (Дата звернення 10.11.2024 р.).
4. Open AI Learning to Reason with LLMs [Internet]. Available from: <https://openai.com/index/learning-to-reason-with-llms/> (Дата звернення 10.11.2024 р.).
5. Міністерство транспорту України. Наказ "Про затвердження Правил технічної експлуатації річкових портових гідротехнічних споруд" від 29.03.2004 № 251. (Із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства транспорту та зв'язку № 551 (з1117-05) від 15.09.2005).

Аналіз ефективності систем вторинного скраплення пари вантажу суден LPG

Перевезення скрапленого нафтового газу (LPG) морськими суднами має важливе значення для сучасної енергетичної галузі, оскільки LPG є цінним енергоносієм з високою енергетичною щільністю та низьким рівнем шкідливих викидів. Однак для забезпечення безпечного транспортування цього палива необхідно підтримувати його у скрапленому стані, що створює технічні виклики, особливо у контексті енергетичних витрат на скраплення парової фракції вантажу під час транспортування.

Однією з основних проблем у транспортуванні LPG є утворення парів, які можуть підвищувати тиск у резервуарах, призводячи до втрат вантажу та зростання енергетичних витрат. Для контролю за паровою фазою використовують системи вторинного скраплення, що повертають випаруваний газ до рідкого стану. Об'єктом мого дослідження є системи вторинного скраплення пари вантажу на суднах LPG, а предметом – витрати енергії, необхідні для забезпечення процесу скраплення в умовах використання різних типів таких систем.

Метою роботи є оцінка ефективності одноступінчастих, двоступінчастих та каскадних систем вторинного скраплення LPG для визначення оптимальних умов їх експлуатації та шляхів підвищення енергоефективності. Ці результати можуть мати вагомий вплив на підвищення економічної доцільності й безпеки транспортування LPG.

Системи вторинного скраплення на суднах, що перевозять LPG, можна класифікувати за кількістю ступенів охолодження та компресії, що використовуються для досягнення потрібних параметрів скраплення. Існують три основні типи систем, кожна з яких має свої переваги та недоліки в залежності від умов експлуатації, характеристик вантажу та кліматичних умов.

1. Одноступінчасті системи – це системи, що використовують один етап охолодження або компресії для повернення парової фази у рідкий стан. Одноступінчасті системи є технічно простими й менш затратними з точки зору капіталовкладень та обслуговування. Проте вони мають обмежену ефективність за високих температур довкілля або при великих обсягах випарів, що робить їх менш енергоефективними у порівнянні з більш складними системами.

2. Двоступінчасті системи: ці системи складаються з двох етапів охолодження або компресії, що дозволяє ефективніше знижувати температуру парової фракції до рівня конденсації. Використання двох ступенів забезпечує можливість досягнення значно нижчих температур, що робить такі системи більш ефективними у порівнянні з одноступінчастими.

Двоступінчасті системи мають вищі енергетичні витрати, але й забезпечують більшу стабільність роботи за умов підвищених зовнішніх температур і тиску.

3. Каскадні системи є найбільш складними й складаються з кількох ступенів охолодження та компресії, де кожен наступний ступінь працює при нижчій температурі та тиску, ніж попередній. Каскадний підхід дозволяє досягти високої енергоефективності та стабільності процесу скраплення навіть за мінливих умов довкілля. Однак такі системи вимагають високих економічних витрат і технічного обслуговування.

Для визначення ефективності різних типів систем вторинного скраплення були застосовані наступні методи:

- Аналіз енергетичних витрат: розрахунок обсягу енергії, необхідної для скраплення одиниці парової фракції LPG, що дозволяє оцінити ефективність кожного типу системи.

- Аналіз експлуатаційних характеристик: вивчення параметрів роботи систем, таких як тиск, температура і продуктивність при змінних умовах навколишнього середовища.

- Економічний аналіз: оцінка вартості економічних витрат, технічного обслуговування та витрат на енергію для кожного типу системи.

Аналіз показав, що кожен тип систем має свою оптимальну сферу застосування. Одноступінчасті системи є найбільш економічними щодо капіталовкладень та обслуговування, однак мають обмеження у випадках підвищених температур і великих обсягів випарів. Їх застосування доцільне на коротких рейсах або за умов помірних зовнішніх температур.

Двоступінчасті системи є більш енергоефективними, ніж одноступінчасті, особливо за умов високих температур навколишнього середовища. Застосування другого ступеня охолодження дозволяє досягти значно кращих показників ефективності і стабільності роботи системи за змінних умов, що робить їх економічно обґрунтованими для рейсів середньої тривалості.

Каскадні системи, попри високі витрати на придбання та технічне обслуговування, забезпечують найвищий рівень енергоефективності та стабільності при роботі у складних умовах. Каскадні системи доцільно застосовувати для тривалих рейсів і в умовах високих температур довкілля, адже вони дозволяють досягти зниження енергетичних витрат на 20–25% порівняно з двоступінчастими системами.

На основі аналізу вищевикладеного можливо зробити наступні висновки:

1. Одноступінчасті системи є найбільш простими в експлуатації, однак їхня ефективність знижується за високих температур та значних обсягів випарів. Вони оптимальні для коротких рейсів з невеликими вимогами до стабільності температури вантажу.

2. Двоступінчасті системи забезпечують кращу ефективність порівняно з одноступінчастими системами, особливо у випадках, коли температура

довкілля значно змінюється. Двоступінчасті системи підходять для суден середньої тривалості рейсів.

3. Каскадні системи є найбільш енергоефективними та стабільними при роботі за високих температур і великих обсягів парової фази вантажу. Високі початкові інвестиції та витрати на обслуговування роблять їх оптимальним вибором для тривалих рейсів із високими вимогами до стабільності та економії енергії.

Отже, комбінування окремих компонентів із різних типів систем може бути перспективним напрямом для зниження енергетичних витрат, а також підвищення ефективності транспортування LPG. Інноваційні розробки, такі як інтеграція систем із відновлюваними джерелами енергії, мають потенціал ще більше знизити вплив процесу скраплення на загальні витрати судна та сприяти розвитку енергоефективних рішень у сфері морського транспорту.

Дослідження ефективності систем вторинного скраплення вантажу на LPG-суднах продемонструвало важливість вибору відповідної системи відповідно до специфіки рейсу та умов експлуатації. Ця робота дає основу для подальших досліджень у напрямку вдосконалення технологій вторинного скраплення, що сприятиме оптимізації енергетичних витрат і підвищенню економічної ефективності транспортування LPG на глобальному рівні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Козьмініх М.А., Дулдієр О.П., Чепаліс І.В. Системи скраплення газу та вантажні системи суден газовозів: навчальний посібник – Одеса: НУ «ОМА», 2018. – 68 с.
2. Баскаков С.П. Перевезення скраплених газів морем: навчальний посібник – Київ: Суднобудівництво, 2001. – 272 с.

Желтов А.А., Корбан В.Х.

Національний університет «Одеська морська академія»

Резонаторний радіохвильовий метод контролю технічного стану металевго корпусу судна

Постановка проблеми в загальному вигляді. Металевий корпус судна, в процесі експлуатації судна, піддається негативному впливу як з внутрішньої поверхні, так і з зовнішньої, яка постійно перебуває в морській солоній воді, що викликає його корозію. З плином часу корозійні процеси зменшують міцність судна. Тому виникає необхідність у контролі товщини металевго корпусу під час перебування судна на судноремонтному заводі.

З наявних методів і пристроїв контролю товщини металевго корпусу судна найбільш ефективним методом може бути радіохвильовий, що ґрунтується на використанні двох незалежних об'ємних резонаторів, розташованих з протилежних сторін металевго корпусу судна, що мають відкриті торцеві поверхні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження виконані у науково-дослідній навчальній лабораторії «Експертне оцінювання та моніторинг загальної міцності суден для забезпечення мореплавства» Херсонської державної морської академії в межах роботи над держбюджетною темою № 6/13 «Розробка концепції неруйнівного контролю несучих елементів судових конструкцій у процесі їх експлуатації», затвердженою Наказом Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України № 1193 від 25.10.2012 р. (№ 0113U003114). Також прикладні дослідження виконувалися в рамках договору про науково-технічне співробітництво № 1 від 19.11.2010 р. між Херсонською державною морською академією та судно- плавною компанією «VESTRA ltd», яка надавала свої судна для проведення наукових вимірювань [1]. У роботі [2] надано керівництво з оновлення суден внутрішнього та змішаного плавання.

Спосіб моніторингу технічного стану несучих елементів судових конструкцій розглянуто у роботі [3].

Постановка завдання. Радіохвильовий метод контролю товщини металевго корпусу судна може бути використаний на судноремонтних заводах, де існує потреба в безконтактних методах. Пропонований метод використовує НВЧ-резонатори квазізамкнутого типу та випромінювальні пристрої.

Виклад основного матеріалу дослідження. Реалізація пропонованого методу контролю вимірювання товщини металевго корпусу судна потребує наявності доступу електромагнітної енергії до обох боків металевго корпусу (внутрішнього та зовнішнього) з використанням двох незалежних об'ємних резонаторів, розташованих із протилежних боків металевго корпусу, які мають відкриті торцеві поверхні, що спрямовані в бік металевго корпусу. такими торцевими поверхнями можуть бути П-подібні

хвильоводи. Резонансна частота кожного резонатора є функцією відстані X між відкритим торцем резонатора і відповідною поверхнею металевих корпусу судна. Добротність Q об'ємного резонатора визначається відношенням запасеної енергії до енергії втрат за період робочої частоти та характеризує смугу пропускання резонатора в режимі вимушених коливань, а також його здатність зберегти запасеної енергії в режимі вільних коливань. розрізняють добротність Q_0 не навантаженого резонатора і добротність Q_H навантаженого резонатора, тобто

$$Q_0 = \frac{2}{\delta} \frac{\int_V H^2 dV}{\int_S H^2 dS},$$

де δ - глибина проникнення електромагнітної хвилі в металеву стінку корпусу судна; V - об'єм резонатора; S - площа поверхні стінок резонатора;

H - напруженість магнітного поля резонатора.

Добротність Q_0 залежить від характеру розподілу магнітного поля за всім об'ємом V . Її значення тим більше, чим більше відношення об'єму резонатора до його поверхні, тобто

$$\frac{1}{Q_H} = \frac{1}{Q_0} + \frac{1}{Q_{BH}},$$

де Q_{BH} - зовнішня добротність, яка визначається як відношення максимальної потужності коливань у резонаторі до середньої потужності втрат у зовнішньому навантаженні.

Для резонатора, виготовленого з прямокутного хвильоводу, його добротність Q_0 визначається з відомої умови:

$$Q_0 = \frac{\lambda_{рез}}{\delta} \frac{b}{2} \frac{(a^2 + c^2)^{3/2}}{c^3(a + 2b) + a^3(c + 2b)},$$

де $\lambda_{рез}$ - довжина хвилі у хвильоводі; δ - глибина проникнення електромагнітної хвилі в металеву стінку корпусу судна; a, b, c - ребра прямокутного хвильоводу, на якому побудовано резонатор.

Резонансна довжина хвилі у резонаторі $\lambda_{рез}$ визначається з умови:

$$\lambda_{рез} = \frac{\lambda_{кр}}{\sqrt{1 + \left(\frac{n\lambda_{кр}}{2l}\right)^2}}$$

де $\lambda_{кр}$ - критична довжина хвилі даного типу; n - число напівхвиль; l - довжина закороченого резонатора.

При збігу частоти живильного генератора з власною частотою утворюється резонансний режим коливаль у резонаторі на частоті $f_{рез} = f_0$.

Резонансні частоти знаходяться з умови, що при резонансі довжина l закороченого відрізка хвильоводу дорівнює відстані між вузлами поля стоячої хвилі, тобто цілому числу n напівхвиль у хвильоводі:

$$\frac{2\pi l}{\lambda} = n\pi, \quad l = \frac{n\lambda}{2}.$$

Тип коливань H_{10} у прямокутному хвильоводі є основним. Метод вимірювання товщини металеві поверхні корпусу судна з випромінювальними пристроями, розташованими з обох боків поверхні, реалізується за допомогою схеми, що представлена на рис. 1.

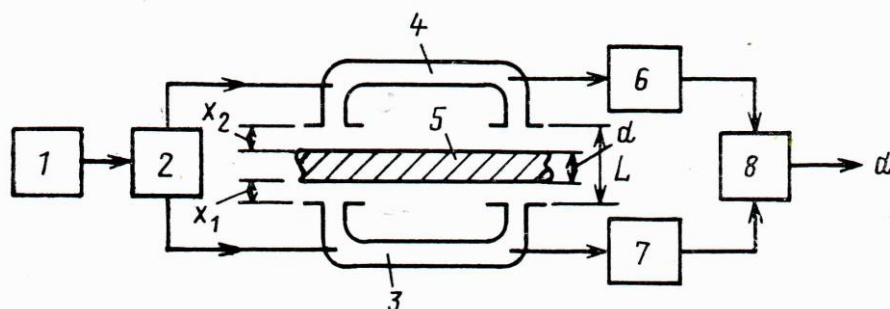


Рис.1. Схема приладу, що реалізує резонаторний метод вимірювання товщини металевих корпусу судна

1 - НВЧ-генератор частотно-модульованих коливань; 2 - хвильоводний трійник; 3, 4 - відкриті на обох торцях П-подібні хвильоводи; 5 - металевий корпус судна; 6, 7 - резонатори резонансних частот; 8 - обчислювальний пристрій.

Для представленої схеми приладу, що реалізує резонаторний метод вимірювання товщини металевих корпусу судна, виконаної на базі П-подібних хвильоводів, відкритих на обох торцях, обидві площини яких спрямовано на відповідний бік металеві поверхні корпусу судна, шукану товщину металеві поверхні d визначають за такою залежністю:

$$d = L - X_1 - X_2,$$

де L - відстань між відкритими торцями резонаторів (хвильоводів);

X_1 і X_2 - відстань резонаторів до відповідних металевих поверхні корпусу судна.

Резонансна частота $f_{рез}$ кожного резонатора з рухомою стінкою є функцією відстаней X_1 і X_2 між відкритим торцем резонатора і відповідною стінкою металеві поверхні судна, визначається з умови:

$$f_{рез1,2} = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon R}} \sqrt{\left(\frac{\chi_{01}}{\pi}\right)^2 + \left(\frac{nR}{R + 2X_{1,2}}\right)^2},$$

де R і l - радіус і довжина резонатора; c - швидкість світла; ϵ - діелектрична проникність середовища в резонаторі і в просторі між його торцем і поверхнею контрольованого металевих корпусу судна; χ_{01} -

перший корінь рівняння характеристичної функції Бесселя нульового порядку, що дорівнює 3,832.

Чутливість η_n резонатора стосовно величини зазору в резонаторі X_1 і X_2 визначається таким співвідношенням:

$$\eta_n = -\frac{2}{f} \left(\frac{cn}{2\sqrt{\varepsilon}} \right)^2 \frac{1}{(l+2X)^3}.$$

Розглянемо роботу наведеної схеми (Рис.1) під час вимірювання товщини d металевої поверхні корпусу судна. З виходу НВЧ-генератора 1 частотно-модульовані коливання через хвилевідний трійник 2 збуджують коливання в резонаторах 3 і 4 резонансних частот $f_{1рез}$ і $f_{2рез}$, які вимірюються в реєстраторах 6, 7. Резонансні частоти $f_{1рез}$ і $f_{2рез}$ відповідають відстаням X_1 і X_2 . Сигнали з виходів реєстраторів 6, 7 резонансних частот надходять на вхід обчислювального пристрою 8, у якому за значеннями X_1 і X_2 визначається пошукова товщина d металевої поверхні корпусу судна.

Висновки і перспективи подальших досліджень.

Представлена методика і схема контролю товщини металевої поверхні корпусу судна може бути рекомендована для практичної реалізації на судноремонтних заводах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Завальнюк, О. П. Автоматичний моніторинг технічного стану корпусу судна в процесі його експлуатації // Восточно-европейский журнал передовых технологий ISSN 1729-3774 5/7 (77) 2015, С.36- 39. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.50613.
2. Білокурець, А. О. Керівництво з оновлення суден внутрішнього та змішаного плавання / А.О. Білокурець. – Київ: Регістр судноплавства України, 2015. – 32 с.
3. Пат. № 76864 Україна, МПК В63В 9/08. Спосіб моніторингу технічного стану несучих елементів судових конструкцій / Нестеренко В. Б., Учанін В. М., Завальнюк О. П., Безлюдько Г. Я. – заявник та власник патенту Херсонська державна морська академія. – № и 2012 04407; заявл. 09.04.12; опубл. 25.01.13, Бюл. № 2. – 4 с.

Аналіз енергетичної ефективності суднової холодильної машини рефконтейнера

Рефрижераторні контейнери обробляють близько 80 % усіх морських перевезень охолоджуваних вантажів. Їх кількість зростає щорічно приблизно на 5% [1]. З огляду на такі масштаби і темпи зростання флоту рефрижераторних контейнерів, підвищення ефективності їх холодильних установок є надзвичайно актуальним завданням, яке буде сприяти вирішенню як питання економії суднового палива на забезпечення їх електроенергією, так й зниженню емісії забруднюючих речовин від час вироблення цієї електроенергії.

Метою роботи є підвищення енергоефективності холодильних машин рефрижераторних контейнерів шляхом дослідження методів переохолодження холодоагенту та вибору оптимального рішення для зменшення енергоспоживання та екологічного впливу. Задачею було порівняння двох принципів переохолодження холодоагенту в холодильних машинах рефрижераторних контейнерів - за допомогою економайзера та регенеративного теплообмінника.

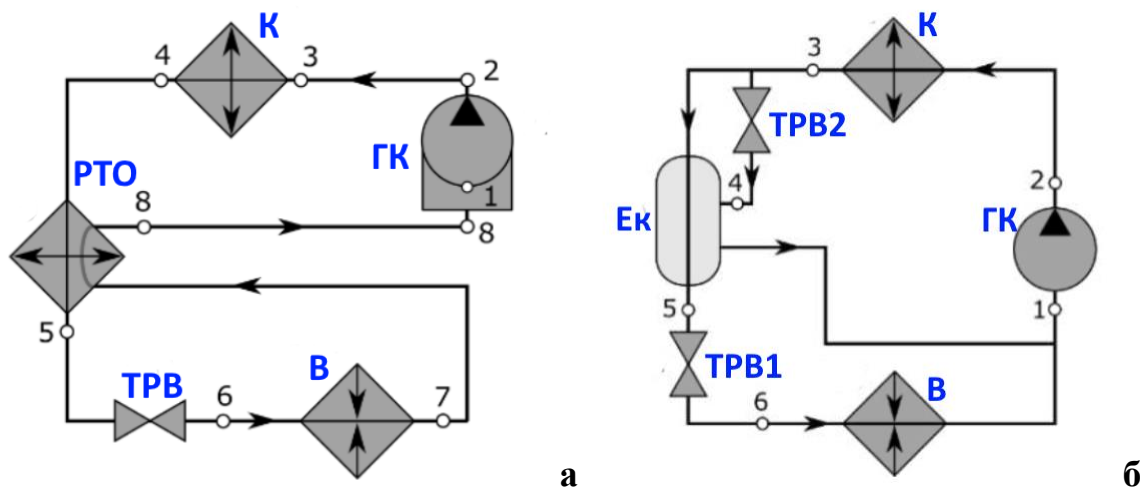


Рисунок 1 – Схематичне зображення холодильної машини з герметичного компресора з регенеративним теплообмінником (а) та з економайзером (б)

Для аналізу прийнята холодильна машина Daikin з наступними характеристиками: холодоагент R134a, конденсатор повітряного охолодження, компресор герметичний, спірального типу, модель Daikin JT224D-NYR (об'ємна продуктивність 79,2 см³/об, 2900 1/хв., потужність двигуна 5,5 кВт).

Розрахунки виконуються для двох з можливих режимів, які може забезпечити холодильна машина усередині контейнера: перевозка охолоджених продуктів – температура усередині рефконтейнера 0 °С та заморожених – мінус 18 °С.

Для побудови циклу було прийняте:

- температура кипіння холодоагенту в випарнику $t_0 = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (для режиму охолодження) та $t_0 = -28\text{ }^{\circ}\text{C}$ (для режиму заморожування).

- перегрів парів у випарнику 10 K (за рахунок регенеративного теплообміннику) та 7 K (при використанні економайзера);

- температура конденсації $t_k = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (найгірший варіант для повітряних конденсаторів);

- переохолодження рідкого холодоагенту у конденсаторі визначається з рівняння балансу РТО та приймається 35 K при використанні економайзера.

Після побудови циклів (рис. 2 та 3) за допомогою програми RefProp [2] знаходимо ентальпії в вузлових точках циклу та використовуємо їх для подальших розрахунків.

Розрахунок енергетичних характеристик холодильної машини рефконтейнера виконувався за стандартною методикою, наведеною в [3], з урахуванням внутрішньої необоротності процесу стиснення холодоагенту в компресорі, механічного та електричного ККД компресора, а також коефіцієнта подачі компресора.

Результати розрахунку основних енергетичних характеристик холодильної машини рефконтейнера наведені на рис. 4. Як видно з результатів, наведених на рис. 4.а, холодильний коефіцієнт для холодильної машини рефконтейнера з економайзером в обох режимах роботи більше, ніж для холодильної машини с РТО. Холодильний коефіцієнт в режимі охолодження (температура кипіння холодоагенту $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$) для холодильній машині з економайзером більше на 45 %, ніж для холодильній машині з РТО (2,895 проти 1,994), що є дуже високим результатом. Для режиму з температурою кипіння холодоагенту $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ цей для холодильній машині з економайзером більше на 68 %, ніж для холодильній машині з РТО (1,888 проти 1,120), що ще більше, ніж для попереднього режиму.

Пояснити отриманий ефект можна наступним. По перше, для циклу з економайзером суттєво збільшується питома холодопродуктивність q_0 за рахунок значного переохолодження холодоагенту (це видно з порівняння відрізків 8-9 на рис. 3 та 6-7 на рис. 2 при однакових температурах кипіння). При цьому для циклу з економайзером частка холодоагенту, яка проходить через випарник, декілька зменшується. Однак, повна холодопродуктивність все одно значно більше для циклу з економайзером, ніж з РТО – рис. 4.б. При цьому робота компресора для порівнюваних схемних рішень при однакових режимах відрізняється несуттєво – рис. 4.в.

Крім того, розрахунки показали, що завдяки тому, що на всмоктування в компресор подається не весь холодоагент, який циркулює у контурі (за винятком холодоагенту, який проходить через економайзер та всмоктується у компресор на проміжному стані стиснення), це дозволяє збільшити масову витрату холодоагенту. Завдяки цьому ще додатково збільшується загальна холодопродуктивність - рис. 4.б, при незначній зміні потужності – рис. 4.в.

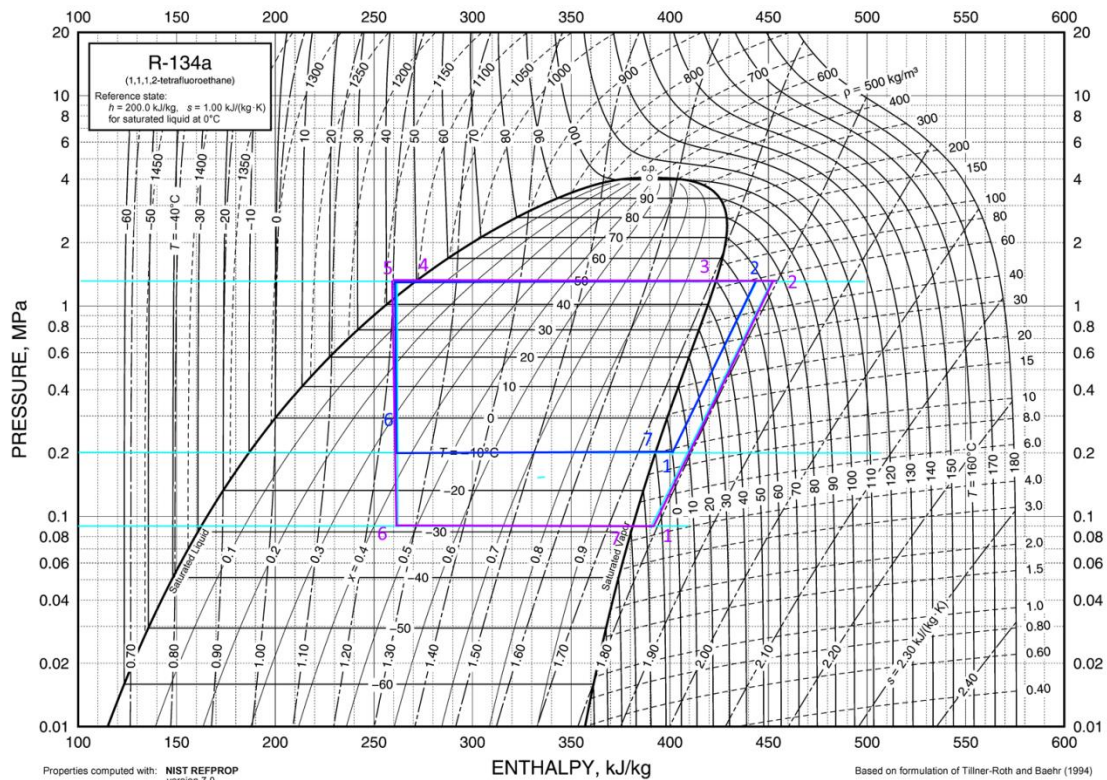


Рисунок 2 - Діаграма холодоагенту R134a з зображенням ідеального циклу холодильної машини рефконтейнера з РТО для двох режимів роботи: охолодження (сині лінії) та заморожування (фіолетові лінії)

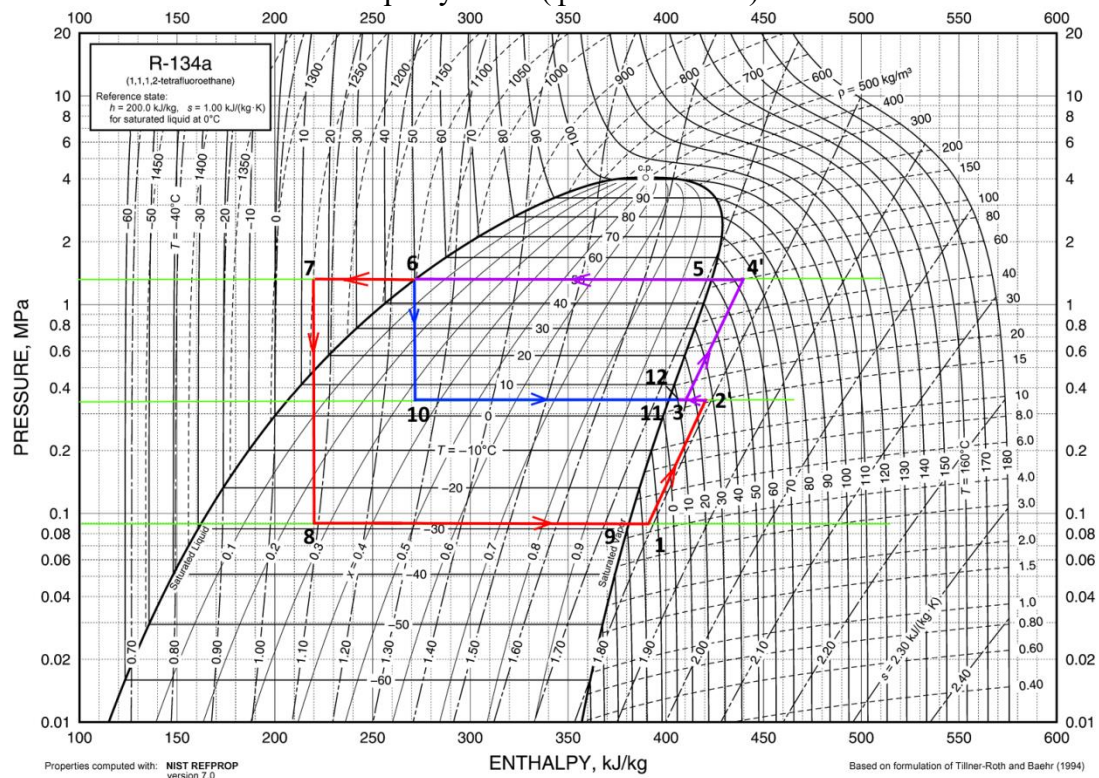


Рисунок 3. Зображення циклу холодильної машини рефконтейнера с економайзером: фіолетовий – весь потік холодоагенту, червоний – основний потік, який задіяний для отримання холоду, синій – допоміжний потік, який використовується для перехолодження рідкого холодоагенту після конденсатора

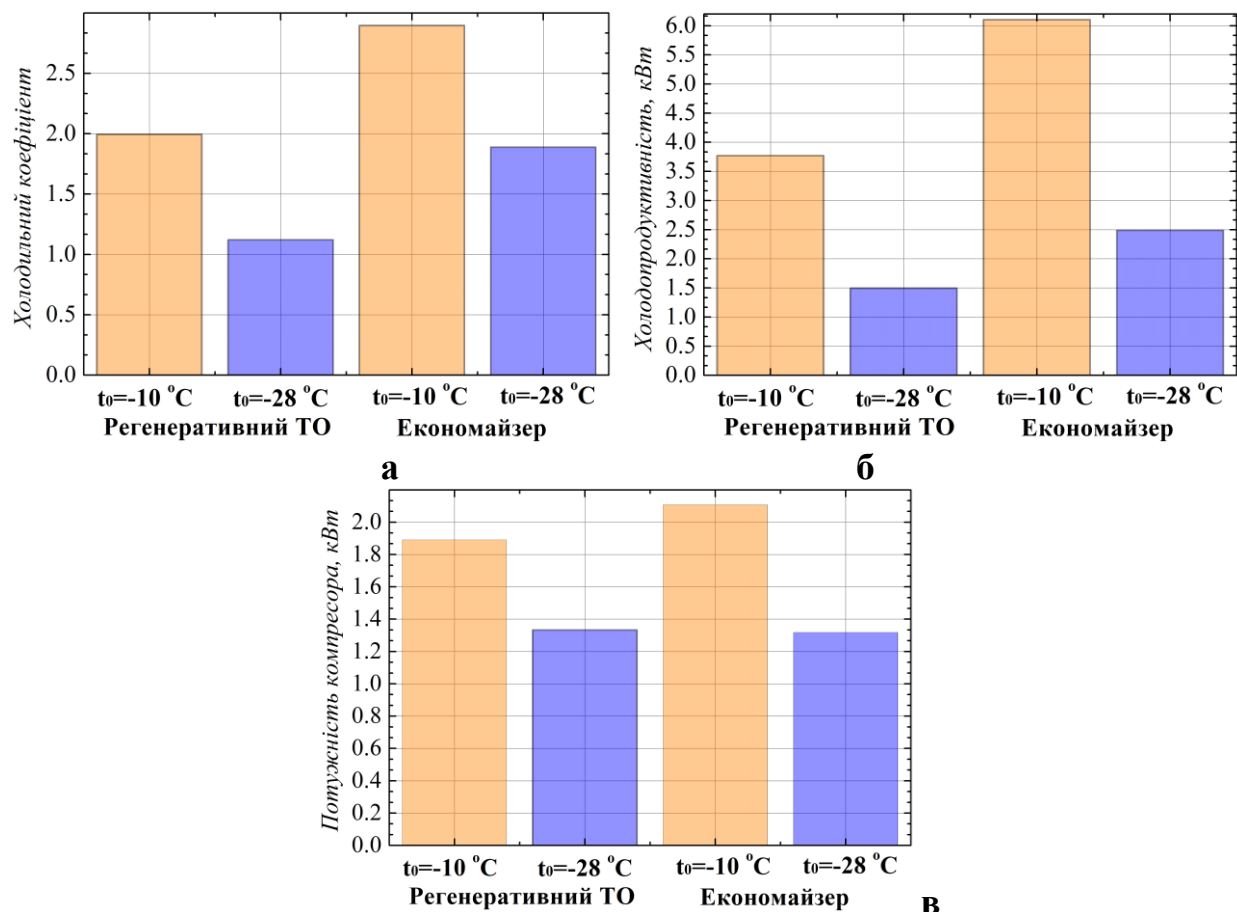


Рисунок 4 – Залежність холодильного коефіцієнту (а), холодопродуктивності (б) та потужності компресора (в) холодильної машини рефконтейнера зі спіральним компресором при застосуванні двох різних технологій переохолодження холодоагенту

Можна зробити загальний, що схемне рішення холодильної машини рефконтейнера з економайзером з енергетичної точки зору суттєво більш ефективно у порівнянні з схемним рішенням з регенеративним теплообмінником. Однак воно технічно декілька складніше для реалізації. Перш за все, це пов'язано з особливостями конструкції компресора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Lukasse, L.J.S., Schouten, R.E., Castelein, R.B., Lawton, R., Paillart, M.J.M., Guo, X., Woltering, E.J., Tromp, S., Snels, J.C.M.A., & Defraeye, T. (2023). Perspectives on the evolution of reefer containers for transporting fresh produce. *Trends in Food Science & Technology*, 140, 104147.
2. REFPROP: Reference fluid thermodynamic and transport properties, NIST standard reference database 23, Version 8.0 / E. W. Lemmon, M. L. Huber, M. O. McLinden. Gaithersburg: National Institute of Standard and Technology, 2007.
3. Шестопапов К.О., Хлієва О.Я., Козьмініх М.А. Суднова холодильна техніка: методичні вказівки до практ. занять. Одеса: НУ «ОМА», 2024. 30 с.

Підвищення ефективності суднових систем кондиціонування повітря

Підвищення ефективності суднових систем кондиціонування повітря (ССКП) направлене на задоволення та підтримку міжнародних, державних та галузевих стандартів, правил і норм з мінімально-неминучими витратами при створенні умов комфортності мікроклімату у жилих помешканнях та службових приміщеннях судна [1].

В цих декларативних документах наведені як прогностичні так і планові стратегічні напрямки і рішення проблеми статичного та динамічного комфорту, як в умовах єдності місць праці і відпочинку з вахтовим методом праці, так і зміною зовнішньої та внутрішньої атмосфери судна в залежності від часу доби, кліматичних зон й часових поясів [2].

Вищевказане, свідчить про необхідність застосування засобів системотехніки, включаючи ЕОМ та елементи штучного інтелекту. Таким чином дуже важливою експлуатаційною якістю морських суден є їх проживання. Під проживанням (помешканням) суден мають на увазі комплекс факторів, які визначають умови життя і праці людей на судні, зводячи до мінімуму шкідливий вплив різноманітних неблагополучних факторів на стан людей для підвищення їх працездатності і терміну можливого перебування на судні без шкоди здоров'ю. Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями [3].

У сучасному контексті розвитку ССКП об'єктом управління став організм людини з його органами та системами, а регулюючим органом - внутрішня атмосфера судна [4]. У загальному випадку у ССКП здійснюється тепловологісна обробка повітря (охолодження, підігрів, осушення, зволоження, вентиляція), забезпечення його якісного складу киснем O_2 , вуглекислотою CO_2 , шкідливими та механічними домішками), доведення повітря до певних фізіологічних кондицій (озонування, парфумеризація, іонізація, шумо та віброгасіння) в умовах автоматичного регулювання параметрами та управління центральними кондиціонерами і системами [5].

Окреме місце займають ССКП танкерів: газозовів та хімовозів, у яких надбудова судна є місцем колективної безпеки. Саме таким ССКП присвячується це дослідження. Воно направлене на розробку методики конструктивного та перевірного розрахунків фільтруючого пристрою [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні роки визначається активний прогрес у морських перевезеннях нафти, природного газу та хімікатів. Серія наукових досліджень присвячена іноваціям в технології кондиціонування повітря [6].

Зокрема, інверторні кондиціонери стали значним кроком вперед у порівнянні з класичними. Вони забезпечують плавне регулювання

потужності компресора незалежно від поточних потреб, що дозволяє значно знизити енергоспоживання до 30%. Крім того, такі системи працюють тихше і забезпечують більш стабільну температуру в приміщенні [1].

З появою інтелектуальних систем управління створили умови до появи кондиціонерів, які можуть самостійно аналізувати комфортність в приміщенні та налаштовувати свою роботу відповідно до неї. Такі системи можуть автоматично режими роботи, враховуючи температуру, вологість, кількість людей у приміщенні та інші параметри і фактори. Деякі моделі мають змогу підключатися до мобільних додатків, що дозволяє користувачам керувати кондиціонером дистанційно.

Технології очищення повітря застосовуються шляхом оснащення кондиціонерів додатковими функціями очищення повітря.

Зокрема, фільтри, які видаляють пил, алергени, бактерії та віруси, а також системи іонізації, що допомагають знищувати шкідливі мікроорганізми та покращують якість повітря в приміщенні. Деякі моделі кондиціонерів використовують ультрафіолетове світло для дезінфекції повітря, що проходить крізь кондиціонер [1].

Енергоефективність і екологічність процесів кондиціонування забезпечується за рахунок використання нових матеріалів і технологій, а також використанню екологічно безпечних холодоагентів, які не шкодять озоновому шару атмосфери Землі та мають низький потенціал глобального потепління (GWP) [6].

Геотермальні системи застосовуються на спеціалізованих плавзасобах якірного типу і використовують стабільну температуру Землі для охолодження і нагріву приміщень. Такі системи мають довгострокову перспективу. Системи кондиціонування природнього споживіння енергії містять сонячні панелі, генератори повітря і хвиль, які забезпечують екологічну чистоту суден. Системи кондиціонування повітря, що регулюють його вологу у широких межах безперервно, дискретно та комбіновано по заданій програмі. Безшумні моделі кондиціонерів застосовують звукопоглинаючу шумоізоляцію [1].

В результаті аналізу інтернет-джерел за 2024 рік робиться висновок про безперевне зростання глобального ринку споживання систем кондиціонування щорічно зростає в залежності від регіону в межах 5...10%, технології обробки повітря удосконалюються останні сто років.

Формування мети роботи та постановка завдань дослідження. Мета дослідження полягає у розробці методики конструктивного і перевірконого розрахунків водяного фільтруючого пристрою, які встановлюють аналітичний взаємозв'язок фізичних параметрів тепломасообмінних процесів з його конструктивними характеристиками у широкому діапазоні їх змін.

Об'єктом дослідження стала ССКП.

Предметом дослідження - процеси у фільтруючому пристрою ССКП.

Гіпотеза дослідження полягає у можливості визначенні ефективності роботи ССКП шляхом встановлення балансів рухомих сил процесів

теплообміну, руху і суцільності потоків взаємодіючих довкіль у об'ємі форсуночної камери.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтування отриманих наукових результатів. Динамічні характеристики процесів взаємодії у елементарному об'ємі простору визначалось по диференціальним рівнянням:

- енергетичних потоків;
- руху середовища;
- зміни маси речовини за часом в об'ємі.

Постановка задачі дослідження. Головним завданням розрахунку фільтруючого пристрою стало встановлення величин коефіцієнтів і поверхонь тепломасопередачі при заданих умовах однозначності, які характеризують форми і розміри пристрою, фізичні властивості повітря і поглинача, особливості протікання процесів на межі поглинача за часом, а також розташування розпилювачей (осьових форсунок) і розмірів фільтруючого пристрою.

Тому допоміжними завданнями обрано аналіз методів визначення показників: теплообміну, вологообміну та суцільності потоку робочих речовин, що взаємодіють.

Рішення задач дослідження додатково ґрунтувалось на наступних положеннях:

- взаємодія рідини з пиловим аерозолем протікає у динамічних і статико-динамічних умовах;
- якщо один з аерозолей знаходиться у стані спокою або рух обоїх аерозолей обумовлені лише силами гравітації, то їх взаємодія проходить у статико-динамічних умовах (процес осадження змочених конгломератів);
- механізм улавлювання пилу диспергованими рідинами містить два взаємопов'язаних процесів - укрупнення (за рахунок коагуляції) пилових часток і краплин рідини і їх осадження під впливом сил гравітації;
- ефективне гідрообозпилення повітря забезпечується за умов: зближення краплі з пилинкою, зустрічі пилінки з краплиною, дотику пилінки до краплі, утримання, захоплення пилінки краплиною, осадження конгломератів що утворюються;
- на різних етапах обезпилення вплив властивостей диспергованої рідини і добавок (ПАР) змінний;
- ефективність утримання пилинок краплинами залежить від сил адгезії і лобового супротиву при аеродинамічному обтіканні краплинок повітряним потоком.

Обговорення результатів досліджень. Аналіз методик розрахунку пристрою ССКП змішувального типу визначає спільність законів, які використовувалися при спрощенні диференціальних рівнянь балансу, тепломасопередачі і визначення характеристик процесів що розглядалися.

Основним процесом, по якому повинені здійснюватися конструктивний і перевірочний розрахунок фільтруючого пристрою, є сорбція.

Характеристики рухомих сил процесу сорбції та інертизації носять логарифмічний вигляд.

Коефіцієнт ефективності процесів очищення повітря визначається ступенем різниці реальних процесів від ідеальних, тобто похибками розрахунків.

Висновок.

Вивчення і аналіз процесів взаємодії сил в системі "пил-повітря-вода-ПАР" формалізує основні статичні і динамічні характеристики поведінки цієї системи з урахуванням фізико-хімічних властивостей кожного елемента і фізичної взаємодії між ними, а також аналітично презентувати і розширити спектр основних характеристик процесів пилоподавлення, які коректно описуються методами взаємодії сил тяжіння, зависання, тертя і збурень прикладених до частинок твердого матеріального тіла з подальшою інтеграцією на увесь забруднений потік повітря.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Загоруйко В.А., Голіков В.А. Суднова холодильна техніка: Монографія/- К.: "Наукова думка", 2000. - 600 с.

2. Загоруйко В.А., Голіков О.А. Суднова холодильна техніка: Підручник/- Київ: "Наукова думка", 2002. - 575 с.

3. Вичужанін В.В. Підвищення ефективності експлуатації суднових систем комфортного кондиціонування повітря при змінних навантаженнях: Монографія/- Одеса: Одеський нац. мор. ун-т, 2009. - 206 с.

4. Захаров Ю.В., Радченко М.І. Концепція ефективного функціонування суднових систем кондиціонування повітря// Холодильна техніка і технологія. - 2002. - Вип. 3. - С. 54-56.

5. <http://rudana.com.ua> - Інновації в технології кондиціонування повітря (22.07.2024).

6. <http://gree.com.ua> > mirovye - no... (05.06.2024).

Зайченко Я.О., Козьмініх М.А.

Національний Університет "Одеська морська академія"

Аналіз використання сучасних холодильних агентів в суднових системах комфортного кондиціонування.

Враховуючи те, що застосуванням холодильних установок, як в промисловості, так і в повсякденному житті людського суспільства постійно зростає, а в якості робочих речовин в таких установках зазвичай використовуються речовини, що зазначаються вищезгаданими міжнародними документами, в процесі вибору робочої речовини – холодильного агенту слід комплексно оцінювати її вплив на земну атмосферу.

З іншого боку необхідно звернути увагу на енергетичну ефективність холодильної установки враховуючи її призначення та умови експлуатації в залежності від обраного холодильного агенту .

Найліпші значення достатньо великої кількості показників здатні створювати антагоністичні умови під час обрання конкретного холодильного агенту, що вимагає від проектанта пошуків оптимального рішення, яке в найбільшому ступені, буде відповідати всім наявним вимогам .

Сьогодні найбільш розповсюдженим холодильним агентом, який підлягає подальшій заміні є холодоагенти R134A та R513A . У зв'язку з цим постає гостра необхідність дослідження нових холодоагентів, їх властивостей та їх впливу на експлуатаційні показники суднових холодильних установок (ХУ).

Альтернативні холодоагенти групи гідрофторвуглеводів (ГФВ) мають різний хімічний склад, фізичні властивості та термодинамічні особливості. Тому для дослідження можливості заміни холодоагенту або його використання у новому обладнанні необхідно з'ясувати як впливає на експлуатаційні показники ХУ застосування конкретного холодоагенту.

Одним зі шляхів розв'язання проблеми було б отримання комплексного критерію оцінки для обрання холодильного агенту, який би враховував, як його вплив на процеси в атмосфері, так і виконання технологічних вимог .

Зниження кількості озону в земній атмосфері, як відомо, є наслідком надходження галогенів, які є складовою частиною хлорфторвуглеців, до яких відноситься значна частина традиційних холодильних агентів. Така властивість цих речовин оцінюється коефіцієнтом озоноруйнуючого потенціалу *ODP (Ozone Depletion Potential)*, що змінюється від 1 (100%), для найбільш поширеного в минулому сторіччі R12, до 0 для більшості холодильних агентів, що застосовуються нині (R 507, R 404a та інш.) .

Для оцінки впливу на парниковий ефект застосовують коефіцієнт глобального потепління *GWP (Global Warming Potential)*, в якості базового значення було прийнято $GWP=1$ для R 11, який може змінюватися дуже в

широких межах від 1 до більш ніж трьох тисяч у *R 404a*, який теж використовується в деяких суднових холодильних установках.

Для остаточного урахування впливу функціонування холодильної установки на парниковий ефект в нинішній час рекомендують застосовувати показник *TEWI (Total Equivalent Warming Impact)*, який враховує не тільки вплив холодильного агенту, але й вплив кількості енергії, яка вживається холодильною установкою за весь час експлуатації.

$$TEWI = GWP \cdot M + \alpha \cdot B,$$

де *M* – загальна маса холодильного агенту, викинутого до атмосфери під час експлуатації, кг;

α – кількість двоокису вуглецю (*CO₂*), що надходить до атмосфери під час виробки 1 кВт години енергії, кг/кВт година;

B – загальне електроживлення холодильної установки за весь час експлуатації, кВт.

Не важко зробити висновок, що наведені вище показники та їх порівняння з умов використання різних холодильних агентів не дозволяють оцінити ефективність експлуатації холодильної установки та її конкретний вплив на навколишнє середовище

Для вибору холодоагентів, які будуть порівнюватися розглянемо класифікацію альтернативних холодоагентів.(Рис.1). Для найбільш повного аналізу в асортименті сучасних холодильних агентів для порівняння обираємо холодоагенти різних груп та складів. Так обрані R1234ze, R134A - однокомпонентні, а R513A, R450A - суміші. R1234ze містить хлор, R134A, R450A, R513A, R1234ze -хлору не містять.

Основними чинниками, що визначають вибір холодоагенту, безумовно, є його термодинамічні та теплофізичні характеристики. Вони впливають на ефективність, експлуатаційні показники і конструктивні характеристики ХУ. Властивості холодоагентів залежать від структури молекули речовини, співвідношення молекул фтору, хлору і водню в його складі.

Речовини з високим вмістом молекул водню є горючими і при їх застосуванні пожежонебезпечними.

Речовини з малим вмістом фтору володіють токсичністю та їх застосування обмежене санітарними нормами.

Речовини з малим вмістом водню довго "живуть" в атмосфері, майже не розкладаючись на частини, поглинаються біосферою Землі і є екологічно небажаними.

Для аналізу експлуатаційних показників були прийняти режими роботи суднової холодильної установки при температурах випарювання від -30°C до + 5°C, що охоплює найбільш можливі експлуатаційні режими. Показники холодильної установки були розраховані для холодоагентів R1234ze, R134A, R450A, R513A. Для дослідження зміни експлуатаційних показників ХУ,

обираємо наступні найбільш характерні термодинамічні властивості та експлуатаційні показники:

- тиски конденсації та випарювання $p_k, p_{vип}$;
- дійсна масова подача компресора G_0 ;
- адіабатна(теоретична) ,індикаторна, ефективна потужності та потужність на валу електродвигуна $N_a, N_i, N_e, N_{ел.д.}$;
- індикаторний,механічний,ефективний та електричний ККД $\eta_i, \eta_m, \eta_e, \eta_{ел.д.}$;
- теоретичний, ефективний та електричний холодильні коефіцієнти $\varepsilon_m, \varepsilon_e, \varepsilon_{ел.}$.

Розглянувши результати розрахунків параметрів холодоагентів у вузлових точках можна побудувати гістограму тисків конденсації та випарювання - рис. 1

Холодоагент R-450A має значно вищий у порівнянні з іншими холодоагентами тиск конденсації, який дорівнює 1.87 МПа і вищий за тиск конденсації R1234ze у 1.57 рази. Це є значним недоліком цього холодоагенту, оскільки через занадто високий тиск ми не можемо провести заміну без зміни конструкції ХУ. З гістограми видно,що холодоагент R-134A доцільно застосовувати при більш низьких тисках, а R-450A - при більш високих, тому конструктивно холодильне обладнання на R-450A буде суттєво відрізнятися.

R-513A-має найбільш наближене значення показників до R1234ze,тому цей холодоагент - гарний вибір для ретрофіту.

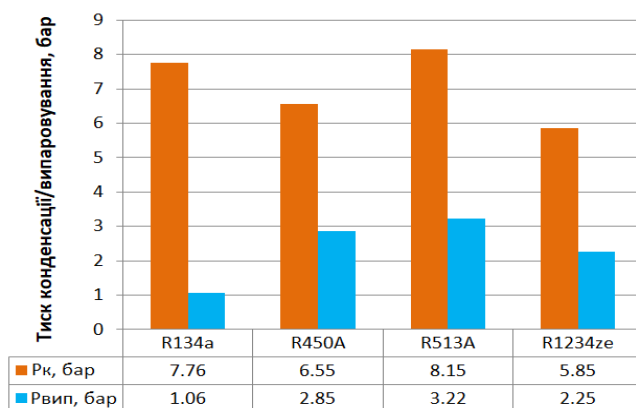


Рис. 1 Тиски конденсації та випарювання

Проаналізувавши результати розрахунків, побудовано гістограми, які наглядно ілюструють зміну таких показників, як масова подача компресора адіабатна, індикаторна ефективна та електрична потужності ККД(рис. 2).

Розраховані значення свідчать про наступні зміни експлуатаційних показників (порівняно з базовим холодоагентом R1234ze) : масова подача компресора на R134A збільшилася на 8,5%, R513A на 2,1%, а на R450A- зменшилася на 4,2%; адіабатна потужність на R134A зменшилася на 5,1% і збільшилася на 3,7% та 5,9% при роботі на R450A та R513A відповідно; потужність на валу електродвигуна для R134A зменшилася на

4,3% ,для R450A збільшилася на 3,1%,для R513A збільшилася на 5.9%.Також маємо незначне зменшення ККД для R134A та збільшення ККД для R450A та R513A.

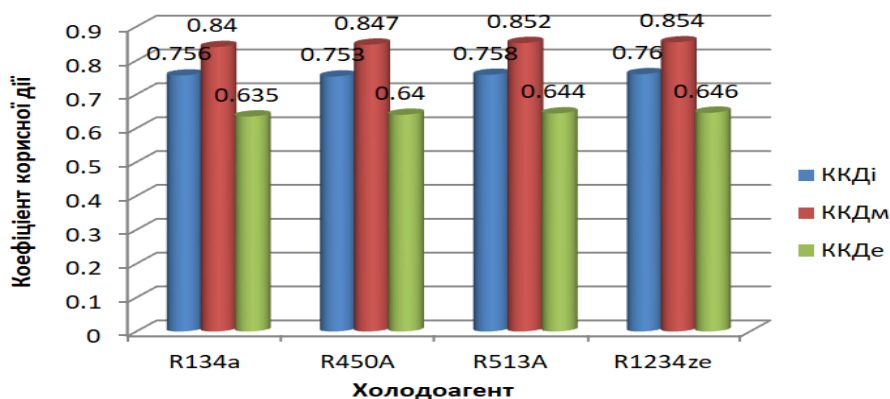


Рис.2 Порівняння ККД

При аналізі беремо до уваги і інші фактори: наскільки далеко від критичної точки реалізований холодильний цикл (це впливає на відношення прихованої теплоти пароутворення до питомої теплоємності рідини при постійному тиску), нахил кривих насичення рідини і пара, за яким визначають результативність перегріву, переохолодження і дроселювання. На нахил кривих істотно впливає мольна теплоємність.

На незворотність процесів дроселювання і перегріву пари впливає нахил кривих насичення. Втрати від незворотності значно вище поблизу критичної точки, де лінії насичення поступово стають більш пологими, формуючи двофазний купол.

Критична температура R-450A та R-513A нижче, ніж у R-1234ze . З цієї причини, незворотність через перегрів пари і незворотність, викликана дроселюванням, найвища для R-450A, потім для R-513A і найменша для R-134A .

Дослідивши холодильні коефіцієнти, можна зробити висновок, що саме так як холодильна машина, кращі показники буде мати установка на холодоагенті R-1234ze. Холодильний коефіцієнт на R-1234ze більший ніж на R-134A за розрахунками при однакових умовах на 10,3%.(Рис. 3).

Кожен з досліджуваних холодоагентів розглядається як альтернативний до R-22 , але не можна однозначно сказати, що один з холодоагентів кращий за інші, оскільки холодоагенти різні за своєю питомою холодопродуктивністю, коефіцієнтом тепловіддачі, тиском конденсації.

Як видно з вищенаведених діаграм, для зазначених холодоагентів характерні наступні експлуатаційні особливості:

R 407C:

- 1600 GWP(потенціал глобального потепління);
- властивості близькі до R-22, отже потрібні лише незначні зміни (іноді навіть не потрібні) в конструкції холодильних машин. Це дозволяє уникнути подорожчання устаткування.

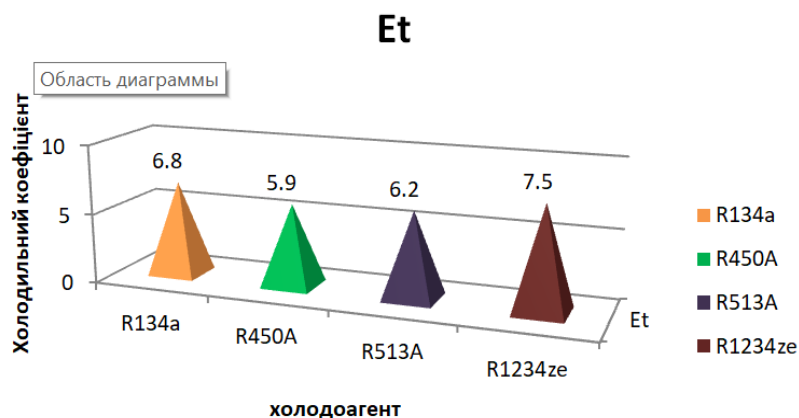


Рис.3 Холодильні коефіцієнти

Обґрунтування доцільності використання конкретного холодильного агенту базується на порівняльному аналізі енергетичних характеристик, фізичних властивостей та економічній складовій.

Однак в нинішній час не визначено комплексного показника, який би дозволив оцінити доцільність використання конкретних холодильних агентів з урахуванням як їх термодинамічних властивостей, так і екологічних факторів.

В якості основного показника, який характеризує енергетичну ефективність використання холодильного агенту доцільно визначити холодильний коефіцієнт ε . Основними показниками, що визначають екологічність холодильного агенту на нинішній час визнанні: потенціал руйнування озону (ODP) та потенціал глобального потепління (GWP), які використовуються для аналізу екологічної доцільності використання холодильного агенту.

Для полегшення процесу первинного вибору холодильного агенту можливо запропонувати введення комплексного показника, який буде враховувати вище вказані параметри. Виходячи з того, що для ефективного використання холодильного обладнання необхідно, щоб холодильний коефіцієнт був якомога вищий, а параметри ODP та GWP мінімальні, можливо використання формули

$$K = \frac{\varepsilon}{GWP * ODP}$$

Для розрахунку комплексного показника доцільно ввести наступні умови :

$$ODP_p = ODP + 1$$

$$GWP_p = GWP * 10^{-3}$$

ВИСНОВОК

Проведено порівняльний аналіз енергетичних характеристик при умові використання холодильних агентів R134A, R513A, R450A, R1234ze в інтервалі температур випарювання $-25 \div +5^{\circ}\text{C}$, який охоплює практично майже весь діапазон роботи суднових холодильних установок, провізійних

камер та рефрижераторних контейнерів, впритул наближаючись до режимів роботи холодильних установок, систем комфортного кондиціювання повітря.

Для оцінки теплової ефективності можливо використовувати дійсний холодильний коефіцієнт та дійсний електричний холодильний коефіцієнти. Для оцінки енергетичних затрат на експлуатацію використовується показник ефективної потужності компресора.

По зазначеним показникам аналіз результатів розрахунків показує наступне:

При температурі $t_0 = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$ найбільше значення холодильного коефіцієнту характерне для R450A та R1234ze, а найбільша потуга КМ характерна для R450A, найменша для R1234ze.

СПИСОК ВИКОРИСТОВУВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Іщенко В.М., Брайковська Н.С., Щербіна Ю.В. Методичні підходи до ефективного використання альтернативних холодильних агентів в холодильному обладнанні рефрижераторного рухомого складу. Збірник наукових праць ДУПТ: серія «Транспортні системи і технології», Вип. 33, Т.1, 2019. – С. 202-212.
2. Іщенко В.М., Щербіна Ю.В., Осьмак В.Є., Горлушко Ю.В. Взаємозамінність альтернативних холодоагентів в системах кондиціювання повітря пасажирських вагонів. Вісник східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля, Вип. 2, 2021. –С. 96-100.
3. Галян І.С., Козьмініх М.А. Аналіз ефективності застосування сучасних холодильних агентів в транспортних холодильних установках. НТЗ Суднові енергетичні установки, Вип. 38, 2019. –С. 54-68.
4. Константинов І.В., Хмельнюк М.Г. Порівняння енергоефективності торгового холодильного обладнання працюючих на різних холодильних агентах. Збірник наукових праць за матеріалами XVIII Всеукраїнської науково-технічної конференції «Актуальні проблеми енергетики та екології», 2020. –С. 136-140.

Константинов В.О., Хлієва О. Я.

Національний університет «Одеська морська академія»

Підвищення ефективності холодильної машини у складі суднової протипожежної системи з CO₂ низького тиску

На деяких суднах застосовується специфічне холодильне обладнання – холодильна система для підтримки в охолодженому рідкому стані CO₂ в резервуарі для системи пожежної безпеки. Таке обладнання зустрічається не часто, тому підвищенню його енергетичної ефективності та використанню холодоагентів з низьким потенціалом глобального потеплення не приділяється достатнє уваги на сьогодні.

У відповідності до сказаного метою наукової роботи був аналіз можливих технічних рішень з підвищення ефективності холодильної машини, яка призначена для підтримки в охолодженому стані танку з CO₂ низького тиску системи пожежної безпеки.

Рідкий CO₂ зберігається в резервуарі, в якому він підтримується в охолодженому стані за допомогою холодильного обладнання при температурі приблизно -18°C, що відповідає тиску всередині резервуара приблизно 2,1 МПа. Бак добре ізольований пінополіуретаном і захищений алюмінієвим листом, що запобігає проникненню вологи в ізоляційний матеріал.

Холодильна система для охолодження CO₂ у резервуарі складається з двох однакових холодильних машин, відокремлених одна від одної. Холодильна система використовує холодоагент R404A.

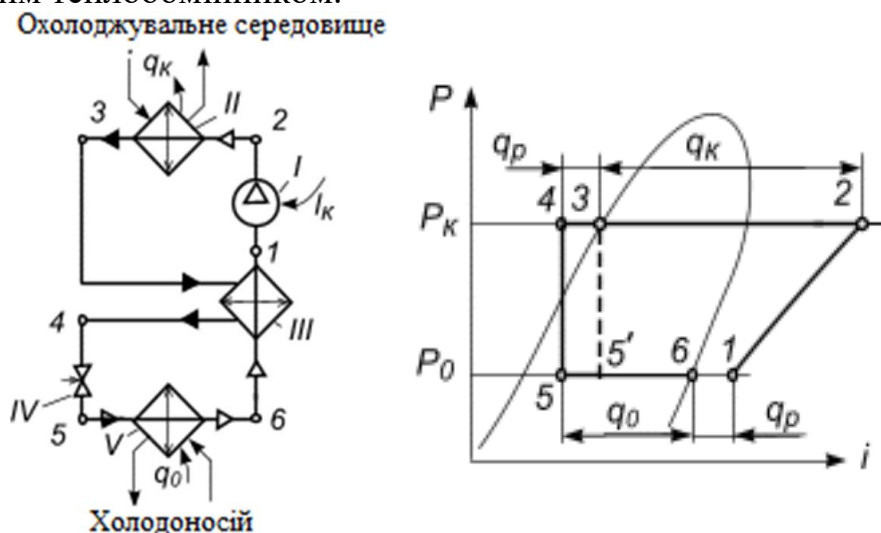
Задачами роботи була оцінка доцільності застосування у холодильній машині холодоагенту з більш низьким потенціалом глобального потеплення, ніж R404A, а також доцільність модернізування цієї холодильної машини за рахунок встановлення регенеративного теплообміннику (РТО) для підвищення її енергоефективності.

На першому етапі дослідження було виконано розрахунок теплоприпливів у циліндричний горизонтальний з напівсферичними кришками резервуар діаметром 1900 мм та довжиною циліндричної частини 5 м при тиску CO₂ у танку 2.1 МПа, що відповідає температурі -18 °C. Теплоприпливи без ізоляції складають 7,97 кВт. Оцінена величина теплоприпливів приймається для розрахунку холодильної машини. Проаналізовано вплив типу та товщини ізоляції на величину теплоприпливів у танк.

На другому етапі роботи були визначенні енергетичні характеристики роботи холодильної машини системи CO₂ низького тиску на новому холодоагенті. Для заміни R404A у холодильній машині системи CO₂ низького тиску був обраний холодоагент R407C, який наразі широко впроваджується в нове суднове холодильне обладнання, тому що має більш низький потенціал глобального потеплення. Його переваги – невисока вартість,

можливість заміни у обладнанні, що знаходиться у експлуатації, у рамках процедури ретрофіту (тобто без заміни базових вузлів), сумісність з компресорним мастилом, яке застосовувалося для R404A.

Другим технічним рішенням, яке заплановане розглянути у роботі – це впровадження у схему холодильної машини регенеративного теплообмінника (він у схемі відсутній). На рис. 1 наведена схема та термодинамічний цикли парокомпресійної холодильної машини з регенеративним теплообмінником.



а б

Рисунок 1 - Принципова схема компресорної холодильної машини з регенеративним охолодженням рідкого холодоагенту (а), процес її роботи в P, h діаграмі (б): I - компресор; II - конденсатор; III – регенеративний теплообмінник; IV - дросель; V - випарник

Включення РТО між потоком рідкого агента і потоком пари між випарником і компресором збільшує питоме підведення тепла у випарнику, але водночас зростає і питома витрата роботи в компресорі. Тому енергетичний вигаиш може виявитися невеликим, але істотно зростає надійність роботи компресора. Перегрів парів холодоагенту на всмоктуванні зменшує можливість потрапляння крапельної рідини в порожнину стиснення і знижує ймовірність гідроударів у циліндрі компресора.

Для побудови циклу було прийняте (за паспортом системи CO_2 низького тиску) наступні параметри:

- температура кипіння холодоагенту в випарнику $t_0 = -28^\circ\text{C}$ (при температурі в танку -18°C) для циклу без РТО та $t_0 = -23^\circ\text{C}$ для циклу з РТО (біль низька температура для циклу без РТО необхідна для забезпечення перегріву парів перед компресором);
- перегрів парів після випарника 10°C ;
- температура конденсації $t_k = 42^\circ\text{C}$,
- переохолодження після конденсатору $1-2^\circ\text{C}$ охолоджувальною водою (без РТО) або визначається з рівняння теплового балансу (для циклу з РТО).

Діаграма холодоагенту R407C з зображенням ідеального (стиснення в компресорі адіабатне – червона лінія) та дійсного (зелена лінія) циклу

холодильної системи CO₂ низького тиску з РТО та без РТО наведено на рис. 2 та 3.

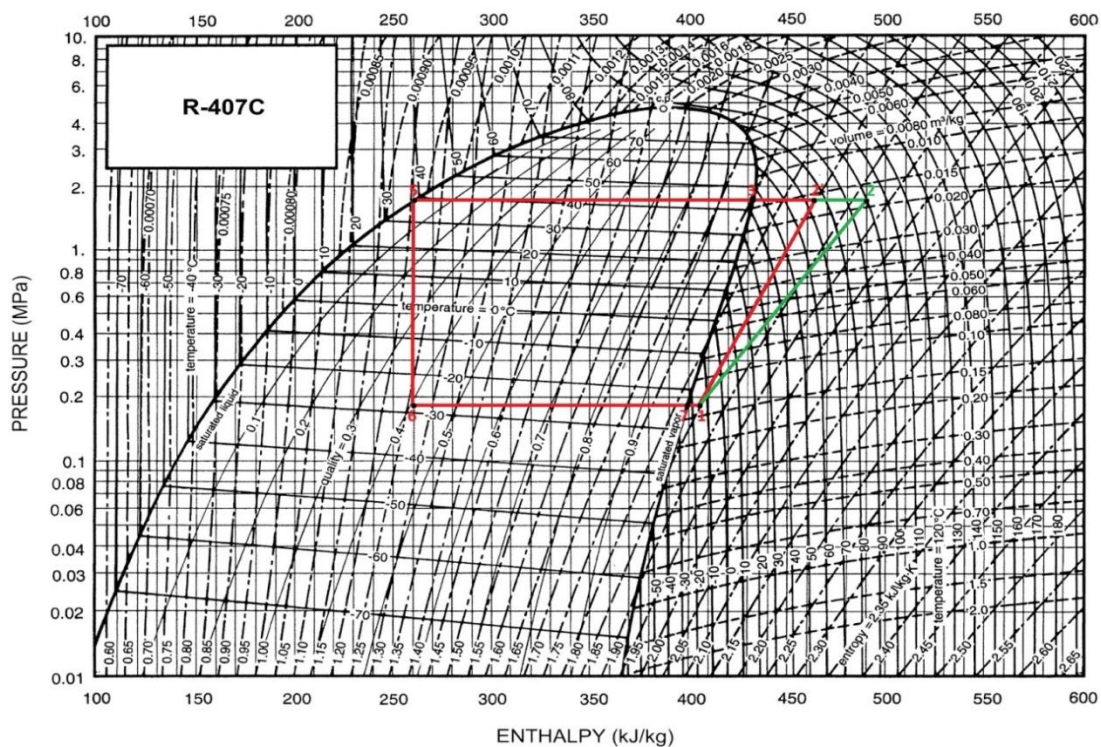


Рисунок 2 - Діаграма холодоагенту R407C з зображенням циклу холодильної машини (без РТО)

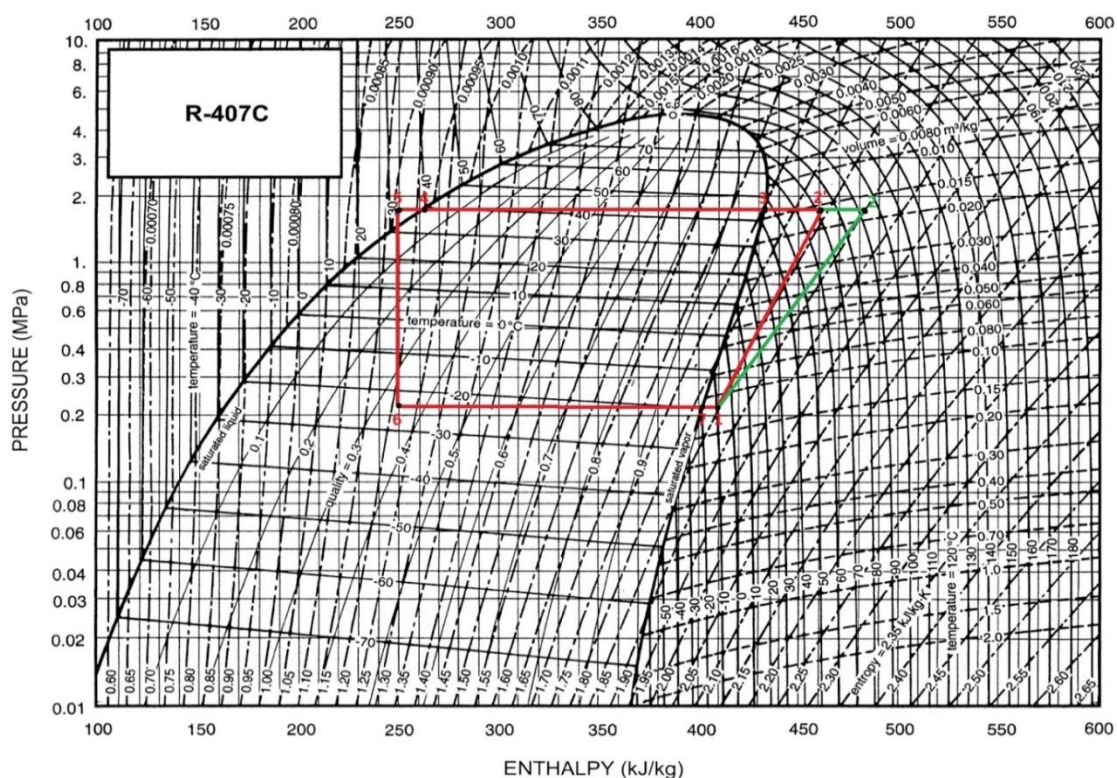


Рисунок 3 - Діаграма холодоагенту R407C з зображенням циклу холодильної машини (з РТО)

Після побудови циклу за допомогою програми RefProp [1] прийняті ентальпії в вузлових точках циклів для холодоагенту R407C.

Розрахунок енергетичних характеристик холодильної машини системи CO₂ низького тиску виконувався за стандартною методикою, наведеною в [2, 3], з урахуванням внутрішньої необоротності процесу стиснення холодоагенту в компресорі, механічного та електричного ККД компресора, а також коефіцієнта подачі компресора. Результати розрахунку наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 - Результати розрахунку енергетичних характеристик роботи холодильної машини системи CO₂ низького тиску на холодоагенті R407C без РТО та з РТО

Схемне рішення	Без РТО	З РТО
Об'ємна продуктивність компресора V_h , м ³ /с	0,0133	0,0096
Адіабатна робота стиснення l_a , кДж/кг	59,7	54,03
Питома холодопродуктивність q_0 , кДж/кг	145,3	148,29
Дійсна потужність компресора $N_{компр}$, кВт	5,702	4,8682
Холодопродуктивність Q_0 , кВт	7,966	
Дійсний холодильний коефіцієнт ε_D	1,3971	1,6363

Як видно з результатів, наведених в табл. 1, робота холодильної машини за регенеративним циклом забезпечує більш високий холодильний коефіцієнт, ніж коли РТО у схемі не передбачений: 1,636 проти 1,397, тобто холодильний коефіцієнт збільшився на 17 %, що дуже суттєве. Слід зазначити, що основний ефект тут пов'язаний не стільки зі збільшення холодопродуктивності при реалізації регенеративного циклу, скільки зі збільшенням температури кипіння холодоагенту у випарнику у циклі з РТО порівняно з циклом без РТО. Причина у тому, що у нерегенеративному циклі для забезпечення достатнього ступеня перегріву парів холодоагенту у випарнику перед входом в компресор потрібно знижувати температуру кипіння холодоагенту (в даному випадку до мінус 28 °С), що призводить до збільшення роботи компресора на його стиснення. Тоді як у циклі з РТО ця температура може бути вище (в даному випадку мінус 23 °С).

Тобто, невелике модернізування холодильної машини за рахунок встановлення регенеративного теплообмінника буде сприяти зниженню добового енергоспоживання компресором при роботі холодильної машини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. REFPROP: Reference fluid thermodynamic and transport properties, NIST standard reference database 23, Version 8.0 / E. W. Lemmon, M. L. Huber, M. O. McLinden. Gaithersburg: National Institute of Standard and Technology, 2007.
2. Радченко М.І., Лехмус О.О. Суднові холодильні машини. Навчальний посібник. Миколаїв: НУК, 2015. 392 с.
3. Загоруйко В.О., Голіков О.А. Суднова холодильна техніка: Підручник. Київ: Наукова думка. 2002. 576 с.

Лисак В. Е., Голіков В. А.

Национальный университет «Одесская морская академия»

Особливості експлуатації теплообмінних апаратів танкера- газовоза типу LNG.

Перевезення природних газів морем неухильно зростає в цьому світі.

Горючі гази транспортуються морем тільки у скрапленому стані. Це пов'язане у основному с тим, що в результаті попереднього зрідження газ значно зменшується у об'ємі від 200 до 600 разів [1].

При створенні теплоенергетичних установок постійно стоїть питання необхідності зниження їх маси і габаритів. Це може бути досягнуто, зокрема, за рахунок інтенсифікації процесів теплопередачі, що в свою чергу веде до зменшення необхідних теплових поверхонь.

Термічний опір теплопередаючої стінки в принципі можна зменшити шляхом зменшення товщини стінки та збільшення коефіцієнта теплопровідності матеріалу (за умови збереження необхідної міцності).

Завдання інтенсифікації процесів тепловіддачі на обох сторонах теплопередаючої стінки є складнішим. Потрібний всебічний розгляд питання з метою правильного вибору можливих шляхів у цьому напрямку.

У загальному випадку по різні боки теплопередаючої стіни знаходяться різні теплоносії. Для прикладу вкажемо, що з точки зору тепловіддачі, повітря як теплоносіє гірше олії, а олія гірша за воду. Тому в першу чергу слід визначитися з питанням, чи тепловіддачу теплоносія слід інтенсифікувати. Розглянемо формулу коефіцієнта теплопередачі через пласку стінку. Якщо спрощення питання термічним опором стінки знехтувати, тобто покласти, $\delta / \lambda = 0$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}.$$

Звідси випливає, що коефіцієнт теплопередачі завжди менший за найменший з коефіцієнтів теплопередачі. Отже, розглядати питання інтенсифікації слід щодо теплоносія з мінімальним k і чим більше різниця між α_1 та α_2 , тим більш актуальне це питання.

Технологічна карта магістерського дослідження представлена на рисунку 1. [2].

Актуальність теми полягає у тому, що при створенні суднових теплоенергетичних установок постійно виникає проблема зниження їх маси та габаритів. На теперішній час вона вирішується шляхом інтенсифікації процесів теплопередачі, що в свою чергу веде до зменшення необхідних теплопередаючих поверхонь теплообмінних апаратів (ТОА).

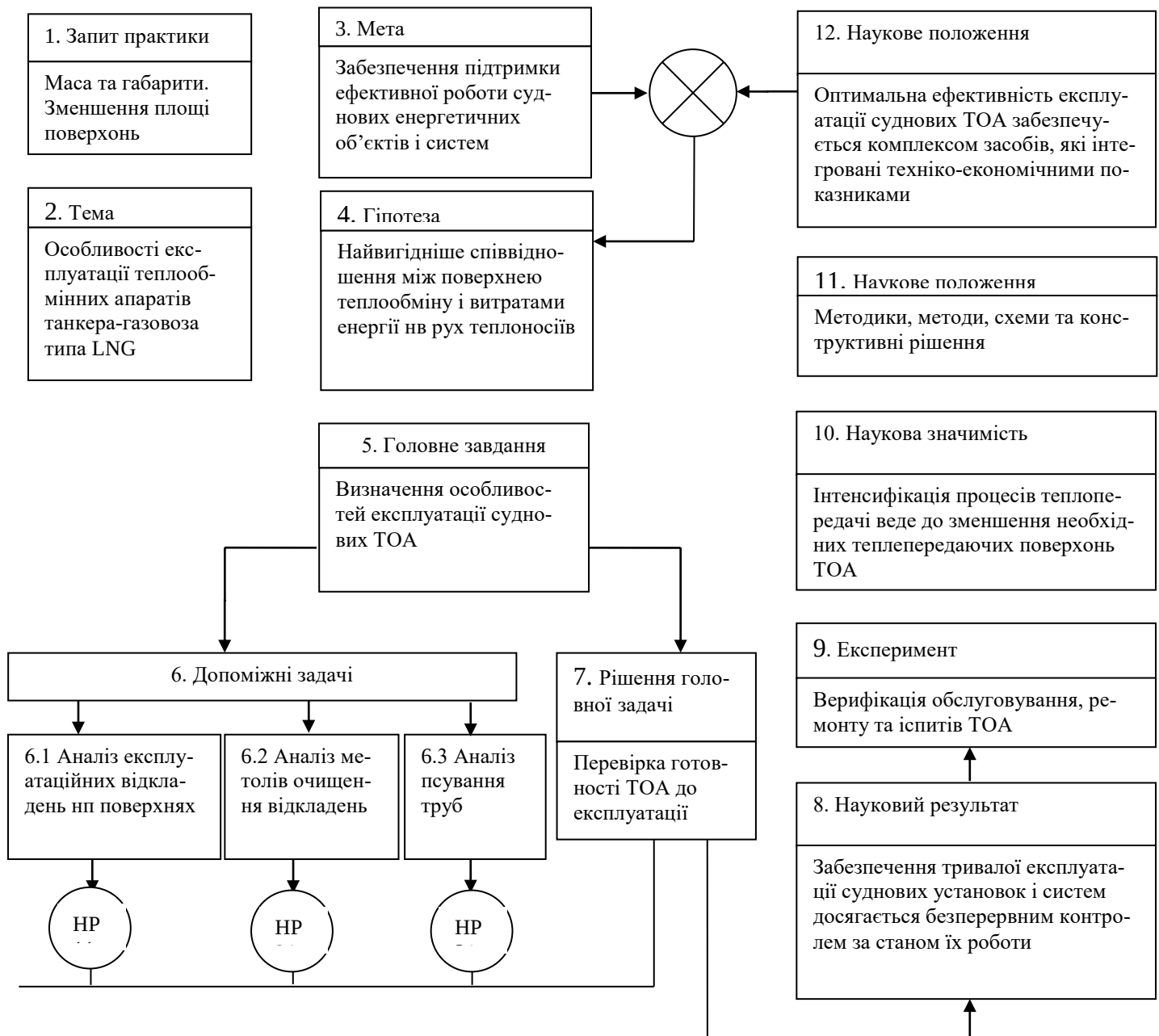


Рисунок 1. – Технологічна карта дослідження

Відомо, що термічний опір стінки апарата зменшується при збільшенні коефіцієнта теплопровідності матеріалу і зменшенні товщини стінки за умов збереження її міцності.

Об'єкт дослідження – судові енергетичні установки і їх системи.

Предмет дослідження – судові ТОА.

Мета дослідження – є у забезпеченні підтримки ефективної роботи судових теплових енергетичних об'єктів та систем.

Робоча гіпотеза полягає у тому, що при виборі оптимальних форм і розмірів поверхонь нагріву/охолодження теплообмінника вибране найвигідніше співвідношення між поверхнею теплообміну і витратами енергії на забезпечення руху носіїв в ТОА.

Головне завдання роботи – полягає у визначенні особливостей експлуатації судових ТОА пов'язаних з: експлуатаційними відкладеннями на поверхнях ТОА та методами боротьби з ними; очищення ТОА; псуванням труб; контролем герметичності та випробування ТОА.

Для вирішення головного завдання виникла необхідність рішення **трьох допоміжних задач аналізу**:

експлуатаційних відкладень на поверхнях ТОА;
методів очищення відкладень у ТОА;
псування труб. [3,4].

Рішення **першої допоміжної задачі** здійснюється як шляхом візуалізації так і аналізу окремо виділених груп: лужноземельні, залізо й мідно-окисні, органічні осадки й відложення, нагар, карбонов та магnezіальна накип, сульфатна накип.

Результати аналізу вказали на негативний вплив перелічених груп та на процес теплопередачі у поверхонь ТОА.

Друга допоміжна задача аналізу пов'язана з методами очищення експлуатаційних відкладень на поверхнях ТОА.

Методи аналізу: фізичні, ультразвукові, хімічно-осмотичні, фізико-хімічні, гідродинамічні.

Результати аналізу показали на високу ефективність ультразвукової очистки, яка також позитивно впливає на навколишнє середовище.

Третя допоміжна задача присвячена аналізу псування труб ТОА, які пов'язані з корозією (електричною втомою) та розтріскуванням; ерозією (анодною та катодною) та вібрацією (механічною, гідродинамічною та ударною). Кожне з псувань – вібрація швидко, а корозія і ерозія повільно негативно впливають на якість поверхонь та з'єднань ТОА. У малих дозах (впливах) вони захищають експлуатаційні поверхні ТОА, використовуючи фарби та спеціально встановлений захисний бар'єр (анодний або катодний).

Рішення головного завдання є перевірка готовності ТОА до експлуатації. Найбільш розповсюдженим способом іспитів на міцність та щільність остаються гідравлічні (гідростатичні) іспити, при яких перевіряють зварні шви, містять ущільнень роз'ємів, щільність та міцність як усього ТОА так і окремих його елементів.

Досвід контролю міцності з'єднань показує, що надійність, перш за все, визначається впливом конструктивно – технологічних факторів. Тому відмова теплообмінника викликана порушеннями щільності з'єднань труб з трубними решітками, як правило, являється наслідком скритого дефекту виробництва і не залежить від стану середнього поясу закріплення.

Гідравлічні іспити проходять в умовах герметичності зовнішнього контуру ТОА.

Незаглушеними остаються три отвори для заповнення апарата водою, випуском повітря спуску води з нього. Тиск в апараті підвищується від 0,5мПа до 1,5 мПа на протязі 5 хвилин, як і утримання його на максимальному рівні. Потім тиск знижується до робочого утримується на

протязі 2-х годин. При цьому тиск не повинен знижуватися більш ніж на 15%.

Для гідравлічних іспитів застосовуються вода з температурою не нижче 5°C. Тиск вимірюється двома мономерами, один з них контрольний.

Пневматичні іспити більш небезпечні ніж гідравлічні. Однак у випадку, коли гідравлічні іспити неможливі або утруднені, дозволяється проведення іспитів повітрям або інертним газом при тих же тисках та послідовності.

Більш чутливі іспити пов'язані з використанням гелієвих або галоїдних течешукувачів ТОА, які працюють при тиску нижче за атмосферний, витримуються під вакуумом не вище 5,3 мПа протязі 12-ти годин.

Теплотехнічні іспити проходять для контролю в ТОА температурі і тиску. Відносна похибка не повинна бути вище $\pm 1,5\%$ на протязі 15 хвилин.

ВИСНОВКИ

Оптимальна ефективність експлуатації суднових ТОА забезпечується комплексом заходів конструкційної природного, організаційно-технічного та технологічного характеру, які інтегровані техніко-економічними показниками.

Забезпечення тривалої експлуатації суднових установок і систем, зокрема ТОА, досягається безперервним контролем за станом їх роботи, обслуговуванням та ремонтом, який завершується відповідними іспитами

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. [http:// maritime forum. net. gazo...](http://maritimeforum.net/gazo...) Морський довідник /Типи суден / газовоз
2. Розвиток сучасної теорії і практики технічної експлуатації морського та річкового флоту: методи, технологія / Букарос А. О., Валенская Д. Б., Волянський С. М. та інші; за наук. ред. В.А. Голікова та О. А. Оніщенка. – Миколаїв: Іліон, 2022. – 396 с.
3. Загоруйко В. О., Голіков О. А. Суднова холодильна техніка / підручник; під. заг. редакц. В. О. Загоруйка. – Київ: Наукова думка, 2002. – 575 с.
4. Федоровський К. Ю. Теплопередача / підручник – Севастопіль: Вид. СНТУ, 2003. – 302 с.

Аналіз енергетичної ефективності установки повторного зрідження природного газу

При великотоннажних морських перевезеннях природний газ транспортується спеціалізованими суднами в рідкому стані за температури $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ при атмосферному тиску. Проблема випаровування скрапленого природного газу (СПГ) потребує застосування заходів для видалення надлишку BOG (boil-off gas). Існує декілька основних методів управління BOG: викиди в атмосферу (лише в аварійних випадках); використання як палива для роботи судових двигунів або **повторне скраплення BOG** з поверненням до танків.

Метою дослідження було проаналізувати енергетичну ефективність системи повторного зрідження СПГ на суднах, щоб визначити найбільш економічно доцільну схему та мінімізувати витрати енергії під час транспортування СПГ. У ході роботи було обрано базову схему, що базується на зворотному циклі Брайтона з азотом (Рис. 1), та запропоновано її удосконалення шляхом попереднього підігрівання BOG перед його зрідженням, що дозволяє уникнути використання кріогенних компресорів та знизити розміри системи (Рис. 2). Модифікована схема з попереднім підігріванням та використанням тепла від BOG для охолодження азоту забезпечує більш ефективну роботу системи. Енергетичний аналіз, проведений для даної модифікації, показав можливість зниження питомих витрат енергії на процес зрідження.

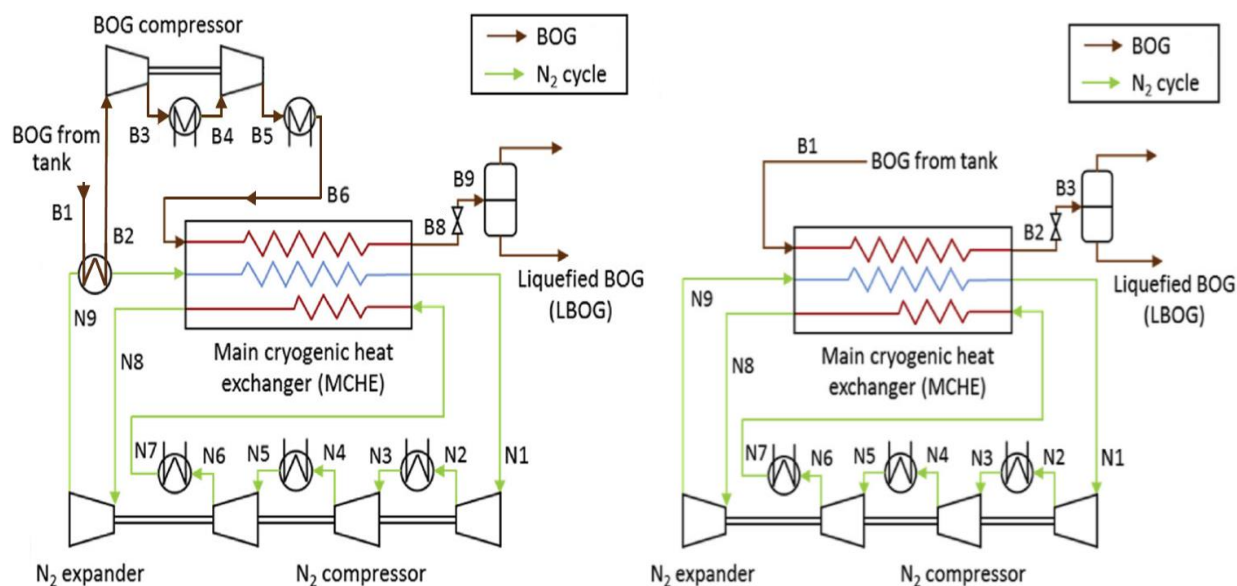


Рисунок 1 – Схематичне зображення установки повторного зрідження природного газу на судні, яка базується на зворотному циклі Брайтона: (а) базовий варіант [1]; (б) модифікований варіант з попереднім підігрівом та стисненням BOG

Вхідні дані для аналізу для обох контурів – азотного та природного газу – подані у таблиці 1.

Таблиця 1 Вхідні данні для енергетичного аналізу суднової установки повторного зрідження природного газу

BOG контур	
Метан (CH ₄)	100%
Масова витрата G_{LNG}	2 тонни/доба
Тиск BOG на вході в установку	100 кПа
Температура BOG на вході в установку	Стан насиченої пари
Температура BOG на вході в компресори	0 °С
Тиск BOG на виході з компресорів	600 кПа
Тиск BOG на виході з установки	100 кПа
Температура BOG на виході	Стан насичення
Азотний контур	
Втрати тиску у в основному теплообміннику азот-природний газ	10 кПа
Максимальний тиск після компресора	4 МПа
Тиск на вході в компресор першої ступені стиснення	0,2 МПа
Температура після охолодження забортною водою	40 °С
Індикаторна ефективність компресорів (індикаторний ККД)	0,75
Індикаторна ефективність детандера (індикаторний ККД)	0,80

Зворотний азотний цикл включає триступеневе стиснення азоту з проміжним охолодженням забортною водою до 40 °С. Далі азот охолоджується в зворотним потоком холодного азоту (рекуперація теплоти у циклі) та розширюється в детандері, створюючи потік холодного азоту для охолодження для зрідження BOG.

В роботі було проведено розрахунок реальних енергетичних характеристик азотного циклу з урахуванням індикаторних коефіцієнтів корисної дії компресорів і детандера. Для цього було побудовано p - h діаграму азоту, яка включає ідеальні процеси стиснення і розширення без внутрішніх втрат (Рисунок 2 сині лінії). Далі, після коригування на втрати в реальних умовах, побудовано уточнений цикл у p - h діаграмі з урахуванням відхилень реальних процесів стиснення і розширення (Рисунок 2 червоні лінії).

На додаток до азотного циклу було побудовано процеси зрідження для розімкненого метанового циклу. Для побудови цих процесів, необхідно було визначити проміжні тиски (тиск після першої ступені стиснення). У метановому циклі було встановлено тиск на вході до першої ступені стиснення на рівні 0,1 МПа, а на виході з другої – 0,6 МПа. Проміжний тиск між ступенями визначений як геометричне середнє значення між початковим і кінцевим тисками. У результаті розрахунків побудовано ідеальний розімкнений цикл зрідження метану, при якому адіабатне стиснення відбувається без втрат тепла в теплообмінниках (Рисунок 3 сині лінії).

Далі були враховані реальні процеси стиснення метану, включаючи ефекти втрат в компресорах, що відображено на оновленій p - h діаграмі з урахуванням відхилень від ізоентропного процесу (Рисунок 3 червоні лінії). Після розрахунку значень питомої потужності для кожної зі ступенів було

визначено ентальпії в точках циклу, що дозволило остаточно розрахувати вихідні температури після стиснення.

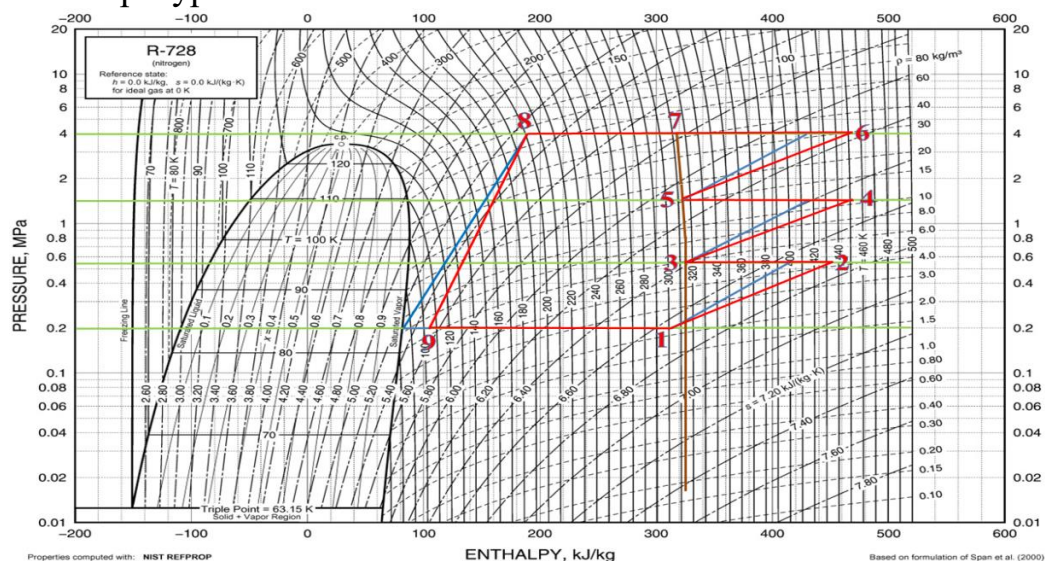


Рисунок 2 – Зображення зворотного циклу Брайтона з триступеневим стиснення у р-*h* діаграмі азоту, в якому враховані відхилення реальних процесів стиснення та розширення від ідеальних (ізоентропних)

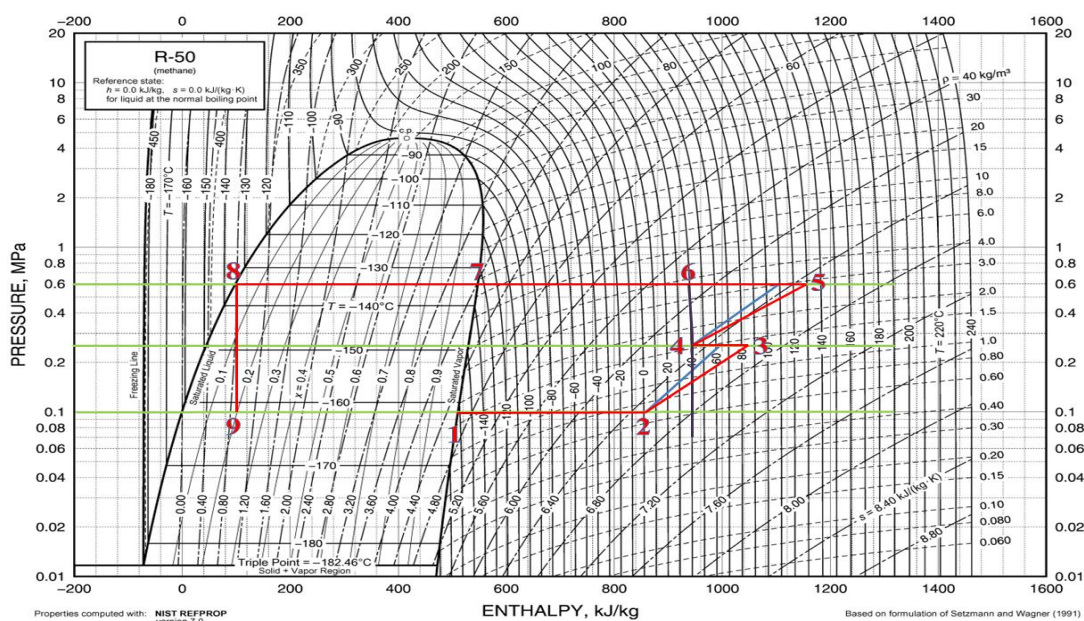


Рисунок 3 – р-*h* діаграма метану з зображенням циклу зрідження метану з двоступеневим стисненням, в якому враховані відхилення реальних процесів стиснення від ідеальних (ізоентропних)

Для визначення витрат енергії в установці було складено тепловий баланс для двох контурів: азотного і метанового. На основі значень ентальпій у вузлових точках циклу були визначені наступні витрати енергії, такі як нагрівання метану перед стисненням, яка становить 7,95 кВт; охолодження та конденсація метану потребують 19,42 кВт та охолодження азоту, яке одночасно нагріває метан, забезпечуючи зворотній потік у системі, складає 7,95 кВт для першого потоку та 9,21 кВт для зворотного потоку.

З урахуванням енергетичного балансу було визначено необхідну витрату азоту в системі (0,1358 кг/с), після чого обчислені потужності для азотних і

метанових компресорів, а також детандера, а саме потужність азотних компресорів склала 57,9 кВт; потужність азотного детандера – 11,9 кВт; потужність метанових компресорів – 9,28 кВт.

На основі цих значень визначено питомі витрати енергії на зрідження відпарного газу. Використання комбінованої системи «компандер» (поєднання компресора і детандера на одному валу) дозволяє досягти значної економії енергії. При використанні компандера питомі витрати енергії для зрідження BOG знижуються до 0,665 кВт·год/кг СПГ у порівнянні з 0,81 кВт·год/кг у схемі, яке базується без повернення у цикл роботи. Це свідчить про 17% економію енергії при застосуванні компандера. Водночас, питомі енерговитрати залишаються більшими, ніж у берегових установках зрідження, через менші масштаби системи.

Остаточний етап роботи включав розрахунок витрат дизельного палива, необхідного для виробництва електроенергії, що живить компресори установки. Витрати дизельного палива на виробництво 1 кВт·год електроенергії прийняті на рівні 0,25 л/кВт·год. Відповідно, для базового циклу питомі витрати дизельного палива для зрідження 1 кг СПГ склали 0,2 л/кг, а для схеми з використанням компандера – 0,166 л/кг СПГ. Також було оцінено витрати СПГ як палива для роботи дизель-генераторів, що забезпечують енергію для зрідження 1 кг СПГ на борту судна. Для цього оцінювання застосували нижню теплотворну здатність дизельного палива (MDO) і природного газу. Згідно з нормативами, нижня теплотворна здатність дизельного палива становить 39,8 МДж/кг, а для природного газу – 31,8 МДж/м³ (за нормальних умов). Враховуючи густину природного газу на рівні 0,6682 кг/м³, нижня теплотворна здатність природного газу складає приблизно 47,9 МДж/кг.

Таким чином, з урахуванням середньої густини дизельного палива 0,82 кг/л, можна оцінити питому витрату природного газу як палива на одиницю зрідженого природного газу на борту судна: для базової схеми: 0,136 кг СПГ палива/кг СПГ вантаж, для схеми з компандером: 0,113 кг СПГ палива/кг СПГ вантаж. Тобто розрахунки показали, що на зрідження метану у суднових умовах за розглянутими у роботі схемними рішеннями, витрачається приблизно 11...14 % від кількості зрідженого продукту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kwak D.H., Heo J.H., Park S.H., Seo S.J., Kim J.K. Energy-efficient design and optimization of boil-off gas (BOG) re-liquefaction process for liquefied natural gas (LNG)-fuelled ship. *Energy*. 2018. Vol. 148. P. 915-929.
2. REFPROP: Reference fluid thermodynamic and transport properties, NIST standard reference database 23, Version 8.0 / E. W. Lemmon, M. L. Huber, M. O. McLinden. - Gaithersburg: National Institute of Standard and Technology, 2007.

Михайлик В.С., Козьмініх М.А.
Національний Університет "Одеська морська академія"

Підвищення надійності холодильного обладнання

Незважаючи на різноманітність застосувань, переважна більшість СХУ оснащені парокомпресійними холодильними машинами з поршневими, або гвинтовими компресорами. Для цілей рефрижерації на судах широко поширені масло заповнені, гвинтові, двох роторні, з відношенням чисел зубів ведучого і веденого роторів 4/6, та частотою обертання 2900 об/хв [20]. Виключення складають суднові системи реконденсації газів на судах-газовозах, де допустимо використання гвинтових компресорів сухого стиску. Гвинтові компресори мають багато переваг перед поршневими, зокрема:

- мала вага і габарити, обумовлені їх швидкохідністю;
- можливість стиснення двофазних і запиленних середовищ без погіршення характеристик машини і безпечних умов її роботи;
- повна врівноваженість компресора;
- висока надійність і довговічність;
- регулювання продуктивності за допомогою золотникового пристрою, в широкому діапазоні;
- незначна зміна ККД, при широкій зміні ступеня стиснення. Однак всі ці переваги актуальні для компресорів середньої (2...20 кВт), та високої (більше 20 кВт) холодо продуктивності. В компресорах мало холодопродуктивності (до 2 кВт) застосування гвинтових компресорів, становиться недоцільним, завдяки посиленню впливу зворотних витоків ХА, з порожнини нагнітання, що призводить до суттєвого зниження ККД.

Діагностика та контроль технічного стану, є засобами підтримки заданого рівня надійності, забезпечення вимог безпеки та ефективності використання СХУ. При цьому, виходячи із запиту практики, ефективність доцільно розглядати як раціональне використання енергетичних ресурсів. Традиційно діагностування технічного стану проводять при зупинці СХУ, а визначення несправностей окремих вузлів потребує часткового розбирання, виявлення дефекту проводиться контрольними-вимірювальними приладами, які здійснюють безперервний контроль технічних параметрів СХУ, і діагностичними технічними засобами, за допомогою яких проводяться спеціальні випробування. Очевидно, що це пов'язано зі значними витратами часу. При цьому слід зауважити, що зупинка СХУ на будь-який час приведе до порушення технологічних процесів: охолодження продуктів, підтримки зрідженого стану газів, створення комфортних умов повітря, тощо. Даний процес ще ускладнюється обмеженими можливостями екіпажу, який знаходиться в рейсі, на великій відстані від берегових і плавучих майстерень.

Основні проблеми в експлуатації та обслуговуванні суднових вузлів систем. Такими проблемами є відмови в роботі вузла, що призводить до

порушення роботи всієї системи чи механізму. Основними причинами відмов механічних систем є наступні фактори:

- дефектиконструкції;
- корозія;
- дефекти при зборці механізму;
- зношування;
- пластичні деформації;
- порушення правил експлуатації;
- порушення цілісності механізму.

Попередження відмов проходить двома шляхами:

-регламентні роботи (роботи, які проводяться через певних проміжок часу для перевірки технічного стану, зміни зношених деталей та деталей, які потребують заміни);

-роботи за станом та параметрами механізму (цей шлях дозволяє не розбирати систему, механізм чи вузол, що може призвести до непередбачуваних відмов в майбутньому).

Аналіз статистичних даних відмов суднових механізмів показує, що 70-90% відмов, як нових, так і відремонтованих механізмів, є результатом зносу пар тертя. Неочікувана відмова механізму чи зупинка, з метою заміни зношенихвузлів – призводять до значних економічних втрат та використання людського ресурсу. У зв'язку з цим з'являється задача по визначенню технічного стану вузла системи, в будь-який час, без повної зупинки чи розборки системи. Вирішення цієї проблеми полягає в використанні методів та засобів технічного діагностування, які би виключили би розбір системи чи вузла без певної потреби. Одним з методів технічного діагностування – є використання засобів вбудованого контролю (датчиків, які виконують контроль за технічними параметрами механізмів, систем чи вузла системи). Таким чином, проходить процес індивідуального контролю прогнозу та коректування періодичного технічного впливу на механізми. Ефективність використання даного методу залежить від застосування певних методів ТО, які призводять максимальної безвідмовності та мінімальних економічних витрат. З цією метою усі механізми та вузли розділені на 3 основні типи, з урахуванням наслідків, до яких може призвести їх відмова:

-до першої групи відносяться механізми та вузли, відмова яких може спричинити аварію, людські жертви чи втрату функціональних можливостей; -до другої групи відносяться механізми, які призводять до економічних втрат чи погіршенню параметрів функціональних можливостей;

-до третьої групи відносяться механізми та вузли, відмова яких не призведе до відчутливих погіршень та наслідків. Датчики та пристрої для контролю процесів у СС.

Датчики інформують про стан через взаємодію з середою та передає інформацію шляхом електричних сигналів. Часто при класифікації датчиків, в якості основи використовують принцип їх дії, який в свою чергу, може базуватися на фізичних чи хімічних явищах. Основні види датчиків:

- температурні датчики;
- термопари;
- термочутливі діоди та тиристори;
- оптичні датчики;
- фотогальванічна емісія;
- фотогальванічний ефект;
- пароелектричні ефекти;
- датчики тиску;
- датчики вологи та газові аналізатори;
- магнітнорезистивні датчики;
- датчики Виганда;
- датчики Холла;
- магнітно індуктивний датчик (МІД).

Обрання методів і засобів діагностування вузлів каскадної установки скраплення пари.

За основний вузол, який обрано для аналізу, візьмемо двухступеневий компресор, який може використовуватися, як в нижньому, так і в верхньому контурі. Виходячи з того, що визначити точний стан можливо лише, коли відкрити всю систему та провести огляд(зазвичай таке проходить за регламентом чи у аварійних випадках). Слід зазначити, що кожне позапланове відкриття системи несе за собою певні наслідки та витрати, такі як зменшення часу безвідмовної роботи, затрати людської праці та в данному випадку заповнення системи хладоном.

Отже, щоб попередити такі випадки, потрібно застосувати спеціальні засоби діагностування, які виключають будь-яку розгерметизацію системи.

До таких засобів можна віднести датчики температури та тиску, данні параметрів яких дають змогу повністю оцінити стан, та можливість безвідмовної роботи системи та певного механізму. Це призведе до підвищення надійності та працездатності вузлів системи.

Висновки

1. Діагностування систем – є дуже перспективною і важливою темою для поліпшення надійності та безвідмовності усіх її вузлів.

2. Велика варіативність методів і засобів діагностування дозволяє майже повністю виключити позапланові відкриття систем, які негативно впливають на її працездатність.

3. Діагностування системи за параметрами дозволяє мінімізувати аварійні ситуації та вчасно відреагувати на зміну будь-якого параметра, шляхом отримання сигналів через датчики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Денісов В.Г., Фіщін В.В. Підвищення надійності холодильного обладнання вантажних систем суден для перевезення скрапленого нафтового газу, шляхом діагностування вузлів системи с. 158-160
2. Козьмініх М.А., Ольшамовський В.С. Удосконалення суднових систем вентиляції та комфортного і технічного кондиціонування повітря. Вчені записки таврійського національного університету ім. В.І.Вернадського, серія: Технічні науки, том 31 (70) №1, 2020. – С.131-134.
3. Загоруйко В.О., Голіков О.А. Суднова холодильна техніка. –Київ: Наукова думка, 2000. -458 с.

Молчанов О.Ю., Ніколаєнко Ю. А., Козьмініх М.А.
Національний Університет «Одеська морська академія»

Аналіз ефективності використання холодильних агентів в судновому холодильному обладнанні.

На сьогодні важливим аспектом у сфері холодильного обладнання є використання холодоагентів, які відповідають сучасним екологічним стандартам. Що ж являють собою холодоагенти? Це спеціальні рідини, які знаходять своє застосування в системах кондиціонування і охолодження. Холодоагенти проходять через фазові зміни, переходячи з рідкого стану в газоподібний при поглинанні тепла, і знову стають рідиною, коли компресор стискає газ. Вибір оптимального холодоагенту базується на його термодинамічних властивостях і передбачає, що він буде безпечним, нетоксичним, негорючим і неагресивним.

Тільки в 1970-х роках вчені встановили, що молекули хлору, що містяться в деяких холодоагентах, негативно впливають на озоновий шар, спричиняючи його руйнування. Це стало підставою для заборони хлорвмісних холодоагентів. Того ж десятиліття було виявлено, що використання аміаку як холодоагенту перешкоджає проникненню інфрачервоних променів в атмосферу, сприяючи накопиченню тепла та спричиняючи кліматичні зміни, через що його також вирішили вилучити з обігу.

Досліджуючи рівень озону в земній атмосфері, на початку 1980-х років учені зафіксували помітне зниження загального вмісту стратосферного озону (ЗЗО). Виявилось, що протягом періоду 1986-1991 років кожної весни над Антарктидою рівень стратосферного озону був на 30-40% нижчим порівняно з періодом 1967-1971 років, а у 1993 році це зниження досягло понад 60%.

У 1977 році у Вашингтоні представники 32 країн розробили перший комплекс заходів із захисту озонового шару. У березні 1985 року у Відні була прийнята концепція охорони озонового шару, а зобов'язання країн, які підтримали цю концепцію, закріпили у міжнародній угоді, відомій як Віденська конвенція про захист озонового шару. У 1986 році наша країна також приєдналася до цієї угоди.

Згідно з Віденською конвенцією, державна політика повинна бути спрямована на мінімізацію негативного впливу на озоновий шар Землі.

Наступний важливий крок у справі захисту озонового шару Землі було зроблено в жовтні 1987 року в Монреалі, де представники 36 країн підписали Протокол щодо речовин, які руйнують озоновий шар. До цього міжнародного документа наша країна приєдналася у 1988 році. Монреальський протокол передбачав замороження виробництва п'яти найпоширеніших хлорфторвуглеців (ХФУ) на рівні 1986 року, з подальшим скороченням їх виробництва на 20% до 1993 року та на 30% до 1998 року.

До червня 1995 року протокол підписали вже близько 150 країн, а на монреальській зустрічі у вересні 1997 року кількість учасників досягла 163.

У 1990-х і 2000-х роках ХФУ почали замінювати на гідрохлорфторвуглеці, серед яких найбільш розповсюдженим став «R-22». Він мав значно менший озоноруйнуючий вплив, хоча залишався небезпечним для довкілля. У відповідь на це вчені розробили гідрофторвуглеці (HFC), які не містили хлору. Однак пізніше було з'ясовано, що гідрофторвуглеці, хоч і не руйнують озоновий шар, мають значний вплив на зміну клімату через високий потенціал парникового ефекту.

На 28-й нараді Сторін Монреальського протоколу, яка відбулася у місті Кігалі (Руанда), після тривалих обговорень країни-учасниці домовилися про обмеження використання HFC. Монреальський протокол, прийнятий у 1987 році, став важливим інструментом у боротьбі за збереження озонowego шару і передбачав обмеження у використанні речовин, які його руйнують, зокрема хлорфторвуглеців. На сьогодні протокол ратифікований 197 країнами світу, і Україна приєдналася до нього в 1988 році, підтримуючи міжнародну ініціативу захисту озонowego шару.

Гідрофторвуглеці, які почали застосовуватися в холодильних установках і кондиціонерах замість хлорфторвуглеців, не мають руйнівного впливу на озоновий шар. Проте вони володіють високим потенціалом парникового ефекту, що посилює ризики кліматичних змін.

На сьогодні холодоагент R22 залишається одним з найбільш розповсюджених, однак його необхідно замінити на більш екологічні аналоги. Це ставить перед науковцями завдання дослідження властивостей нових холодоагентів і їхнього впливу на експлуатаційні характеристики холодильного обладнання. Сучасні розробки активно пропонують нові альтернативні хладони, які є екологічно безпечними, але на сьогодні інформація про їх тепловіддачу під час кипіння та конденсації у різних агрегатах холодильних установок досить обмежена.

Через це постала потреба у додаткових дослідженнях теплообміну у випарниках та конденсаторах холодильних установок. Експериментальні дослідження в цій сфері є найбільш інформативними, адже саме вони дозволяють отримати локальні характеристики процесів, що відбуваються під час експлуатації нових холодоагентів.

Найнебезпечнішими з точки зору руйнування озону залишаються фреони групи хлорфторвуглеців (CFC), що мають найбільший озоноруйнуючий потенціал. До них належать холодоагенти R11, R12 і R502. Виробництво фреону R11 було заборонено ще у 1996 році, а два інших холодоагенти все ще частково використовуються у побутових холодильниках і низькотемпературних холодильних установках, хоча їх випуск у більшості розвинених країн також припинено. До групи гідрохлорфторвуглеців (HCFC), які мають нижчу озоноруйнуючу здатність, належать R21, R123, R124, R141B, R142B і найпоширеніший у побутових кондиціонерах — R22. Загроза подальшого руйнування озонowego шару призвела до того, що міжнародна спільнота

прийняла рішення про поступове припинення використання цієї групи холодоагентів і їх повну заміну на екологічно безпечні види. У країнах ЄС, США, Канаді та Японії вже припинили виробництво побутових кондиціонерів, що працюють на R22.

Сьогодні найперспективнішими з точки зору екологічної безпеки є озонобезпечні холодоагенти. До них належать фреони без вмісту хлору — група HFC, а також альтернативні холодоагенти, що активно розробляються в розвинених країнах. Серед них фреони R125, R132, R134a, R152a, R32, R600, R717 та інші. Серед найбільш екологічно чистих холодоагентів, доступних на ринку, є R-290 та R-600A. Вони належать до групи вуглеводнів (HC) і мають хімічні назви «Пропан» (R-290) та «Ізобутан» (R-600A). Ці холодоагенти повністю позбавлені галогенів, не руйнують озоновий шар і мають низький потенціал глобального потепління. Їхня енергетична ефективність є високою, але через вуглеводневу природу вони легкозаймисті.

На сьогодні найекологічнішими варіантами серед холодильних агентів є R134A, R-407C і R-410A. Виробники стверджують, що ці речовини є повністю безпечними для довкілля. Альтернативні холодоагенти можуть бути як чистими речовинами, так і сумішами різних фреонів у відповідних пропорціях. Наприклад, холодоагент R410A, що використовується як заміна для R22 у побутових кондиціонерах, є сумішшю фреонів R32 і R125 у співвідношенні 50/50. Це створює певні особливості для обслуговування і ремонту обладнання, оскільки при навіть частковому витокі необхідно повністю замінювати холодоагент. Незважаючи на це, технічні характеристики та економічність обладнання, що працює на таких холодоагентах, значно вищі.

В даній роботі розглядається вибір найбільш оптимального альтернативного холодоагенту для ретрофіту (модернізації) систем охолодження.

Для роботи були взяті холодоагенти R-1234yf – Тетрафторпропен, R-513A який піде на зміну застарілого R134A, але водночас це суміш того самого хладогенту R134A (44%) та R1234yf (56%), наступний R-448A негорюча азеотропна суміш хладогентів R-32 (26%), R-125 (26%), R-1234YF (20%), R-134A (21%) и R-1234ZE (7%) не містить хлорфторвуглеців (CFC), а також новий майже не тестований хладон R-455A суміш 75.5% (R1234yf), (21.5% R32), (3% Co2).

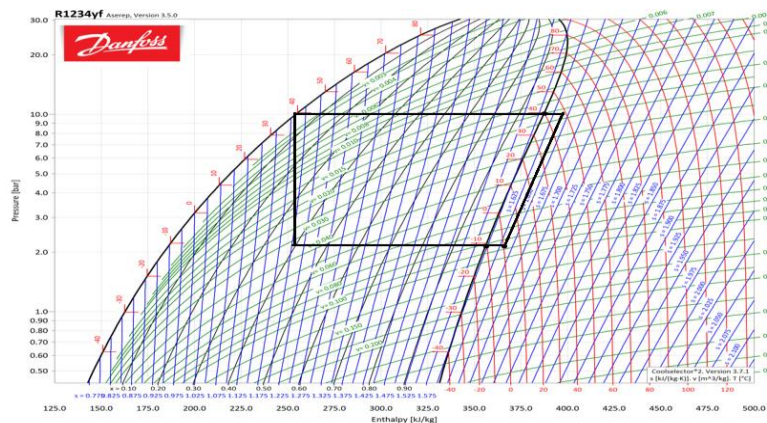


Рис. 1 - Термодинамічний цикл холодильної установки, працюючої на холодоагенті R1234yf ($t_0 = -15$)

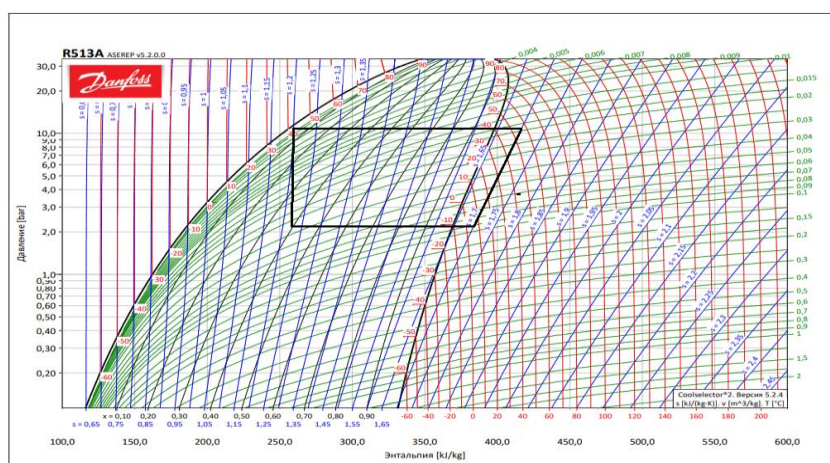


Рис. 2 - Термодинамічний цикл холодильної установки, працюючої на холодоагенті R513A ($t_0 = -15$)

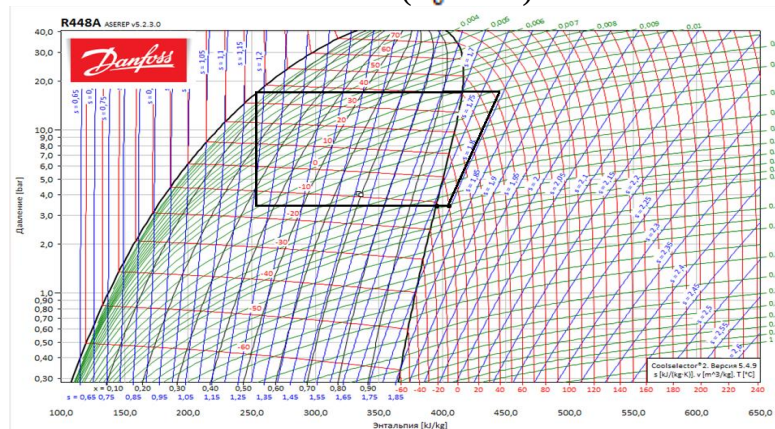


Рис. 3 - Термодинамічний цикл холодильної установки, працюючої на холодоагенті R448A ($t_0 = -15$)

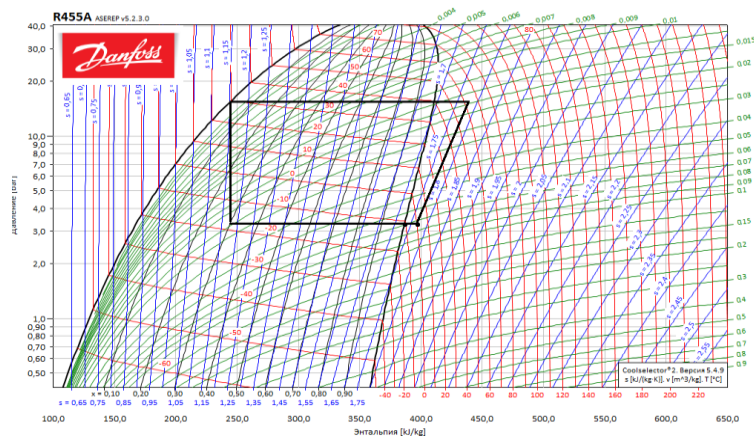


Рис. 4 - Термодинамічний цикл холодильної установки, працюючої на холодоагенті R455A ($t_0 = -15$)

Порівняльний аналіз експлуатаційних показників холодильної установки, працюючої на різних холодильних агентах

Задана холодильна установка перераховується на холодоагентах R1234yf, R513A, R448A, R455A. Для дослідження зміни експлуатаційних показників ХУ, обираємо наступні найбільш характерні експлуатаційні показники: теоретичний, ефективний та електричний холодильні коефіцієнти $\epsilon_T, \epsilon_e, \epsilon_{ел}$.

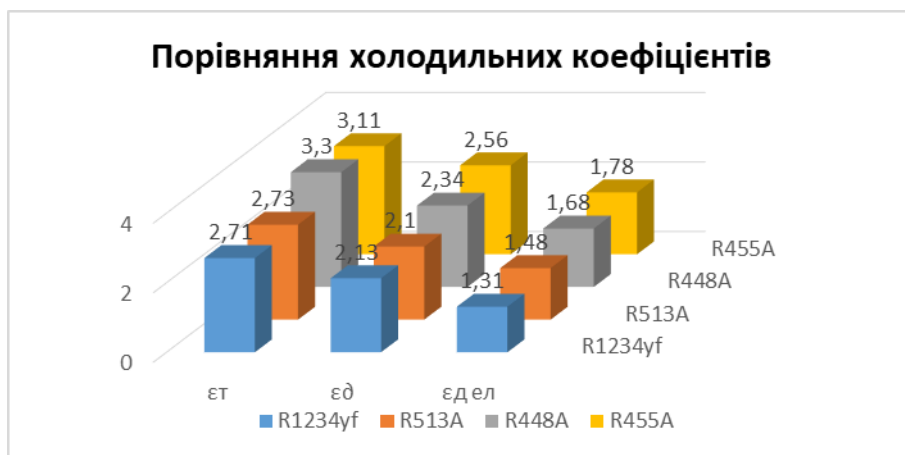


Рис. 5 - Холодильні коефіцієнти

Розглянувши результати розрахунків параметрів холодоагентів у вузлових точках можна побудувати таблиці, графіки та гістограми для подальшого порівняння показників.

Висновки

Проведено порівняльний аналіз енергетичних характеристик при умові використання холодильних агентів R1234yf, R513A, R448A, R455A в інтервалі температур випарювання $-25 \div +5$ °C, який охоплює практично майже весь діапазон роботи суднових холодильних установок, провізійних камер та рефрижераторних контейнерів, впритул наближаючись до режимів роботи холодильних установок, систем комфортного кондиціювання повітря.

Для оцінки теплової ефективності можливо використовувати дійсний холодильний коефіцієнт та дійсний електричний холодильний коефіцієнти. Для оцінки енергетичних затрат на експлуатацію використовується показник ефективної потужності компресора.

По зазначеним показникам аналіз результатів розрахунків показує наступне:

При температурі $t_0 = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$ найбільше значення холодильного коефіцієнту характерне для R448A та R455A.

Так, для температур кипіння близьких до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, для нових холодильних установок безумовно можна рекомендувати до використання R448, так як фактична потужність більша за R455A, та додавання холодагенту в систему набагато простіше через спрощенну складову суміші.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Галян І.С., Козьмініх М.А. Ольшамовський В.С. Аналіз ефективності застосування сучасних холодильних агентів в транспортних холодильних установках. Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вип. 38. –Одеса: НУ «ОМА», 2019.
2. Загоруйко В.О., Голіков О.А. Суднова холодильна техніка. –Київ: Наукова думка, 2000.
3. Козьмініх М.А., Ольшамовський В.С. Удосконалення суднових систем вентиляції та комфортного і технічного кондиціонування повітря. Вчені записки таврійського національного університету
4. ім. В.І.Вернадського, серія: Технічні науки, том 31 (70) №1, 2020.

Застосування наноматеріалів для збільшення ресурсу суднового обладнання

У морському транспорті велика кількість проблем вимагає ефективного вирішення. Серед основних зазначимо: ефективність суднових систем, збільшення ресурсу суднових механізмів та корпусу, збільшення ККД механізмів і захист довкілля від викидів. та з'ясування механізму дії наночастинок (НЧ) для управління процесами з їх участю. У 21 столітті розвиток матеріалознавства спрямований на отримання матеріалів з особливими властивостями, коли досліджуються характеристики макрооб'єктів при вивченні їх властивостей на молекулярному рівні. Ця область науки і техніки отримала назву нанотехнологія [1], яка дозволяє вирішувати більшість цих проблем шляхом використання унікальних властивостей наноматеріалів.

Пояснити унікальні властивості та поведінку НЧ без врахування ролі їх розміру неможливо.

Роль поверхневих атомів. Проведемо оцінку [2] долі атомів (молекул), що знаходяться на поверхні сферичної частинки діаметром d до загальної кількості атомів у об'ємі частинки:

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

де δ – товщина поверхневого шару частинки.

Товщина поверхневого шару НЧ δ визначається 3-4 моношарами часток і має величину $\sim 0,5$ нм. Тоді при розмірі сферичної частинки 50, 20 та 10 нм, частка поверхневих атомів складає 6%, 15% та 30%, відповідно.

Положення поверхневих атомів відмінні від об'ємних за рахунок ненасичених електронних зв'язків у порівнянні з атомами в об'ємі НЧ. Тому у разі контакту НЧ з оточенням орбіталі можуть виступати за межі об'єкта та здійснювати перехід електронів між об'єктами.

Збільшення долі поверхневих атомів (молекул) приводить до активної взаємодії частинок, що знаходяться на поверхні НЧ із зовнішнім середовищем, що відіграє визначальну роль у формуванні їх незвичайних фізичних і механічних властивостей.

Поверхнева енергія наночастинок. Крім того розміру частинки приводить до збільшення сумарної поверхневої енергії, а тому до нерівноважного стану НЧ. Прості розрахунки [3] показують, що при дробленні частинки сферичної форми на N дрібних частинок із умови збереження об'єму $V = Nv$, отримуємо

$$\frac{4}{3} \pi R^3 = N \frac{4}{3} \pi r^3, \quad (2)$$

де R – радіус початкової частинки та r – розмір утворених частинок. Звідки знаходимо співвідношення між радіусами

$$r = N^{-\frac{1}{3}} R. \quad (3)$$

Оскільки поверхнева енергія пропорційна площі поверхні, то відношення утвореної поверхневої енергії до початкової дає:

$$\frac{w_r}{w_R} = \frac{N\sigma r^2}{\sigma R^2} = N \left(\frac{r}{R}\right)^2,$$

що з урахуванням (3) дає

$$\frac{w_r}{w_R} = N \cdot N^{-\frac{2}{3}} = N^{\frac{1}{3}} = \frac{R}{r} \quad (5)$$

Отже, поверхнева енергія зростає у стільки разів, у скільки зменшується розмір частинки. Тобто при заміні частинок мікронних на нанорозмірні у тисячу разів збільшується поверхнева енергія, а надлишкова поверхнева енергія зумовлює їх нерівноважний стан, отже до підвищеної активності при взаємодії з оточенням [4].

Оцінимо надлишкову поверхневу енергію металічного зразка Al масою $m = 1$ г утвореного сферичними наночастинками розміром $r = 10$ нм. Об'єм НЧ $V_o = \frac{4\pi r^3}{3} = 4,2 \cdot 10^{-24}$ м³, її поверхня $S_o = 4\pi r^2 = 1,26 \cdot 10^{-15}$ м². Значення густини $\rho = 2,7 \cdot 10^3$ кг/м³, тоді маса одної НЧ $m_o = 1,13 \cdot 10^{-20}$, отже загальна кількість частинок $N = m/m_o = 8,8 \cdot 10^{16}$, а їх сумарна площа поверхні $S = S_o N = 110$ м². Оскільки питома поверхневої енергії для НЧ Al $\sigma = 0,13$ Дж/м², то сумарна поверхнева енергія $W = \sigma S = 14,3$ Дж.

Щоб, досягнути отримане значення, знайдемо висоту на яку підніметься даної маса у полі тяжіння Землі за рахунок надлишкової поверхневої енергії $\Delta h = \frac{W}{mg} = 1460$ м. Тому НЧ при взаємодії з оточенням, наприклад при введенні їх у мастильний матеріал, намагаються зменшити свою поверхневу енергію і ефективно впроваджуються у поверхні циліндра чи підшипника, ефективно збільшуючи їх міцність та резерв.

Зменшення температура плавлення частинки. Зростання поверхнева енергія частинки при зменшенні її розміру зумовлює зміну температури плавлення. Вираз для температури плавлення сферичної частинки радіуса r має вигляд [4]

$$T_{nl}(r) = T_{nl} \left(1 - \frac{2}{L\rho_T r} (\sigma_T - \sigma_p) \left(\frac{\rho_T}{\rho_p} \right)^{2/3} \right), \quad (6)$$

де T_{nl} та $T_{nl}(r)$ – температури плавлення масивного матеріалу та наночастинки радіуса r даного матеріалу, ρ_T, ρ_p і σ_T, σ_p – густина і поверхневий натяг твердого та рідкого стану, L – питома плавлення матеріалу.

Наприклад, температура плавлення кристалу CdS становить близько 1600 °С, а наночастинки CdS розміром 2 нм плавляться при 400 °С; для кристалів міді температура плавлення 1073 °С, а для наночастинок розміром 20 нм – 490 °С. Аналогічне суттєве зниження температури плавлення зі

зменшенням розмірів нанoeлементів характерне для всіх наноматеріалів [4], які утворені з НЧ розміром менше 100 нм.

Однoчасне збільшення міцності та пластичності наноматеріалів. Для металічних матеріалів вплив розміру зерна d на твердість і межу текучості описується співвідношенням Холла-Петча [1]

$$H = H_0 + kd^{-1/2};$$

$$\sigma_y = \sigma_{y0} + k'd^{-1/2},$$

де H_0, σ_{y0} – твердість та внутрішня напруга (яка перешкоджає розповсюдженню пластичного зсуву в тілі зерна) при великому розмірі зерна, k – коефіцієнт пропорційності для кожного матеріалу.

Відомо, що для звичайних матеріалів чим він міцніший тим менше ресурс його пластичності. Однак, було експериментально доведено, що в отриманих наноструктурних зразках можуть спостерігатися одночасно дуже високі властивості міцності та надпластичність як при відносно низьких так і високих температурах [5]. Зростання як міцності так і пластичності проявляють метали також після інтенсивних пластичних деформацій.

Механізм дії наночастинок. Наведемо основні механізми взаємодії наночастинок з парами тертя [6]. Процес **згладжування** зводиться до того, що наночастинок неорганічних матеріалів запобігають утворенню зварних швів між поверхнями зсуву, шляхом переносу матеріалу наночастинок на зсувні поверхні (рис.1).

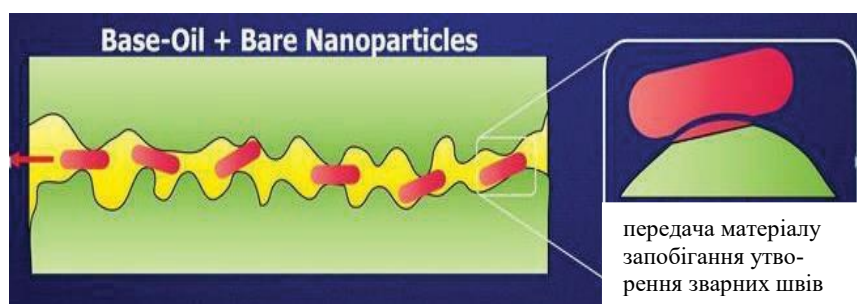


Рис.1. Ілюстрація процес згладжування наночастинок[66]

Таке “штучне згладжування” призведе до поліпшення трибологічних властивостей, в першу чергу завдяки зменшенню шорсткості поверхні.

Процес формування трибоплівки (утворення плакувальної плівки-рис.2) полягає у тому, що в граничних умовах змащення наночастинок, дисперговані у мастильний матеріал, можуть вбудовуватися у матеріал пар тертя [7], утворювати захисну плівку на поверхнях, що труться.

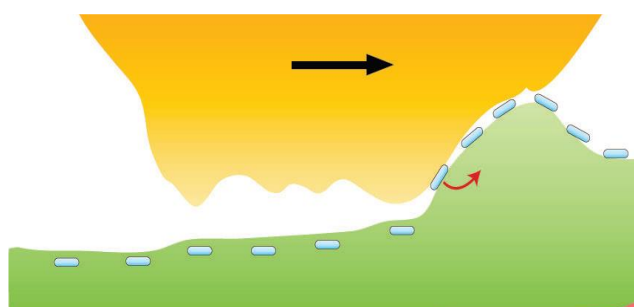


Рис.2. Схема вбудовування твердих наночастинок у покриття [7]

перговані у мастильний матеріал, можуть вбудовуватися у матеріал пар тертя [7], утворювати захисну плівку на поверхнях, що труться.

Утворена з НЧ плівка, володіє унікальними властивостями: вони мають велику міцність і одночасно велику пластичність, гарну теплопровідність, збільшує

фактичну площу контакту, знижує коефіцієнт тертя й зношування, захищає поверхні від схоплювання [7]. Як відомо, поєднання міцності і пластичності, що проявляється лише для НМ, є необхідною умовою для збільшення ресурсу пар тертя.

Ефективність дії наночастинок. Компанія «Nanol Technologies Ltd.» (Фінляндія) розробляє, виготовляє та реалізує присадки і добавки до змащувальних матеріалів, моторних олів і пального, яке використовується у автомобільній сфері та на морському транспорті [8]. Інноваційна технологія полягає у формуванні НЧ міді захисного шару на поверхнях тертя, який не дає водню руйнувати контактні поверхні та у продовж тривалого проміжку часу захищає зони тертя від зносу, знижує робочу температуру вузлів тертя і подовжує термін служби деталей та машин. Добавка також має здатність відновлювати наноплівку та забезпечувати надійну покращену продуктивність.

У період з 2010 по 2017 роки було проведено 16 натурних і 4 стендових випробування з вмістом 0,3% «Nanol» у суднових моторних оливах і мастилах, а також 15 лабораторних трибо випробувань зі вмістом 0,3% ~ 3% «Nanol» в мастилі для змащування [8]. Більше того, стендові випробування в одиничних спостереженнях показали зниження тертя на 4%, зниження витрати палива до 3% і збільшення крутного моменту та потужності на 1% в дизельних двигунах різного типорозміру (600 ~ 4000 кВт).

Було виявлено [9], що суспензія мастильного матеріалу, яка містить НЧ Al_2O_3 та TiO_2 , найбільш ефективно – до 50% знизилася зношування в умовах граничного та змішаного змащування, тобто в області ВМТ та НМТ, та до 30% знизилася швидкість зношування поршневих кілець.



Рис. 3. Зношування підшипників кочення: вгорі підшипник після 1000 годин експлуатації, внизу з використанням нанопорошку Al_2O_3 після 6000 годин

На рис. 3 наведені результати випробувань на реальному двигуні при високих навантаженнях підшипника: вгорі підшипник, який експлуатувався 1000 годин з використанням стандартних присадок до мастильного матеріалу мікронних розмірів, а внизу такий самий підшипник при експлуатації протягом 6000 годин з використанням присадки 30 мг нанопорошку оксиду алюмінію на 1 літр мастильного матеріалу [9]. Ефект зменшення зношування на порядок зумовлений зміною механізму взаємодії нанопри-

садок з сувніми поверхнями у порівнянні з механізмом дії традиційних присадок мікронних розмірів.

Досягнення нанотехнологій значною мірою сприяють розробці екологічно чистих морських покриттів підводної та надводної частини корпусу суд-

на [10]. Покриття з НЧ срібла запобігає прилипанню морських і прісноводних водоростей і перешкоджає осіданню мідій завдяки модифікації структури біоплівки. Механізм ґрунтується на здатності іонів Ag^+ закріплюватися на клітинних стінках і взаємодіяти з групами більшості життєво важливих ферментів, що призводить до дезактивації ферменту, зупиняє ріст бактерій та призводить до загибелі бактеріальної клітини. НЧ оксидів металів, такі як ZnO , TiO_2 , SnO_2 , V_2O_5 , мають високу фотоактивність і використовуються для антимікробних, само очищувальних, само відновлюваних, антикорозійних і антибіотичних застосувань

ВИСНОВКИ

Наноструктуровані матеріали одночасно мають збільшену міцність та пластичність, корозійну стійкість та утворюють зносостійку і міцну трибоплівку на зсувних поверхнях. Очища НЧ зменшують забруднення довкілля і надійно захищають підводну частину корпусу судна.

Широке застосування наноматеріалів у судновій галузі приведе до суттєвого збільшення ресурсу обладнання та зменшення витрат палива, зниження забруднення довкілля та економії ресурсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kumar Phany. Principles of Nanotechnology /Ph. Kumar / /2Nd.Edish, [Scitech Publications, 2020. – 115 p.](#)
2. Kozytskyi S. V. Properties and behavior of nanoparticles /S.V.Kozytskyi, S. V. Kiriian. // Фізика аеродисперсних систем. – 2022. – №44. – С. 15–26.
3. Козицький С. В. Особливості поведінки наночастинок при взаємодії з парами тертя / С. В. Козицький, С. В. Кіріян. // Суднові енергетичні установки 2020 – № 40. с. 127-133.
4. [Olcay Özdemir](#) Recent Progress on the Applications of Nanomaterials: A Review / [Olcay Özdemir](#) and [Turkan Kopac](#) // Materials (Basel). 2022.
5. Kozytskyi S. V. Effectiveness of nanomaterial utilization in ship's mechanisms / S. V. Kozytskyi, S. V. Kiriian. // Суднові енергетичні установки. – 2019. – №39. – С. 101–106
6. Tribological properties of nanoparticle-based lubrication systems: a dissertation for the degree of doctor of philosophy //Bassem A. K. – Texas A&M University, 2013. p.143.
7. Козицький С. В. Застосування наночастинок для збільшення ефективності суднових механізмів// С. В. Козицький, С. В. Кіріян /// Суднові енергетичні установки 2023 – № 46. с. 127-133.
8. Nanol Technology. – Access mode: <https://nanol.eu/technology>. Fighting friction with chemistry and innovation.htm.
9. Козицький С. В. Застосування наноматеріалів для збільшення надійності та ресурсу суднових установок// С. В. Козицький, /// Суднові енергетичні установки 2024 – № 48. с. 127-133
10. Aghajani, M., and Esmaeili, F. (2021). Anti-biofouling Assembly Strategies for Protein & Cell Repellent Surfaces: a Mini-Review. Journal Biomater. Sci. Polym. Edition 32, 1770–1789. doi:10.1080/09205063.2021.1932357

Парван О. Л., Голюков В.А.

Национальный университет «Одесская морская академия»

Покращення екологічності морських суден засобами очищення нафтоскидальних вод

Застосування конвенції MARPOL 73/78 обмежує зброе нафти продуктів та нафтопродуктів шкідливих та небезпечних речовин з суден особливо в особливих районах плавання від 15млн до 0 в залежності від конструктивних особливостей вантажовмісності паливо та олії, а також термін експлуатації.

При знаходженні суден в порту нафтопродукти та лояльні води здаються на берегову очищувальну станцію або зливну відстійну ємність встановлено на початку або в кінці причалу.

Система автоматичного виміру реєстрація та управління скидами нафти та обладнання для фільтрації нафти встановлена як на судні так і на березі. В залежності від строку експлуатації підлягає модернізації для зниження ступеня ризику від розлив запобігання аварій.

На нових суднах танки для нафтових домішки проектується так щоб облегшити їх очищення і задачу замінників у приймальні споруді.

Трубопроводи у шламових танках не повинне мати прямого з'єднання з забортним зливним з'єднання, а нагнітали нафти та шлаку мали з'єднання стандартної форми.

Основним з головних завдань сучасності було і остається охорона водних ресурсів планети від забруднення нафтовою й нафтопродуктами.

Подальший розвиток судноплавства та зріст обсягів вантажоперевезень тягне за собою збільшення викиду нафтовміщувальних вод (НВВ) з суден.

В останні роки значне підвищення вимог до якості очищення НВВ у зв'язку з необхідністю строгого дотримання змісту «Міжнародної конвенції» по запобіганню забруднення з суден» (MARPOL 73/78 з додатками) за для кого вміст нафтопродуктів в очищених НВВ, що скидається з суден не повинен перевищувати 15 мил.⁻¹ або 1/150000000, і на сьогоднішній час складає суттєву проблему [1].

Актуальність магістерського дослідження виходить як з основних положень MARPOL 73/78 . так і з питання охорони навколишнього середовища відображених в Конституції України.

Тема дослідження обґрунтована за результатами огляду та аналізу судових НВВ, а також засобів і способів їх очищення.

Об'єкт дослідження представлений судовою системою для очищення НВВ.

Предмет дослідження представлений судовими НВВ

Мета дослідження полягає у мінімізації концентрації нафтопродуктів, які скидаються з судна в морську або річкову воду.

Гіпотеза дослідження полягає в тому що дослідження мети здійснюється зміною конструктивних особливостей СОНВВ і її елементів, керуємим впливом на НВВ та технологією водообробки.

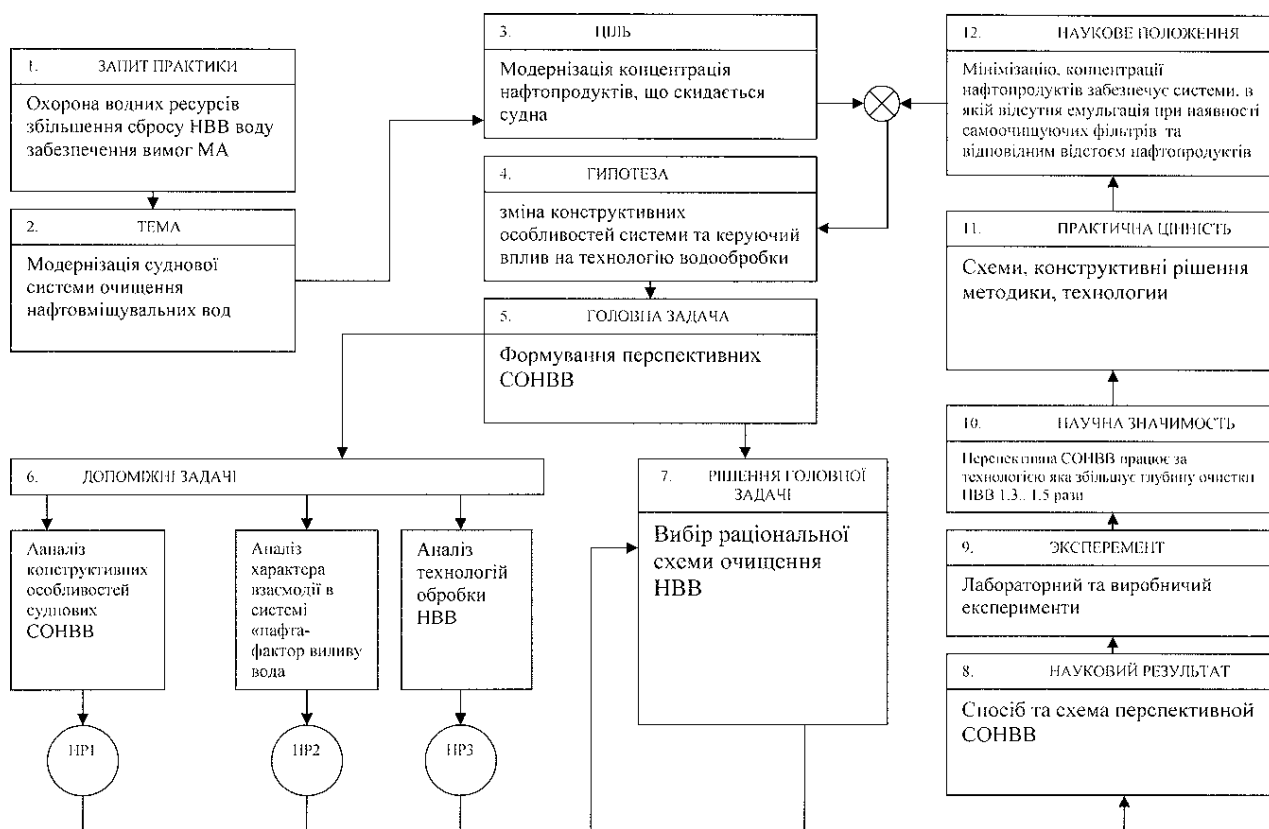


Рисунок 1. – Технологічна карта дослідження на тему «Модернізація суднової системи очищення нафтовмішувальних вод»

Рішення першої допоміжної задачі здійснено методом аналізу конструктивних особливостей суднових СОНВВ, які повинні забезпечувати ступінь очистки від менш ніж 15млн.

Рішення другої допоміжної задачі пов'язане з аналізом характеристик НВВ, кількість яких в основному визначається водовміщенням та віком судна, потужністю енергетичної установки, а також залежить від технічного стану устаткування та від виконання правил його експлуатації [2]. Стан нафти у НВВ має велике значення для вибору способу очистки та розподіляється на: свободну нафту, нестабілізовані емульсії, стабілізовану емульсію, розчинну нафту та нафту, що покриває механічні домішки.

Рішення третьої допоміжної задачі полягає в аналізі способів очистки НВВ, яка визначається ступенем очистки.

Рішення головного завдання полягало у досягненні кращої якості очистки НВВ у сепараційних установках. Для цього на лінії всмоктування НВВ встановлений нагнітач. При цьому зникає «вторинне» емульгування, що веде до створення мілких краплинок нафти, а перехід сепараторів на вакуумний режим, знижує концентрацію нафти на їх виході у 1,5...2,0 рази. З ціллю модернізації СОНВВ застосований ежектор за відповідною схемою.

Таким чином в режимі очистки ежектор створює вакуум в сепараторі, а в режимі видалення надлишковий тиск. Тому в СОНВВ не виникає додаткового емульгування нафтопродуктів, здійснюється додаткове зниження їх концентрації в очищеній воді шляхом розбавлення робочою речовиною ежектора, що при малих габаритах сепаратної установки задовольняє вимоги MARPOL 73/78 з додатками.

ВИСНОВОК

Застосування конвенції MARPOL 73/78 обмежує зброє нафти продуктів та нафтопродуктів шкідливих та небезпечних речовин з суден особливо в особливих районах плавання від 15млн до 0 в залежності від конструктивних особливостей вантажовмісності паливо та олії, а також термін експлуатації.

При знаходженні суден в порту нафтопродукти та лояльні води здаються на берегову очищувальну станцію або зливну відстійну ємність встановлено на початку або в кінці причалу.

Система автоматичного виміру реєстрація та управління скидами нафти та обладнання для фільтрації нафти встановлена як на судні так і на березі. В залежності від строку експлуатації підлягає модернізації для зниження ступеня ризику від розлив запобігання аварій.

На нових суднах танки для нафтових домішки проектується так щоб облегшити їх очищення і задачу замінників у приймальні споруді.

Трубопроводи у шламових танках не повинне мати прямого з'єднання з забортним зливним з'єднання, а нагнітачі нафти та шлаку мали з'єднання стандартної форми.

Подальша верифікація запропонованих конструкційних особливостей СОНВВ підтвердила доцільність модернізації, наукову значимість і практичну цілісність магістерської роботи, а також дозволила сформулювати її наукове положення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Розвиток сучасної теорії і практики технічної експлуатація морського і річкового флоту: методи, технології: монографія / Букарос А.О., Валенская Д.Б., Волянський С.М. та інші; за. наук. ред.. В.А. Голікова та О.А. Оніщенко,- Миколаїв: Іліон, 2022.-396с.
2. Загоруйко В.О., Голіков О.А. Суднова холодильна техніка / підручник; під. заг. редакц В.О. Загоруйка,- Київ: Наукова думка, 2002.-575с.
3. Істомін В.І. Запобігання забруднення моря нафтою при експлуатації суден / Навчальний посібник.-Севастополь: СевНТУ, 2003.-100с.

Сила М.В., Хлієва О. Я.

Національний університет «Одеська морська академія»

Аналіз впливу забруднення поверхні теплообміну на теплові та гідравлічні характеристики кожухотрубного теплообмінника заборотної води

Надійність внутрішніх суднових систем заборотної води має важливе значення для належного функціонування усього судна. Морська вода подається на борт для широкого спектру використання, насамперед для відведення теплоти з метою підтримання потрібних температур (наприклад, двигунів), охолодження (наприклад, конденсаторів кондиціонерів повітря та холодильних машин) та як джерело води для різноманітних систем (наприклад, при отриманні питної води, системи пожежогасіння, баластних систем).

Незважаючи на те, що забортна вода знаходиться всередині внутрішніх суднових систем лише короткий період часу, вона може переносити мікроорганізми по всій системі, що призводить до біологічного обростання, яке може порушити функціонування або цілісність цієї системи. Вплив біологічного обростання на роботу суднового теплообмінного обладнання полягає у підвищеній шорсткості поверхні трубопроводів (теплообмінної поверхні), обмеженні потоку води, корозії та збільшенні опору теплопередачі.

Метою дослідження було отримати розрахункові залежності зміни інтенсивності теплопереносу та гідравлічних втрат у трубному просторі теплообмінника від товщини біоплівки, що може утворюватися на теплообмінній поверхні.

Для аналізу були прийняті два встановлених у паралель кожухотрубних теплообмінників, призначені для охолодження прісної води з контуру охолодження суднових двигунів. Теплообмінники виробництва AlfaLaval марки Aalborg MX 30 - компактний кожухотрубний теплообмінник з U-подібними трубками. Діаметр кожуха 425 мм, довжина трубок (прямой частини) 1,4 м, площа поверхні теплообміну 22,04 м², маса теплообмінника 414 кг.

Робочі параметри були прийняті наступними: витрата теплоносія у міжтрубному просторі (прісна вода) – 900 л/хв., у трубному просторі (забортна вода) - 3200 л/хв. Температура теплоносія у міжтрубному просторі на вході у теплообмінник 85 °С, у трубному просторі на вході 25 °С. Розрахунок виконувався відповідно методики [1] з вибором критеріальних рівнянь для визначення коефіцієнтів тепловіддачі за [2]. Теплофізичні властивості для прісної та заборотної води знайдені за [3] та [1], відповідно.

Для теплообмінника з чистою поверхнею тепловий потік, що передається при заданих параметрах, склав $Q=2052$ кВт та температура заборотної води склала $t_x^{вих}=34,5$ °С, температура прісної води на виході $t_z^{вих}=71,3$ °С.

Щоб оцінити вплив біоплівки на поверхні теплообміну на інтенсивність переносу теплоти у теплообміннику, потрібно розуміти склад цієї біоплівки та її теплопровідність. Біоплівки складаються з бактерій, вбудованих у поверхнево-прикріплений позаклітинний матрикс, який складається в основному з полісахаридів і білків. Близько 97% маси біоплівок становить вода [4]. В дослідженнях [5] встановлено, що теплопровідність біоплівок істотно не відрізняється від води. Але, на відміну від води, можна вважати, що конвекція в біоплівки відсутня (з причини наявності матрикса, який перешкоджає вільному руху води в біоплівки).

Далі розрахунок виконувався з урахуванням наявності біоплівки як додаткового термічного опору. В результаті розрахунку були отримані залежності теплового потоку та вихідних температур теплоносіїв від товщини шару біоплівки на внутрішній стінках теплообмінника. Результати показали (рис. 1 та 2), що наявність біоплівки суттєво погіршує процес теплопередачі через стінки теплообмінника. Вплив біоплівки на процес теплопередачі полягає в появі додаткового термічного опору при передачі тепла від гарячого теплоносія до холодного. Зменшення теплової потужності призводить до того, що на виході вода, що охолоджується, матиме завищену температуру в порівнянні з проектними значеннями – рис. 2.

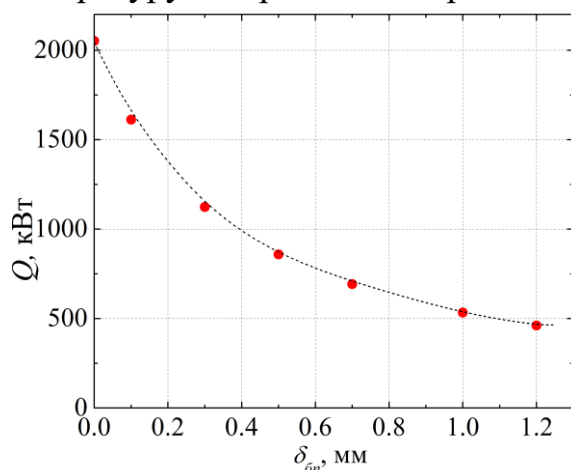


Рисунок 1 – Залежність кількості теплоти, що передається у теплообміннику від товщини біоплівки на внутрішній поверхні труб

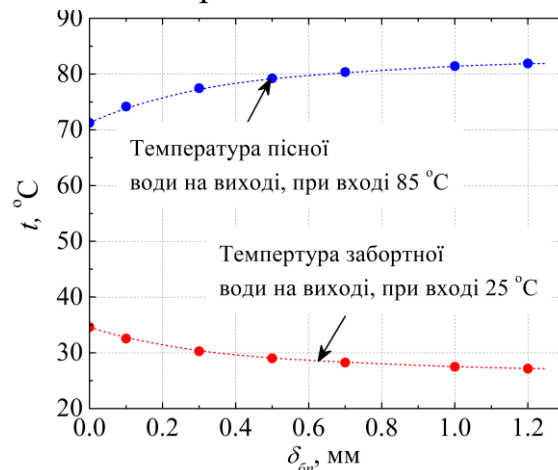


Рисунок 2 – Залежність температур теплоносіїв на виході з теплообмінника від товщини біоплівки на внутрішній поверхні труб

Далі був виконаний гідравлічний розрахунок для трубного простору теплообмінника, у якому очкується утворення біоплівки. Вплив наявності біоплівки на гідравлічні процеси в тракті теплообмінника полягає у зменшенні прохідного перерізу для забортної води. Це призводить до збільшення швидкості потоку (якщо не змінюється витрата), або до зменшення витрати (що пов'язано з особливостями роботи відцентрових насосів на певній гідравлічній мережі). Як зменшення діаметра, так і збільшення швидкості призводять до збільшення втрат тиску – рис. 3. При збільшенні шару біоплівки збільшуються втрати тиску, так, як наслідок це буде призводити до збільшення споживаної потужності насосів.

При певній товщині забруднення параметри роботи теплообмінника можуть настільки погіршитися, що буде потрібно виводити його з експлуатації та виконувати роботи по очищенню теплообмінника.

Виконаний аналіз впливу процесу утворення шару біоплівки на поверхні теплообміну зі сторони заборотної води показав, що наявність навіть невеликого шару забруднення призводить до погіршення роботи теплообмінника. Так, при товщині біоплівки на внутрішній поверхні трубок 0,4 мм, кількість теплоти, що передається, зменшується приблизно у два рази. Суттєво збільшується її втрати напору за рахунок забруднення: з 10 кПа при чистій поверхні до близько 15 кПа при товщині забруднення 1 мм.

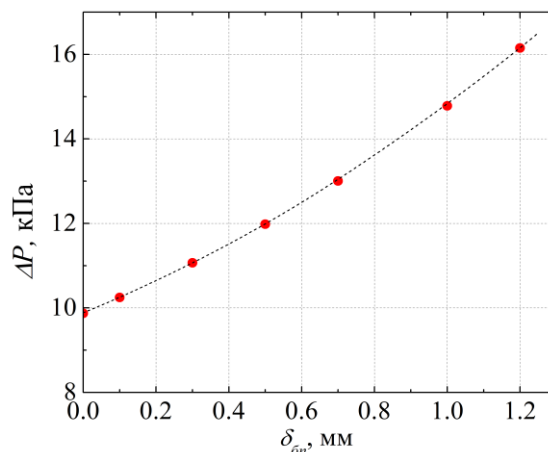


Рисунок 3 – Залежність втрат напору у трубному просторі теплообмінника (забортна вода) від товщини біоплівки на внутрішній поверхні труб

Теплообмінники, розраховані на тривалу роботу з заборотною водою повинні проектуватися з великим запасом площі теплообміну, яка буде затребувана за рахунок зниження коефіцієнта теплопередачі. Крім того, запасом потужності повинне обладати й насосне обладнання. Однак, основним напрямками підвищення ефективності теплообмінного обладнання з заборотною водою є застосування ефективних способів протистояння процесу утворення біологічних забруднень, та своєчасна обслуговування з метою очищення поверхонь теплообміну. Підтримка поверхні теплообміну в належному стані буде сприяти не тільки ефективності роботи теплообмінного обладнання, але й економії енергоресурсів, перш за все, електроенергії, що споживається насосами заборотної води.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Хлісіва О.Я., Шестопапов К.О., Стукаленко О.М. Розрахунок теплообмінного апарату: методичні вказівки. Одеса: НУ«ОМА». 2023. 59 с.
2. Воронін Л.Г., Степанюк А.Р., Ружинська Л.І. Основні залежності та приклади розрахунків теплообмінних апаратів: навчальний посібник. Київ: НТУУ „КПІ”, 2011. 68 с.
3. RefProp: Reference fluid thermodynamic and transport properties, NIST standard reference database. Version 9.1 mini (teaching tool for the introduction of thermodynamics to students). <https://refprop-mini.software.informer.com/9.1/>
4. Reyes-Romero D.F., Behrmann O., Dame G., Urban G.A. Dynamic thermal sensor for biofilm monitoring. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2014. Vol. 213. P.43-51.
5. Characklis W. G. Bioengineering report: Fouling biofilm development: A process analysis. *Biotechnology and Bioengineering*. 1981. Vol. 23. P. 1923–1960.

Забезпечення експлуатаційних показників паливної апаратури високого тиску суднових дизелів

Постановка проблеми в загальному вигляді. Використання в суднових дизелях палива з низьким вмістом сірки ускладнює процес їх експлуатації через постійні операції з переходу з одного сорту палива на інше. Найбільшого негативного впливу при цих переведеннях надається паливній апаратурі високого тиску – розпилювачам форсунок будь яких дизелів та трибосполученням плунжер – втулка паливного насоса високого тиску (для дизелів з розподільним валом, кількість та ресурс роботи яких ще достатньо великі). Зміна сортів палива необхідна під час заходів в Європейські порти та плаванні у спеціальних районах (Sulfur Emission Control Area – SECA). У цих районах необхідно використовуватися паливо вміст сірки в якому не перевищує 0,1 %. Переведення дизеля з одного сорту палива (з вмістом сірки до 0,5 %) на інший (з вмістом сірки до 0,1 % або на таке, що не містить сірку) має виконуватися відповідно до рекомендацій та вимог щодо заміни палива із заміною палива у всіх елементах системи. Цей процес може відбуватися від кількох годин до доби в залежності від типу паливної системи, витрат палива та технічних показників двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ). Під час виходу з порту та залишанні спеціальних районів необхідно виконання зворотного переведення дизеля на паливо з високим вмістом сірки. Усі переходи на різні сорти палива (через різні фізико-хімічні властивості) пов'язані зі зміною температурних показників їх експлуатації. Для палива із вмістом сірки 0,5%, експлуатаційна температура знаходиться в межах 90...105°C, для дистильованих палив (з вмістом сірки до 0,1%) 30...40°C. Часті переходи з важкого на дистильоване паливо, постійна зміна температурних режимів негативно впливають на моторесурс та довговічність паливної апаратури високого тиску, особливо на паливні насоси високого тиску (ПНВТ). Це призводить до підвищення зносу деталей паливної апаратури, а також підвищує питому витрату палива [1, 2]. Таким чином, низький вміст сірки в паливі негативно впливає на роботу та довговічність паливної апаратури, а разом із частою зміною палива суттєво скорочує її моторесурс. Все це підштовхує до пошуку вирішення питань, пов'язаних з підвищенням ефективності роботи паливної апаратури високого тиску суднових дизелів через часті зміни сортів палива.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує кілька шляхів для розв'язання цієї проблеми. Один із них це використання спеціальних присадок до палива з метою підвищення мастильних властивостей та покращення технічного стану прецизійних пар під час роботи на підвищеному навантаженні та використанні палива з низьким вмістом сірки [3, 4]. Також існує варіант поліпшення триботехнічних характеристик палив шляхом додавання до нього рослинних олій [5, 6]. Принцип дії протизносних присадок полягає в

утворенні міцної плівки на поверхні об'єкта, що захищається. Плівка складається із продуктів механохімічних перетворень присадки на поверхні металу. Спосіб формування залежить від режиму тертя. Під час гідродинамічного режиму цілком достатньо ефективної адсорбції (фізична адсорбція, хемосорбція) присадки, яка покращує змащувальні властивості палива. Під час граничного тертя переважними стають міжмолекулярні сили присадки та поверхневі сили, які формують біля поверхні стійкий шар палива, що виконую змащувальну дію. Однак використання цих присадок пов'язане з декількома складнощами. Перше – це безпосередньо самі поверхнево-активні речовини, специфіка їх зберігання та подальша експлуатація. Друге – витрати, підвищення яких у разі їх використання знижують економічність даного варіанту. Іншими можливими варіантами покращення триботехнічних властивостей є додавання мінеральних мастильних матеріалів. В результаті під час додавання такого мастила до палива з низьким вмістом сірки покращуються його змащувальні здібності. Одним із напрямів підвищення працездатності вузлів тертя є використання ультрадисперсних порошків м'яких металів, які розчинені в мастилі або в паливі. Найбільшого поширення набули порошки міді та солей міді, які вводяться в мастильні матеріали [2]. Таким чином, для вирішення цих проблем немає єдино правильного рішення, а можливо комплексне використання методів, при яких суттєво підвищується працездатність та моторесурс деталей паливної апаратури [3, 6].

Постановка завдання. З огляду на викладене, метою дослідження було визначення способу обробки контактуючих поверхонь паливної апаратури високого тиску судових дизелів, при якому забезпечуються мінімальні втрати енергії в трибологічній системі плунжер-паливо-втулка ПНВТ при одночасній підтримці заданих потужних характеристик ДВС.

Виклад основного матеріалу дослідження. Під час граничного тертя (або граничного мащення) однією з головних характеристик мастильного шару (який формується завдяки орієнтаційної впорядкованості молекул) є його товщина. Для збільшення товщини граничних шарів, що утворюються вуглеводними рідинами (паливом і мастилом), використовують спеціальні поверхнево-активні речовини (ПАР) або присадки, які з різною концентрацією додають в базові палива або мастила [7]. У разі, коли граничний шар утворюється паливом на поверхні плунжера ПНВТ, даний варіант неприйнятний, оскільки для будь-якої концентрації присадок збільшується циклова подача і, відповідно, час впорскування. Крім того, як правило, присадки, що вводяться, мають вартість, яка перевищує вартість як мастила, так і палива. Під час використання ПАР в циркуляційних системах мащення їх функціональні властивості використовуються тривалий період часу та можуть відновлюватися в процесі експлуатації. ПАР, які додаються в паливо, згорають в циліндрі. Тому для палив використовуються ПАР, що активують процес згоряння, а застосування ПАР, що сприяють збільшенню товщини граничного шару палива, якій знаходиться в трибо-сполученні плунжер-втулка є недоцільним ще й з фінансової точки зору.

Для прецизійних пар паливної апаратури високого тиску як метод, що сприяє зниженню зносу їх контактуючих поверхонь, може бути рекомендовано використання спеціальних органічних покриттів – епіламів. Як робоче середовище для процесу використання епіламів широкого поширення набули розчини перфторполіефіркіслоти загального вигляду $Rf-COOH$ (Rf – радикал, що містить фтор) в хладачах. Основна функція епіламу полягає в утриманні мастильного матеріалу в зоні тертя енергетичним бар'єром на межі «метал-епілам». Це досягається за рахунок збільшення крайових кутів змочування рідини, що знаходиться біля поверхні металу, покритого шаром епіламу (рис. 1), а також за рахунок переспрямованості вектора дії сили поверхневого натягу рідини. При цьому збільшується товщина граничного мастильного шару та його несуча здатність [4].

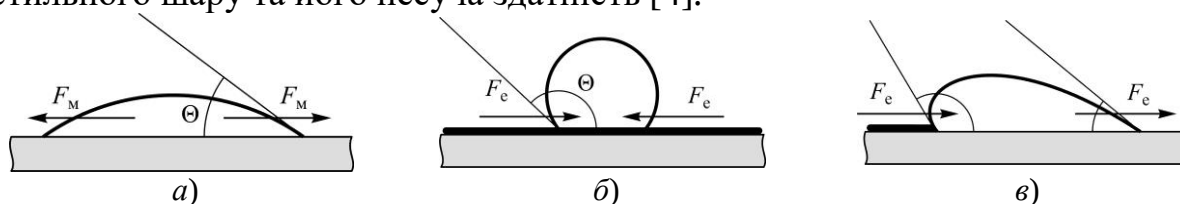


Рис. 1. Крайовий кут змочування і напрямок вектора сили поверхневого натягу рідини: *а* – шар палива на поверхні металу; *б* – шар палива на поверхні епіламу; *в* – шар палива на межі метал-епілам; θ – крайовий кут змочування; F_M , F_e – сили поверхневого натягу на металі і епіламі, відповідно

Застосування методу використання епіламів для прецизійної пари плунжер-втулка ПНВТ, не отримало широкого поширення в елементах суднових технічних засобів. Це, в тому числі, пов'язано з консервативністю суднової енергетики як науки і прагненням суднового екіпажу уникнути додаткових ризиків, що виникають під час впровадження інноваційних ідей. Особливо це стосується таких відповідальних вузлів, як паливна апаратура високого тиску. Однак, при якісних попередніх дослідженнях, а також при дотриманні технології нанесення епіламів на поверхні елементів паливної апаратури високого тиску, можливо створити умови, що сприяють підвищенню їх експлуатаційних характеристик та економічності роботи дизелів [8].

При проведенні експериментів були використані наступні епілами Polisam-05, Polisam-20MCK і Akwaline, що мають максимальну температуру експлуатації 450°C .

Результати даних експериментів наведені на рис. 2, де під позначенням ВП мається на увазі безпосередня товщина граничного шару «чистого» важкого палива, що утворюється на металевій поверхні, а під цифрами 1, 2, 3 – товщина граничного шару важкого палива, що утворюється на тій же поверхні при її покритті шаром епіламу.

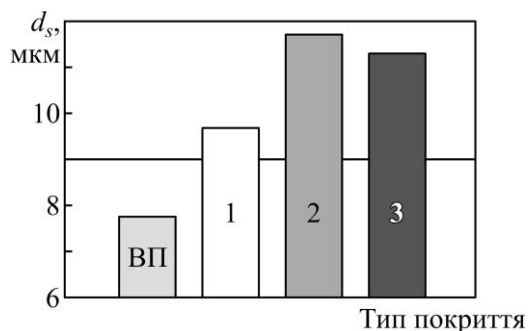


Рис. 2. Зміна товщини граничного шару палива при нанесенні епіламів на металеву поверхню: ВП – відсутність покриття (безпосередня товщина граничного шару важкого палива); 1 – Polisam-05; 2 – Polisam-20MCK; 3 – Akwaline

Як випливає з наведених результатів, використання епіламів забезпечує 1,47...1,52 кратне збільшення товщини граничного шару палива.

Енергетична ефективність будь-якої трибологічної системи оцінюється величиною втрат, до яких відносяться: втрати енергії на тертя (визначені коефіцієнтом тертя) і втрати матеріалу в результаті руйнування поверхонь тертя (визначені інтенсивністю зношування).

Тому, подальші дослідження

розглянутого способу зниження енергетичних втрат при терті за рахунок керування структурою мастильного шару палива полягали у визначенні зносу поверхонь плунжерів які були покрити шаром епіламу, а також тих, що знаходяться в звичайному стані. Дослідження виконувалися на судновому дизелі 6L18 MAN-Diesel. На плунжера ПНВТ, що забезпечують подачу палива в циліндри №№ 1 і 4, не наносилися шари епіламу. Як покриття поверхонь плунжерів використовувалася фторорганічні рідини Polisam-20MCK (яка наносилась на плунжера ПНВТ №№ 2 і 5) і Akwaline (яка наносилась на плунжера ПНВТ №№ 3 і 6).

Через проміжки часу, що відповідали 380, 820, 1210, 1640 і 2180 годинам роботи дизеля (тривалість яких обумовлювалася умовами експлуатації, що дозволяють виконати зупинку дизеля і ревізію його ПНВТ) виконувалося визначення площі зносу поверхні плунжерів (як зі шаром епіламу, так і таких, що працюють без нанесення цього покриття). Після чого отримані значення для кожної групи плунжерів усереднювалися, а дизелі знову вводилися в експлуатаційний режим роботи. Результати досліджень надані у вигляді номограми на рис. 3.

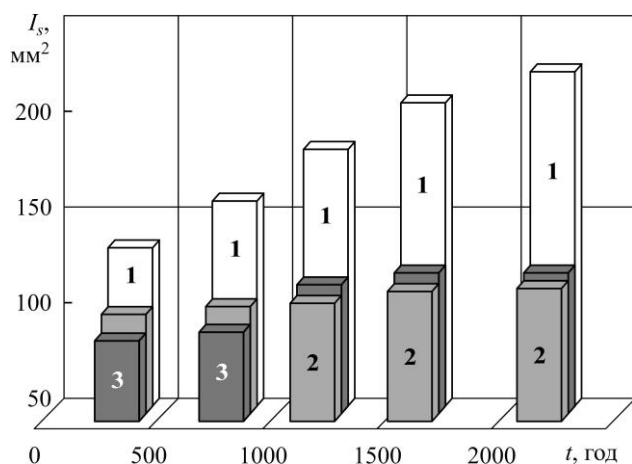


Рис. 3. Залежність зносу I_s плунжерів ПНВТ від часу роботи t суднового дизеля 6L18 MAN-Diesel: 1 – для плунжера без використання епіламу; 2 – для плунжера з нанесеним шаром епіламу Polisam-20MCK; 3 – для плунжера з нанесеним шаром епіламу Akwaline

Під час проведення експериментів через кожні 100 годин роботи проводилося періодичне індиціювання дизеля. При цьому циліндри з однотипним станом плунжерів ПНВТ (без використання епіламу, з нанесеним шаром епіламу Polisam-20МСК, з нанесеним шаром епіламу Akwaline) по черзі відключалися і по зміні частоти обертання виконувалася оцінка розподілу навантаження по циліндрах дизеля. В результаті було встановлено, що при зміні стану поверхонь плунжерів за рахунок використання епіламів навантаження на різні циліндри дизеля не змінюється.

Результати вимірювань наведені на рис. 3, з якого випливає, що реалізація в граничних шарах палива орієнтованої структури молекул і управління його товщиною за рахунок додаткового нанесення епіламів на прецизійні поверхні дозволяє в значній мірі знизити зношування плунжерних пар ПНВТ, підвищивши, таким чином, надійність і довговічність роботи даного вузла дизеля. Зменшення зносу прецизійної пари тертя плунжер – втулка ПНВТ також свідчить про зниження енергетичних витрат на забезпечення роботи цих елементів і підтверджує ефективність застосування методу використання епіламів.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Проведені дослідження і отримані результати дозволяють зробити наступні висновки.

Експлуатація трибологічної систем плунжер-втулка ПНВТ відбувається в режимі граничного тертя, а шар палива, що розділяє їх поверхні, виконує функції мастильного матеріалу.

Для прецизійної пари паливної апаратури високого тиску плунжер-втулка як метод, що сприяє зниженню контактних навантажень, які виникають на їх поверхнях, може бути використано нанесення епіламів.

Товщина шару епіламу на поверхні плунжерів ПНВТ складає 12,5...18,7 нм, а час, необхідний для його адсорбції не перевищує 10 хв.

Наночар епіламів, нанесений на металеву поверхню, призводить до ~1,5-кратного збільшення товщини граничного шару палива, що сприяє підвищенню пружних властивостей і розклінючого тиску палива, що розділяє прецизійну пару втулка-плунжер ПНВТ.

Нанесення органічних покриттів на поверхні прецизійних пар ПНВТ сприяє підвищенню енергетичної ефективності даної трибологічної системи, що (в залежності від часу експлуатації ДВЗ) визначається в 24,0...44,6 %-му зниженні зносу плунжерів.

Нанесення епіламів відноситься до категорії сучасних нанотехнологічних методів, вимагає попередніх досліджень щодо визначення оптимальних видів органічних покриттів і часу їх нанесення на прецизійні поверхні, але при цьому не викликає додаткових трудовитрат при його використанні на річкових і морських суднах, підвищує енергетичну ефективність трибологічних систем ДВЗ і може враховуватися при розробці методики визначення параметрів СЕУ.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sagin S.V. Determination of the optimal recovery time of the rheological characteristics of marine diesel engine lubricating oils // Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments” (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4). – P. 195-202. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52991
2. Сагін С.В. Зниження механічних втрат у суднових середньообертових дизелях // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. Вип. 40. – Одеса : НУ «ОМА». – 2020. – С. 5-11. DOI : 10.31653/smf340.2020.5-11.
3. Zablotsky Yu.V., Sagin S.V. Maintaining Boundary and Hydrodynamic Lubrication Modes in Operating High-pressure Fuel Injection Pumps of Marine Diesel Engines // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9. – Iss. 20. – P. 208-216. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i20/94490.
4. Сагін А.С., Заблоцький Ю.В. Регенерація змащувальних властивостей моторних палив і мастил під час експлуатації суднових дизелів // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 17-30. doi: 10.31653/smf45.2022.17-30.
5. Заблоцкий Ю. В. Исследование влияния органических покрытий на работу элементов топливной аппаратуры высокого давления судовых дизелей // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2015. – № 35. – С. 83-92.
6. Sagin S., Madey V., Stoliaryk T. Analysis of mechanical energy losses in marine diesels // Technology Audit and Production Reserves. – 2021. – № 5 (2 (61)). – P. 26-32. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.239698>.
7. Сагін С.В., Побережний Р.В. Аналіз ефективності використання в суднових дизелях палив різного фракційного та структурного складу // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 31-42. doi: 10.31653/smf45.2022.31142-42.
8. Мадей В.В., Волков О.М. Оптимізація процесу паливоподачі дизелів суден морського транспорту під час використання паливних сумішей до складу яких входить біодизельне паливо // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 43-56. doi: 10.31653/smf45.2022.43-56.

Аналіз впливу суднової холодильної техніки на навколишнє середовище

Сучасні екологічні вимоги в судноплавстві змушують переглянути підходи до проектування та експлуатації суднового холодильного обладнання. Одним із значних екологічних викликів є зниження викидів парникових газів та скорочення потенціалу глобального потепління (GWP), що є критичним для збереження екологічного балансу. Більшість суднових холодильних систем традиційно використовують холодоагенти з високим GWP, що значно підвищує рівень впливу на навколишнє середовище.

Зважаючи на це, метою дослідження цієї роботи є здійснення еколого-енергетичного аналізу впливу різних холодоагентів на роботу суднового холодильного обладнання з урахуванням екологічних наслідків. Робота спрямована на дослідження технічних та екологічних характеристик альтернативних холодоагентів, таких як R134a, R1234yf та R407F, з метою визначення оптимальних рішень для зниження негативного впливу на довкілля. Основна увага приділяється оцінці екологічної ефективності різних холодоагентів та їх впливу на глобальне потепління, зокрема за показником TEWI (Total Equivalent Warming Impact).

Для дослідження було обрано судновий кондиціонер повітря виробництва HI AIR KOREA Co., Ltd., який у базовій комплектації працює на холодоагенті R404A. Основні параметри системи охолодження: температура конденсації 42 °С, температура випаровування 7 °С, холодопродуктивність 174,1 кВт. Потенціал глобального потепління холодоагенту R404A складає 3920, що зумовлює необхідність пошуку альтернатив з меншим впливом на екологію.

Роботу кондиціонера повітря підтримує одноступеневий компресор працюючий на холодоагенті R404A, з наступними характеристиками:

- Модель – CM028
- Кількість циліндрів – 8
- Діаметр поршню – 70 мм
- Хід поршню – 70 мм
- Оберти – 1410 rpm

У дослідженні розглядаються альтернативи холодоагенту R404A, а саме: R134a, R1234yf та R407F. Використовуючи метод розрахунку енергетичних характеристик та впливу на довкілля, виконано порівняння екологічних і енергетичних показників кожного з холодоагентів. Оцінка включає розрахунок питомих викидів CO₂ та показника TEWI, який враховує прямі та непрямі викиди CO₂ за час експлуатації.

Розрахунок енергетичних характеристик холодильної машини суднового кондиціонера повітря виконувався за стандартною методикою, з урахуванням внутрішньої необоротності процесу стиснення холодоагенту в

компресорі, механічного та електричного ККД компресора, а також коефіцієнта подачі компресора.

На рис. 1 наведено порівняння основних характеристик холодильної машини суднового кондиціонера при роботі на обраних холодоагентах.

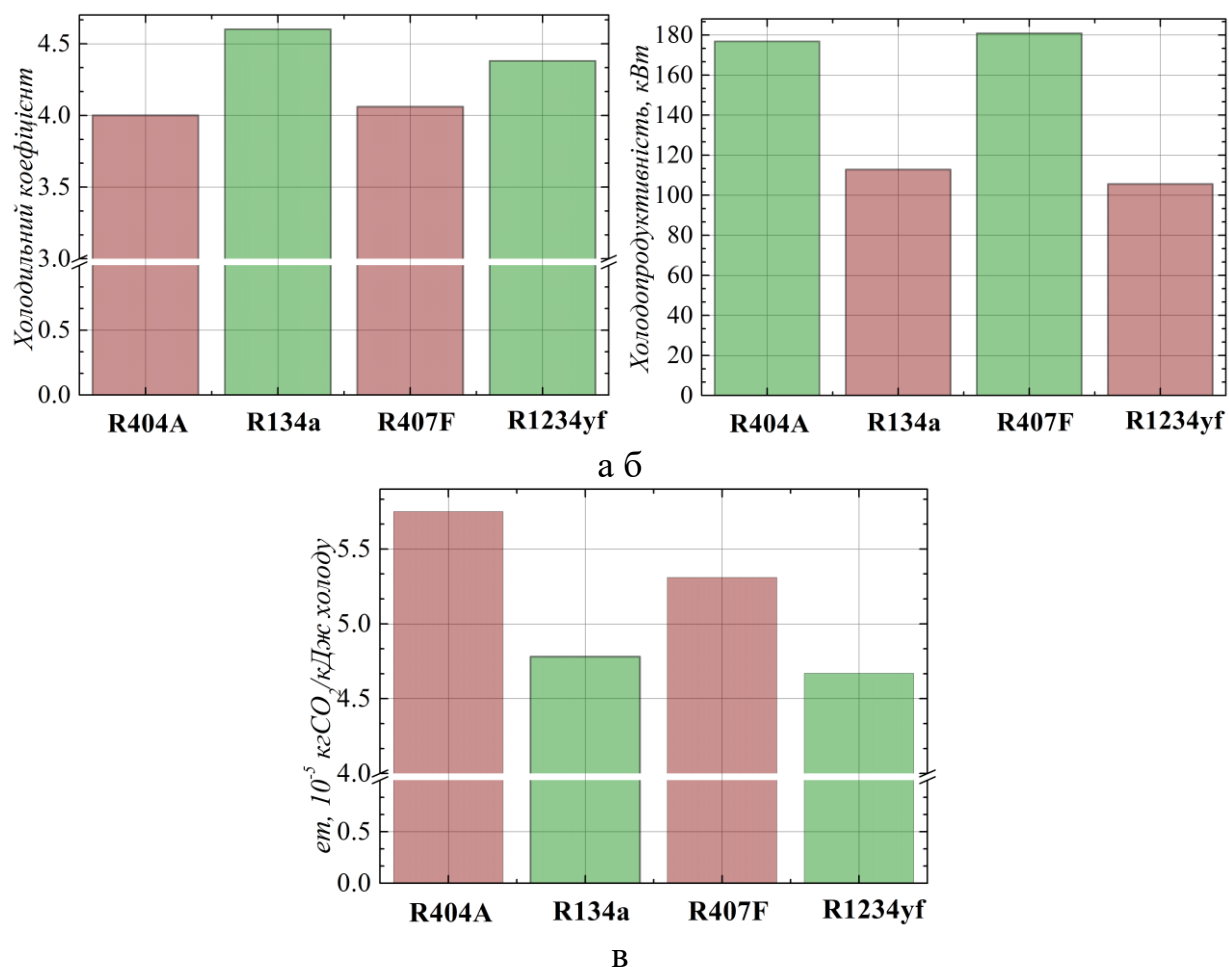


Рисунок 1. Порівняння основних еколого-енергетичних характеристик холодильної машини суднового кондиціонера при роботі на різних холодоагентах.

Розрахувавши енергетичні характеристики холодильної машини судного кондиціонера повітря видно (рис. 1.а та б), що холодоагент R134a забезпечує більш високий холодильний коефіцієнт, ніж холодоагент R404A та інші обрані для аналізу робочі тіла. Тобто з енергетичної точки зору він є найбільш доцільним робочим тілом для застосування у розглянутій холодильній машині кондиціонера. Однак, якщо проаналізувати холодопродуктивність, то вона для холодоагенту R134a суттєво менша, ніж для R404A. Тобто, при переході на R134a потрібно буде змінювати компресор холодильної машини кондиціонера на більший за об'ємною продуктивністю. Для більш об'єктивного вибору було проаналізовано далі доцільність застосування розглянутих холодоагентів з екологічної точки зору.

Виходячи з наступних розрахунків непрямих викидів CO₂, викликаних споживанням електроенергії при експлуатації суднового кондиціонера та

прямих викидів ПГ, спричинених витоками холодоагенту, можна сказати, що холодоагент R134a декілька програє холодоагенту R1234yf з за величиною емісії CO₂ на одиницю виробленого холоду (рис. 1.в). Пояснюється отриманий результат дуже малим значенням GWP для R1234yf у порівнянні з R134a. Обидва холодоагенти (R1234yf та R134a) забезпечує більш низькі значення емісії CO₂ на одиницю виробленого холоду, ніж холодоагент R404A та R407F у розглянутому кондиціонері. Для обох холодоагентів холодопродуктивність суттєво менша, ніж для R404A. Тобто, при переході що на R134a, що на R1234yf потрібно буде змінювати компресор холодильної машини. Однак, великим недоліком R1234yf є його висока вартість у порівнянні з R404A, R407F та R134a.

З розрахунків приведених вище, можна зробити такий висновок, що для розглянутої холодильної машини системи кондиціонування доцільним є перехід на холодоагент R134a замість R404A. Такі перехід буде сприяти як економії електроенергії на роботу системи кондиціонування, так й зниженню емісії парникових азів під час її експлуатації. Перехід на використання R1234yf можливо буде вимушеною мірою, коли на рівні законодавства будуть прийняті рішення з заборони використання R134a як такого холодоагенту, який має високий потенціал глобального потеплення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ASHRAE. Handbook of Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineering, Inc. Atlanta: ASHRAE. 2017.
2. Hafner I., Gabrielli C., Widell K. Refrigeration units in marine vessels: Alternatives to HCFCs and high GWP HFCs. Copenhagen: Nordic Council of Ministers. 2019.
3. REFPROP: Reference fluid thermodynamic and transport properties, NIST standard reference database 23, Version 8.0 / E. W. Lemmon, M. L. Huber, M. O. McLinden. Gaithersburg: National Institute of Standard and Technology, 2007.
4. Радченко М.І., Лехмус О.О. Суднові холодильні машини. Навчальний посібник. Миколаїв: НУК, 2015. 392 с.
5. Загоруйко В.О., Голіков О.А. Суднова холодильна техніка: Підручник. Київ: Наукова думка. 2002. 576 с.

Вибір раціонального типу компресора суднової системи кондиціонування повітря

Сучасні системи кондиціонування повітря на судах відіграють ключову роль у забезпеченні комфортних умов для екіпажу та пасажирів, а також у підтримці оптимального мікроклімату на борту. Ці системи складаються з кількох важливих компонентів, серед яких найбільш критичним є компресор. Правильний вибір компресора впливає не лише на ефективність роботи системи, але й на енергозбереження та надійність експлуатації. В сучасних умовах судноплавства важливо впроваджувати передові технології для оптимізації робочих процесів та зменшення витрат на паливо.

Компресори для суднових систем кондиціонування працюють у специфічних умовах, таких як змінні температури, вібрації та обмежений простір для встановлення обладнання. Це вимагає особливої уваги до їх вибору та інтеграції у загальну систему. Найбільше поширення на сьогодні у суднових системах кондиціонування повітря знайшли поршневі компресори відкритого типу в силу їх простоти конструкції на невеликій вартості.

Гвинтові та спіральні компресори (рис. 1) сьогодні є найбільш раціональними рішеннями для сучасних суднових систем завдяки їх високій енергоефективності та надійності. Вони здатні працювати в різних режимах навантаження, забезпечуючи стабільну роботу системи за мінімальних витрат енергії.

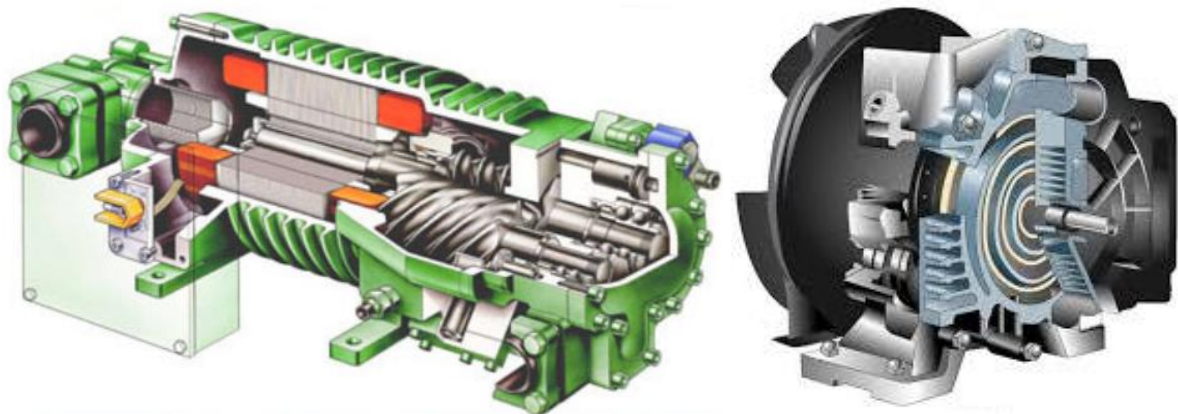


Рисунок 1 Загальний вигляд гвинтового компресору (ліве зображення) та спірального компресору (праве зображення) для холодильної машини суднового кондиціонера повітря

Який тип компресора (гвинтовий або спіральний) обрати для суднової системи кондиціонування залежить від багатьох факторів. Однак у загальному випадку спіральні компресори застосовують більше в системах невеликої потужності. Гвинтові компресори знайшли застосування у системах великої холодопродуктивності.

Інтеграція сучасних технологій управління компресорами дозволяє додатково підвищити ефективність суднових систем кондиціонування. Такі технології можуть автоматично регулювати роботу компресора залежно від поточних умов, оптимізуючи витрати енергії та зменшуючи навантаження на систему. Це особливо актуально в умовах тривалих рейсів, коли необхідно мінімізувати технічне обслуговування та уникати аварійних ситуацій.

Основні функції сучасних компресорних систем для суднових систем кондиціонування:

- Енергоефективність: сучасні компресори дозволяють значно зменшити споживання енергії, що знижує експлуатаційні витрати та забезпечує тривалу роботу без додаткових технічних втручань.

- Надійність: системи компресорів повинні бути стійкими до морського середовища, включаючи вібрації, корозію та перепади температур.

- Мінімізація обслуговування: завдяки сучасним технологіям компресори потребують менше регулярного технічного обслуговування, що дозволяє знизити витрати на ремонт та обслуговування в умовах складної експлуатації на судах.

Впровадження передових рішень у сфері компресорних систем для суден допоможе підвищити їх конкурентоспроможність на ринку морських перевезень, а також знизити витрати на експлуатацію та підвищити рівень комфорту для екіпажу та пасажирів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ASHRAE. Handbook HVAC Systems and Equipment. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineering, Inc. Atlanta: ASHRAE. 2016.

2. Wang S.K., Wang, S.K. Handbook of air conditioning and refrigeration. 2000. Available from: <https://gmpua.com/CleanRoom/HVAC/Cooling/Handbook%20of%20Air%20Conditioning%20and%20Refrigeration.pdf> (10.11.2024)

3. Порівняння поршневих, гвинтових та спіральних холодильних компресорів Available from: <https://www.compressor-torg.ru/statya/sravnenie.html> (12.11.2024)

Ткаченко А.Ю., Хлієва О. Я.

Національний університет «Одеська морська академія»

Аналіз енергетичної ефективності установки повторного зрідження нафтового газу

Зріджений нафтовий газ (LPG) є важливою альтернативою для енергетичних потреб, що має свої особливості у порівнянні зі зрідженим природним газом (LNG). Завдяки простішим умовам зберігання та транспортування, LPG широко використовується у різних галузях, від побуто до транспорту.

LPG – це суміш вуглеводнів, переважно пропану та бутану, яка в рідкому стані зберігається під тиском або при низьких температурах. LPG виробляється з нафти або природного газу і широко використовується як паливо.

Метою дослідження є аналіз процесу повторного зрідження LPG під час його транспортування морем, а також оцінка доцільності використання LPG як палива, для визначення економічної ефективності у зниженні витрат палива. LPG є важливим енергетичним ресурсом, який широко використовується в різних галузях, включаючи транспорт, тому ефективність його перевезення є важливою для зниження витрат і покращення екологічних показників.

Під час морських перевезень LPG основною проблемою є управління витратами палива через необхідність підтримки оптимальних умов зберігання на борту. З часом зріджений газ випаровується, утворюючи газ, що випаровується (BOG), що є результатом теплових втрат або руху судна. Це призводить до підвищення тиску в танках зберігання, що вимагає виведення газу або його обробки.

Одним із рішень для зниження витрат палива є використання технологій повторного зрідження, які дозволяють перетворювати газоподібну фазу назад у рідкий стан за допомогою спеціалізованого обладнання. Цей процес зменшує кількість викидів BOG і допомагає заощаджувати паливо, знижуючи потребу у викиді газу в атмосферу або використанні додаткової енергії для регулювання температури та тиску на борту.

Технології повторного зрідження використовуються на сучасних судах для перевезення LPG і включають різні охолоджувальні системи, які знижують температуру BOG і перетворюють його на рідину, зберігаючи як цінний енергетичний ресурс.

Однак, останні роки багато уваги стали приділяти можливості застосування LPG як палива у двопаливних судових двигунах. Для LNG-танкерів така технологія вже не є новою, однак для LPG-газовозів двопаливні двигуни тільки з'являються на судах. Хоча, на мою думку, використання LPG як палива на газовозах є доволі перспективним, тому що буде сприяти меншим викидам забруднюючих речовин в атмосферу.

Зазвичай на LPG-газовозах BOG, який утворюється у вантажних танках, зріджується та повертається у вантажні танки. Паливо для двигуна подається з окремих паливних танків. У концепції, що планується проаналізувати [3], зріджений BOG за допомогою системи повторного зрідження подається до системи подачі палива без повернення у вантажні танки. LPG, що надходить із системи повторного зрідження, поєднується з газом із вантажних танків, якщо LPG не достатньою для потреб двигуна у паливі. Коли головний двигун не працює, система зрідження LPG повертає весь газ у вантажні танки.

На рисунку 1 показані блок-схеми системи подачі палива і системи зрідження на LPG-газовозі, які працюють незалежно друг від друга. Система зрідження BOG не має холодильної машини, тобто реалізується розімкнутий цикл зрідження, де робочим тілом є BOG. Морська вода та частина потоку охолодженого BOG використовуються для охолодження. Система повторного зрідження складається з компресорів (три ступені стиснення), конденсатора та проміжних охолоджувачів між стисненням у компресорах. BOG у рідкому стані після конденсатора розширюється у дросельному пристрої до тиску вантажного танка. Після розширення тиск і температура знижуються, і певна кількість BOG зріджується. Зріджений BOG впорскується у вантажні танки, а BOG у вигляді пара направляється на всмоктування у компресор.

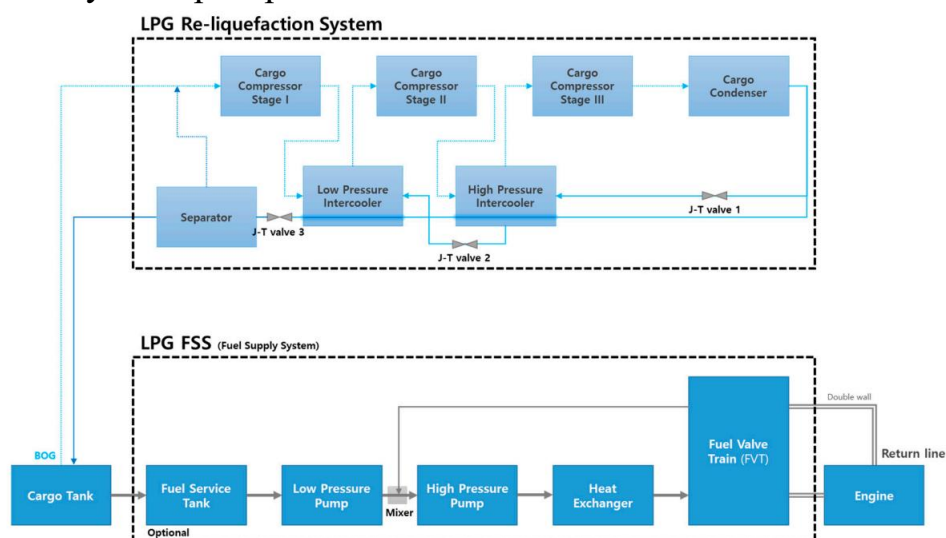


Рисунок 1 - Блок-схеми системи подачі LPG як палива і системи повторного зрідження LPG, які розташовані окремо та не поєднані одна з одною [3]

Система подачі палива складається з паливного резервуара для тимчасового зберігання, насосів низького та високого тиску, теплообмінника та паливного клапанного механізму (FVT). LPG з вантажних танків подається до двигуна через паливний бак, насоси, теплообмінник і FVT. У випадку роботи двигунів на LPG не все паливо, яке надходить у двигун, згоряє. Певна кількість палива повертається після охолодження двигуна. Зворотній потік LPG подається після насоса низького тиску на насос високого тиску.

На рисунку 2 показані блок-схеми системи подачі палива і системи повторного зрідження, які частково поєднані одна з одною. Система подачі

палива ідентична до розглянутої вище. В той же час система повторного зрідження BOG відрізняється від розглянутої. Вона складається з компресорів, конденсатора, проміжних охолоджувачів, насоса та сепаратора на всмоктуванні в насос (для видалення парової фази). BOG стискається компресором (триступеневим), а потім конденсується з використанням морської води.

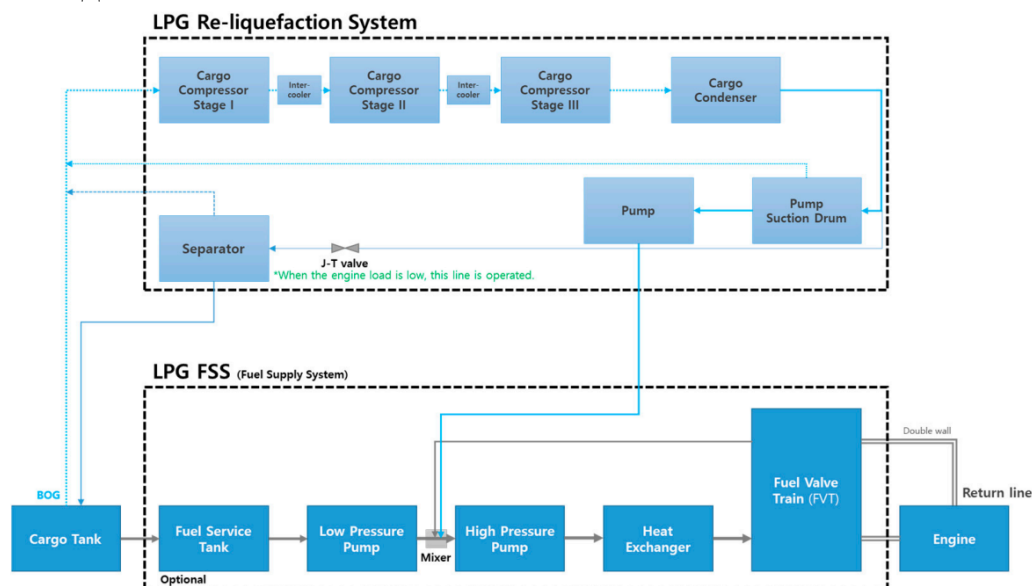


Рисунок 2 - Блок-схеми системи подачі LPG як палива і системи повторного зрідження LPG, які частково поєднані одна з одною [3]

Сконденсований LPG знаходиться під тиском, дещо вищим, ніж тиск нагнітання паливного насоса низького тиску. Він після конденсатора подається через всмоктувальний сепаратор насоса на подачу паливного насоса високого тиску. Всмоктувальний сепаратор насоса розділяє пару та рідину, щоб запобігти надходженню пари до насоса. Потік від системи повторного зрідження та потік від паливного насоса низького тиску об'єднуються в змішувачі для вирівнювання температури. Коли двигун не працює, зріджений BOG повертається в танки через дросельний клапан та сепаратор.

Для другого схемного рішення очікується зниження енергоспоживання. Саме ці дві системи обрані для аналізу у роботі з метою оцінки втрат енергії та палива на повторне зрідження LPG та обґрунтування доцільності використання LPG як суднового палива.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Чи завоює LPG море? [Електроний ресурс]. <https://www.nefterynok.info/stati/zavoyuet-li-lpg-more> (дата звернення 12.11.2024 р.)
2. Bilgili L. A systematic review on the acceptance of alternative marine fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2023. Vol. 182. 113367.
3. Seo Y., Kim J., Park E., Lee J., Cho M., Han S. Analysis of energy consumption of novel re-liquefaction system integrated with fuel supply system (FSS) for LPG-Fuelled LPG carrier to conventional systems. *Energies*. 2022. Vol. 15(24). 9384.

Чевелій І.А., Козьмініх М.А.

Національний університет "Одеська морська академія!"

Аналіз можливостей підвищення теплової ефективності апаратів суднових систем кондиціонування

В сучасних системах охолодження випарники відіграють ключову роль, оскільки вони відповідальні за передачу тепла від охолоджуваного середовища до холодоагенту. Енергоефективність випарників обумовлює загальну ефективність холодильних систем, витрати енергії, а також на їхню надійність та експлуатаційні характеристики. Оптимізація цього процесу може забезпечити значні економічні та екологічні переваги.

Енергоефективність випарників безпосередньо впливає на ключові експлуатаційні чинники, такі як продуктивність системи, енерговитрати, стабільність роботи, довговічність компонентів та екологічний вплив. Нижче розглядається вплив енергоефективності на кожен з цих факторів:

Продуктивність системи - висока енергоефективність випарників сприяє кращій передачі тепла від охолоджуваного середовища до холодоагенту, що підвищує продуктивність системи. У більш ефективних випарниках забезпечується мінімальна різниця температур між охолоджуваним середовищем і холодоагентом, що дозволяє досягати необхідних температур при менших витратах енергії.

Енерговитрати - одним із головних результатів підвищення енергоефективності є зменшення енергоспоживання. Енергоефективні випарники знижують потребу в енергії для забезпечення заданого рівня охолодження, що суттєво скорочує витрати на електроенергію.

Стабільність роботи - високоенергоефективні випарники забезпечують стабільну та передбачувану роботу всієї системи охолодження, оскільки вони краще адаптуються до змін у робочих умовах і навантаженнях. Це, у свою чергу, зменшує ймовірність збоїв та поломок.

Довговічність компонентів - зниження навантаження на систему завдяки підвищеній енергоефективності зменшує знос основних компонентів системи, таких як компресори та конденсатори, що продовжує термін їх служби та зменшує витрати на технічне обслуговування.

Екологічний вплив: Вищий рівень енергоефективності означає менше енергоспоживання, що, в свою чергу, знижує викиди парникових газів та інші негативні впливи на довкілля.

Підвищення енергоефективності випарників вимагає вдосконалення різних аспектів їх конструкції, матеріалів і умов експлуатації. Ось кілька основних підходів для підвищення енергоефективності випарників:

Оптимізація конструкції випарників - одним з найбільш ефективних способів підвищення енергоефективності є оптимізація конструкції випарника, зокрема поліпшення теплообміну між холодоагентом та охолоджуваним середовищем. Використання більш ефективних

теплообмінних поверхонь, таких як трубки з ребристою поверхнею або оребрені пластини, дозволяє збільшити площу теплообміну та знизити тепловий опір.

Підвищення ефективності циркуляції холодоагенту - рівномірний розподіл холодоагенту в випарнику є важливим фактором для забезпечення ефективного теплообміну. Застосування інноваційних рішень для покращення циркуляції, таких як розподільчі колектори, дозволяє досягти рівномірного розподілу холодоагенту по всій поверхні випарника.

Використання високоефективних матеріалів - використання сучасних матеріалів із високими теплообмінними властивостями, таких як мідь, алюміній або композитні матеріали, може значно підвищити енергоефективність випарника. Ці матеріали сприяють швидшій та більш ефективній передачі тепла між холодоагентом і навколишнім середовищем.

Зменшення теплових втрат - зниження теплових втрат через ізоляцію випарників та зменшення небажаного обігріву з навколишнього середовища дозволяє зберегти енергію, необхідну для охолодження, що підвищує ефективність системи.

Автоматизація процесів керування - впровадження сучасних систем автоматичного контролю і управління процесом охолодження дозволяє оптимізувати роботу випарників у режимі реального часу, знижуючи непотрібне енергоспоживання.

Одним із найефективніших рішень для підвищення енергоефективності випарників і повітроохолоджувачів є використання електронних терморегулюючих клапанів (ТРВ). Електронні ТРВ дозволяють більш точно контролювати процес подачі холодоагенту у випарник, що сприяє кращій ефективності теплообміну та загальної роботи системи охолодження.

Основні переваги застосування електронних ТРВ:

- Точне дозування холодоагенту, тобто електронні ТРВ дозволяють точно контролювати кількість холодоагенту, що подається у випарник, забезпечуючи оптимальну роботу системи навіть за змінних умов експлуатації (зміна температури навколишнього середовища, навантаження тощо).

- Покращення ефективності теплообміну, завдяки точному дозуванню холодоагенту що підвищує ефективність теплообміну, оскільки у випарник подається рівно стільки холодоагенту, скільки необхідно для оптимального охолодження. Це дозволяє уникнути як перегрівання, так і недоохолодження холодоагенту.

- Зниження енерговитрат. Використання електронних ТРВ сприяє економії енергії, оскільки система охолодження працює більш ефективно, зменшується час роботи компресора та знижується загальне споживання енергії.

- Підвищення стабільності роботи системи. Електронні ТРВ автоматично регулюють подачу холодоагенту залежно від поточних умов, що сприяє стабільній роботі системи навіть у складних умовах експлуатації.

- Можливість інтеграції з системами автоматизації. Електронні ТРВ легко інтегруються з сучасними системами управління, що дозволяє автоматично налаштовувати параметри роботи системи в режимі реального часу.

Висновок

Підвищення енергоефективності випарників є одним з основних напрямків оптимізації сучасних систем охолодження. Використання інноваційних технологій, таких як електронні терморегулюючі вентиля, оптимізація конструкцій випарників та поліпшення теплообміну, дозволяє значно знизити витрати енергії, підвищити надійність та продовжити термін служби компонентів. Ефективне управління процесами охолодження сприяє не лише економічним, але й екологічним перевагам, зменшуючи негативний вплив на довкілля.

Загалом, підвищення енергоефективності випарників у системах охолодження є ключовим аспектом, що впливає на зниження енерговитрат, покращення продуктивності та надійності системи, а також на зменшення екологічного впливу. Інноваційні рішення, такі як оптимізація конструкцій випарників, використання високоефективних матеріалів і електронних ТРВ, дозволяють досягти значних результатів у цьому напрямку. Впровадження таких технологій сприяє сталому розвитку, економічній ефективності та більш раціональному використанню енергоресурсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Галян І.С., Козьмініх М.А. Ольшамовський В.С. Аналіз ефективності застосування сучасних холодильних агентів в транспортних холодильних установках. Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вип. 38. –Одеса: НУ «ОМА», 2019. –С. 61-75.
2. Загоруйко В.О., Голіков О.А. Суднова холодильна техніка. –Київ: Наукова думка, 2000. -575 с.
3. Козьмініх М.А., Ольшамовський В.С. Удосконалення судових систем вентиляції та комфортного і технічного кондиціонування повітря.
4. Вчені записки таврійського національного університету
5. ім. В.І.Вернадського, серія: Технічні науки, том 31 (70) №1, 2020. – С.131-134.

Фіщин В.В., Денісов В.Г.

Національний університет "Одеська морська академія!"

Визначення надійності установки охолодження рефрижераторного контейнеру

Підвищення надійності холодильного обладнання вантажних систем суден для перевезення скрапленого нафтового газу.

Споживання природного газу в енергетиці, промисловості і побуті безперервно збільшується. Як відмічають провідні міжнародні експерти в період з 2002 по 2025 рр. світовий об'єм споживання газу вельми можливо зросте в 7 разів[1].

При згорянні газу в атмосферу Землі викидається менше забруднюючих речовин і парникових газів, ніж при згорянні мазуту або вугілля. Б. Е. Патон в свій час підкреслював, що в порівнянні з нафтовими паливами природний газ утворює значно менше оксидів вуглецю, оксидів азоту і диму (у 5 та 8 разів, відповідно), одночасно в димі відсутні свинець і сажа. Ці обставини багато в чому сприяють збільшенню використання природного газу в якості важливого джерела теплової енергії. Ті ж самі висновки можливо поширити і на нафтові гази.

Таблиця 1

Основні типи газів та значення абсолютного тиску пари та температура кипіння для газів, що транспортується морським шляхом[4]

Назва газу	Тиск насиченої пари при +37,8 ⁰ C (100 F), кг/см ²	Температура кипіння при атмосферному тиску, ⁰ C
Метан	Перегріта пара (t _{критична} = -82 ⁰ C)	-161
Пропан	12,9	-43
Бутан	3,6	-0,5
Аміак	14,7	-33
Вінілхлорид	5,7	-14
Бутадієн	4,0	-5
Етиленоксид	2,7	10,7

Скраплені гази, що транспортуються морським шляхом, можливо розділити на шість основних груп[5]:

-LPG – Liquefied Petroleum Gases/скраплені нафтові гази;

- NGL – Natural Gas Liquids/ природний газовий конденсат;
- LEG – Liquefied Ethylene Gas/ скраплений етилен;
- LNG – Liquefied Natural gas/ скраплений природний газ;
- Nh3 – Ammonia/ аміак;
- Cl2 – Chlorine/ хлор.

Таке поділення обумовлено різноманітністю характеристик газів, температурами кипіння при атмосферному тиску, хімічною сумісністю, як з іншими газами, так і з матеріалами конструкцій судна, токсичністю та вибухонебезпечністю.

Зріджений природний газ (ЗПГ) – це природний газ, який охолоджений до рідкого стану при атмосферному тиску. Це робить його значно меншим за об'ємом, що полегшує транспортування та зберігання. ЗПГ транспортується морським шляхом спеціальними суднами, які називаються газовозами.

Перевезення ЗПГ морським шляхом – це безпечний і ефективний спосіб транспортування цього виду палива. Газовози курсують по всьому світу, постачаючи ЗПГ до країн, які не мають власних ресурсів природного газу.

Переваги перевезення ЗПГ суднами

Існує низка переваг перевезення ЗПГ суднами, зокрема[3]:

Економічність: Транспортування ЗПГ суднами є економічно вигідним способом транспортування природного газу на великі відстані.

Гнучкість: Газовози можуть перевозити ЗПГ до будь-якого порту світу, який має відповідну інфраструктуру.

Надійність: Морські перевезення – це надійний спосіб транспортування ЗПГ, оскільки газовози обладнані спеціальними системами безпеки.

Певні складності, які можуть утворитися при перевезенні ЗПГ суднами:

Існують також деякі складності, пов'язані з перевезенням ЗПГ суднами, зокрема:

Безпека: Витік ЗПГ може призвести до вибуху або пожежі, тому важливо дотримуватися суворих правил безпеки.

Вартість: Будівництво та експлуатація газовозів є дорогими.

Забруднення: ЗПГ є парниковим газом, тому його транспортування може призвести до викидів парникових газів.

Висновки щодо економічності використання газовозів сьогодні:

Перевезення ЗПГ суднами – це безпечний і ефективний спосіб транспортування цього виду палива. Існує низка переваг перевезення ЗПГ суднами, таких як економічність, гнучкість і надійність. Однак існують також деякі складності, пов'язані з перевезенням ЗПГ суднами, такі як безпека, вартість і забруднення.

Також існують певні проблеми в експлуатації та обслуговуванні судових вузлів систем. Такими проблемами – є відмови в роботі вузла, що призводить до порушення роботи всієї системи чи механізму. Основними причинами відмов механічних систем є наступні фактори:

- дефекти конструкції;
- корозія;

- дефекти при зборці механізму;
- зношування;
- пластичні деформації;
- порушення правил експлуатації;
- порушення цілості механізму.

Попередження відмов проходить двома шляхами:

-регламентні роботи (роботи, які проводяться через певних проміжок часу для перевірки технічного стану, зміни зношених деталей та деталей, які потребують заміни);

-роботи за станом та параметрами механізму (цей шлях дозволяє не розбирати систему, механізм чи вузол, що може призвести до непередбачуваних відмов в майбутньому)

Аналіз статистичних даних відмов суднових механізмів показує, що

70-90% відмов, як нових, так і відремонтованих механізмів, є результатом зносу пар тертя. Неочікувана відмова механізму чи зупинка, з метою заміни зношених вузлів – призводять до значних економічних втрат та використання людського ресурсу. У зв'язку з цим з'являється задача по визначенню технічного стану вузла системи в будь-який час без повної зупинки чи розборки системи. Вирішення цієї проблеми полягає в використанні методів та засобів технічного діагностування, які би виключили би розбір системи чи вузла без певної потреби.

Одним з методів технічного діагностування – є використання засобів вбудованого контролю (датчиків, які виконують контроль за технічними параметрами механізмів, систем чи вузла системи). Таким чином, проходить процес індивідуального контролю прогнозу та коректування періодичного технічного впливу на механізми. Ефективність використання даного методу залежить від застосування певних методів ТО, які призводять максимальної безвідмовності та мінімальних економічних витрат.

З цією метою усі механізми та вузли розділені на 3 основні типи з урахуванням наслідків, до яких може призвести їх відмова:

-до першої групи відносяться механізми та вузли, відмова яких може спричинити аварію, людські жертви чи втрату функціональних можливостей;

-до другої групи відносяться механізми, які призводять до економічних втрат чи погіршенню параметрів функціональних можливостей;

-до третьої групи відносяться механізми та вузли, відмова яких не призведе до відчутливих погіршень та наслідків.

Датчики та пристрої для контролю процесів у СС

Датчики інформують про стан через взаємодію з середою та передає інформацію шляхом електричних сигналів[2].

Часто при класифікації датчиків, в якості основи використовують принцип їх дії, який в свою чергу, може базуватися на фізичних чи хімічних явищах.

Таблиця 2

Групи механізмів та вузлів в залежності від виду шкоди та наслідків відмови

№ групи	Вид шкоди	Наслідки відмови	Тип механізму та вузла
1	Катастрофічний	Аварія, людські жертви, великі економічні втрати	Основні вузли ГД
2	Економічний	Незначні економічні збитки, знижена продуктивність	Масляні, паливні насоси, палубні механізми, системі гідравліка та інші
3	Без наслідків	Витрати на ремонт, незначні витрати та відмови	Допоміжні механізми

Основні види датчиків:

- температурні датчики;
- термопари;
- термочутливі діоди та тиристори;
- оптичні датчики;
- фотогальванічна емісія;
- фотогальванічний ефект;
- пароелектричні ефекти;
- датчики тиску;
- датчики вологи та газові аналізатори;
- магнітнорезистивні датчики;
- датчики Виганда;
- датчики Холла;
- магнітноіндуктивний датчик (МІД).

Обрання методів і засобів діагностування вузлів каскадної установки скраплення пари

За основний вузол, який обрано для аналізу, візьмемо двухступеневий компресор, який може використовуватися, як в нижньому, так і в верхньому контурі.

Виходячи з того, що визначити точний стан можливо лише, коли відкрити всю систему та провести огляд (зазвичай таке проходить за регламентом чи у аварійних випадках). Слід зазначити, що кожне позапланове відкриття системи несе за собою певні наслідки та витрати, такі як зменшення часу безвідмовної роботи, затрати людської праці та в даному випадку заповнення системи хладоном.

Отже, щоб попередити такі випадки потрібно застосувати спеціальні засоби діагностування, які виключають будь-яку розгерметизацію системи. До таких засобів можна віднести датчики температури та тиску, данні параметрів яких дають змогу повністю оцінити стан та можливість безвідмовної ро-

боти системи та певного механізму. Це призведе до підвищення надійності та працездатності вузлів системи.

Висновки

Діагностування систем – є дуже перспективною і важливою темою для поліпшення надійності та безвідмовності усіх її вузлів.

Велика варіативність методів і засобів діагностування дозволяє майже повністю виключити позапланові відкриття систем, які негативно впливають на її працездатність.

Діагностування системи за параметрами дозволяє мінімізувати аварійні ситуації та вчасно відреагувати на зміну будь-якого параметра, шляхом отримання сигналів через датчики.

Такі засоби і методи повинні все більше і більше вивчатися, бо судно є об'єктом підвищеної небезпеки, вчасна реакція на проблему в деяких системах може врятувати життя цілому екіпажу судна.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Козьмініх М.А., Дулдієр О.П., Чепаліс І.В. Системи скраплення газу та вантажні системи суден-газовозів / Навчальний посібник – 2018

Денісов В.Г. Методи та засоби технічного діагностування СЕУ / 2008

Зайцев В.В. Толишев Е.В. Техніко-економічні питання проектування та будування морських систем перевозки газів / 2002

С. Ендрю МакІнтош, Пітер Г. Ноубл, Карл Д. Рамлахан Морське транспортування природного газу / стаття – 2008

Баскаков С.П. Перевезення зріджених газів морем / посібник – 2001

Відновлення деталей способом зварювання і наплавлення

Якість зварюваного з'єднання визначається зварюваністю металів. **Зварюваність** - здатність металів утворювати зварюване з'єднання, властивості якого близькі до властивостей основного металу. Умовно сталі підрозділяють на ті, що добре зварюються, задовільно, що обмежено і погано зварюються. Зварюваність конструкційних сталей визначається змістом у них вуглецю і легуючих елементів. Сталі з вмістом вуглецю до 0,3% зварюються добре, від 0,3 до 0,4% - задовільно, більше 0,4% - погано. В судноремонтній виробництві для зварювання конструкційних сталей одержало поширення електродугове зварювання. Газове зварювання знаходить застосування тільки при ремонті деталей з тонколистового матеріалу.

Підготовка деталей до зварювання і наплавлення

У більшості випадків деталі, що надходять в ремонті, сильно забруднені, замаслені, покриті іржею або фарбою. Наплавлення по не якісно підготовленій поверхні приводить до непроварів у зварюванні з'єднанні, утворенням пор, раковин і забрудненню його різними неметалічними включеннями. Для запобігання утворенню дефектів у зварюванні з'єднанні і одержання якісного зварюваного шову деталі повинні бути ретельно очищені і вимиті. До основних дефектів деталей з конструкційних сталей ставиться зношування циліндричних і плоских поверхонь і зношування нарізних сполучень. Підготовка циліндричних і плоских поверхонь зводиться до зачищення їх до металевих блиску, а різбових поверхонь до повного видалення різблення. Наявні на відновлюваних поверхнях пази, канавки і отвори, які необхідно зберегти, зашпаровують графітовими або мідними вставками.

Технологія наплавлення

Наплавлення маловуглецевих і низьколегованих (сумарний зміст легуючих елементів не перевищує 4-5%) сталей. Ці сталі відносяться до групи сталей, що добре зварюються. Під час наплавлення електрод нахиляють під кутом 15-20 град. до вертикалі. Характер переміщення електрода поперек наплавляемого валика визначається шириною цього валика. Краща якість наплавлення виходить при ширині валика, рівної 2,5 діаметра електрода. Для цього амплітуда поперечного коливального переміщення електрода повинна бути рівна 1,5-2 діаметрам електрода. Валики слід накладати так, щоб кожний наступний перекривав попередній на 1/2- 1/3 своєї ширини. Висота наплавляемого металу встановлюється з розрахунку, щоб припуск на механічну обробку був 2-3 мм. Між товщиною шару наплавляемого металу, діаметра

електроду, числом шарів наплавлення і силою струму, рекомендується витримувати наступні співвідношення:

	Товщина наплавленого шару, мм.		
	До 1,5	До 5	Понад 5
Діаметр електроду, мм	3	4-5	5-6
Число шарів	1	1-2	2 і більше
Сила зварювального струму, А	80-100	130-180	180-240

Непровари і пустоти в наплавленому металі не допускаються, їх слід виводити за межі робочої наплавленої поверхні, використовуючи для цієї мети, приставні планки, втулки та ін., або зашпаровувати ці дефекти на наплавленому металі. Після закінчення зварювання з наплавленого металу зачищенням видаляють шлаки, бризки металу. Перехід від наплавленого металу до основного після механічної обробки повинен бути плавним і рівним, що збільшує міцність відновлюваної деталі.

Способи наплавлення і порядок накладення валиків

Вали і осі, що мають циліндричну або конічну форму, наплавляються двома способами:

перший спосіб - валики накладаються уздовж осі (поздовжнє наплавлення);

другий спосіб - валики накладаються по колу (кругове наплавлення).

Шийки валів малих діаметрів і значної довжини рекомендується наплавляти по першому способу. На очищену поверхню шийки наплавляється валик. Після цього деталь повертають на 180° і на протилежній стороні наплавляється другий валик. Далі, повернувши деталь на 90, наплавляється третій валик, а через 180° четвертий валик.

Потім наплавляється п'ятий валик, що перекриває перший, причому перед накладенням наступних валиків попередні повинні бути ретельно очищені від шлаків. При наплавленні по колу деталь повинна повертатися навколо своєї осі протягом усього процесу наплавлення. Для наплавлення по цьому способу звичайно потрібно застосування пристосувань.

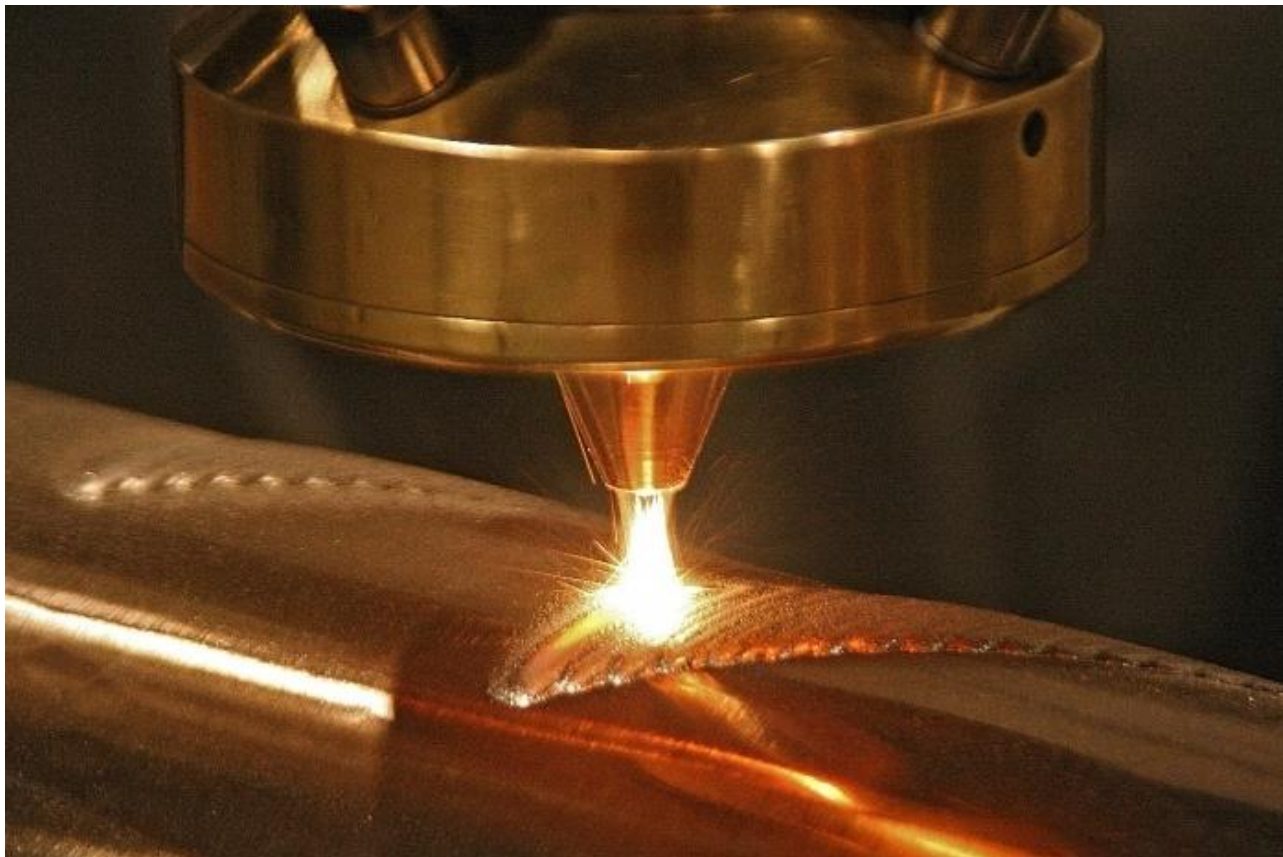


Рис.1 Процес зварювання металів.

Зварювання і наплавлення деталей із чавуну

Чавун - широко застосовуваний конструкційний матеріал, що відрізняється дешевизною, гарними ливарними властивостями і оброблюваністю. Але знижена міцність і висока крихкість чавуну приводять до виходу з ладу виготовлених з нього деталей у процесі їх експлуатації. Для усунення дефектів застосовують газове і електродугове зварювання. При правильному виборі способів зварювання і їх ретельнім виконанні, якість відновлених деталей, як правило, відповідає вимогам експлуатації. По фізичних властивостях, хімічному складі і структурі чавун ставиться до сплавів, що обмежено зварюються, що обумовлене його низькою пластичністю і схильністю до відбілювання. Найбільш радикальним засобом попередження появи тріщин і відбілювання служить підігрів деталі перед зварюванням і повільне охолодження її після зварювання. Однак у зв'язку з великою трудомісткістю цього процесу (особливо для великогабаритних деталей) рекомендується користуватися ним лише при неможливості застосування холодного зварювання. До технологічних заходів, спрямованих проти появи тріщин і відбілювання при холоднім зварюванні, відносяться:

- попередження надмірного перегріву металу при зварюванні, що досягається застосуванням електродів малого діаметра, зварюванням на знижених режимах (малим струмом) і зварюванням врозкид;

- правильний вибір електроду і методу зварювання.

Особливості зварювання чавунних деталей

Для одержання гарної якості зварювання і наплавлення повинні бути враховані особливості чавуну:

- при зварюванні необхідно охороняти деталь від швидкого охолодження шову;
- зварювання можна вести тільки в нижньому положенні (тому що при нагріванні чавун швидко переходить із твердого стану в рідке);
- окисли чавуну плавляться при $1350-1400^{\circ}\text{C}$, а чавун - при $1200-1250^{\circ}\text{C}$;
- у якості присадкового матеріалу при газовому зварюванні застосовують прутки марки «А» або частини деталей виготовлених із сірого нелегованого чавуну;
- зварювальне полум'я повинне бути нормальним або з невеликим надлишком ацетилену;

Заварку тріщин і приварку лоток ведуть за особливою методикою – **“холодний спосіб”**. Сутність якого в тому, що деталь зазнає мінімальному необхідному нагріванню. Для цього зварювання ведеться струмом зворотної полярності, гранично короткою дугою, електродами 3мм і короткими ділянками (10-12мм), електродами марки ОЗЧ-1 або МН-4-2.

Підготовка тріщин під заварку

Замаслені деталі повинні бути попередньо промиті або виварені в мийному розчині, потім промиті теплою водою і висушені. При товщині стінки до 4 мм тріщину не обробляють, у цьому випадку, на кінцях тріщини свердлять отвору 3-4 мм і зачищають поверхню під зварювання шириною 15-20мм на сторону. У розгалужених тріщин зачищають усі відгалуження, тріщини не обробляють. У місцях крутих вигинів тріщин свердлять отвори діаметром 3-4мм щоб уникнути розтріскування деталі. При товщині стінок більш 5мм на кінцях тріщини свердлять отвору діаметром 4-6мм і тріщину обробляють шліфувальним колом з кутом розкриття, близьким до 90, *притуплення 2-3 мм*. При товщині стінки більш 12мм на кінцях тріщини треба свердлити отвори діаметром 6мм і по можливості зробити Х-Образний скіс крайок і двостороннє оброблення.

Оброблення наскрізної тріщини може бути одне- і двосторонньої залежно від товщини стінок ділянки, що зварюється; некрізну тріщину слід обробляти до “здоровішого” металу Обробляти тріщину можна кінцевою фрезою або шліфувальним колом.

Порядок накладення зварених швів

Зварювання тонкостінних деталей виконувати гранично короткою дугою ділянками 30-40 мм від середини тріщини до кінців із проваром кореня шову

зворотньооступеневим методом. При зварюванні не допускати місцевих перегрівів. У випадку перегріву деталі необхідно перервати зварювання і дати охолонути деталі без примусового охолодження (рука не повинна відчувати опік). При закінченні зварювання кратер вивести на шов і прокувати шов.

Електроди для зварювання і наплавлення, режими процесу

Електроди ОЗЧ-2 являють собою мідний дріт зі спеціальним покриттям, що містять залізний порошок, і призначають для холодної заварки тріщин, місць течі, приварки обламаних частин, вставок і інших зварювальних робіт переважно на неопрацьованих поверхнях. Електроди ОЗЧ-2 придатні для зварювання в нижньому, вертикальному й підлозі стельовому положеннях на постійному струмі зворотної полярності. Електроди МНЧ-2 являють собою дріт зі сплаву НМЖМЦ (монель) з покриттям спеціального складу. Вони призначені для зварювання й наплавлення чавуну без підігріву. Електроди МНЧ-2 придатні для зварювання в нижньому, вертикальному й підлозі стельовому положеннях на постійному струмі зворотної полярності.

Газове зварювання металів

При газовому зварюванні метал нагрівається і розплавляється за рахунок згоряння газів (водню, ацетилену) у струмені кисню.

Найбільш поширення одержала ацетилен - кисневе зварювання.

Основні фактори, що визначають режим газового зварювання, це:

- вибір флюсу;
- вибір матеріалу присадкового прутка;
- вид полум'я;
- кут нахилу пальника.

А) Вибір флюсу.

Флюси служать для захисту, що зварюється деталі від насичення газами і попаданні окислів у легко плавкі з'єднання. Для чорних металів флюсом служать бура або борна кислота.

Б) Вибір матеріалу присадочного прутка.

Матеріал присадочного прутка при газовому зварюванні по своїх хімічних і фізико-механічних властивостях повинен бути таким же, що і метал деталі. Для сталевих деталей застосовують дріт *СВ-08* або *СВ-08 СГ*.

В) Вибір способу зварювання.

Розрізняють правий і лівий способи ведення газового зварювання. При правому способі пальник міститься спереду присадочного прутка. Зварювальне полум'я спрямоване на шов, чим забезпечується захист розплавленого металу від дії навколишнього повітря. Цей спосіб застосовується при зварюванні деталей товщиною більш 5мм. При лівому способі пальник міститься між деталлю й присадочним прутком, який

міститься поперед пальника. Цей спосіб не викликає підігріву шва і застосовується для зварювання деталей товщиною менш 3мм.

Г) вид полум'я.

Розрізняють три види полум'я: нормальне, науглецюче і окисне.

- Нормальне полум'я - застосовується при зварюванні вуглецевої і легированої сталей.
- науглецюче - при зварюванні чавуну.
- Окисне - тільки при зварюванні латуні.

Д) кут нахилу пальника.

Розраховується по залежності: на кожний міліметр товщини, що зварюється деталі -10° .

Устаткування при судноремонті для газового зварювання

- ацетиленовий генератор (*АСМ-1,58* або *АСМ-1,25*);
- кисневий балон з редуктором;
- газовий пальник з наконечниками від 0 до 7;
- кисневий різак;
- кисневі і ацетиленові шланги;
- захисні окуляри.

Рекомендовані навчальне - методичні матеріали.

1. Технологія конструкційних матеріалів /Під ред. Г.А.Прейса.-Київ: Вища шк., 1984.-470с.

2. Технічне обслуговування судна в рейсі: Довідник/ А.А.Фока, Ю.Д.Митрюшкін, В.В.Тарапата і ін.; Під ред. А.А.Фока.-М. транспорт, 1984.-320 ст.

3. Технологія конструкційних матеріалів: Учбовий посібник / Сологуб М.А., Рожнецький І.О., Некіз О.І. та ін.; під ред. М.А. Сологуба. -К.: Вища школа, 1993. -300 с.

Kolyshkin O.R., Andreev E.S., Zhuravlov Yu.I.
National university "Odessa Maritime Academy",

Study of the patterns of wear of the "shaft-sliding bearing" surfaces of parts of ship's technical equipment (STE)

Introduction

The search for technical solutions aimed at increasing the reliability of connections of parts of ship technical means (STE) is an urgent issue in the design and operation of ship systems. The necessary level of safety and reliability is established during the creation of ship units and aggregates, during operation it is only possible to maintain the parameters specified during the design due to proper maintenance and repair, which is associated with temporary and financial costs.

One of the ways to increase the reliability of connections of STE's parts is to increase their service life by increasing their wear resistance.

The contact interaction parameters are significantly affected [1] by surface wear.

There are many research works aimed at improving the anti-wear properties of the "shaft-sliding bearing" surfaces, their geometry, materials and manufacturing technologies.

Design experience shows [2] that a change in the profile of the contacting surfaces by a few hundredths of a millimeter leads to a change in contact planes and pressures by $2\div 5$ times [4] and significantly affects the distribution of internal force factors.

Also, the surface destruction during wear and tear of parts of the STE significantly depends on the features of its structure and the level of effective strength of the surface layer, which is achieved in the process of frictional loading.

Annotation

60-80% of parts of ship's technical equipment (STE) fail due to surface destruction during wear and tear. Steel and cast iron continue to be the material of most STEs. Therefore, increasing the wear resistance of iron alloys, from which parts of STE are made, is one of the most important and urgent tasks. The resistance of metal materials to various types of wear is often determined to a greater extent not by the initial strength (hardness), but by the level of effective strength of the surface layer, which is achieved in the process of frictional loading. In this regard, we can expect a significant increase in the most important physical and mechanical properties of steels and cast irons due to the formation of metastable structural states in them, capable of intensive strain hardening as a result of phase and other structural transformations under the action of contact loading.

Alloys with metastable structures are primarily alloys with metastable austenite, which undergoes deformational martensitic transformation under frictional influence.

According to modern ideas, the most important physical and mechanical properties of metallic materials can be significantly increased by converting them into a nanocrystalline state. Since nanocrystalline structures arise naturally during friction, one of the promising and simple methods of surface nanostructuring of products made of iron alloys can be friction processing under conditions of sliding friction, which excludes noticeable heating of the surface. Known methods of strengthening mechanical processing of steel products (diamond smoothing, running-in, etc.) are usually used as finishing operations after standard heat treatment, which includes normalization or improvement. However, it is the deformation of tetragonal martensite that will make it possible to use the positive influence of deformation dynamic aging processes to the maximum extent to improve the physical and mechanical properties of steel surfaces.

At the present time, the behavior under conditions of abrasive, adhesive and fatigue wear of metastable austenite doped with manganese, chromium, nickel, vanadium, which is characterized, as a rule, by low energy of packing defects, has been considered in sufficient detail. At the same time, significantly less attention was paid to the influence of carbon unalloyed residual austenite on the wear resistance of iron alloys.

The purpose of this study is:

in the study of structural mechanisms that provide a significant increase in the wear resistance of iron alloys due to the creation of metastable structures of various types capable of intense deformation hardening (tetragonal martensite, residual austenite, nonequilibrium pearlite), as well as nanocrystalline friction structures.

Features of the development of deformation dynamic aging under friction

In the conditions of extremely intense deformation of the material of the STE's parts in the zone of frictional contact, not only in the residual austenite, but also in other phases, structural transformations develop, which strongly affect the effective strength of the surface and, accordingly, the tribological properties of the materials. As shown by D. Wilson, D. Kalish, M. Cohen, G.V. Kurdyumov and others, the most significant (regarding the impact on the physical and mechanical properties of steels) structural transformations of α -martensite initiated by plastic deformation include deformation dynamic aging [4] or "deformation relaxation" of martensite. It is interesting to study the peculiarities of the development of the mentioned processes in martensite during friction [2], including at negative temperatures - in conditions of reduced diffusion activity of carbon.

The most effective deformation dynamic aging under load develops in untempered (tetragonal) martensite, which, due to increased fragility, was not widely used in engineering for a long time. However, with the development of modern strengthening technologies (laser, electron beam, plasma, etc.), interest in the structure of tetragonal martensite has increased significantly, since when processing steel surfaces with concentrated energy flows, the processes of self-

tempering of martensite are effectively suppressed, and the subsequent tempering (obligatory in the case of volume hardening) is often not carried out due to the preservation of the viscous core of the product. Increasing the wear resistance of alloys with a martensitic base due to the activation of the processes of deformation dynamic aging [1] of α -martensite can be achieved by optimizing the heat treatment and chemical composition of iron alloys.

Until recently, pearlite was considered the most stable phase compared to other transformation products of supercooled austenite - martensitic and bainite structures. However, it was established [4] that thin-plate pearlite in high-carbon steels, obtained at temperatures close to the lower limit of pearlite decomposition (about 500°C), is a non-equilibrium structure, the increased strength properties of which are eliminated already during short-term heating, during which no visible changes in structure. In this connection, it is interesting to investigate the behavior of this non-equilibrium thin-plate pearlite in different types of wear in comparison with the structures of coarse-plate pearlite, upper bainite, and low-temperature pearlite, which can occur in high-carbon steels in the temperature interval between the upper and lower bainite transformations.

Since products with the structure of thin-plate pearlite can be heated during various technological operations (welding and tempering of rails, hot-dip galvanizing or brazing of wire, annealing to improve machinability, etc.) and during operation (frictional heating of the surfaces of ropes, railway rails and wheels; ropes foundry taps (with heat from a molten bath, etc.), it is practically important to study the changes in wear resistance, strength and plastic characteristics of pearlitic steels during high-temperature heating.

Tribological properties of metallic materials largely depend on the structural state [5] formed on their contact surface during friction. Localized near the friction surface, intense plastic deformation, frictional heating, and the influence of the environment lead to the formation of a whole "hierarchy" of specific, very heterogeneous in depth active layer structures in the zone of frictional metal contact.

The use of different alloy compositions, cementation modes, laser (gas CO₂ and solid-state YAG lasers), electron beam and volume hardening, cold treatment and tempering made it possible to reveal the effect of carbon concentration in martensite (up to 1.35%) on wear resistance. residual austenite, doping with replacement elements (up to 4%), excess cementite, graphite inclusions, grain size, degree of coagulation, and the volume fraction of carbides of release.

The resistance of carbon martensite to abrasive wear when tested on corundum (under microcutting conditions) increases linearly with an increase in the concentration of carbon in it up to 0.9% (hardened Y10 steel) (Fig. 1).

When tested on a softer abrasive - flint, the transition to high-carbon martensite is accompanied by a sharp increase in wear resistance, due to a change in the main mechanism of wear - from microcutting to plastic displacement (scratching). When implementing the mechanism of plastic displacement, an increase in the carbon content in the α -phase by more than 1% leads to a decrease

in wear resistance (Fig. 2, ε -flint, curve 2) due to the brittleness of the martensitic structure.

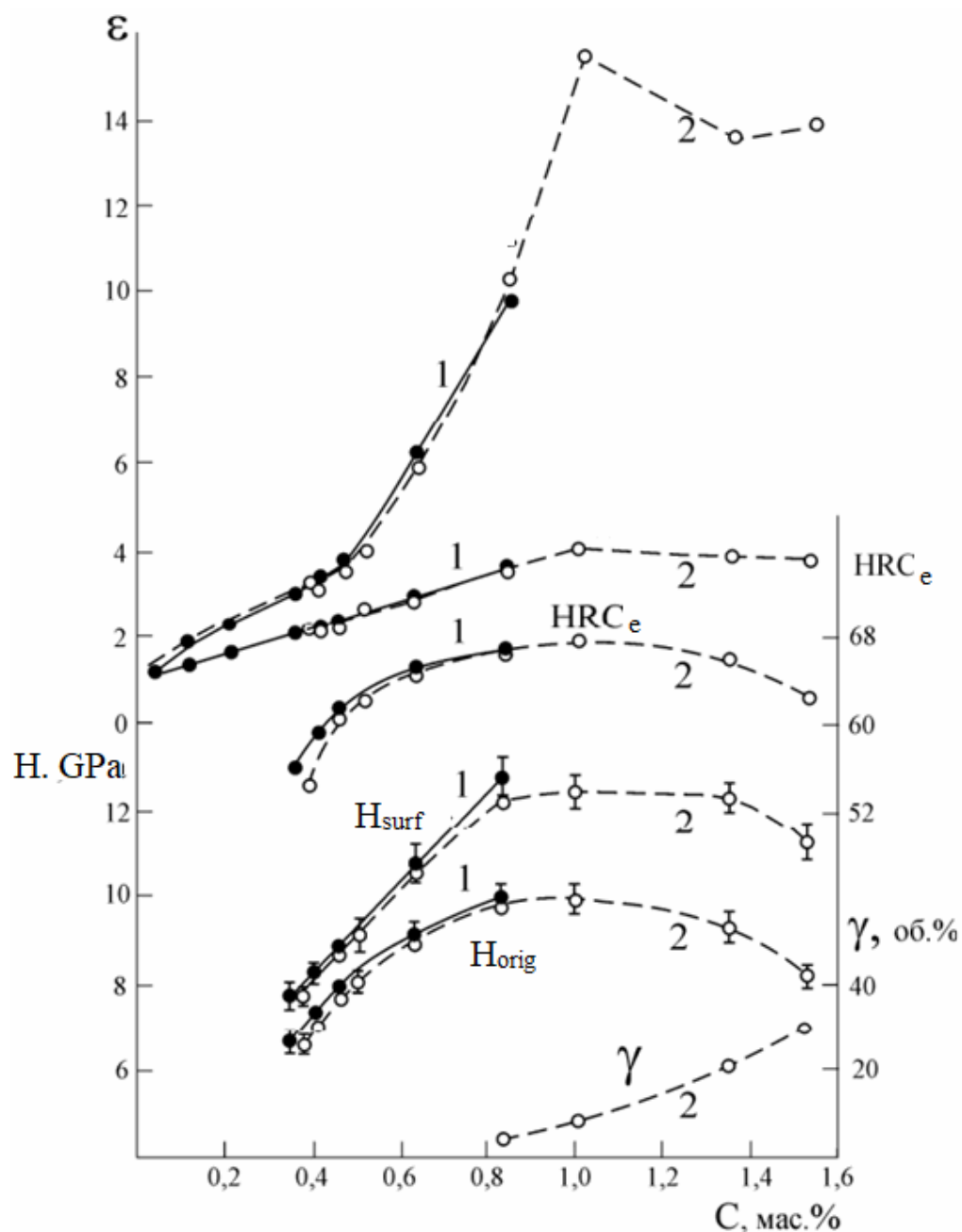


Fig.1. The effect of carbon content on abrasive wear resistance ε , hardness HRCe, microhardness (initial H_{orig} and on the surface of abrasive wear H_{surf}) and the content of residual austenite in the structure of carbon steels

In the conditions of sliding friction, an increase in the carbon concentration of more than 0.8% can also cause a decrease in the resistance of hardened steels to the polydeformation wear mechanism (increase in mass loss) due to an increase in the fragility of the surface layer, which is especially evident during tests in an oxidizing environment (Fig. 3). The brittle effect of friction oxidation leads to a decrease in the resistance to fatigue wear of the surface of high-carbon steels in comparison with friction in a non-oxidizing nitrogen environment, while the intensity of wear of less strong steel 35 during the transition from an oxidizing to a

non-oxidizing test environment increases sharply, since the oxides formed during friction air loading interferes with the adhesive interaction of contacting metal surfaces. (Fig. 3). Lowering the test temperature in nitrogen from room temperature to -196°C causes accelerated wear of hardened high-carbon steels, initiated by their low-temperature crushing (see Fig. 3).

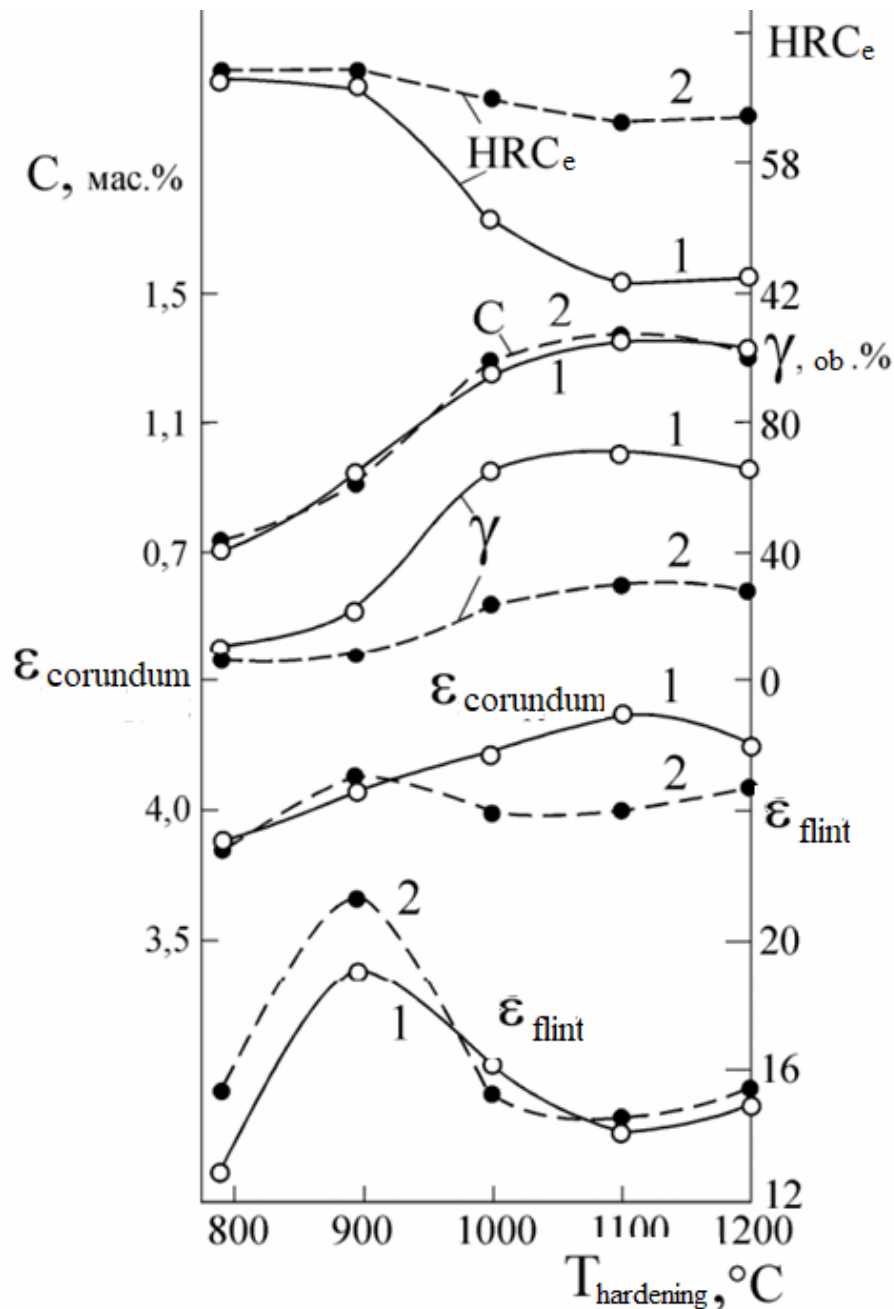


Fig.2. Effect of tempering temperature on HRC_e hardness, carbon concentration in martensite C , content of residual austenite γ in the structure and abrasive wear resistance ϵ of Y15 steel: 1 - laser hardening; 2 - volumetric hardening, cooling, -196°C (for steels with 0.83-1.53% C)

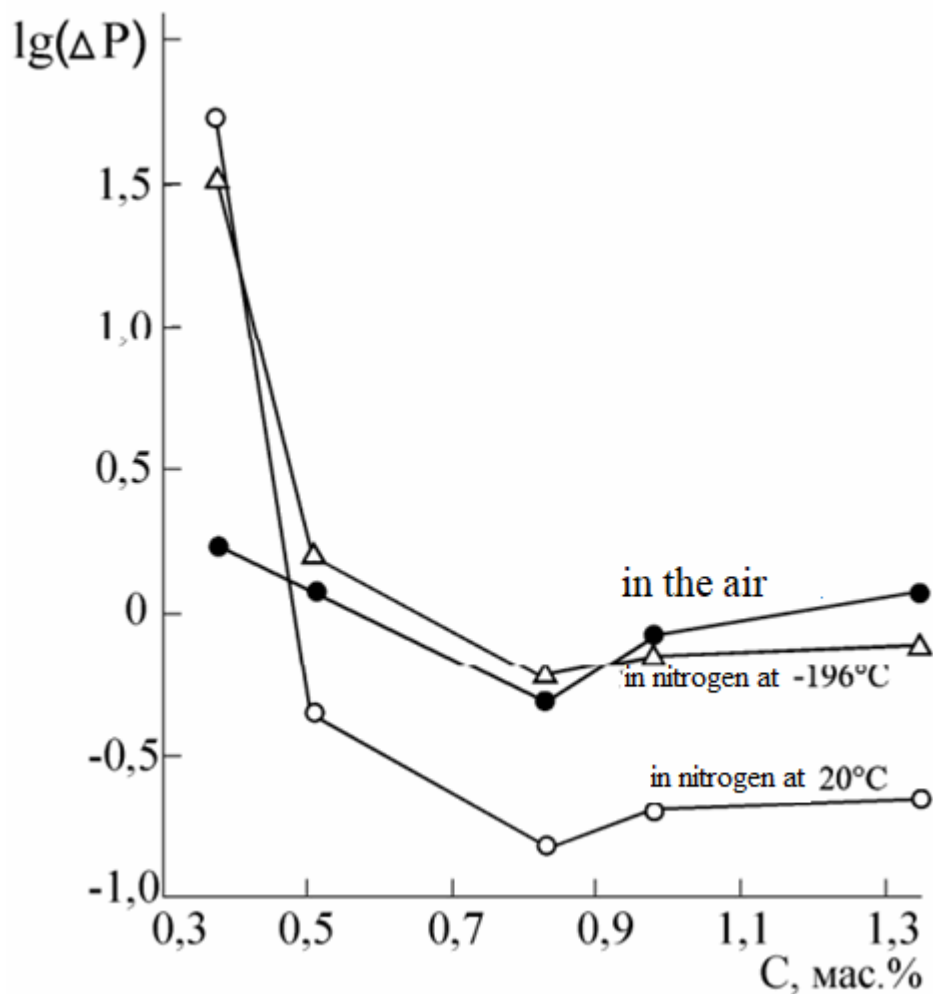


Fig.3. The effect of carbon content in carbon steels on the mass loss of samples during frictional loading with an indenter made of BK8 alloy: volume hardening, cooling. -196°C (for steels with 0.83-1.53% C).

The absence of a proportional relationship between the initial hardness and the abrasive wear resistance of martensite is due to an increase in its capacity for strain hardening when the carbon content increases to more than 0.5% (see Fig. 1) as a result of the activation of dynamic deformation aging processes in high-carbon martensite during wear. These processes are characterized by the formation of segregations from carbon atoms at dislocations that occur during friction. These segregations are formed as a result of the high interaction energy between dislocations and carbon atoms located in the octahedral internodes of α -martensite crystal lattices.

Strong anchoring of numerous dislocations by impurity atmospheres leads to intensive strain hardening of high-carbon martensite during friction and a corresponding increase in its resistance to various types of wear. Optimum doping with carbon (over 0.5%) and substitutional elements makes it possible to increase the positive effect of deformation dynamic aging on the wear resistance of martensitic alloys. In particular, vanadium (1.2% V), which increases the ability of martensite to strengthen during wear, provides a significant (up to 70%) increase

in the abrasive wear resistance of high-carbon martensite laser and volume hardening.

Conclusions

1. The wear resistance of carbon alloys with a martensitic structure can be significantly increased due to the activation of deformation dynamic aging processes in tetragonal α -martensite, which, under conditions of frictional influence, occur intensively even at low (up to -196°C) temperatures, providing an increase in the deformation hardening of the friction surface. This activation is achieved by carrying out heat treatments that ensure the preservation of a possibly higher concentration of carbon in the crystal lattice of martensite, as well as alloying alloys with an increased (more than 0.6%) amount of carbon and substitutional elements that strengthen the interaction of dislocations with impurity atoms in the α -phase .

2. A sharp decrease in the abrasive wear resistance of carbon, low-alloy and cemented iron alloys during low-temperature quenching can be effectively slowed down by the formation of metastable residual austenite in the structures of laser and volume hardening, which, due to the transformation under the action of friction into high-strength nanocrystalline martensite, is not inferior to the wear resistance of untempered tetragonal martensite cooling.

REFERENCES

1. Khimich G.L., Makarov A.V., Korshunov L.G., Osintseva A.L. Wear resistance and structural transformations of steel 35 strengthened by laser radiation// *Novy svit.* - 2016. - No. 3. - P. 99-102.

2. Makarov A.V., Korshunov L.G., Khimich G.L. etc. The effect of continuous laser radiation treatment on the wear resistance of low-carbon steels // *Friction and wear.* - 2015. - Vol. 8. - No. 2. - P. 293-301.

3. Korshunov L.G., Makarov A.V., Osintseva A.L. Research on wear resistance and structural transformations during abrasive wear of laser-hardened U8 steel // *Friction and Wear.* – 2018. – Vol. 9.-No. 1.-S. 52-59.

4. Gorkunov E.S., Somova V.M., Makarov A.V. etc. Magnetic and electromagnetic methods of assessing the wear resistance of steel products // *Defectoscopy.* – 2012. – No. 6. – P. 33-39.

Korshunov L.G., Makarov A.V., Chernenko N.L. Ultrafine Structures Formed upon Friction and Their Effect on the Tribological Properties of Steels // *The Physics of Metals and Metallography.* - 2000. - V. 90. - Suppl. 1. - P. S48-S58.

Матеріали
науково-технічної конференції молодих дослідників
"Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт",
21.11.2024.

Підписано до друку 5.12.2018. Формат 60×84/16.
Обл.-вид. арк. 9,85. Тираж 100. Зам. № И14-12-29.

НУ «ОМА», центр „Видавінформ”
Свідоцтво ДК № 1292 от 20.03.2003
65029, г. Одеса, вул. Дідрихсона, 8
тел./факс: (0482) 34-14-12
publish@ma.odessa.ua