

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Одеська морська академія»
Навчально-науковий інститут інженерії

Кафедра безпеки життєдіяльності та захисту довкілля

ДИПЛОМНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему:

**АНАЛІЗ ЗМІН ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ
РОБОТИ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ ПІД ЧАС
ВИКОРИСТАННЯ ХІМІЧНОЇ ОБРОБКИ ПАЛИВА**

Курсанта 2-го року навчання навчально-наукового інституту інженерії
Тігіняна Володимира

Керівник: доцент Фрасинюк І.І.
Нормоконтроль _____



Роботу заслухано на засіданні кафедри суднових енергетичних установок.
Рекомендовано до захисту в ЕК, протокол № 9 від 17-12 2025 р.

Завідувач кафедри СЕУ,
д-р техн. наук, професор _____



Сергій САГІН

(підпис)

Рецензент (зовнішній) _____



(ПІБ, підпис, дата)

Рецензент (внутрішній) _____



(ПІБ, підпис, дата)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
суднових енергетичних установок

д-р техн. наук, професор Сергій САГІН
10 вересня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи магістра

Курсант ННІ _____ Тігінян Володимир _____

1. Тема дипломної роботи: Аналіз змін експлуатаційних показників роботи суднових дизелів під час використання хімічної обробки палива

Затверджена наказом ректора НУОМА № 1414 від 24 листопада 2025 р.

2. Об'єкт дослідження процес паливопідготовки для суднових двигунів внутрішнього згорання

3. Предмет дослідження процес використання присадок до палива

4. Обсяг пояснювальної записки: 80...90 стор.

5. Структура пояснювальної записки дипломної роботи:

Огляд літературних джерел з проблеми вдосконалення системи паливопідготовки суднових дизелів

Загальна методика наукового дослідження

Аналіз процесу хімічної обробки суднових моторних палив

Аналіз змін експлуатаційних показників роботи суднових дизелів під час використання палива, що пройшло хімічну обробку

6. Зміст основної частини пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):

Огляд літературних джерел з проблеми вдосконалення системи паливопідготовки суднових дизелів

Загальна методика наукового дослідження

Аналіз процесу хімічної обробки суднових моторних палив

Аналіз змін експлуатаційних показників роботи суднових дизелів під час використання палива, що пройшло хімічну обробку

7. Перелік графічного матеріалу:

Методологія наукового дослідження

Аналіз способів підготовки палива

Результати досліджень

Висновки

Робота повинна бути виконана відповідно до «Методичних вказівок для виконання дипломної роботи магістра», затверджених Вченою радою ННІ 27.06.2023, протокол № 11.

РЕФЕРАТ

Дипломна робота магістр: 83 сторінки, 15 рисунків, 4 таблиці, 48 літературних джерел.

Магістерське наукове дослідження спрямоване на розв'язання науково-прикладного завдання – необхідності пошуку нових шляхів забезпечення екологічних та економічних показників роботи суднових дизелів під час використання палива нафтового походження.

Висунута та підтверджена наукова гіпотеза про те, що підвищення економічності та екологічності роботи суднових дизелів можливо за рахунок хімічної обробки палива, а саме використання палива з оптимальною концентрацією присадки.

Встановлено, що використання присадок до палива призводить до підвищення паливної економічності суднового дизеля. Експериментально підтверджено, що при використанні паливних присадок на різних режимах роботи суднового чотиритактного дизеля можливо досягти зниження питомої витрати палива від 3,5 до 5,8 %.

Доведено, що у разі застосування присадок до палива суттєво поліпшуються екологічні показники роботи дизеля. Застосування присадок сприяє зниженню на 1,4...4,3 % концентрації NO_x в випускних газах. Крім того, при використанні паливних присадок на 15,6...22,9 % знижується концентрація SO_x в випускних газах.

СУДНОВИЙ ДИЗЕЛЬ, СУДНОВЕ МОТОРНЕ ПАЛИВО, ПРИСАДКИ ДО ПАЛИВА, ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ДИЗЕЛЯ, ПИТОМА ВИТРАТА ПАЛИВА, ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ДИЗЕЛЯ, ЕМІСІЯ ВИПУСКНИХ ГАЗІВ, КОНЦЕНТРАЦІЯ ПРИСАДКИ

ABSTRACT

Master`s degree thesis: 83 pages, 15 figures, 4 tables, 48 references.

The master's scientific research is aimed at solving the scientific and applied problem – the need to find new ways to ensure ecological and economic performance of marine diesel engines.

A scientific hypothesis has been put forward and confirmed that increasing the efficiency and environmental performance of marine diesel engines is possible due to the chemical processing of fuel, namely the use of fuel with the optimal concentration of the additive.

It has been established that the use of fuel additives leads to an increase in the fuel efficiency of a marine diesel engine. It has been experimentally confirmed that with the use of fuel additives at different operating modes of a four-stroke diesel engine it is possible to achieve a reduction in the specific fuel consumption from 3.5 to 5.8 %.

It is proved that in the case of the use of additives for fuel, the ecological parameters of the diesel engine are significantly improved. The use of additives contributes to a reduction of 1.4–4.3% of the concentration of NO_x in exhaust gases. In addition, with the use of fuel additives 15.6–22.9 % reduces the concentration of SO_x in exhaust gases.

MARINE DIESEL, MARINE MOTOR FUEL, FUEL ADDITIVES, ECONOMIC PERFORMANCE OF A DIESEL ENGINE, SPECIFIC FUEL CONSUMPTION, ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF A DIESEL ENGINE, EMISSIONS OF EXHAUST GASES, CONCENTRATION OF ADDITIVE

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ З ПРОБЛЕМИ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПАЛИВОПІДГОТОВКИ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ	11
1.1. Дизельні енергетичні установки морських суден і системи, що забезпечують їх роботу.....	12
1.2. Аналіз схем підготовки палива для суднових дизелів.....	15
1.3. Аналіз зміни експлуатаційних властивостей палив під час їх підготовці.....	19
1.3.1. Фракційний склад суднових палив.....	19
1.3.2. Елементний склад палива.....	21
1.3.3. Груповий склад палива.	24
1.4. Аналіз впливу експлуатаційних властивостей палива на технічні характеристики суднового дизеля.....	25
1.5. Аналіз методів підготовки палива до його використання.....	27
1.6. Висновки по розділу 1.....	35
2. ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	37
2.1. Процес наукового пізнання	37
2.2. Методологічні принципи наукових досліджень	38
2.3. Обґрунтування мети і завдань дослідження	39
2.4. Висновки по розділу 2.....	42
3. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ХІМІЧНОЇ ОБРОБКИ СУДНОВИХ МОТОРНИХ ПАЛИВ	44
3.1. Загальні принципи хімічної обробки палив	44
3.2. Типи присадок до суднових палив	45
3.2.1. Паливна присадка AMERSTAT 25	45

3.2.2. Паливна присадка FOT	47
3.2.3. Паливна присадка LT SOOT RELEASE	50
3.2.4. Паливна присадка AMERGY 1000	52
3.2.5. Паливна присадка AMERGIZE	53
3.2.6. Паливна присадка AMERGY 222	55
3.2.7. Паливна присадка AMERGY XLS	56
3.2.8. Паливна присадка Fuelcare фірми Unitor	57
3.3. Основні висновки за розділом 3	59
4. АНАЛІЗ ЗМІН ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВА, ЩО ПРОЙШЛО ХІМІЧНУ ОБРОБКУ	60
4.1. Розробка технології експериментальних досліджень	60
4.2. Експериментальні дослідження впливу присадок до палива на економічні показники роботи дизеля	63
4.3. Експериментальні дослідження впливу присадок до палива на екологічні показники роботи дизеля	66
4.4. Експериментальні дослідження впливу присадок до палива на температурну напруженість роботи дизеля	69
4.5. Експериментальні дослідження впливу присадок до палив підвищеної в'язкості на перебіг робочого процесу	72
4.6. Висновки за розділом 4	75
ВИСНОВКИ.....	76
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	79

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

ВОД	–	високообертвий дизель
ГД	–	головний двигун
ГТН	–	газотурбонагнетач
ДВЗ	–	двигун внутрішнього згорання
ДД	–	допоміжний двигун
ДЕУ	–	дизельна енергетична установка
ККД	–	коефіцієнт корисної дії
ККЕЕ	–	конструктивний коефіцієнт енергетичної ефективності
МКВ	–	машинно-котельне відділення
МОД	–	малообертвий дизель
ПНВТ	–	паливний насос високого тиску
ПУЕС	–	план управління енергоефективністю судна
СДВЗ	–	судновий двигун внутрішнього згорання
СОД	–	середньообертвий дизель
СЕУ	–	суднова енергетична установка
ЦПГ	–	циліндропоршнева група
ІМО	–	Міжнародна морська організація
ІСО	–	Міжнародна організація зі стандартизації

ВСТУП

Найважливішими напрямками вдосконалення суднових енергетичних установок (СЕУ), оснащених двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ), є скорочення витрати палива, покращення екологічних характеристик (насамперед з викидів шкідливих речовин з впускними газами), при збереженні високих ресурсних показників. Зазначені завдання розв'язуються за рахунок удосконалення робочого циклу дизеля та утилізації відведеної від двигуна теплоти, оптимізації процесів паливоподачі та сумішоутворення, модернізації систем регулювання теплового стану двигуна та вибору найбільш раціональних режимів мащення та охолодження. Суттєвий вплив на показники надійності, економічності та екологічної безпеки надає також вид палива, що споживається судновою енергетичною установкою, та його якість. Морський та річковий транспорт є одним з основних споживачів рідкого палива, яке є продуктом переробки нафти. Якість палива надає суттєвий вплив на експлуатаційні показники суднових енергетичних установок: економічність; надійність; екологічну безпеку, що визначається за токсичністю та димністю впускних газів.

Раціональне використання палива і мастила передбачає подальше скорочення витрат на паливо за рахунок економного його витрачання, а також широкого використання більш дешевих сортів палива.

Для створення нормальних умов експлуатації двигунів на важких сортах палива при проектуванні сучасних дизельних установок передбачається використання:

- систем паливо-підготовки, що забезпечують необхідний підігрів і очистку важких палив;
- спеціальних систем подачі палива, що забезпечують якісне розпилювання, сумішоутворення і згоряння важких палив;

- циліндрових і циркуляційних масел з високими проти зносними миючими властивостями, що забезпечують тривалу надійну роботу двигуна.

Впровадження перелічених конструктивних і експлуатаційних удосконалень вимагає додаткових витрат. Аналізуючи основні статті цих витрат, можна встановити економічну доцільність використання важкого палива. При цьому додаткові експлуатаційні витрати, пов'язані з використанням важкого палива, повністю перекриваються економією, одержуваної при його застосуванні замість дизельного палива. Однак при цьому судовому екіпажу завжди доводиться вирішувати завдання, що пов'язані з підвищенням ефективності процесу підготовки палива.

Основним джерелом енергії для теплових двигунів судових енергетичних установок (дизелів, газових турбін і котлів) є рідке паливо нафтового походження. Результати впровадження різних досліджень по можливості використання в енергетичних установках морських суден вугільного пилу, диметилового ефіру, рапсової мастили і ряду інших видів альтернативного палива, носять одиничний характер. Крім того, подібні дослідження виконувалися для двигунів внутрішнього згорання невисокої потужності (до 50 кВт), що використовуються в стаціонарних енергетичних установках. Ефективність і економічність роботи транспортних суден прямо залежить від витрат на паливо, частка яких в загальних фінансових витратах на експлуатацію судна займає перше місце. Оптимізація витрат палива і підвищення ефективності його використання за рахунок активації його енергетичних характеристик сприяє збільшенню функціонування всієї пропульсивної установки.

Зниження витрати палива, а також поліпшення енергетичних та екологічних показників роботи судових дизелів можливо досягти завдяки впровадженню хімічної обробки палива, найбільш розповсюдженими засобом якої є використання присадок до палива.

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ З ПРОБЛЕМИ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПАЛИВОПІДГОТОВКИ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

Суднові двигуни внутрішнього згорання (СДВЗ) є найбільшими споживачами рідкого палива. Потужність головних і допоміжних двигунів суднової енергетичної установки (СЕУ) лежить в діапазоні від декількох сотень до десятків тисяч кіловат. При середньому питомій ефективному витраті палива 180...185 г/(кВт·год) добова витрата палива головним двигуном (ГД) може становити 200...250 тонн/добу, а допоміжними двигунами (ДД), кількість яких на сучасних судах до 4-х, а кількість паралельно працюючих до 3-х, – 10...12 тонн/добу.

Дизельна енергетична установка (ДЕУ) сучасних СЕУ комплектується малообертovими дизелями (МОД) і середньообертovими дизелями (СОД). МОД, що працюють по двотактному циклу, використовуються як ГД, що передають потужність на гвинт. Цю ж функцію можуть виконувати СОД, проте найбільше застосування вони отримали в якості ДД для приводу суднових електрогенераторів. Високо-обертovі дизелі (ВОД), як правило, виконують в функції ДД, та як виняток в функції ГД. При цьому як в першому, так і особливо у другому випадку, ВОД встановлюються на судах малої та середньої водотоннажності.

Як паливо для двигунів внутрішнього згорання (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, 2].

1.1. Дизельні енергетичні установки морських суден і системи, що забезпечують їх роботу

До суднових МОД відносяться двигуни, що забезпечують частоту обертання колінчатого валу у діапазоні 70...250 об/хв. Передача потужності та крутного моменту на гвинт в цих СЕУ виконується лише завдяки валопроводу, при цьому гвинт обертається з тією же потужністю, що і ГД. МОД виконують функції виключно ГД та встановлюються на судах середньої та великої водотоннажності.

До суднових СОД відносяться двигуни, частота обертання колінчатого 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 і 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 колінчатого вала двигуна. СЕУ з СОД в якості ГД застосовуються в світовому суднобудуванні вже багато років. Однак через високі питомі витрати палива, малу циліндрову і агрегатну потужності і недостатньою надійності і довговічності СОД довгий час не могли конкурувати з МОД [3].

Протягом 70...80-х років минулого століття провідними дизелебудівному компаніями велася інтенсивна дослідницька та проектно-конструкторська робота, спрямована на переклад СОД на дешеві важкі палива, підвищення їх циліндрової і агрегатної потужності, зниження емісії випускних газів, зниження питомої витрати палива. Паралельно вирішувалися завдання щодо підвищення надійності і довговічності двигунів. Результат цих послідовних кроків – поява принципово нових СОД здатних, в першу чергу, працювати на високов'язких сортах палива і характеризуються агрегатної потужністю в межах 30000 кВт і вище. 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 судових механізмів [4, 5].

Суднові СОД випускаються усіма дизелебудівному фірмами: Daihatsu Diesel, Hyundai Heavy Industries, MaK-Caterpillar, MAN-B&W, Metsui Iron Works, Mitsubishi Heavy Industries, SEMT Pielstick, The Hanshin Diesel Works, Wartsila-Sulzer, Yanmar з числом циліндрів від 4 -х до 20-ти (в V-образному виконанні) і циліндровою потужністю від 15-ти до 1400 кВт [6].

Для забезпечення судових дизелів (як головних, так і допоміжних) паливом, мастилом, водою і повітрям, а також для видалення відпрацьованих газів СЕУ обладнають системами: паливної, мастильної, водяного охолодження, стисненого повітря, газовипуска. Названі системи забезпечують подачу палива до паливних насосів високого тиску (ПНВТ) дизелів і його подальший впорскування в циліндр; подачу мастила на змащення і охолодження вузлів тертя; подачу охолоджуючих рідин для відводу теплоти від нагрітих деталей, подачу стисненого повітря для пуску і реверсу двигуна; подачу свіжого повітря для здійснення робочого циклу і очищення циліндра від продуктів згоряння.

До складу систем входить велика кількість допоміжного обладнання, що виконують транспортування палива, мастила і води від прийомних танків до відповідних контурів дизеля із забезпеченням і підтримкою їх якісних характеристик. Тривалий відрив судна від берегового постачання вимагає створення спеціальних сховищ палива, мастила, прісної води. Крім того, для забезпечення живучості та непотоплюваності судна, а також життєдіяльності обслуговуючого персоналу і для виконання властивих судну операцій в машинно-котельному відділенні (МКВ) встановлюються механізми і пристрої загальносуднових систем, які в тій чи іншій мірі можуть бути

пов'язані з системами, що обслуговують головний і допоміжні дизелі .
Порушення функціонування елементів систем СЕУ або вихід їх з ладу може привести до зниження ефективності її роботи або до аварії двигунів, що, в свою чергу, може спричинити за собою зниження ходових характеристик судна аж до його зупинки. Подібні ситуації особливо небезпечні в місцях активного судноплавства (морських протоках, каналах, акваторіях портів), а також в несприятливих погодних умовах [7].

Найбільш розгалуженішою і насиченою за своїм складом є паливна система, яка складається з систем високого і низького тисків. Паливна система низького тиску призначена для підготовки і подачі палива до паливної системи високого тиску і включає цистерни, фільтри, насоси, змішувачі, сепаратори, підігрівачі, різні спеціальні пристрої і паливопроводи. Паливна система високого тиску забезпечує впорскування палива в камеру згоряння двигуна і включає ПНВТ і форсунку, зазвичай з'єднані паливопроводом високого тиску. При застосуванні насос-форсунок паливопровід високого тиску відсутній, а в разі установки на дизелі сучасних систем common-rail нагнітання палива до форсунок відбувається із загальної магістралі.

Мастильна система служить для подачі мастила до вузлів і деталей дизеля, що працює в умовах тертя. Мастильна система забезпечує: прийом і зберігання мастила, очищення його від води і механічних домішок в фільтрах і сепараторах, охолодження в охолоджувачі мастило. Суднові СОД комплектуються циркуляційними системами змащування, що забезпечують подачу мастильного матеріалу як до підшипників колінчатого вала, так і безпосередньо на дзеркало циліндрової втулки.

Системи водяного охолодження призначені для підтримки необхідного теплового режиму роботи дизеля шляхом відведення теплоти від таких його вузлів як кришка циліндра, випускний клапан, циліндрична втулка (при цьому використовується прісна вода), а також для охолодження наддувочного повітря в повітроохолоджувачі (за допомогою забортної води).

Системи охолодження прісною водою для сучасних дизелів виконуються тільки в замкнутому вигляді, в яких вода циркулює по замкнутому контуру, а її охолодження відбувається за допомогою забортної води, що циркулює по відкритому контуру.

З огляду на, що переважна більшість суднових СОД виконуються нереверсивними, система стисненого повітря використовується тільки для їх пуску (що, тим не менш також важливо і актуально, оскільки саме ДД забезпечують електроенергією всі допоміжні механізми обслуговують введення в дію і роботу ГД).

1.2. Аналіз схем підготовки палива для суднових дизелів

Міжнародною організацією зі стандартизації (ISO) в 1987 році були розроблені і затверджені стандарти на паливо DP-8216 і DP-8217. Дані стандарти ISO кожні 5 років піддаються перегляду і в них вносяться необхідні корективи. У 2010 році на вимогу Міжнародної морської організація (IMO) ISO підготувала специфікацію морських сортів палива, що відповідає переробленому Додатку VI Міжнародної конвенції щодо запобігання забрудненню із суден (МАРПОЛ). В даний час дані стандарти позначаються як ISO 8216-1: 2010 і ISO 8217: 2010 і визначають 4 марки дистилатів і 6 марок залишкових суднових палив. Дистилатні палива: газойль DMA, чисте дизельне паливо DMB і DMZ (з великим значенням мінімальної в'язкості), паливо DMX, призначене для використання в зовнішньому аварійному обладнанні. В'язкість цієї групи палив при 40°C становить 1,4...2,5 мм²/с (сСт). Залишкові палива: RMA, RMB, RME, RMG, RMH, RMKG, в'язкість яких при 50°C лежить в межах 180...700 мм²/с (сСт) [8].

В останні роки на транспортних суднах для СОД все ширше застосовуються важкі сорти палива високої в'язкості, що мають більш низьку

вартість [3, 9]. 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 $380 \text{ мм}^2/\text{с}$. 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 двигунів. Крім того, в суднову практику чітко простежується тенденція використання важких сортів палива не тільки для сучасних моделей СОД, а й перекладу СОД попередніх моделей (спроектованих з умовою роботи на легких сортах палива) на експлуатацію на паливі з підвищеною в'язкістю [10].

При роботі СОД на високов'язких залишкових паливах спостерігається відхилення від нормального процесу згорання в циліндрі, викликане зміною параметрів подачі палива. Істотно збільшується тиск уприскування і змінюються фази подачі палива, причому ці відхилення тим значніше, чим вище в'язкість палива. Важкі сорти палива в порівнянні з дизельними характеризуються більш низьким цетановим числом, що призводить до збільшення періоду затримки запалення при їх згоранні. Внаслідок цього до початку займання в циліндр дизеля подається кілька більшу кількість палива, що обумовлює збільшення питомої витрати палива і більш жорстку роботу дизеля. Важке паливо згорає повільніше ніж дистилатне, має більший процес догорання, що сприяють збільшенню температури відпрацьованих газів. Зміна процесу згорання викликає і більш високу, ніж при роботі на дизельному паливі, теплову напруженість циліндра [2].

Традиційно експлуатація судових МОД на сталих режимах роботи проводиться на важких сортах палива. Температура повітряного заряду в циліндрі дизеля в момент впорскування палива, а також тривалий період часу, який припадає на його займання, дозволяє надійно використовувати в

цих типах дизелів паливо погіршеної структурного і фракційного складу. Час експлуатації МОД на легкому паливі, а також на суміші легкого і важкого палива визначається їх роботою на пускових режимах і залежить від призначення судна. Природно, що в разі роботи в прибережних районах і частих портах заходу, коли експлуатація ГД відбувається на режимах пуску і реверсу, час роботи дизеля на легкому паливі підвищується, як підвищується і його витрата. При тривалих переходах експлуатація ГД відбувається тільки на важких сортах палива, причому час такої роботи може досягати кілька десятків діб, що істотно знижує загальні витрати легкого палива.

Експлуатаційні режими роботи суднових СОД забезпечуються як важкими, так і легкими сортами палива [11]. Використання мало-в'язкого палива обумовлено необхідністю забезпечення його надійного самозаймання протягом коротшого (в порівнянні з МОД) періоду впорскування, тривалість якого оцінюється за виразом

$$\tau = \frac{\varphi_d}{6n}, \text{сек,}$$

де n – частота обертання колінчатого вала дизеля, об/хв;

$\varphi_d = 15 \dots 35^\circ$ пкв – дійсна тривалість подачі палива в циліндр.

Частота обертання колінчатого вала сучасних суднових МОД може становити 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 [12, 13]. 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 судових 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% [14, 15]. 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 [16].

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. Аналіз даних по експлуатації судових СОД, показує, що знос їх ЦПГ при роботі на залишкових сортах палива приблизно в 2,5 рази більше в порівнянні з використанням дистилятів дизельних палив. У тій же пропорції скорочується період між моточісками дизелів. Перш за все, високий знос і надмірне нагароутворення обумовлюється значним погіршенням групового і хімічного складу подібного палива.

Використання важких палив в судових 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.

Збільшення в'язкості палива в процесі експлуатації СОД не робить помітного впливу на його розпилювання, сумішоутворення і згоряння в циліндрі дизеля, тому що відповідним підігрівом можна домогтися оптимальної в'язкості палива (5...12 сСт) перед його надходженням в циліндр дизеля. Дизелебудівному фірми рекомендують верхня межа в'язкості палива для судових СОД 20... 25 сСт при 50°C [6, 10].

Практично в СОД можуть бути використані палива з в'язкістю до 380 сСт. Однак, в'язкість палива побічно характеризує його груповий і

хімічний склад. Палива з підвищеною в'язкість, як правило, характеризуються підвищеним вмістом ароматичних вуглеводнів, асфальто-смолистих речовин і золи. Крім того, з підвищенням в'язкості потрібно більший підігрів палива, що ускладнює паливопідготовки і збільшує витрати не тільки на підігрів, а й транспортування і бункерування [17, 18].

1.3. Аналіз зміни експлуатаційних властивостей палив під час їх підготовці

Експлуатаційні властивості палив оцінюються показниками, що характеризують процеси подачі, сумішоутворення, згорання, а також здатність викликати утворення нагарів і зношування в деталях дизеля. Різні джерела визначають різні експлуатаційні властивості палива, при цьому всі вони до основних показників відносяться наступні: фракційний склад, температури спалаху, займання і самозаймання, цетанове число, густина, в'язкість, температури помутніння і застигання, вміст механічних домішок, алюмосилікатів, води, коксу і асфальтенів, солей натрію і оксидів ванадію, зольність, вміст сірки; кислотність, теплота згорання [19].

1.3.1. Фракційний склад суднових палив

Фракційний склад палива визначається кількістю тих чи інших нафтових фракцій у відсотках за обсягом, що википають при певних температурних межах. Фракційний склад визначають шляхом перегонки палива. Фракційний склад палив є одним з найважливіших показників його якості, який дає можливість оцінювати випаровуваність його парів і висловлює залежність

між температурою і кількістю переганяють при цій температурі палива. Фракційний склад (від якого залежить займистість палива на пускових режимах і особливо в умовах екстреного пуску) важливий при використанні палива в суднових СОД, в яких згоряння відбувається за менший проміжок часу.

Товарні сорти палив зазвичай отримують змішування продуктів прямої перегонки нафти з продуктами її вторинної переробки. Прямогонні дистиляти нафти (бензини, легроїни, газ, газойлі) отримують шляхом нагрівання і випаровування нафти при атмосферному тиску. Нафтовий залишок – прямогонний мазут, що містить фракції нафти, скипає при температурі понад 300...350°C – використовується для отримання масляних погонів і є компонентом товарних сортів мазуту, а також, поряд з іншими прямогонними дистилятами нафти, служить сировиною для вторинної переробки нафтопродуктів. Вторинна переробка нафти, метою якої є отримання з нафти додаткової кількості світлих нафтопродуктів і поліпшення окремих показників прямогонних дистилятів, здійснюється при високих температурах 500...700°C і тиском 5...7 МПа методами термічного або каталітичного крекінгу, гідрокрекінгу і ін. Отримані в результаті цих процесів нафтопродукти відрізняються від прямогонних значною зміною групового і хімічного складу в слідстві деструкції (розпаду) вуглеводнів [9, 20].

У дистилятивних продуктах крекінгу, особливо в залишкових крекінг-мазутах, міститься велика кількість ненасичених і ароматичних вуглеводнів і не вуглеводневого з'єднань, а в частці залишкових палив, (як прямогонних, так і отриманих вторинної переробкою) крім того, підвищена кількість мінеральних домішок.

Високов'язкі паливо має і більш складний фракційний склад. Важкі палива, які використовуються для МОД і СОД, отримують, як правило, компаундуванням залишкових палив, що містять фракції, киплячі при температурі 400...500°C з дизельними паливами, температура кипіння яких 200...300°C. Останні додають в паливо для отримання необхідної в'язкості і

зниження температури застигання, що і визначає фракційний склад високов'язкого палива.

Широкий фракційний склад для палива, використовуваного в СОД і особливо в ВОД, викликає погіршення якості розпилювання, випаровування і сумішоутворення. Крім того, при цьому зменшується повнота згоряння палива і, як наслідок, збільшується його питома витрата [21, 22].

Для палив, які використовуються в СОД з частотою обертання до 500 об/хв, температурні межі кипіння не мають важливого значення, тому вони не регламентовані стандартами. Час, відведений на сумішоутворення і горіння, досить для повного згоряння палива найширшого фракційного складу. Однак застосування палива з можливо більш вузьким фракційним складом сприяє рівномірному випаровуванню крапель в період самозаймання та інтенсивному розвитку полум'я в період горіння палива в циліндрі дизеля.

1.3.2. Елементний склад палива

Розшифрувати, тобто ідентифікувати «повний» хімічний склад суднового палива сучасними засобами поки не представляється можливим (оскільки в даний час отримують і вивчають хімічний склад нафти тільки до температур кипіння вузьких фракцій в максимальних межах 500...580°C), тому хімічний склад нафтових палив виражають двома способами – елементним хімічним складом і груповим хімічним складом [10].

Елементний хімічний аналіз палив не розкриває хімічної природи входять в них сполук і тому не може дати досить повного уявлення про їх властивості, але дозволяє розрахувати тепловий і матеріальний баланс горіння палива. Елементний хімічний склад – кількісний склад хімічних елементів, що входять в паливо, виражений в масових частках або масових

відсотках. Число хімічних елементів в складі палива дуже велике, але, не дивлячись на це, елементний хімічний склад палива виражається залежністю

$$C^P + H^P + O^P + N^P + S^P + A^P + W^P = 100\%,$$

яка визначає його основні горючі речовини: вуглець С, водень Н, сірку S, а також кисень О і азот N, що знаходяться в складних високомолекулярних з'єднаннях, і негорючі мінеральні домішки, що перетворюються при спалюванні палива в золу А і вологу W.

Основний горючої складової палива є вуглець, горіння якого обумовлює виділення основного кількості тепла. Вуглець міститься в паливах різного складу в кількості 83...88% по масі, причому чим важче нафту по густини і фракційним складом, тим вищий вміст вуглецю. Вуглець входить до складу всіх хімічних сполук палива.

Другим за процентним вмістом в паливі є водень, який становить 10...14% маси палива, в більш важких паливах водню менше. Також як і вуглець водень є складовою частиною всіх хімічних сполук палива. Водень і вуглець є основними горючими елементами палива і носіями теплової енергії.

Сірка входить до складу численної групи сірковмісних гетероатомних з'єднань. Палива сильно відрізняються за змістом сірки: в мало-сірчистих сірка становить 0,01...0,5 % по масі, а в високо-сірчистих до 3,5 % за масою. У висококиплячих фракціях нафти (вище 400°C) сірки зазвичай міститься значно більше, ніж в низькокиплячих. Сірка є одним з небажаних елементів палива [23].

Азот в паливі міститься в значно менших ніж сірка кількостях (0,01...0,6 % по масі і лише в окремих випадках до 1,5 % по масі). Азотовмісні сполуки концентруються в основному у важких фракціях нафти (вище 400°C).

Кисень в паливі представлений у вигляді карбонових і нафтових кислот, зміст його може бути від 0,05 до 0,85 % по масі. Кисень концентрується у важких фракціях нафти і є небажаним елементом.

Кисень і азот в паливі є органічним баластом, так як їх наявність зменшує вміст горючих елементів в паливі. Крім того, кисень, перебуваючи в поєднанні з воднем або вуглецем палива, переводить деяку частину горючих компонентів в окислюється стан і зменшує теплоту згоряння палива. Азот при спалюванні палива в атмосфері повітря не окислюється і переходить в продукти згоряння у вільному вигляді.

Структурний склад палива визначає одну з основних його характеристик – нижчу теплоту згоряння Q_H , чисельне значення якої може бути визначено за формулою Д.І. Менделєєва

$$Q_H = 339,15C^P + 1256H^P - 108,86(O^P - S^P) - 25,12(9N^P + W^P)$$

Від нижчої теплоти згорання палива Q_H залежить його питома ефективна витрата b_e

$$b_e = \frac{3600}{\eta_e \cdot Q_H}$$

де η_e – ефективний коефіцієнт корисної дії (ККД) дизеля.

При фіксованому значенні ефективного ККД $\eta_e=0,45$ зміна структурного складу палива призводить до наступних змін нижчої теплоти згорання і питомої ефективної витрати палива (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1

Вплив структурного складу палива на його нижчу теплоту згоряння і питома ефективна витрата

Зміна структурного складу палива					Q_H , кДж/кг	b_e , кг/(кВт·год)
C^P	H^P	S^P	O^P	W^P		
87,0	11,3	1,0	0,4	0,3	41203	0,194
87,5	11,1	1,0	0,4	0,3	41870	0,191
87,2	12,6	0,1	0,05	0,05	42556	0,188

1.3.3. Груповий склад палива

Хімічний склад нафтових палив прийнято характеризувати вмістом основних груп вуглеводнів та інших сполук [23].

Важливим компонентом як сирової нафти, так і продуктів нафтопереробки є сірка і сірковмісні сполуки. Сірка в сирової нафти знаходиться в зв'язаному вигляді в кількості від 0,02 до 6% за масою. За вмістом загальної сірки нафту умовно поділяється на мало-сірчисту (до 0,5%), сірчисту (0,5...1,9%) і високо-сірчисту (1,9...3% і більше) [24].

Використання в дизелях палива з високим вмістом смол вимагає більш досконалої організації паливо-підготовки, процесів розпилювання і сумішоутворення, ніж при роботі на малосмолистих паливах. Смоли служать основним джерелом відкладень у вигляді опадів і шламу в цистернах, трубопроводах і фільтрах; лакових плівок на плунжерних парах ПНВТ і голках форсунок; коксу у соплових отворів форсунок; лаків і нагару на деталях ЦПГ. Смоли значно погіршують деемульгуючі властивості палива, при їх високому вмісті створюються стійкі водопаливної емульсії. Непрямим показником вмісту смол та інших високомолекулярних сполук в паливі служить його коксованість, яка регламентується стандартами на паливо.

Мінеральні домішки, що знаходяться в нафтопродуктах, в залежності від походження можна розбити на дві групи. До першої групи належать забруднення, що потрапляють в паливо в процесі переробки, транспортування, зберігання і застосування. Сюди відносяться продукти корозії і зносу технологічного устаткування нафтопереробних установок, цистерн, трубопроводів, а також ґрунтова пил і мінеральні солі, що потрапляють в паливо з води при промиванні товарних продуктів або при обводнюванні палива в процесі зберігання і використання. Велика частина мінеральних домішок першої групи відділяється при відстоюванні, сепарації і фільтрації палива. Другу, значно меншу групу, складають зольні елементи

нафти, що перейшли в товарні сорти палива в процесі її переробки. У золі нафтових палив міститься велика кількість елементів (понад 25), головним чином солей металів, які в сирій нафті знаходяться в розчиненому вигляді або колоїдному стані.

1.4. Аналіз впливу експлуатаційних властивостей палива на технічні характеристики суднового дизеля

В останні роки практично у всіх сучасних суднових СОД використовуються середньо- і високов'язкі палива. У зв'язку з цим змінилися і вимоги до якості палива, стало більшою мірою виявлятися вплив експлуатаційних властивостей палива на ефективність його використання, яка, в свою чергу, знаходиться в прямій залежності від якості його підготовки до спалювання в дизелі.

Дослідження з питань можливості застосування в суднових СОД палив погіршеної фракційного складу розвиваються за наступними напрямками:

- застосування спеціальних присадок (антиокислювальних, для запобігання окислювальних процесів і скорочення освіти опадів при зберіганні палива; диспергируючих, для запобігання утворення асфальто-смолистих агломератів; деемульгуючих, для протидії утворенню стійких водопаливних емульсій);
- застосування багатоступеневої фільтрації з додатковою гідродинамічної обробкою;
- застосування методів магніто-і електродинамічної обробки;
- оснащення дизелів пристроями, що забезпечують застосування більш вузького палива.

Для забезпечення якісної паливо-підготовки і подальшого ефективного паливо використання, новоспоруджувані судна комплектуються

спеціальними системами підготовки і подачі палива, а паливні системи дизелів діючих судів переобладнуються з урахуванням можливості застосування середньо- і високов'язкого палива.

Аналіз працездатності основних вузлів і деталей дизелів показує, що від якості палива залежить робота, головним чином, деталей ЦПГ, паливної апаратури та випускних клапанів [25, 26]. У таблиці 1.2 показано розподіл відмов по основних вузлів дизелів фірм MAN-B&W і Wärtsilä-Sulzer.

Таблиця 1.2

Розподіл відмов по основних вузлах дизелів

Найменування вузла чи деталі	Відношення відмови кожного вузла до усіх відказів	
	MAN-B&W	Wartsila-Sulzer
Циліндрові кришки	9,7	10,3
Деталі ЦПГ	16,3	14,3
Випускні клапани	19,7	18,3
Підшипники руху	5,3	6,1
Паливна апаратура	22,4	23,6
ГТН	5,2	5,5
Механізми и системи обслуговування дизелів	14,8	13,7
Інші вузли і деталі	6,6	8,2

Як випливає з таблиці 1.2, найбільшу кількість відмов припадає на деталі ЦПГ, паливну апаратуру і випускні клапани. Неважко припустити, що це, перш за все, пов'язано з якістю підготовки палива та забезпеченням його згоряння. На стан цих деталей основний вплив роблять містяться в паливі механічні домішки (карбони, карбоїди і частки неорганічного походження), меркаптанової сполуки сірки, вода (особливо морська) і різні солі, які при згорянні переходять в золу. При цьому слід враховувати той факт, що

існуючі системи паливопідготовки не в змозі здійснити повну і комплексну очистку палива від всіх перерахованих домішок. Досить ефективним можна вважати лише вирішення питання щодо зниження в паливі механічних домішок і води, і в меншій мірі питання видалення золи, а практично невирішеним – видалення сірки [27].

1.5. Аналіз методів підготовки палива до його використання

Аналіз досліджень з підготовки суднового 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 паливо-підготовки, якими володіє більшість СЕУ [7, 21].

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

В цьому випадку забруднюючі частки в паливі осідають, не стикаючись між собою, і на кожному з них діють сила тяжіння або власну вагу, підйомна сила середовища і сила опору середовища:

- вага

$$P = \frac{\pi d^3 g \rho_{\text{ч}}}{6},$$

де d – середній діаметр частинки забруднення, прийнятої за сферичний об'єкт, м;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

$\rho_{\text{ч}}$ – густина механічних домішок або води, кг/м^3 ;

• підйомна сила середовища, що визначається згідно із законом Архімеда,

$$F_A = \frac{\pi d^3 g \rho_{\text{т}}}{6},$$

де $\rho_{\text{т}}$ – густина палива, кг/м^3 ;

• сила опору середовища, яку в загальному випадку можна обчислити за законом Ньютона

$$F_H = \frac{\zeta \pi d^2 \rho_{\text{т}} \omega_o^2}{8},$$

де ζ – коефіцієнт опору, що залежить від числа Рейнольдса і визначається дослідним шляхом, залежно від швидкості частинок;

ω_o – швидкість осідання частинок, м/с .

Якщо частинки падають в в'язкої рідини під дією власної ваги, то стала швидкість досягається, коли ця сила тертя спільно з силою Архімеда точно врівноважуються силою гравітації. Хоча в класичній формулюванні закон Архімеда виконується тільки в статичному випадку, а не для рухомих тіл, в даному випадку вираз для сили Архімеда зберігає традиційний вид.

При усталеному русі умова рівноваги може бути записано так:

$$P - F_A = F_H.$$

Тоді швидкість осідання твердих частинок в паливі визначається за виразом

$$\omega_o = \sqrt{\frac{4(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{т}})gd}{3\rho_{\text{т}}\zeta}},$$

з якого видно, що швидкість осідання забруднень в паливі залежить, перш за все, від різниці густини забруднень і палива і розміру часток.

Незважаючи на велику кількість робіт, присвячених осідання частинок в гравітаційному полі, універсальної залежності для обчислення коефіцієнта опору ζ немає. В окремому випадку, при русі, частинок, що мають форму кулі, в в'язкої нестисливої рідини коефіцієнт опору може бути прийнятий:

для ламінарного режиму

$$\zeta_{\text{л}} = \frac{0,24\mu_{\text{т}}}{\omega_{\text{o}} d \rho_{\text{т}}};$$

для перехідного режиму

$$\zeta_{\text{п}} = 10 \sqrt{\frac{\mu_{\text{т}}}{\omega_{\text{o}} d \rho_{\text{т}}}};$$

для турбулентного режиму

$$\zeta_{\text{т}} = 0,5,$$

де $\mu_{\text{т}}$ – коефіцієнт динамічної в'язкості палива, Па·с.

З урахуванням виразу для $\zeta_{\text{л}}$ отримаємо розрахункову залежність для швидкості осідання частинок в ламінарному потоці (при $Re < 1$), тобто

$$\omega_{\text{o}} = \frac{(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{т}}) g d^2}{18\mu_{\text{т}}}.$$

Для визначення швидкості осідання емульгованої води в паливі з урахуванням в'язкості води можна використовувати формулу

$$\omega_{\text{o}} = \left(\frac{(\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{т}}) d^2}{18\mu_{\text{т}}} \right) \left(\frac{3(\mu_{\text{т}} - \mu_{\text{в}}) g}{(3\mu_{\text{т}} + 2\mu_{\text{в}})} \right),$$

де $\mu_{\text{в}}$ – коефіцієнт динамічної в'язкості води, Па·с.

Дійсна швидкість осідання частинок в паливі відрізняється від розрахункової, так як важко точно визначити густину забруднення і

коефіцієнт опору який багато в чому залежить від режиму осідання. Причиною розбіжності розрахункових і дійсних швидкостей осідання частинок при очищенні палива відстоюванням так само є і конвективні струми, що виникають в ємностях, призначених для відстоювання палива, внаслідок зміни температури зовнішнього повітря.

Основні недоліки очищення палива відстоюванням – це тривалість процесу і неможливість видалити дрібнодисперсні забруднення. Відстоювання є найпростішим методом очищення палива. В даний час він втрачає своє значення і застосовується в якості самостійного методу - лише для палива з в'язкістю до 20 сСт і в якості допоміжного для більш сучасних способів. Якість відстоювання залежить від часу процесу, температури, висоти стовпа і густини палива, стану моря. Інтенсивність процесу відстоювання може бути проілюстрована діаграмою, що показана на рис. 1.1.

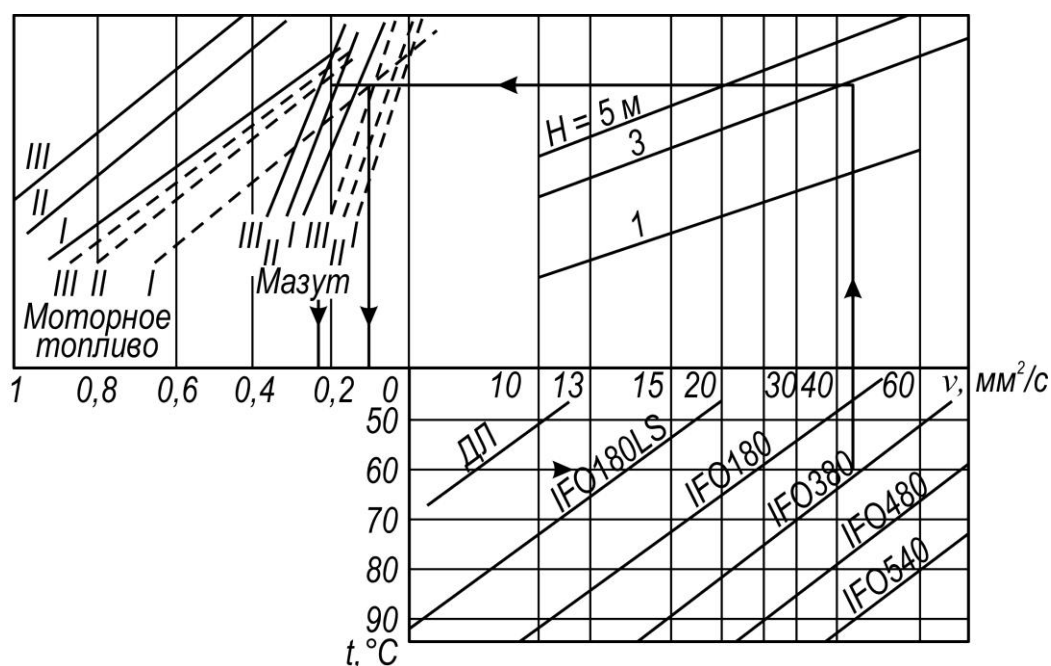


Рис. 1.1 – Номограма відстоювання палива:

I – 8 год; II – 16 год; III – 24 год – час відстоювання;

--- вода; - механічні домішки

Ефективність відстоювання характеризується величиною коефіцієнта σ , що показує ступінь видалення з палива домішок.

Одним з основних методів очищення палива на суднах є сепарація, в процесі якої зменшується вміст механічних домішок, води і золаутворюючих солей. Ефективність очищення (повнота звільнення від домішок) методом сепарації різна для різних видів палива. Відрізняється вона і для різних партій палива одного і того ж виду. Основний вплив на ефективність очищення палива методом сепарації надає груповий склад, співвідношення дистилатів і залишкових компонентів, прийняте при його компаундування, і, нарешті, обраний режим сепарації.

При сепарації відділення домішок здійснюється за рахунок відцентрової сили, яка визначається за формулою:

$$F_{\text{ц}} = \frac{\pi d^3 \omega^2 r (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{т}})}{6},$$

де ω – кутова швидкість; рад⁻¹;

r – радіус дії кутової швидкості, м.

На тяжіння частинок в паливі діє сила опору (сила тертя), так само звана силою Стокса $F_{\text{с}}$, яка підкоряється закону Стокса:

$$F_{\text{с}} = 3\pi d\eta v,$$

де η – динамічна в'язкість палива, Па·с;

v – швидкість частинки, м/с.

Максимальна тонкість відсіву за допомогою сепараторів $\approx 0,2 \dots 0,6$ мкм; при $Re \leq 200 \dots 300$. Результати досліджень [28] показують, що мало-в'язке паливо очищається з більшою ефективністю ніж високов'язкі. Так, вміст механічних домішок при сепарації палив з в'язкістю 50...100 сСт зменшується на 70...80%, з в'язкістю 180... 80 сСт – на 50...60 %, з в'язкістю понад 380 сСт – на 20...40 %. Вміст води після процесу сепарації в мало-в'язких паливах

зменшується практично на 100 %, в середньо-в'язких – на 95...100 %, в високов'язких – на 75...85 %. Зазначені рівні зниження механічних домішок і води супроводжуються втратами горючої частини палива, в основному важких її компонентів (асфальтенів і смол). Ці втрати можуть досягати 2...3 %, знижуючи пропорційно теплотворну здатність палива, що є істотним недоліком сепарації [29].

Внаслідок того, що сепарація середньо- і високов'язких палив проводиться при підігріві палива до 80...90 °С, цей метод підготовки супроводжується посиленням окислювальних процесів, що підвищують вміст смолистих речовин. Крім втрат теплотворної здатності палива і посилення окислювальних процесів, істотним недоліком сепарації є його мала ефективність зі зміни дисперсності механічних домішок (карбенів, карбоїдів і частинок неорганічного походження) які містяться в паливі [30]. При зменшенні загальної кількості частинок механічних домішок відносна густина розподілу решти в паливі частинок менших розмірів практично не змінюється. Таким чином, сепарація тільки знижує ймовірність відмов у роботі вузлів двигуна, але не виключає їх повністю.

Очищення палива шляхом фільтрації здійснюється на всьому шляху його проходження з танків до дизелю. Засоби фільтрації палива при цьому діляться на дві основні групи: самоочищаються фільтраційні установки і паливні фільтри. Прикладом використання додаткових фільтруючих елементів в системі паливопідготовки суднових дизелів може служити схема, рекомендована корпорацією MAN-B&W (рис. 1.2) [31].

У суднових системах паливо-підготовки також використовувалися альтернативні способи, що забезпечують поліпшення якості високо-сірчистих палив. До таких способів насамперед належать використання гомогенізації, застосування водо-паливних емульсій, використання присадок до палива.

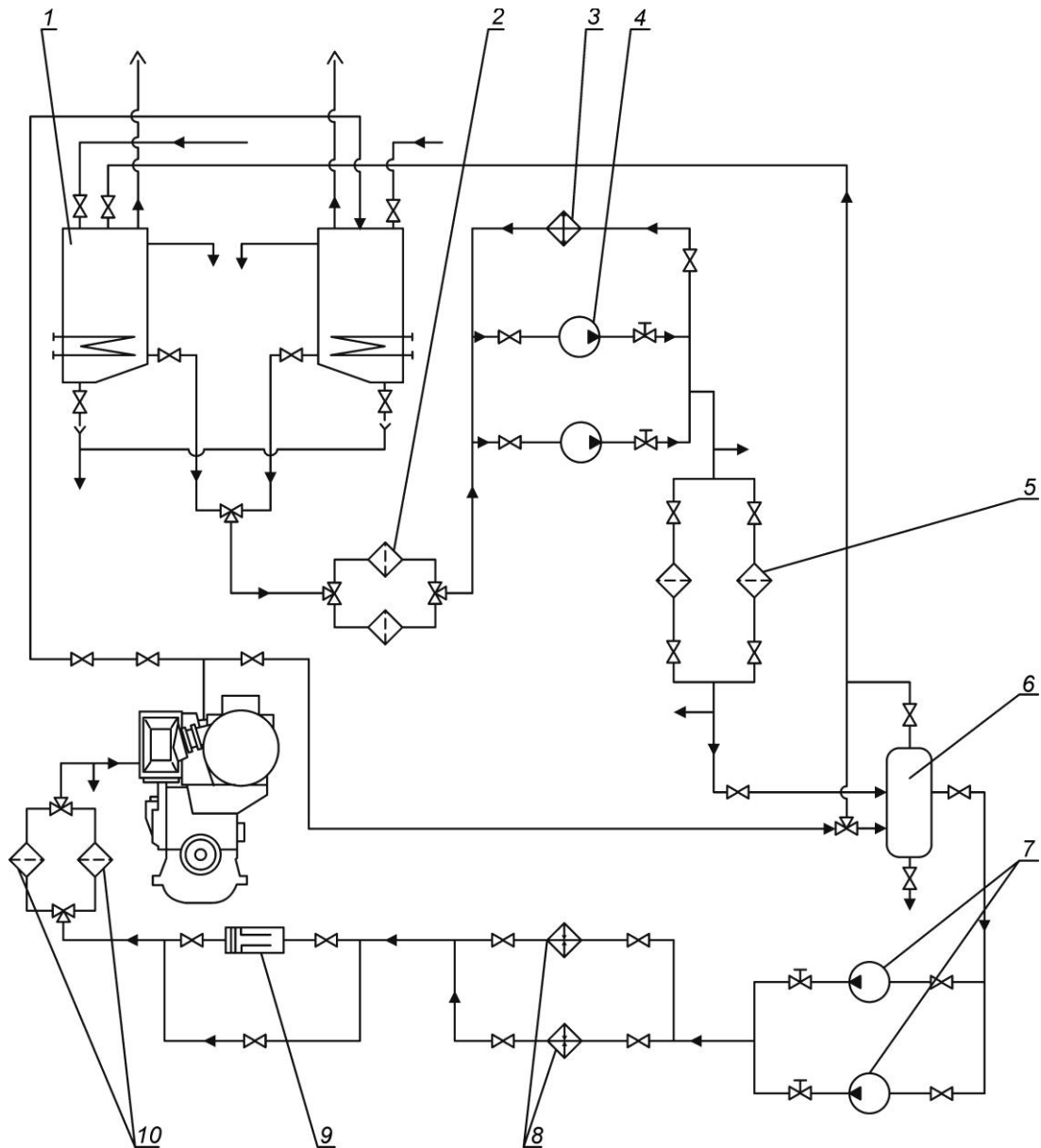


Рис.1.2 – Витратна паливна система суднового дизеля:

- 1 - витратна цистерна важкого палива; 2, 10 - здвоєний фільтр;
 3 - охолоджувач палива; 4, 7 - насоси, що підкачують паливо;
 5 - автоматичний фільтр; 6 - змішувальна цистерна; 8 - паливний підігрівач;
 9 - регулятор в'язкості

Гомогенізація, як явище, що забезпечує підвищення однорідності палива, застосовувалася для додаткової підготовки високов'язких палив в поєднанні зі стандартними методами паливо-підготовки. Основною метою, рішення якої забезпечувалося при гомогенізації палива, була збереження

теплотворної здатності палива за рахунок зменшення утворення шламів і видалення з ним горючих складових палива. Однак широкого поширення на флоті гомогенізатори не отримали, хоча і випускалися як вітчизняними, так і зарубіжними виробниками. Перш за все це було викликано додатковими витратами енергії на її проведення, додатковими вібраційними навантаженнями, створюваними при гомогенізації на конструкції машинного відділення і суднові системи, а також необхідністю виконання регламентних робіт з обслуговування таких систем [10, 23].

Поліпшення якості палива і подальше вдосконалення процесу згоряння палива за рахунок застосування водо-паливних емульсій досягало свій ефект для дизелів середньої форсировки, з максимальним тиском циклу p_{max} не перевищує 8...9 МПа. Це було пов'язано з тим, що використання водо-паливних емульсій ґрунтувалося на «ефекті мікробухів» впорскнутих в циліндр разом з паливом частинок води. Ці частинки утворювали пару до моменту самозаймання палива, сприяючи збагаченню паливного факела додатковим киснем і підвищуючи тим самим інтенсивність згоряння палива [8]. Однак розвиток суднового дизелебудування і пов'язане з ним зростання p_{max} до 14...16 МПа і вище призвело до нівелювання ефекту «мікробухів» і зараз використання водо-паливних емульсій, як і прямий впорскування води в повітряну і газову магістралі, а також безпосередньо в циліндр дизеля, застосовується тільки з метою забезпечення екологічних параметрів роботи дизеля.

Застосування присадок до суднових палив також не має широкого поширення в судовій практиці і використовується лише в одиничних випадках фірмами, що самостійно виробляють такі присадки і мають в своєму підпорядкуванні морські судна [22]. При цьому слід визнати, що паливні присадки сприяють поліпшенню інтенсивності процесу згоряння палива, проте їх вплив на корозійний знос ЦПГ і екологічні показники роботи дизеля неоднозначно. Крім того, велика частина присадок до палива не відрізняється високою стабільністю. Тому застосування присадок до

палива малоефективне в разі їх розчинення як у відстійних, так і витратних цистернах, а вимагає додаткових дозуючих пристроїв, які забезпечують порційну подачу присадок в паливо безпосередньо перед потраплянням в циліндр дизеля, що ускладнює і без цього розгалужену систему паливопідготовки.

Одним з перспективних з точки зору використання у системах паливопідготовки суднових СОД (обсяги витратних цистерн та витратної паливної магістралі значно менш ніж у МОД) є ультразвукова обробки палива [10].

Питання ультразвукової обробки палива також розглядалися при проектуванні і модернізації систем паливопідготовки [26]. Однак цей вид паливопідготовки вивчався з точки зору створення стійких сумішей палива різної щільності і структурного складу, а його використання з метою зниження концентрації сірковмісних компонентів з паралельним впливом на корозійний знос і екологічні параметри роботи дизеля, взагалі не вивчалось.

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, не виконуючи глибокого аналізу альтернативних способів вдосконалення систем обробки суднового палива.

1.6. Висновки по розділу 1

В результаті проведеного огляду літературних джерел встановлено наступне:

- в світовому дизелебудуванні (в тому числі і судновому) триває тенденція збільшення агрегатних потужностей суднових дизелів (МОД і СОД), одночасно з підвищенням ефективних показників суднових дизелів ростуть енергетичні витрати, пов'язані із забезпеченням функціонування

системи паливопідготовки і підтримки заданих експлуатаційних характеристик палива;

- суднова система паливопідготовки є системою, експлуатація якої прямо впливає на економічність роботи суднових СОД і енергетичну ефективність всієї СЕУ;

- управління процесами, що відбуваються в системі паливопідготовки, призводить до зміни структурних складових палива і сприяють поліпшенню енергетичних і економічних характеристик ДВЗ;

- широке застосування високов'язких палив в сучасних суднових СОД, а також переклад СОД попередніх моделей на подібні сорти палива вимагають створення спеціальних систем і технологій його обробки і підготовки до спалювання в циліндрі дизеля.

Наведені факти свідчать про необхідність досліджень, спрямованих на розробку алгоритмів і способів підвищення якості обробки палив, що використовуються в суднових дизелях.

2. ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Процес наукового пізнання

Наукове пізнання починається із спостереження навколишньої дійсності – природи, техніки, технологій і т.і. Процес наукового пізнання включає, щонайменше, п'ять етапів, до яких відносяться: спостереження, вивчення, дослідження, апробацію й підтвердження [32].

На етапі спостереження дослідник накопичує інформацію про явища й процеси навколишньої дійсності, не впливаючи на неї. Спочатку формується загальне враження про пізнаванність явищ або процесів, потім здійснюється угруповання фактів дійсності за певними важливими ознаками з наступним виділенням із цих груп проблемних (не зрозумілих або не очевидних) фактів дійсності [33].

Етап вивчення необхідний для вибору найбільш актуальної, принципової й вчасно розв'язуваної в результаті наступних досліджень, наукової проблеми або завдання.

При цьому необхідно спочатку спланувати й систематизувати дослідження в цьому напрямку.

Об'єктом наукового дослідження є процес, явище, матеріальна або ідеальна система. Предмет дослідження – це параметри внутрісистемної структури.

Для посилення цілеспрямованості дослідження уточнюються його мета й завдання.

Головне завдання дослідження спрямоване на встановлення умов досягнення мети після одержання нових наукових результатів, що є наслідком рішення ряду допоміжних наукових завдань.

При постановці головного завдання дослідження виходять із необхідності доказу реальності передбачуваної наукової новизни [34].

Передбачувана наукова новизна представляє нову ідею, гіпотезу, закономірність або наукову тезу про шляхи досягнення поставленої мети.

Процес рішення головного завдання традиційно розділяється на ряд самостійних допоміжних завдань, результати рішення яких мають елементи наукової новизни. Наукові результати надалі використовуються при доказі передбачуваної наукової новизни дослідження [35].

Наукове дослідження є процесом виробітку нових наукових знань, одним з видів пізнавальної діяльності. Наукове дослідження характеризується об'єктивністю, відтворюваністю, доказовістю й точністю, що може по різному визначатися в різних галузях науки.

На етапі апробації відбувається обговорення постановки, методології й результатів досліджень на різних рівнях: науково-технічних семінарах, конференціях, симпозіумах, наукових і координаційних радах і т.п.

Етап підтвердження припускає закінчення процедур апробації й публікації доказів і підтверджень у вигляді наукових положень і наукових результатів досліджень на підставі оцінки їхніх переваг і недоліків відповідно до вимог до висновки з наукової праці.

Одним з важливих елементів підтвердження є впровадження. Під ним розуміють імплементацію нових видів конструкцій, матеріалів, прогресивних технологій із застосуванням нових механізмів, пристосувань і т.д.

2.2. Методологічні принципи наукових досліджень

З філософської точки зору методологія – це навчання про формування пізнання й перетворення дійсності, застосування принципів світогляду до процесу пізнання, духовній творчості й практиці.

Метод – це послідовність дії для досягнення якої-небудь мети, рішення конкретного завдання, сукупність прийомів або операцій практичного або теоретичного пізнання дійсності.

Пристаючи до наукового пошуку доцільно розробити технологічну карту дослідження (рис. 2.1).

2.3. Обґрунтування мети і завдань дослідження

Важливість проведення досліджень, пов'язаних з питаннями забезпечення якості підготовки палива для СДВЗ, підтверджується програмою економічних реформ, що проводяться в Україні, а також Транспортною стратегією України на період до 2030 р. Однією з цілей цього документа в області розвитку транспортного сектора економіки України на період до 2030 року, є модернізація транспортної інфраструктури і рухомого складу для забезпечення зростаючої мобільності населення та товаропотоків, забезпечення конкурентоспроможних та якісних транспортних послуг, підвищення екологічної і енергетичної ефективності транспортних процесів та безпеки перевезень пасажирів і вантажів.

Крім того, проведення подібних досліджень узгоджується з вимогами резолюцій МЕРС.203 (62) і МЕРС.213 (63) Міжнародної морської організації про введення нових правил енергетичної ефективності суден і про розробку плану енергетичної ефективності судна. В останній, зокрема, в якості одного із способів підвищення енергетичної ефективності розглядається вдосконалення технічної експлуатації судових дизелів.

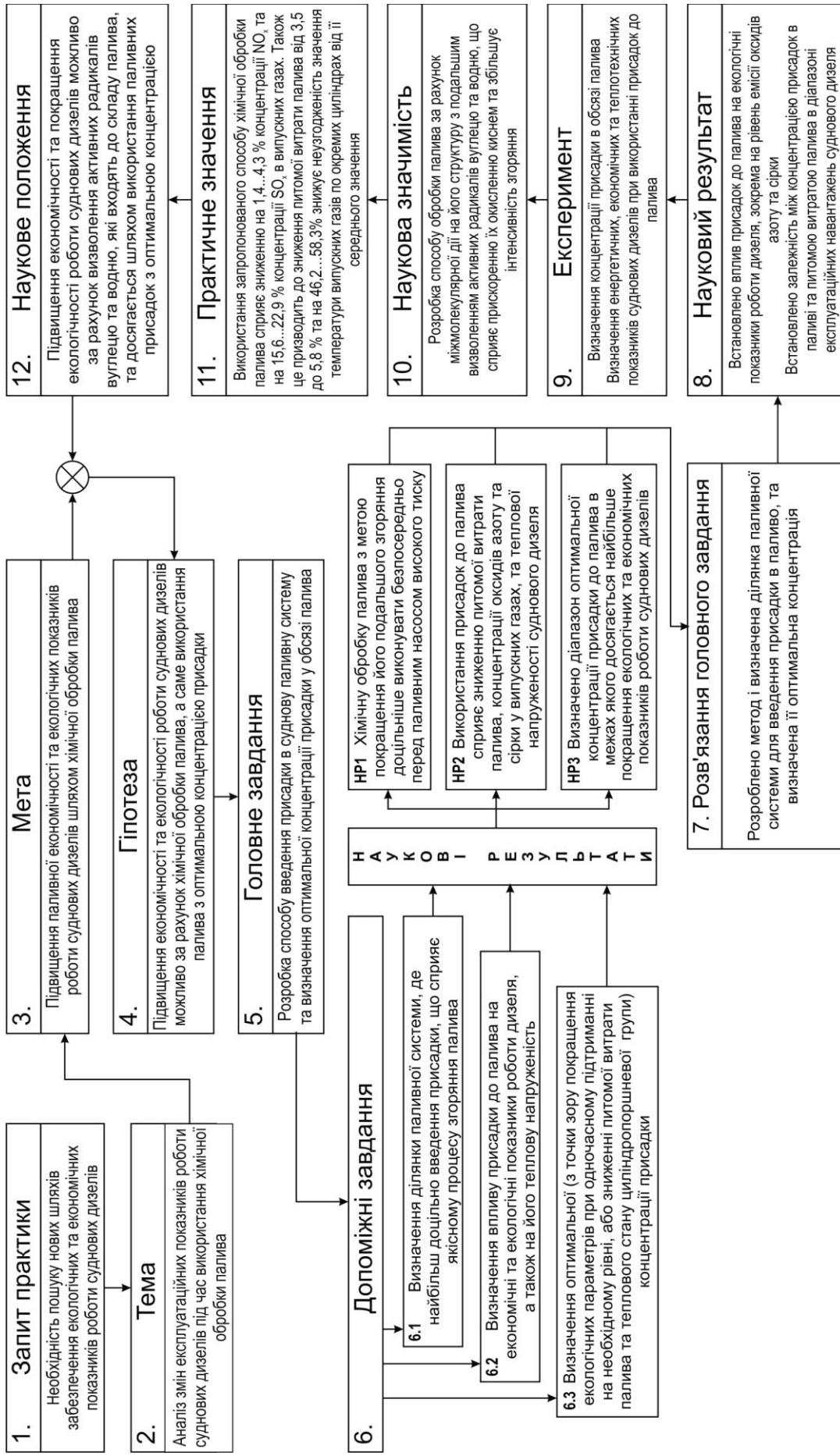


Рис. 2.1 – Технологічна карта наукового дослідження

Як **об'єкт дослідження** обрано процес паливopідготовки для суднових двигунів внутрішнього згорання.

Предметом дослідження є процес використання присадок до палива.

Актуальність теми дослідження базується на запиті практики про необхідність пошуку нових шляхів забезпечення екологічних та економічних показників роботи суднових дизелів.

З огляду на тему дипломної роботи, була сформульована **мета** магістерського дослідження – підвищення паливної економічності та екологічних показників роботи суднових дизелів шляхом хімічної обробки палива.

Гіпотеза наукового дослідження полягає в тому, що підвищення економічності та екологічності роботи суднових дизелів можливо за рахунок хімічної обробки палива, а саме використання палива з оптимальною концентрацією присадки.

Головне завдання магістерського дослідження полягає у розробці способу введення присадки в суднову паливну систему та визначення оптимальної концентрації присадки у обсязі палива.

Для вирішення головного завдання необхідне рішення ряду **допоміжних завдань**, а саме:

1) визначення ділянки паливної системи, де найбільш доцільно введення присадки, що сприяє якісному процесу згорання палива;

2) визначення впливу присадки до палива на економічні та екологічні показники роботи дизеля, а також на його теплову напруженість;

3) визначення оптимальної (з точки зору покращення екологічних параметрів при одночасному підтриманні на необхідному рівні, або зниженні питомої витрати палива та теплового стану циліндропоршневої групи) концентрації присадки.

При вирішенні кожної допоміжної завдання отримані відповідні **наукові результати**, а саме:

1) хімічну обробку палива з метою покращення його подальшого

згоряння доцільніше виконувати безпосередньо перед паливним насосом високого тиску;

2) використання присадок до палива сприяє зниженню питомої витрати палива, концентрації оксидів азоту та сірки у випускних газах, та теплової напруженості суднового дизеля;

3) визначено діапазон оптимальної концентрації присадки до палива в межах якого досягається найбільше покращення екологічних та економічних показників роботи суднових дизелів.

Рішення головного завдання дисертаційного дослідження виконано шляхом синтезу наукових результатів рішення допоміжних завдань.

2.4. Висновки по розділу 2

1. В результаті вибору теми магістерського наукового дослідження за ознаками актуальності, наукової новизни, практичної значущості сформульована тема, спрямована на підвищення паливної економічності та екологічних показників роботи суднових дизелів шляхом хімічної обробки палива.

Об'єктом дослідження обрано процес паливopідготовки для суднових двигунів внутрішнього згоряння.

Предметом дослідження є процес використання присадок до палива.

2. Метою дослідження є підвищення паливної економічності та екологічних показників роботи суднових дизелів шляхом хімічної обробки палива.

3. Головне завдання магістерського наукового дослідження полягає у розробці способу введення присадки в суднову паливну систему та визначення оптимальної концентрації присадки у обсязі палива.

4. Рішення головного завдання магістерського наукового дослідження виконано на основі синтезу результатів допоміжних завдань. На базі системного підходу замкнутий цикл наукового дослідження представлений у вигляді технологічної карти дослідження.

3. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ХІМІЧНОЇ ОБРОБКИ СУДНОВИХ МОТОРНИХ ПАЛИВ

3.1. Загальні принципи хімічної обробки палив

Підготовка палива до використання в судових дизелях проводиться комплексно, починаючи з прийому палива на судно і кінчаючи його подачею в двигун [36].

Одним із способів обробки палива є зміна його фізико-хімічного складу, яку можна розділити на:

- 1) очищення від домішок;
- 2) хімічну обробку.

До першої групи відносяться відстоювання, сепарація і фільтрація; а до другої – використання паливних присадок.

Паливні присадки спрямовані на поліпшення експлуатаційних якостей палива, починаючи з його прокачуємості і закінчуючи температурою займання. Присадки, що знижують випаровуваність палива й поліпшуючі його низькотемпературні властивості, доцільно вводити при бункеруванні судна. Присадки, що знижують схильність палива до опадоутворення, також доцільно вводити при бункеруванні або безпосередньо в танки запасу відразу ж після завершення процесу бункерування. Присадки, що захищають паливні апаратури від корозії й утворення лакових плівок, а також присадки, що поліпшують згоряння й попереджують утворення екологічно небезпечних речовин у процесі згоряння, варто вводити перед подачею палива до дизеля.

Важким високов'язким паливам характерна схильність до утворення відкладень у танках запасу, фільтрах, підігрівниках і інших елементах паливної системи, у тому числі сепараторах. Причина полягає в наявності в паливах важких вуглеводнів (смола, асфальтенів). Маючи підвищену поверхневу активність, важкі вуглеводні групуються навколо забруднююче паливо домішок, глобул води, утворюють складні структури, розміри яких

збільшуються, і вони випадають в осад у вигляді шламу на днище танка або осаджуються на поверхнях паливної системи [37].

Один зі шляхів боротьби зі утворенням шламів і відкладеннями в підсистемах зберігання й переробки палива складається у введенні в палива хімічних присадок, що містять потужні диспергатори. Присадки – диспергатори сприяють не тільки боротьбі зі утворенням шламів, але, подрібнюючи структуру важких вуглеводнів, що перебувають у паливі, і більше повному їхньому згорянню в циліндрах.

Присадки до суднових палив нині набули досить широкого поширення на суднах, проте результат їх застосування не завжди отримує однозначну оцінку. Це пов'язано з різними причинами, які передусім залежать від характеристик суднового дизеля і елементів його паливної системи, а також від забезпечення правильності технології використання присадок.

3.2. Типи присадок до суднових палив

Розглянемо основні типи паливних присадок, що використовуються в суднових енергетичних установках під експлуатації ДВЗ [37].

3.2.1. Паливна присадка AMERSTAT 25

Паливна присадка AMERSTAT 25 – препарат для запобігання біохімічному розпаду дизельного палива в танку основного запасу (танку зберігання).

Неминуче у витратних танках накопичується вологість – з конденсату, з вентиляційних і інших отворів – яка є ідеальним середовищем для життя

двох типів мікроорганізмів – бактерій і грибків. Ці мікроорганізми живуть на стику води і палива – вода служить середовищем для зростання, паливо є живленням. Безконтрольне зараження палива мікроорганізмами відбувається швидко і, якщо його вчасно не виявити, часто призводить до таких проблем як засмічення фільтрів і інжекторів, корозія в танку основного запасу, нестабільність палива і зниження температури згорання палива. Додатково, молекули, що містять сірку, перетворюються, що призводить до утворення сірководню [38].

Препарат AMERSTAT 25 контролює зростання мікроорганізмів в танках і паливних лініях, підтримуючи стабільність палива і знижуючи корозію в системі, а також не допускає засмічення, яке є результатом зараження палива бактеріями. З огляду на те, що бактерії і грибки живуть у воді на межі зіткнення її с паливом, AMERSTAT 25 розроблений так, що його питома вага вища, ніж у води, і він розчинимо в паливі. Препарат повністю розчиняється в паливі і найбільш ефективний на стику води і палива, забезпечуючи тим самим максимальний контроль зростання бактерій. Ідеально вводити препарат в «водяну подушку», що можна здійснити подаючи препарат через зливний дренажний клапан або заливаючи у вимірювальну трубу перед заповненням танка. Якщо подача препарату на дно танка неможлива, слідує, або повільно вводити препарат через верхні отвори танка, або поступово в паливо при заповненні танка.

Дозування AMERSTAT 25 (таблиця 3.1) залежить від ряду чинників, таких як тип системи, належній обробці, характер і міра мікробного забруднення, і міра необхідного контролю. Зазвичай дозування складає 1:25000 (1 літр на 25 тонн палива). Для первинного чищення системи, яке раніше препаратом не оброблялася, вимагається дозування 1:12500 (1 літр на 12,5 тонн палива), після чого рекомендується перейти на звичайне дозування. У міру знищення мікробів виснажуються активні компоненти препарату, тому рекомендується обробляти паливо с кожною новою заливкою і в процесі зберігання через кожних півроку [37].

Таблиця 3.1

Рекомендоване дозування присадки AMERSTAT 25

Дозування	Первинне дозування (1:12500), літри	Підтримувальне дозування(1:25000), літри
4 мл	50	100
100 мл	1250	2500
250 мл	3125	6250
500 мл	6250	12500
1 літр	12500	25000

Основні фізичні властивості:

- зовнішній вигляд – рідина бурштинового кольору;
- питома вага при 25°C – 1090 кг/м³;
- температура спалаху – 93,3°C;
- рН (1% -го розчину) – 6,5;
- розчинність – розчинимо в усіх пропорціях в рідкому паливі.

3.2.2. Паливна присадка FOT

Засіб для обробки рідкого палива FOT – суміш самодиспергуючихся розчинників, сурфактантів, чистячих/миючих засобів і речовин, що емульгують. Препарат призначений для подолання численних проблем, що виникають при обробці і згоранні важкого мазуту [39].

Присадка виконує дві основні функції: кондиціонування палива, розчинення шламу [40].

Як кондиціонер рідкого палива FOT допомагає протидіяти навантаженню, яке отримує система перекачування палива із-за вологи, важких вуглеводнів, великих відкладень шламу і нагари. Емульгуючи вологу

і дисперсують шлами, FOT знижує потреби в профілактичних ремонтах, сприяє тому, що кращому розпиляло для повнішого згорання і збільшує утилізацію теплових одиниць бункера, розріджуючи маси шламу, що не згорають, які випадають в осад.

Як розчинник FOT забезпечує швидше, легше і якісніше очищення вуглецевих відкладень, затверділих шламів, нагару, смолянистих відкладень і воскових опадів від великої різноманітності морських нафтопродуктів.

За рахунок введених розчинників присадка FOT забезпечує очищення:

- фільтрів і паливо-підігрівачів;
- теплообмінних апаратів і вузлів паливної апаратури, що використовують як охолоджувач паливо (наприклад, розпилювачі форсунок);
- паливних насосів [41].

У функції кондиціонер рідкого палива FOT додається в паливні танки для подолання всіляких проблем від днища танка до наконечників форсунок. Спеціально розроблені чистячі і емульгуючі речовини роблять паливо стабільнішою однорідною рідкою масою. Згорання покращується завдяки вищій мірі того, що розпиляло і стабілізації полум'я. Як результат цього – безпечніша експлуатація, чистіші ділянки камери згорання і максимальна тепловіддача. Під впливом гомогенізуючої дії FOT шлами розсіюються, і припиняється відкладення важких вуглеводнів. Це скорочує відкладення часток палива, що означає меншу кількість зачисток подвійного дна, підігрівачі палива, фільтрів і наконечників форсунок. Зводяться до мінімуму втрати палива, пов'язані з цими відкладеннями, а це, у свою чергу, означає велику енергетичну віддачу від бункера, що купується.

FOT можна додавати в танк будь-якого палива, щоб перешкоджати відкладенню шламу і сприяти його руйнуванню. Рекомендована доза – 1 літр на 8 метричних тонн палива. Щоб отримати максимальний ефект, FOT слід додавати в диптанки з тим, щоб його дія охоплювала усю систему. FOT можна додавати в головні витратні танки перед бункеруванням, оскільки активне перемішування допоможе розповсюдити дію препарату на усе

паливо. Виконуючи ці процедури, можливо добитися максимальної продуктивності системи подачі палива, обробленого препаратом FOT.

При очищенні вузлів форсунки видалення за допомогою FOT відкладень нагару допомагає підтримувати устаткування для обробки палива і вузли форсунки в належному стані, що забезпечує максимальну продуктивність. Застосування FOT методом занурення або циркуляції скорочує час, що витрачається на очищення, і виключає ушкодження, можливі при механічній обробці. Це зручна процедура, оскільки паливні нагнітачі і повітряні шибери можна чистити без демонтажу. Використання FOT дозволяє також видалити відкладення з паливних каналів в розпилювачі форсунки, що зазвичай недоступно при очищенні вручну. Це допомагає запобігати закупорці каналів розпилювача, оскільки в процесі експлуатації відкладення, що виникають в них, можуть руйнуватися [37].

Технологія використання FOT як розчинник передбачає виконання наступних умов :

- розмір місткості має бути таким, щоб "об'єкт очищення" був занурений в розчин FOT принаймні на три чверті, причому нижній кінець має бути над днищем місткості на 7...10 см, щоб накопичувати шлами;
- після завершення роботи паливні нагнітачі необхідно слід залишити на деякий час, щоб стекли надлишки палива;
- занурення устаткування повинне виробляється вертикально в розчин FOT мінімум на дві години (оскільки FOT не ушкоджує метали, устаткування можна тримати в розчині стільки, скільки знадобиться або доки не виникне потреба в його використанні);
- після витягання устаткування з ємності з розчином його необхідно обсушити;
- FOT можливо використовувати неодноразово, коли його ефективність як розчинника виснажиться, маслянисті речовини рекомендується зливати у відстійники або цистерни для відпрацьованого масла, щоб зберігати ці танки в чистому стані без шламових відкладень [42].

Перед бункеруванням FOT додається в рекомендованій дозі в нове паливо, що приймається. Перемішування під час бункерування забезпечує більш рівномірний розподіл подрібнених часток шламу і FOT. Циркуляцію між танками необхідно продовжувати, поки шлам повністю не розсіється в масі палива. Бензиновий компонент у складі FOT усуває опірність шламів змішуватися з новим паливом, забезпечуючи хімічне кондиціонування поверхневого натягнення рідкого палива [37].

Основні фізичні властивості:

- зовнішній вигляд – прозорий червоний розчин;
- питома вага при 25°C – 1030...1050 кг/м³;
- температура спалаху – 77,8°C.

3.2.3. Паливна присадка LT SOOT RELEASE

Низькотемпературний очисник сажі LT SOOT RELEASE – каталізатор, розроблений для ефективного видалення відкладень в процесі горіння і підтримки чистоти теплообмінних поверхонь в утилізаційних котлах. Відкладення сажі у вихлопній системі викликають втрати енергії, корозію, підвищують ризик займання і у результаті можуть привести до дорогого ремонту. Низька робоча температура 200°C цього препарату робить його ідеальним для своєчасного і дієвого відновлення вихлопних систем на судах. LT SOOT RELEASE діє на основі зниження температури спалаху органічних відкладень неповного згорання, які сполучають в'язкі відкладення сажі. Під його дією відкладення стають рихлими, втрачають властивості в'язкості і легко віддаляються під час звичайної операції по продуванню сажі.

Не дивлячись на те, що цей препарат був створений спеціально для використання в утилізаційних котлах дизельних двигунів, він може бути використаний в будь-яких системах, пов'язаних з вогнем: котли з

димогарною трубою, водотрубні котли (високого і низького тиску), головні парові котли, допоміжні котли.

Рекомендоване дозування: 1 кг в день на кожних 400...500 м² оброблюваної поверхні. Дозування може бути збільшене залежно від навантаження двигуна, конструкція котла, конфігурації поверхні нагрівання, кількості відкладень. Для судових дизелів з температурою випускних газів нижче 250°C рекомендується збільшити дозування на 1,5 кг в день на кожних 400...500 м² поверхні.

Введення препарату здійснюється безпосередньо у випускную трубу дизеля. Схема установки дозуючого пристрою показана на рис. 3.1.

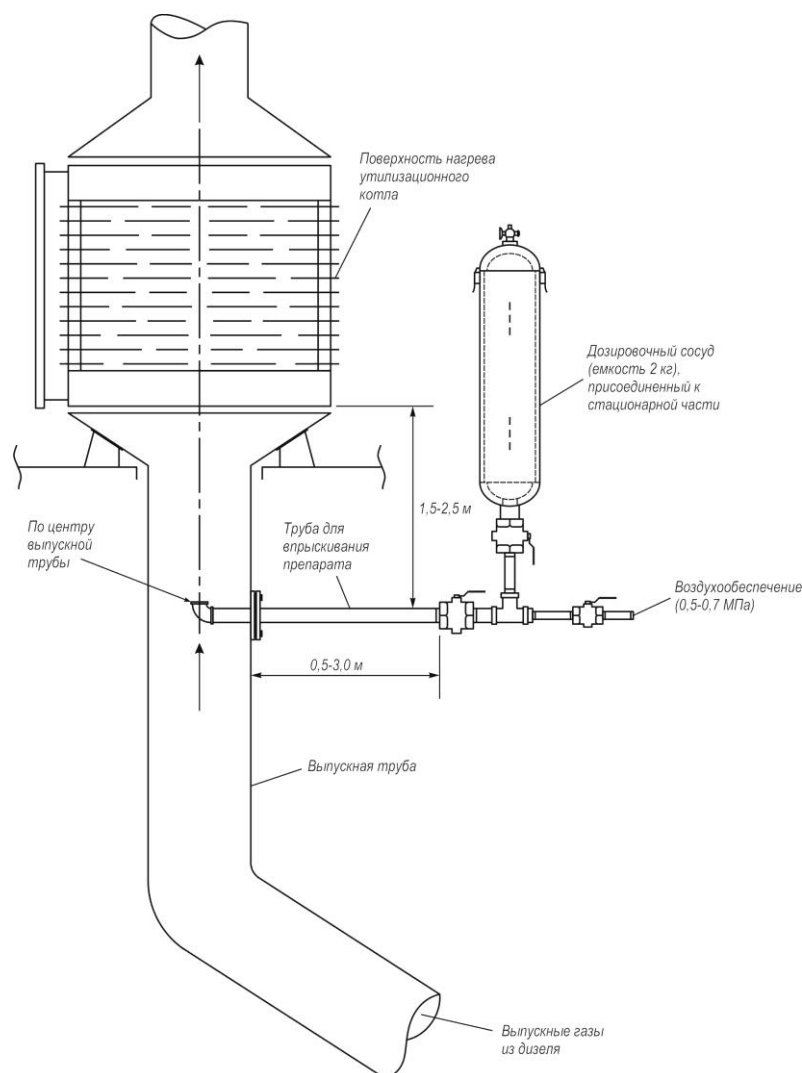


Рис. 3.1 – Технологічна схема установки дозуючого пристрою для введення присадки LT SOOT RELEASE

Основні фізичні властивості:

- зовнішній вигляд – гранульований порошок ясно-зеленого кольору;
- густина – 1280 кг/м³;
- температура займання – ні;
- температура активізації – 200°C.

3.2.4. Паливна присадка AMERGY 1000

Засіб для поліпшення згорання AMERGY 1000 – суміш органічних компонентів, призначена для забезпечення повнішого згорання і максимального використання енергії, що отримується від палива. Його можна використовувати як для дизельних двигунів, так і для котельних установок, для різних видів палива, від дистилляту до залишкових. 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 витрату палива. AMERGY 1000 не містить металів і повністю поглинається в процесі згорання [43].

Випробування, проведені на МОД, що спалює паливо з в'язкістю 380 cSt, показали зниження твердих часток на 18% і зниження димности випускних газів на 70 % після застосування AMERGY 1000. У інших випробуваннях цетанове число дизпалива покращало на 2 % при використанні AMERGY 1000.

Норма дозування AMERGY 1000 – 1 літр на 1...8 тонн палива. Оптимальне дозування, проте, може розрізнятися залежно від конструкції двигуна і котла, якості палива і експлуатаційних норм. 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. Фактичне місце введення AMERGY 1000 в паливну систему розрізняється залежно від загального розташування системи і специфіки двигуна (котла). Оскільки AMERGY 1000 повністю стабільний і розчинимо в паливі, вибір місця введення в систему не складає проблеми.

Основні фізичні властивості:

- зовнішній вигляд – ясно-жовта рідина;
- питома вага – 860...880 кг/м³;
- температура спалаху – 48°C;
- температура застигання – -40°C;
- розчинність – розчинимо в усіх пропорціях в рідкому паливі.

3.2.5. Паливна присадка AMERGIZE

Засіб для поліпшення згорання AMERGIZE – суміш мастилорозчинних органометаликов, найбільш ефективна, як продемонстровано на випробуваннях, для МОД і СОД, що працюють на важкому дизельному паливі. Випробування двигунів показали, що поєднання інгредієнтів в AMERGIZE забезпечує синергетичний ефект, що дозволяє знижувати відкладення і покращувати згорання [37].

AMERGIZE підходить як для середньо, так і для МОД дизелів, що випробовують проблеми, пов'язані із згоранням і відкладеннями, що виникають із-за наявності 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. Він перешкоджає освіті високо і низькотемпературній корозії, зокрема:

- підвищуючи температуру плавлення ванадіумних компонентів, внаслідок чого вони стають не клейкими і такими, що не викликають корозії поверхонь, схильних до високої температури;

- змінюючи форму кристалів золи так, що вона стає легкою, рихлою і такою, що легко виводиться;

- зв'язуючи ванадій, щоб він не міг діяти як каталізатор для перетворення SO_2 і SO_3 ;

- діючи як лужний компонент, нейтралізує будь-яку кислоту, що утворюється.

Випробування, проведені спільно з провідними виготівниками двигунів, довели, що AMERGIZE значною мірою перешкоджає скупченню відкладень на газоносній поверхні турбонагнітачів. Як результат, застосування AMERGIZE допомагає підтримувати розрахунковий ККД турбонагнітача.

Як засіб для поліпшення згорання, AMERGIZE містить ефективний каталізатор, який знижує енергію займання, необхідну для повнішого процесу згорання, тим самим знижував відкладення кіптяви, нагару і задимлення. Крім того, лабораторні випробування на проблемних двигунах довели, що AMERGIZE скорочує питому витрату палива.

Стандартне дозування AMERGIZE в межах 1 літра на 1000...8000 літрів палива (1...8 тонн). Дози можуть мінятися залежно від рівня забруднення палива, конструкції двигуна і експлуатаційного стану судна.

Рекомендується безперервно додавати AMERGIZE в паливо. Краще всього робити це за допомогою дозуючого насоса. Подача у такий спосіб забезпечує належне перемішування, дисперсію і достатню кількість препарату AMERGIZE в міру необхідності. Зазвичай рекомендується подавати AMERGIZE в район паливної системи з низьким тиском. Проте фактична позиція подачі може розрізнятися від схеми розташування і конструкції двигуна.

Основні фізичні властивості:

- зовнішній вигляд – прозора коричнева рідина;

- питома вага при 25°C – 910...930 кг/м³;
- температура спалаху – 60°C;
- розчинність – розчинимо в усіх пропорціях в рідкому паливі.

3.2.6. Паливна присадка AMERGY 222

Кондиціонер палива AMERGY 222 – суміш розчинників, диверсантів, сурфактантів і миючих засобів, призначена для зведення до мінімуму наслідків паливної нестабільності і несумісності. Такі стани можуть виникнути, коли під час бункеровочних операцій паливо, що приймається, з присадками змішується з паливом, що було раніше. AMERGY 222 представляє саму новітню технологію в подоланні таких проблем [37].

AMERGY 222 має подвійне призначення:

1) підтримувати в зваженому стані частки важкого палива і розсіювати шлами таким чином, що паливо можна відкачувати, сепарувати, підігрівати і фільтрувати з мінімальною небезпекою забруднення і необхідністю наступного очищення;

2) розчиняти існуючі шлами, щоб паливо стало стабільнішою однорідною рідкою масою.

Виконання цих функцій максимально підвищує енергетичний потенціал використання суднового палива, забезпечуючи повне згорання усіх вуглеводних матеріалів. Як тільки ці цілі досягаються, стає реальною економія коштів, зважаючи на зменшення експлуатаційних витрат, необхідних на очищення танків і устаткування. Крім того, завдяки добре підготовленому паливу, покращуються енергетичні і економічні показники роботи двигуна.

Присадка AMERGY 222 придатна для використання в паливній системі як дизеля, так і допоміжного котла.

AMERGY 222 можна вводити безпосередньо в паливні танки. Для цього перед бункеруванням його слід ввести через вимірювальні трубки в усі танки, в які прийматиметься паливо.

Норма дозування AMERGY 222 розрізнятиметься відповідно до схеми обробки – при використанні під час кожного бункерування AMERGY 222 вводиться в пропорції 1/6000...1/15000 (1 літр на 6...15 тонн палива). Якщо AMERGY 222 не використовується регулярно, рекомендується вводити його тільки у випадках виникнення проблем із-за несумісності (нестабільності) палива. У таких випадках норма дозування має бути 1/6000 (1 літр на 6 тонн палива). Така велика доза потрібна, щоб розчинити і дисперсировать існуючі шлами [44].

Основні фізичні властивості:

- зовнішній вигляд – прозора коричнева рідина;
- питома вага при 25°C – 1050...1065 кг/м³;
- температура спалаху – 74,4°C;
- температура застигання – - 47,8°C;
- розчинність – розчинимо в усіх пропорціях в рідкому паливі.

3.2.7. Паливна присадка AMERGY XLS

Паливна присадка AMERGY XLS призначена для низько сірчистих палив, тому вона використовувалась в паливній системі суднового середньо-обертового двигуна 6N18L фірми Yanmar.

AMERGY XLS – це суміш дисперсантів, активаторів згоряння, 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, що володіють кращою спаленістю. Довгострокове зберігання дизельного палива часто призводить до утворення осаду, викликаному нестабільністю палива, який в свою чергу викликає проблеми при зберіганні і в обслуговуванні. Присадка до палива AMERGY XLS призупиняє утворення осаду і таким чином запобігає утворенню шламу, і засмічення фільтра. Забезпечення правильного впорскування надзвичайно важливо для підтримки належного рівня згоряння палива в дизельному двигуні. Вуглецеві відкладення, що утворюються на соплах розпилювача, можуть серйозно вплинути як на радіус розпилення, так і на розмір частинок, що розпилюються. Це в свою чергу веде до зниження якості згоряння палива, утворення диму і нагару. Миючі засоби, що містяться в AMERGY XLS, підтримують сопла розпилювача в чистому стані, запобігаючи їх засміченню, і таким чином сприяють кращому згорянню палива.

3.2.8. Паливна присадка Fuelcare фірми Unitor

Паливна присадка Fuelcare фірми Unitor додається в паливо підвищеної в'язкості з максимально можливим вмістом сірки. Саме тому вона використовується в паливних системах суднових двотактних дизелів. Присадка Fuelcare фірми Unitor, яка додається в паливо підвищеної в'язкості, покращує процес передполум'яних перетворень і тим самим полегшує та прискорює займання палива. Як найбільш доцільне точка введення присадки до палива – витратна паливна цистерна, безпосередньо перед паливної

апаратурою високого тиску (паливним насосом високого тиску в випадку використання присадки для двигунів з механічним впорскуванням палива, або системою common rail та їй подібній під час електронного впорскування). Використання присадки Fuelcare можливо для палива з будь-яким дозволеним вмістом сірки, в тому числі зі вмістом до 3,5 %.

Рекомендоване фірмою Unitor дозування присадки Fuelcare надано в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2.

Дозування присадки Fuelcare залежно від вмісту сірки в паливі

Вміст сірки в паливі, %	$\leq 0,05$	0,05...0,1	0,1...0,3	0,3...0,5	$\geq 0,5$
Дозування	1:6000	1:3000...1:1500	1:1500...1:500	1:500...1:500	1:500

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].

3.3. Основні висновки за розділом 3

В результаті викладеного матеріалу зробимо наступні висновки.

1. Паливні присадки спрямовані на поліпшення експлуатаційних якостей палива, починаючи з його прокачиваемости і закінчуючи температурою займання. При цьому основними функціями паливних присадок є диспергування, підвищення мастильної здатності, активація процесу горіння.

2. Місце введення присадок в паливну систему розрізняється залежно від загальної комплектації системи, специфіки дизеля і завдань, на забезпечення яких спрямовано їх використання.

3. Хімічну обробку палива з метою покращення його подальшого згорання доцільніше виконувати безпосередньо перед паливним насосом високого тиску – в випадку використання присадки для двигунів з механічним впорскуванням палива, або системою common rail та їй подібній – під час електронного впорскування.

4. АНАЛІЗ ЗМІН ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВА, ЩО ПРОЙШЛО ХІМІЧНУ ОБРОБКУ

4.1. Розробка технології експериментальних досліджень

Застосування паливних присадок особливо актуально для допоміжних двигунів, які є приводами електричних генераторів. Дані типи двигунів характеризує підвищена (в порівнянні з головними двигунами) частота обертання колінчастого валу, а також безперервна робота у складі суднової електростанції (як на ходових, так і на спеціальних режимах експлуатації судна). Перше (підвищена частота) скорочує час впорскування палива, друге (робота під час стоянок в акваторії морських портів) накладає додаткові вимоги щодо забезпечення екологічних показників роботи двигунів. Дослідження в умовах морського судна дедвейтом 51187 тонн були проведені в паливній системі дизеля 6N21L фірми Yanmar з наступними основними характеристиками:

- тип – вертикальний з водяним охолодженням, 4-х тактний, з газотурбінним наддувом;
- діаметр циліндра – 210 мм;
- хід поршня – 290 мм;
- частота обертання – 720 хв^{-1} (об/хв);
- кількість циліндрів – 6;
- номінальна потужність – 680 кВт.

До складу суднової енергетичної установки входило три названих дизеля, що використовуються в якості дизель-генераторів. Це дозволило два дизеля використовувати для проведення експериментів, а один залишати в якості «контрольного». Схема паливної системи дизелів наведена на рис. 4.1. Паливна система «контрольного» дизеля (КД) не зазнала модернізації. Паливна система «експериментальних» дизелів (ЕД) дообладнати

витратоміром 6 і дозатором присадки 7. Така організація подачі присадки в паливну систему забезпечувала необхідну дисперсію і рівномірний рівень її розчинення в паливі.

Режими роботи суднової електростанції характеризуються різноманітністю зміни навантаження [45], значення якої для даної СЕУ коливалися в діапазоні від 180...200 кВт (коли в експлуатації знаходився один з дизелів) до 1500...1600 кВт (коли експлуатувалися три дизеля, що працюють в паралельному режимі) .

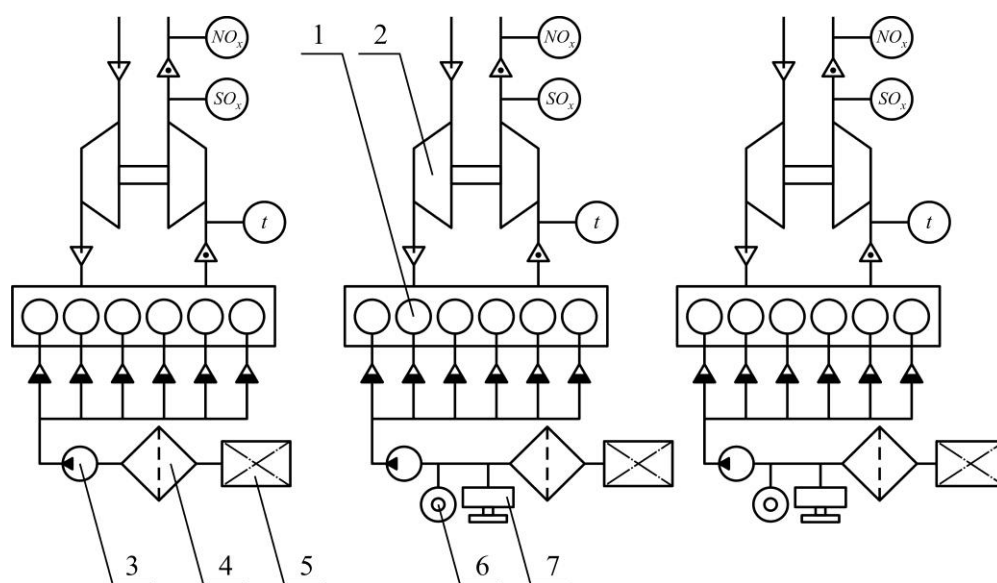


Рис. 4.1. Судова паливна система (фрагмент):

- 1 – дизель; 2 – газотурбокомпресор; 3 – насос, що підкачує паливо;
 4 – паливний фільтр тонкого очищення; 5 – витратна цистерна ;
 6 – витратомір; 7 – дозатор присадки

У разі, коли дизелі працювали в паралельному режимі з будь-якої зі схем підключення: КД-ЕД, КД-ЕД-ЕД, ЕД-ЕД, навантаження на кожен з них становила $N_e=300\text{...}600$ кВт і підтримувалася на однаковому рівні з відхиленням ± 10 кВт.

Потужність дизелів N_e визначалася за виразом $N_e=N_g/\eta_g$ (де N_g – потужність генератора, кВт, η_g – коефіцієнт корисної дії генератора). Значення N_g знімалася з ватметра, розташованого на панелі керування

дизель-генератора, а величина η_g приймалася паспортних характеристик дизель-генератора і становила $\eta_g=0,915$. Для розрахунку величини питомої ефективної витрати палива b_e по вимірнику рівня, розташованому на кожній витратній цистерні визначався поточна витрата палива G_{Π} та величина питомої ефективної витрати палива b_e .

Для забезпечення ідентичності експерименту для всіх дизелів проводилася їх попередня підготовка до випробувань. Умови експлуатації дозволяли послідовно протягом 40 годин виконати повну моточистку зазначених дизелів, тим самим підготувати їх до експерименту. При цьому на всіх дизелях замінювалася поршнева група (поршні і поршневі кільця) і основні елементи паливної системи високого тиску (прецизійних пар паливного насоса високого тиску плунжер – гільза та голка – розпилювач форсунки). Крім того, перед початком експериментів для обох двигунів проводився контроль і регулювання паливної апаратури. При цьому паливні насоси високого тиску регулювалися на однаковий кут випередження подачі палива, а форсунки двигунів налаштовувалися на однакові тиску підйому голки. Протягом всього часу проведення експерименту здійснювався контроль часу роботи і експлуатаційного навантаження на дизелі. Для досягнення рівномірного розподілу часу роботи дизелів, двигуни послідовно переводилися в режим stand-by. Шляхом перепідключення споживачів енергії неузгодженість потужності дизель-генераторів, на яких відбувалися дослідження, не перевищувало 10 кВт, що для таких енергоємних об'єктів можна вважати незначним відхиленням, а умови їх роботи ідентичними. Експлуатація двигунів проводилася на одному і тому ж сорті палива. При цьому кошти автоматичного контролю підтримували в'язкість палива незмінною протягом усього експерименту. Ідентичними підтримувався сорт циркуляційного масла, що забезпечує режими змащування і його експлуатаційні характеристики, а також температури в контурі охолодження прісною водою [46]. Дані заходи дозволили вважати, що виконання експерименту проводилося в однакових умовах.

Дизель-генератори мали розділену газо-випускную систему, це дозволило як у контрольній, так і в «експериментальних» вмонтувати газоаналізатори. Газоаналізатори встановлювалися на відстані 1,5 м від рівня виходу газів з дизеля, що забезпечувало рівномірність температури й однорідність газового потоку, що надходить у їх вимірювальний блок.

4.2. Експериментальні дослідження впливу присадок до палива на економічні показники роботи дизеля

Комплексне дослідження впливу присадок до палива на енергетичні, економічні та екологічні показники роботи суднового дало наступні результати. Початковим параметром, що визначаються при експериментах, був питома ефективна витрата палива. Його вимір виконувалося при навантаженні на дизелі 335, 390, 460, 530 і 585 кВт, що відповідало 0,49, 0,57, 0,68, 0,78 і 0,86 від $N_{e\text{ном}}$. На рис. 4.2 показані залежності b_e від відносної потужності дизеля $N_e/N_{e\text{ном}}$ для дизеля, що працює на чистому паливі (2), і дизелі, що працюють на паливі з присадкою (1).

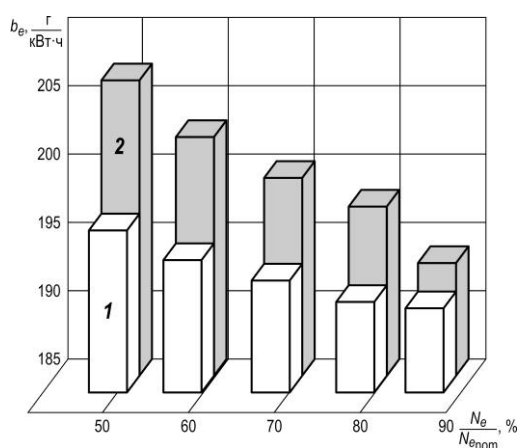


Рис. 4.2. Залежності питомої ефективної витрати палива дизеля 6N21L від відносної потужності $N_e/N_{e\text{ном}}$:

1 – «експериментальний» дизель, працює на паливі з присадкою;

2 – «контрольний» дизель

Представлені дані свідчать про те, що використання паливних присадок істотно знижує питома ефективна витрата палива, особливо на режимах навантажень в діапазоні $(0,55...0,7)N_{enom}$, найбільш характерних для роботи дизель-генераторів.

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 чи для зниження гідравлічних втрат, дозуються у 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 змісту домішок ванадію, натрію та сірки).

Оптимальний діапазон дозування присадки визначається експериментально, у зв'язку з цим при дослідженнях вибиралися такі співвідношення присадки і базового палива – 1:2000, 1:3500, 1:5000, 1:6500 та 1:8000. При цьому найменше значення питомої ефективної витрати палива було отримано при концентраціях 1:3500 і 1:5000, які були прийняті для подальших досліджень.

Діаграми, що відображають залежність питомої ефективної витрати палива b_e дизеля 6N21L від його відносної потужності N_e/N_{enom} для різних концентрацій присадки в паливі показано на рис. 4.3.

Наведені результати свідчать про більш якісному сумішоутворення і згоряння, а також більш повному використанні теплотворної здатності палива з присадкою [47].

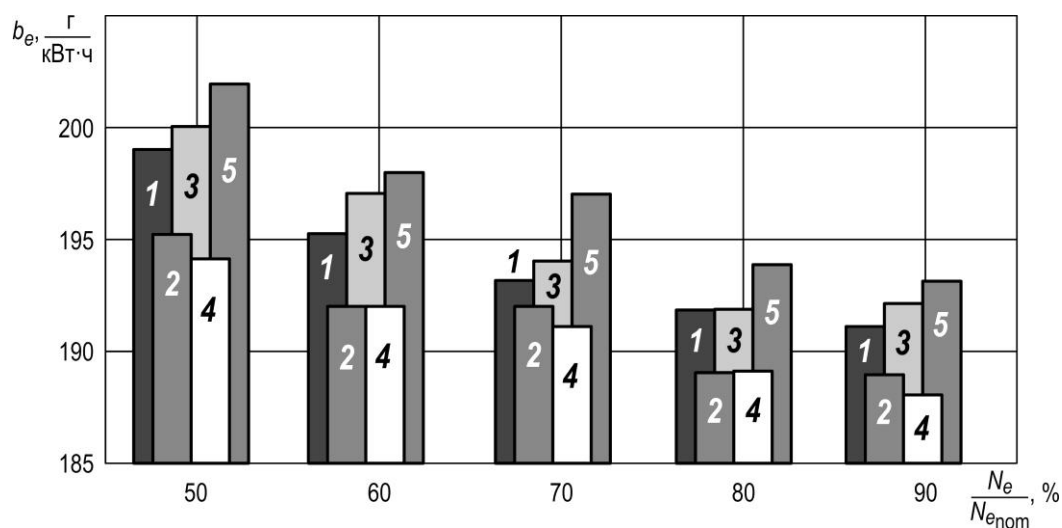


Рис. 4.3. Залежності питомої ефективної витрати палива дизеля 6N21L від його відносної потужності $N_e/N_{e_{nom}}$ для різних концентрацій присадки в паливі: 1 – концентрація 1:2000; 2 – концентрація 1: 3500; 3 – концентрація 1:6500; 4 – концентрація 1: 5000; 5 – концентрація 1:8000

Експериментально отримані результати підтверджують зниження питомої ефективної витрати палива при використанні присадок до палива, свідчать про інтенсифікацію процесу сумішоутворення і згоряння. При цьому зазначимо, що для різної концентрації присадки в базовому паливі спостерігається різне значення зниження питомої ефективної витрати палива. На наш погляд це пояснюється тим, що частина вільних радикалів присадки залишається незадіяними в розриві внутрішньомолекулярних зв'язків палива та активації його горючих складових.

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

4.3. Експериментальні дослідження впливу присадок до палива на екологічні показники роботи дизеля

Встановлення оптимальних діапазонів концентрації присадки в паливі дозволило виконувати наступний етап досліджень у варіанті: «контрольний» дизель, «експериментальний» дизель, який працює з концентрацією присадки 1:3500 і «експериментальний» дизель, який працює з концентрацією присадки 1:5000. При цьому визначалися значення температури газів після газотурбонагнетателя $t_{вг}$, а також концентрації NO_x і SO_x у випускних газах.

Експлуатація сучасних дизелів, працюючих за чотирьохтактному циклу, відбувається на паливі середньої (180...380 сСт) і високою (до 500 сСт) в'язкості. Винятком є режими пуску дизеля і маневрування судна, коли необхідно забезпечити надійне самозаймання палива в циліндрі дизеля в умовах змінних теплових режимів його охолодження. Тривала експлуатація дизелів на паливі зі зниженою в'язкістю 5...10 сСт класу DMB і DMC, як правило, відбувається тільки в екологічних районах і пов'язана із забезпеченням вимог Annex IV міжнародної конвенції MARPOL. В таких районах експлуатація судових дизелів відбувається на паливі з низьким вмістом сірки. Такі сорти палив мають меншу мастильну здатність, що підвищує втрати на тертя в паливній апаратурі високого тиску і вимагає великих витрат енергії на забезпечення її роботи.

Використання присадок з активними функціональними групами, що модифікують металеву поверхню в зоні тертя (у сполученні плунжер – втулка ПНВТ), призводить до створення мікронного прошарку на поверхнях паливної апаратури високого тиску і сприяє виникненню додаткових розклинюючих сил. Ці сили забезпечують граничний режим тертя без безпосереднього контакту поверхонь і підвищують гідравлічну щільність в парі плунжер – втулка.

Крім того, переклад дизелів для роботи з одного сорту палив на інший пов'язаний з існуючою в судновій енергетиці проблемою сумісності палив, яка особливо актуальна для двигунів, що працюють за чотирьохтактному циклу. Паливна апаратура судових дизелів виконується з високою прецизійну точність, що вимагає високої однорідності використовуваного палива.

Використання присадок до палива, модифікуючих металеві поверхні в зоні тертя, дозволяє уникнути переведення роботи дизеля на паливо з зниженою в'язкістю на режимах, відповідних перехідним навантажень, а також режимах підготовки дизеля до виведення з експлуатації.

Судова емісія шкідливих речовин у випускних газах є актуальною проблемою, її вирішення має забезпечити екологічні параметри роботи судових дизелів при їх роботі як у світовому океані, так і в особливих районах. У зв'язку з цим при дослідженні визначався вплив паливних присадок на екологічні показники роботи дизеля – вміст SO_x та NO_x у випускних газах. Результати цих досліджень наведено на рис. 4.4 та 4.5.

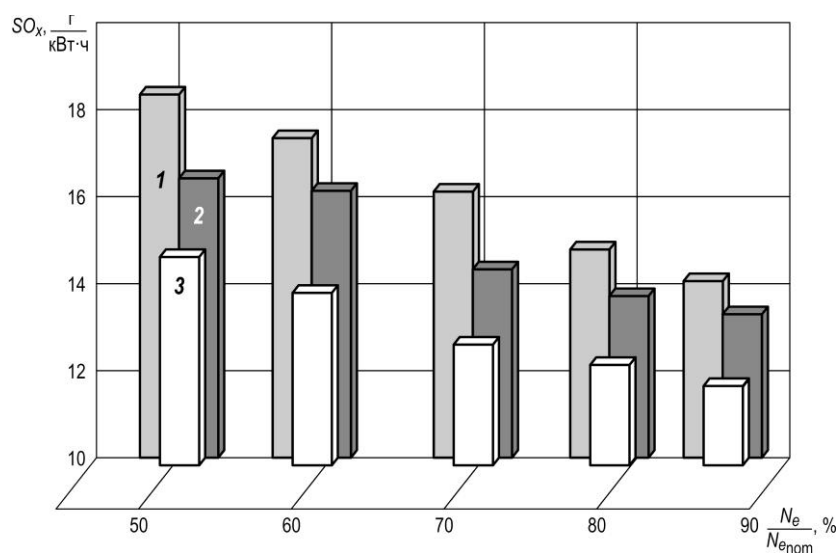


Рис. 4.4. Зміна концентрації SO_x у випускних газах судового дизеля 6N21L від його відносної потужності $N_e/N_{e_{ном}}$:

- 1 – робота без присадки; 2 – робота з концентрацією присадки 1:3500;
3 – робота з концентрацією присадки 1:5000

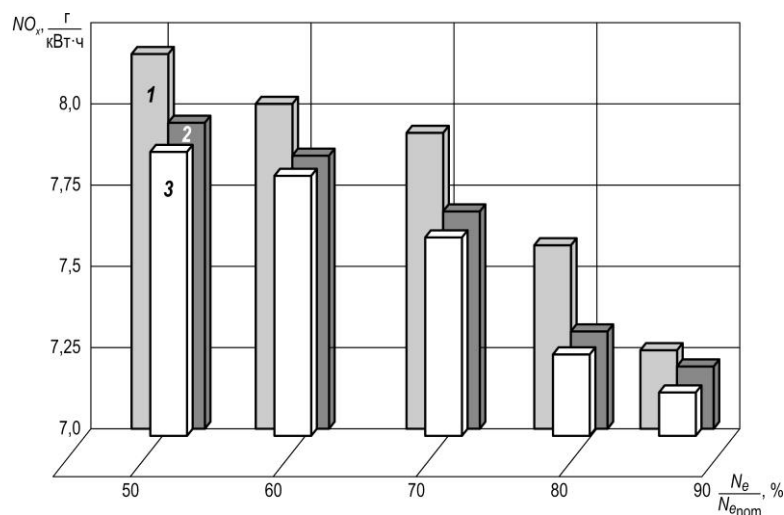


Рис. 4.5. Зміна концентрації NO_x у випускних газах суднового дизеля 6N21L від його від відносної потужності $N_e/N_{e, nom}$:

- 1 – робота без присадки; 2 – робота з концентрацією присадки 1:3500;
3 – робота з концентрацією присадки 1:5000

Наведені на рис. 4.4 та 4.4 результати свідчить про поліпшення екологічних параметрів роботи дизеля, при цьому найбільше зниження рівня шкідливих викидів між «експериментальним» і «контрольним» дизелями спостерігається в діапазоні навантажень 65...80 % – найбільш характерних для експлуатації допоміжних двигунів морських суден.

4.4. Експериментальні дослідження впливу присадок до палива на температурну напруженість роботи дизеля

Як критерій теплової напруженості газо-випускної системи приймалася температура випускних газів, яка є однією з характеристик, що визначають якість протікання робочого циклу та ступінь теплової напруженості деталей дизеля. Найбільш часто її вимірюють в випускній магістралі перед газотурбонагнетателем. На рис. 4.8 показані залежності усередненої по всіх циліндрах температури газів на виході з дизеля t_r від його відносної потужності $N_e/N_{e, nom}$ для різних умов їх експлуатації (тільки на паливі і на паливі з різною концентрацією присадки).

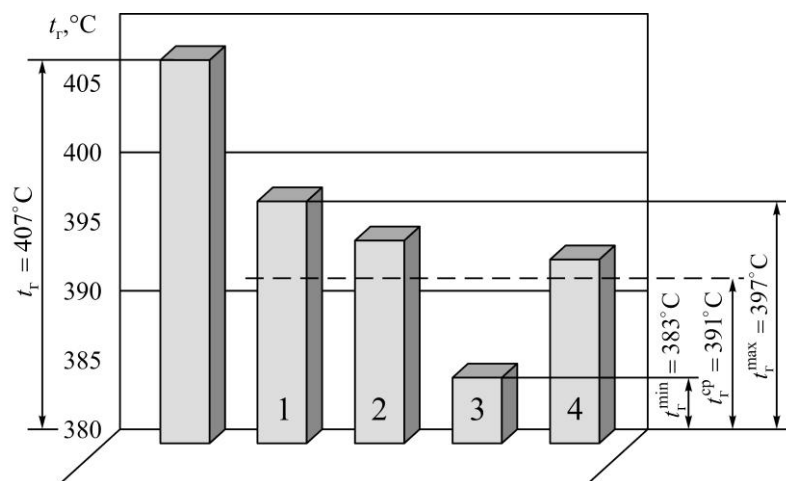


Рис. 4.6. Зависимости средней температуры уходящих газов t_r по цилиндрам дизеля 6N21L для «контрольного» дизеля и «экспериментальных» дизелей, работающих на топливе с концентрацией присадки: 1 – 1:2000, 2 – 1:4000, 3 – 1:6000, 4 – 1:8000

Як видно з рис. 4.6, застосування присадок до палива сприяє зниженню температури газів на виході з дизеля, що свідчить про більш повному згорянні палива і максимальному використанні теплової енергії газів в циліндрі. При цьому мінімальну температуру випускних газів $t_r^{\min}=383^{\circ}\text{C}$ забезпечувало використання палива з концентрацією присадки 1:6000. При концентрації присадки в паливі 1:2000 спостерігалася максимальна (для «експериментальних» дизелів) температури випускних газів $t_r^{\max}=397^{\circ}\text{C}$, однак її величина була менше температури $t_r=407^{\circ}\text{C}$ на «контрольному» дизелі. Середнє значення при використанні палива з різною концентрацією присадки становило $t_r^{\text{cp}}=391^{\circ}\text{C}$.

Наведені результати були отримані при ефективній потужності дизеля 530 кВт, що у відносних величинах складало $N_e/N_{\text{enom}}=78\%$.

Для суднових дизелів під час оцінки рівня теплової напруженості важливим також є ступінь неузгодженості температури випускних газів по окремих циліндрах. Відхилення температури випускних газів одного з циліндрів від середнього значення по всіх циліндрах дизеля може свідчити про неправильному регулюванні або погіршенні технічного стану паливної

апаратури високого тиску. Ще однією причиною підвищеного неузгодженості температури відхідних газів по циліндрах дизеля може бути погіршення процесу сумішоутворення і згоряння палива. При проведенні експериментів було визначено менше відхилення температури випускних газів по циліндрах дизеля від його усередненого значення при використанні присадки до палива.

Для «контрольного» дизеля (при значенні відносної потужності дизеля $N_e/N_{enom}=78\%$) при величині $t_{cp}^r=407^\circ\text{C}$ цей параметр склав $\Delta t_{cp}^- = 12^\circ\text{C}$, $\Delta t_{cp}^+ = 13^\circ\text{C}$. Для «експериментального» дизеля при використанні палива з концентрацією присадки 1:2000 при середньому значенні температури випускних газів $t_{cp}^r=397^\circ\text{C}$ відхилення склали $\Delta t_{cp}^- = 10^\circ\text{C}$, $\Delta t_{cp}^+ = 12^\circ\text{C}$.

Для дизеля при використанні палива з концентрацією присадки 1:6000 при середньому значенні температури випускних газів $t_{cp}^r=383^\circ\text{C}$ відхилення склали $\Delta t_{cp}^- = 5^\circ\text{C}$, $\Delta t_{cp}^+ = 7^\circ\text{C}$ (рис. 4.7).

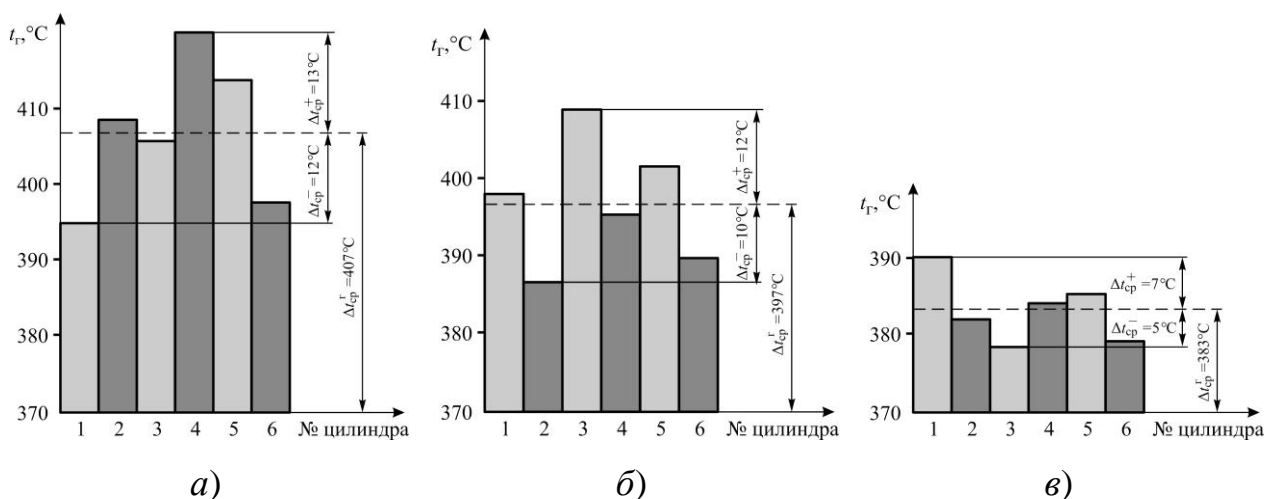


Рис. 4.7. Неузгодженість температури випускних газів t_r по циліндрах дизеля

6N21L при різних умовах проведення експерименту:

а) робота дизеля без використання паливної присадки;

б), в) робота дизеля з використанням паливної присадки з концентрацією 1: 2000 і 1: 6000 відповідно

Подальші дослідження виконувалися на паливі з концентрацією присадки 1:2000 і 1:6000. Які, як було показано вище, забезпечували максимальну і мінімальну теплову напруженість в елементах газо-випускної системи. При цьому режими проведення досліджень варіювалися в межах 52...88 % від номінальної потужності. Отримані при цьому результати показані на рис. 4.9 і свідчать про принципову зниженні теплової напруженості (температури випускних газів) при використанні палива з присадкою. Діапазон зниження середньої температури випускних газів становить 4,1... 8,2 % в залежності від режиму роботи дизеля.

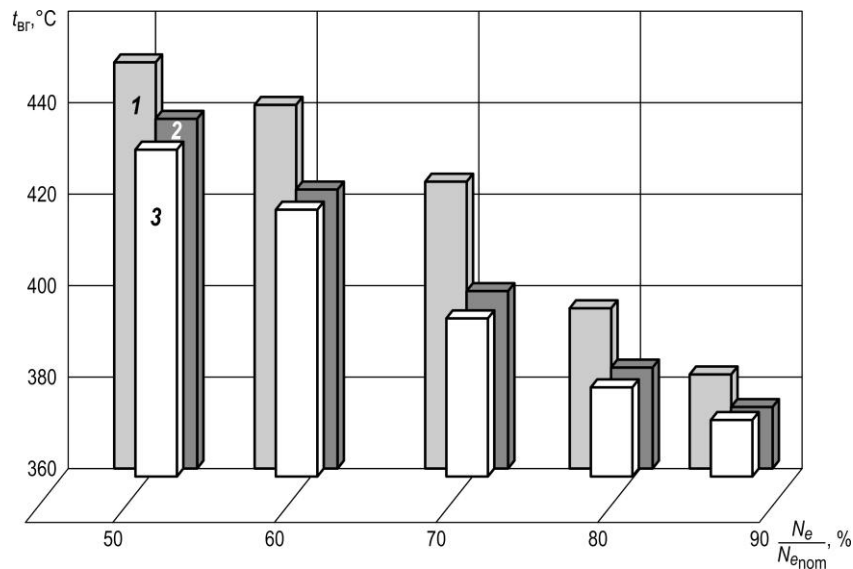


Рис. 4.8. Залежність усередненої температури відхідних газів t_{Br} по циліндрах дизеля 6N21L від його відносної потужності $N_e/N_{e_{ном}}$:

1 – «контрольний» дизель; 2 – «експериментальний» дизель (паливо з концентрацією присадки 1:2000); 3 – «експериментальний» дизель (паливо з концентрацією присадки 1:6000)

Як видно з рис. 4.7, 4.8, застосування присадок до палива сприяє зниженню температури газів на виході з дизеля, що свідчить про більш повному згорянні палива і максимальному використанні теплової енергії газів в циліндрі.

4.5. Експериментальні дослідження впливу присадок до палив підвищеної в'язкості на перебіг робочого процесу

У випадку використання в суднових дизелях палив підвищеної в'язкості їх хімічну обробку доцільно використовувати за допомогою присадок, що включають у свій склад поверхнево-активні речовини. Однією з таких присадок є паливна присадка Fuelcare фірми Unitor, яка додається в паливо підвищеної в'язкості з максимально можливим вмістом сірки.

Присадка Fuelcare фірми Unitor має наступні характеристики:

- 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 де кільких десятків нанометрів) у його обсязі, що призводить до кращого розпилення та сумішоутворення з повітрям і покращує згоряння;

- рівень дозування присадок варіюється в широких межах і залежить від призначення присадки і характеристик паливної системи, в якій вона використовується.

Оптимальна концентрація присадки Fuelcare фірми Unitor визначалась співвідношенням 1:2500, що відповідала вмісту сірки в паливі 0,48 % та була визначена в результаті попередніх досліджень.

Під час використання цієї присадки в паливної системі дизеля 6S60ME фірми MAN-Diesel & Turbo та його індицюванні була отримана індикаторна діаграма, що наведена на рис. 4.9.

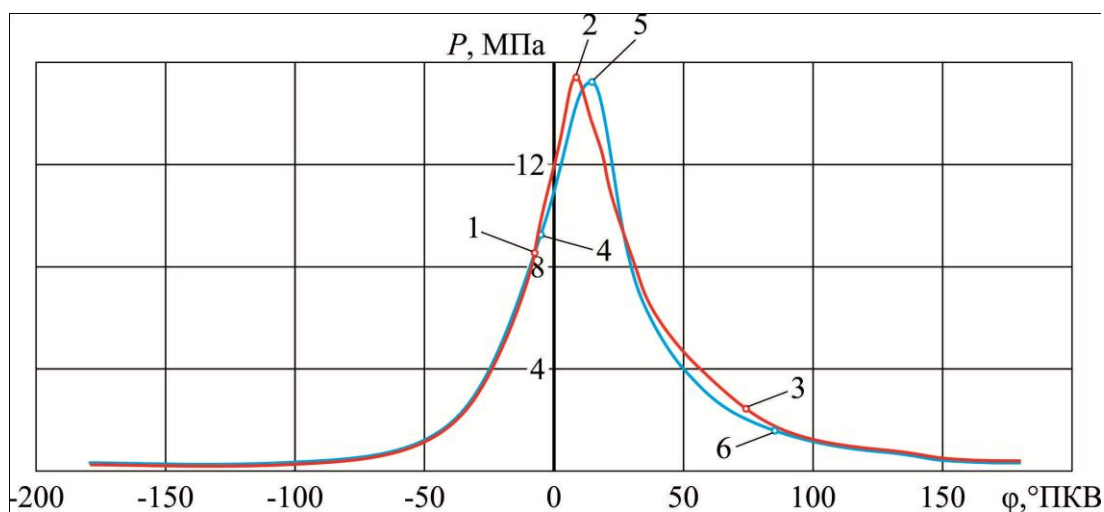


Рис. 4.9. Результати індикювання суднового дизеля

6S60ME фірми MAN-Diesel & Turbo:

- без використання присадки Fuelcare фірми Unitor;
- під час використання присадки Fuelcare фірми Unitor

Наведені дані свідчать про покращення процесу згоряння палива, зокрема зниженню період затримки запалювання (яке у разі використання присадки Fuelcare здійснюється у точки 1, порівняно з точкою 4, коли дизель працює на паливі без присадки), зміщенню згоряння в бік ізохорного процесу (крива 1–2 на індикаторній діаграмі при використанні присадки Fuelcare, та крива 4–5 на індикаторній діаграмі без використання присадки), та скороченню періоду догоряння палива на лінії розширення (крива 2–3 на індикаторній діаграмі при використанні присадки Fuelcare, та крива 5–6 на індикаторній діаграмі без використання присадки). Вказане сприяє зниженню питомої витрати палива на всьому діапазоні експлуатаційних навантажень дизеля (рис. 4.10).

Також під час експериментальних випробувань визначався вплив присадки до палива на екологічні показники роботи суднового дизеля, а саме вміст NO_x в випускних газах. Вимірювання цього параметру здійснювалось за допомогою переносного газоаналізатору Testo350, що встановлювався на відстані більш ніж 10 м від вихідного перетину газотурбонагнетача, що відповідало вимогам Технічного кодексу з вимірювання оксидів азоту в

суднових дизелях. Результати цих досліджень наведені на рис. 4,11 та свідчать про поліпшення екологічних параметрів роботи дизеля, при цьому найбільше зниження рівня шкідливих викидів спостерігається в діапазоні навантажень 65...85 % – найбільш характерних для експлуатації ДВЗ морських суден [48].

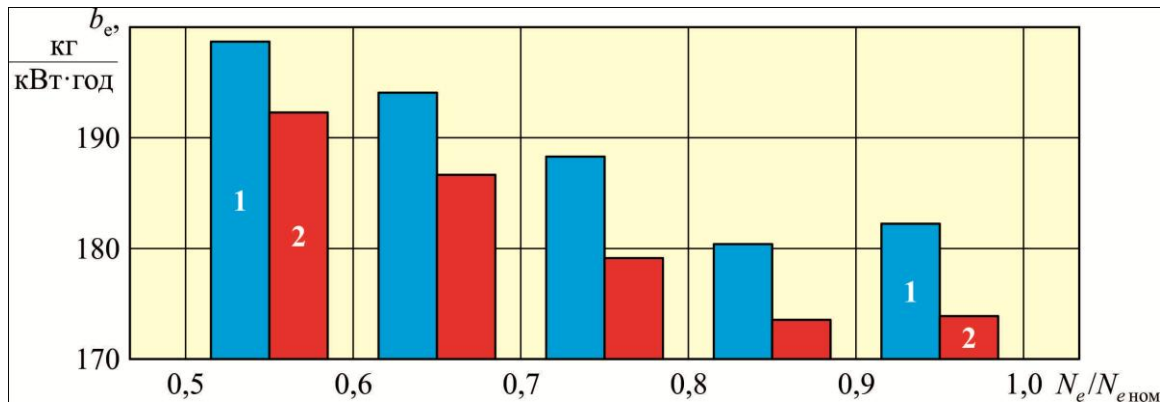


Рис. 4.10. Залежності питомої витрати палива дизеля 6S60ME фірми

MAN-Diesel & Turbo від його відносної потужності $N_e/N_{еном}$:

1 – під час використання присадки Fuelcare фірми Unitor;

2 – без використання присадки Fuelcare фірми Unitor

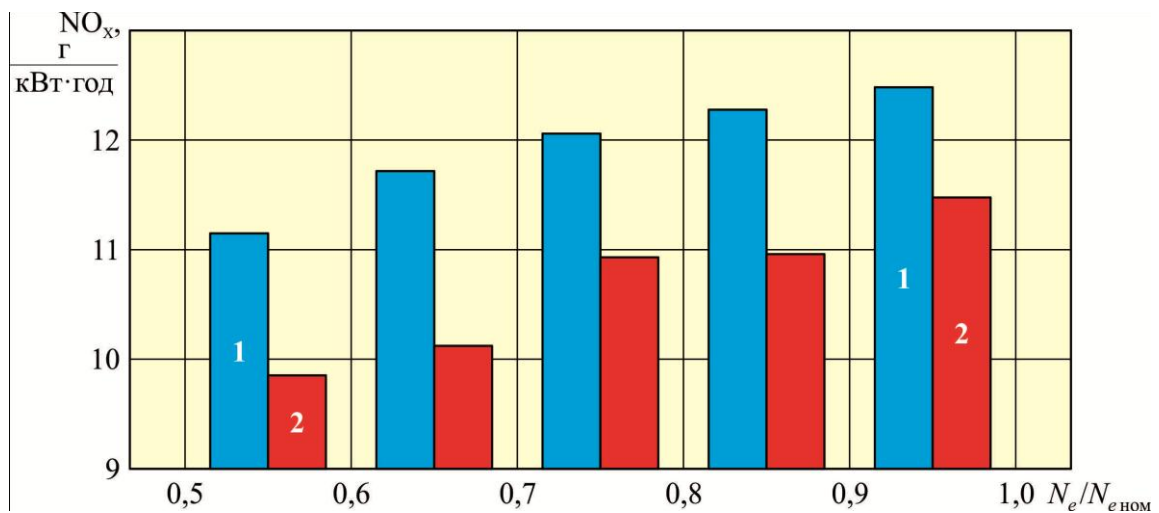


Рис. 3. Зміна концентрації NO_x в випускних газах суднового дизеля дизеля 6S60ME фірми MAN-Diesel & Turbo від його відносної потужності $N_e/N_{еном}$:

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

4.6. Висновки за розділом 4

Як результат досліджень, виконаних у розділі 4, визначимо наступне.

1. Під час використання паливних присадок, концентрація яких в паливі може варіюватися в межах 1:8000...1:2000, забезпечується зниження температури газів перед ГТН на 4,1...8,2 %, що призводить до зниження теплової напруженості деталей ЦПГ і газо-випускної системи дизеля.

2. Під час використання присадок до палива на 46,2...58,3 % знижується неузгодженість значення температури випускних газів по окремих циліндрах від її середнього значення. Це забезпечує вирівнювання теплового навантаження по всіх циліндрах дизеля і також зменшує виникає в ньому теплову напруженість.

3. Використання присадок до палива призводить до підвищення паливної економічності суднового дизеля. Встановлено, що при використанні паливних присадок можливо досягти зниження питомої ефективної витрати палива від 2,54 до 6,46 % (в залежності від режиму роботи дизеля). При цьому максимальне підвищення паливної економічності відбувається в діапазоні 50...60 % навантаження дизеля, тобто режимів, що характеризуються найбільшим експлуатаційним періодом роботи, а також підвищеної теплової напруженістю.

4. У разі застосування присадок до палива суттєво поліпшуються екологічні показники роботи дизеля. Так застосування присадок сприяє зниження на 1,4...4,3 % концентрації NO_x в випускних газах. Крім того, при використанні паливних присадок на 15,6...22,9 % знижується концентрація SO_x в випускних газах.

ВИСНОВКИ

Магістерське наукове дослідження спрямоване на розв'язання науково-прикладного завдання – необхідності пошуку нових шляхів забезпечення екологічних та економічних показників роботи суднових дизелів.

Суднові МОД та СОД входять до складу всіх СЕУ. Важливу роль у комплексі перетворення потенційної енергії палива в ефективну потужність дизеля виконує система паливопідготовки, ефективність роботи якої визначається зміною структурних характеристик і експлуатаційних властивостей палива до і після процесу його обробки. Одним із способів підвищення якості підготовки палива, якій забезпечує його подальше згоряння з максимальним тепловим виділенням, є хімічна обробка, яку доцільно виконувати шляхом використання присадок до палива.

У магістерському дослідженні висунути та підтверджена наукова гіпотеза про те, що підвищення економічності та екологічності роботи суднових дизелів можливо за рахунок хімічної обробки палива, а саме використання палива з оптимальною концентрацією присадки.

Головним науковим результатом магістерського наукового дослідження є встановлення впливу присадок до палива на екологічні та економічні показники роботи дизеля, а також на теплову напруженість його роботи.

В результаті виконання магістерського наукового дослідження сформульовано наукове положення: підвищення економічності та покращення екологічності роботи суднових дизелів можливо за рахунок визволення активних радикалів вуглецю та водню, які входять до складу палива нафтового походження, та досягається шляхом використання паливних присадок з оптимальною концентрацією.

Основні наукові та практичні результати магістерського наукового дослідження.

1. Одним із способів обробки палива є зміна його фізико-хімічного складу, яку можна розділити на: очищення від домішок та хімічну обробку. До першої групи відносяться відстоювання, сепарація і фільтрація; а до другої – застосування паливних присадок.

2. 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 безпосередньо перед паливної апаратурою високого тиску (паливним насосом високого тиску в випадку використання присадки для двигунів з механічним впорскуванням палива, або системою common rail та їй подібній під час електронного впорскування).

3. Використання присадок до палива призводить до підвищення паливної економічності суднового дизеля. Експериментально підтверджено, що при використанні паливних присадок на різних режимах роботи суднового чотиритактного дизеля можливо досягти зниження 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.

4. Використання паливних присадок не тільки знижує загальні витрати палива, але і сприяє зниженню температури відхідних газів на 3,3...7,2 % і зменшує її відхилення по циліндрах дизеля, вирівнюючи таким чином теплове навантаження по окремих циліндрах. При використанні присадок до палива на 46,2...58,3 % знижується неузгодженість значення температури випускних газів по окремих циліндрах від її середнього значення. Це забезпечує вирівнювання теплового навантаження по всіх циліндрах дизеля і також зменшує виникає в ньому теплову напруженість.

5. У разі застосування присадок до палива суттєво поліпшуються екологічні показники роботи дизеля. Застосування присадок сприяє

зниженню на 1,4...4,3 % концентрації NO_x в випускних газах. Крім того, при використанні паливних присадок на 15,6...22,9 % знижується концентрація SO_x в випускних газах. Наведені факти особливо важливі в розрізі виконання вимог Annex IV MARPOL73/78 та актуальні саме для чотиритактних дизелів, що тривалий час працюють у прибережних акваторіях і акваторіях морських портів.

6. Застосування присадок до палива сприяє поліпшенню технічного стану деталей циліндропоршневої групи дизеля і його газо-випускної системи і на 20...25 % знижує трудомісткість робіт на проведення моточистки дизеля.

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

Запропонований метод вдосконалення системи підготовки палива судових дизелів за рахунок його хімічної обробки є прикладом впровадження сучасних технологій в судовій енергетиці.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сагін С.В., Куропятник О.А., Руснак Д.Ю., Парменова Д.Г. Зниження емісії оксидів сірки з випускними газами суднових дизелів шляхом ультразвукової обробки палива // Автоматизація суднових технічних засобів: наук.-техн. зб. – 2025. – Вип. 30. – Одеса: НУ"ОМА". – С. 121 – 138. DOI: 10.31653/1819-3293-2025-1-30-121-138.

2. Заблоцький Ю.В. Підвищення паливної економічності суднових дизельних установок // Вісник Одеського національного морського університету : Зб. Наук. праць, 2020. – № 2(62). – С. 106-119. DOI 10.47049/2226-1893-2020-1-106-119.

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

4. Сагін С.В., Куропятник О.А. Аналіз впливу біодизельного палива на екологічні та економічні показники роботи суднових дизелів // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2025. – Вип. 1(42). – С. 180-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.21.

5. Мадей В.В., Сагін С.В., Волков О.М. Управління процесом впорскування під час використання в суднових дизелях паливних сумішей до складу яких входить паливо біологічного походження // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 193-205. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.20.

6. Сагін А.С., Сагін С.В. Експериментальне визначення оптимальних фаз подачі палива в циліндр суднових дизелів // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 206-215. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.21.

7. 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.

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

9. Побережний Р.В., Сагін С.В. Забезпечення екологічних показників дизелів суден річкового та морського транспорту // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – Вип. 41. – Одеса : НУ «ОМА». – 2020. – С. 5 - 9.

10. Солодовников В.Г. Использование в судовых дизелях топлив различного фракционного и структурного состава // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2014. – № 33. – Одесса: ОНМА. – С. 110-117.

11. Миусов М.В. Электронные системы управления главными судовыми двигателями : учебное пособие / М.В. Миусов, В.И. Ланчуковский, Е.М. Оженко. – Одесса: ОНМА, 2013. – 98 с..

12. 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>.

13. Парменова Д.Г., Кулешов І.М., Калугін В.М. Суднові установки очищення нафтовмісних вод: нормативні вимоги, методи очищення, конструкція та експлуатація: навчальний посібник // Одеса: НУ ОМА. – 2025. – 148 с. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18836212>.

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

16. Сагін С.В., Куропятник О.А. Визначення оптимальних режимів експлуатації судових двигунів внутрішнього згоряння під час використання біодизельного палива // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2024. – Вип. 48. – С. 100-113. doi: 10.31653/smf48.2024.100-113.

17. Марченко О.О., Сагін С.В. Вдосконалення процесу очищення судових важких палив // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вип. 41. – Одеса: НУ «ОМА». – 2020. – С. 10-14. DOI : 10.31653/smf341.2020.10-14.

18. 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>.

19. Сагин С.В., Поповский Ю.М., Гребенюк М.Н. Влияние ориентационной упорядоченности в граничных смазочных слоях на триботехнические характеристики узлов трения // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 1998. – Вып. 1. – С.102-104.

20. Popovskii Y.M., Sagin S.V., Khanmamedov S.A., Grebenyuk M.N., Teregerya V.V. Designing, calculation, testing and reliability of machines: Influence of anisotropic fluids on the operation of frictional components. – 1996. – Russ. Eng. Res. № 16. – P. 1–7.

21. Сагін С.В., Парменова Д.Г., Верпека А.О. Підвищення паливної економічності дизелів суден морського транспорту // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2025. – Вип. 50. – С. 102-115. DOI: 10.31653/50.2025.102-115.

22. Заблоцкий Ю.В., Солодовников В.Г. Снижение энергетических потерь в топливной аппаратуре судовых дизелей // Проблемы техники: наук.-виробн. журнал. – 2013. – № 3. – Одесса: ОНМУ. – С. 46-56.

23. Заблоцкий Ю.В. Зниження теплової напруженості судових дизелів за рахунок використання присадок до палива // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. Вип. 38. – Одеса : НУ «ОМА», 2018. – С. 76-87.

24. Сагін С.В. Зниження механічних втрат у судових 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](https://doi.org/10.47049/2226-1893-2020-1-87-96).

25. 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..

26. Zablotskyi Yu.V., Sagin A.S. Applying of fuel additives in marine diesel engines // *Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник*. Вип. 43. – Одеса: НУ «ОМА». – 2021. – С. 5 – 17. doi: 10.31653/smf343.2021.5-17.

27. 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

28. Sagin S., Haichenia O., Karianskyi S., Kuropyatnyk O., Razinkin R., Sagin A., Volkov O. Improving Green Shipping by Using Alternative Fuels in Ship Diesel Engines // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2025. – № 13. – P. 589. <https://doi.org/10.3390/jmse1303058924>.

29. 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). – С. 59-70. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.06.

30. Сагін С.С., Сагін С.В. Забезпечення безпеки маневрування великотоннажних суден в стиснених портових водах // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2024. – Вип. 3(41). – С. 208-220. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.3.41.21.

31. Сагін С.В., Сагін С.С. Визначення методу управління рухом суден морського транспорту під час забезпечення їх безпечного розходження // *Водний транспорт: Збірник наукових праць*. – 2023. – Вип. 2(38). – С. 187-198. doi.org/10.33298/2226-8553/2023.2.38.20.

32. Голюков В.А. *Методологія наукових досліджень : навчальний посібник* / В.А. Голюков, М.А. Козьмініх, О.А. Онищенко. – Одеса : ОНМА, 2014. – 164 с.

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

34. Сагін С.В., Мадей В.В., Сагін А.С. Робота суднового дизеля на біодизельному паливі // Автоматизація суднових технічних засобів : наук. - техн. зб. – 2021. – Вип. 27. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 93 - 107. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-93-107.

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

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

37. Сагин С.В. Технология использования и результаты испытаний присадок к топливам для судовых дизелей / С.В. Сагин, Ю.В. Заблоцкий, Р.В. Перунов // Проблемы техники: наук.-виробн. журнал. – 2012 . – № 3. – Одесса: ОНМУ. – С. 84-103.

38. Парменова Д.Г. Визначення відповідності суден вимогам щодо енергоефективності та скорочення викидів парникових газів: методичні вказівки до практичних занять з навчальної дисципліни «Моніторинг та виконання вимог Міжнародних морських конвенцій». – Одеса: НУ ОМА, 2025. – 44 с.

39. Мацкевич Д.В., Сагин С.В., Ханмамедов С.А. Изменение реологических характеристик смазочных материалов в циркуляционной масляной системе в процессе эксплуатации среднеоборотного двигателя // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2010. – Вып. 25. –С.109-118.

40. Sagin S., Kuropyatnyk O., Matieiko O., Razinkin R., Stoliaryk T., Volkov O. Ensuring operational performance and environmental sustainability of marine diesel engines through the use of biodiesel fuel // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2024. – Vol. 12(8). – P. 1440. <https://doi.org/10.3390/jmse12081440>.

41. Сагін С.В., Столярик Т.О. Динаміка суднових дизелів під час використання моторних мастил з різними структурними характеристиками // *Автоматизація суднових технічних засобів : наук. -техн. зб.* – 2021. – Вип. 27. – С. 108-119. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-108-119.

42. Sagin S., Sagin A., Zablotskyi Y., Fomin O., Pišt'ek V., Kučera P. Method for Maintaining Technical Condition of Marine Diesel Engine Bearings // *Lubricants*. – 2025. – Vol. 13(4). – P. 146. <https://doi.org/10.3390/lubricants13040146>.

43. Голікова В.В., Крайнова В.І., Парменова Д.Г., Сінюта К.О. Особливості ергономіки робочого місця майбутніх фахівців водного транспорту // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2022. – Вип. 2(36). С. 218-223. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.18.

44. Парменова Д.Г. Систематизація факторів опасности для построения профиля риска судовых работ // *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. – 2014. – № 1. – С. 30-35.

45. Сагін С.С., Сагін С.В. Використання штучного інтелекту в ситуаціях надмірного зближення суден // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 215-225. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22.

46. Сагін С.В., Колегаєв М.О., Парменова Д.Г. Методичні вказівки для виконання дипломної роботи магістра. – Одеса: НУОМА, 2023. – 56 с.

47. Парменова Д.Г. Визначення відповідності суден вимогам щодо енергоефективності та скорочення викидів парникових газів. Одеса: НУОМА, 2025. – 44 с.

48. Тігінян В., Фрасинюк І.І. Підвищення ефективності суднових дизелів шляхом хімічної обробки палива // *Матеріали Науково-технічної конференції молодих дослідників «Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт»*. – 19.11.2025. – Одеса: НУОМА. –С. 77-81.