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

Кафедра суднових енергетичних установок

ДИПЛОМНА РОБОТА МАГІСТРА
на тему:

ПОНОВЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ МОТОРНИХ МАСТИЛ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

Курсанта 2-го року навчання навчально-наукового інституту інженерії
Будулатія Дениса Євгеновича

Керівник: д-р техн. наук, професор Міюсов М.В.

Нормоконтроль _____ к.т.н, доц. Парненова Ю.Т.

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) _____ Ю.Т. Парненова 19.12.25
(ПІБ, підпис, дата)

Одеса – 2025

Національний університет «Одеська морська академія»
Навчально-науковий інститут інженерії
Кафедра суднових енергетичних установок

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
суднових енергетичних установок
_____
д-р техн. наук, професор Сергій САГІН
10 вересня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи магістра

Студент ННІ _____ **Будулатій Денис Євгенович** _____

1. Тема дипломної роботи: _ **Поновлення експлуатаційних показників** ____
_____ **моторних мастил суднових дизелів** _____
Затверджена наказом ректора НУОМА №_**1414**_від__**24 листопада 2025 р.** _
2. Об'єкт дослідження _____ **процес мащення суднових дизелів** _____
3. Предмет дослідження____ **процес поновлення експлуатаційних** _____
_____ **характеристик моторних мастил суднових дизелів** _____
4. Обсяг пояснювальної записки: _____**70…80 стор.** _____
5. Структура пояснювальної записки дипломної роботи: _____
__ **Аналіз методів забезпечення експлуатаційних характеристик моторних** ___
__ **мастил суднових дизелів** _____
__ **Загальна методика магістерського дослідження** _____
__ **Експлуатація систем мащення суднових дизелів** _____
__ **Підвищення якості очищення моторного мастила суднових дизелів** _____
__ **методом фільтрації** _____
__ **Перспективи регенерації відпрацьованих мастил** _____
6. Зміст основної частини пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):
__ **Аналіз методів забезпечення експлуатаційних характеристик моторних** ___
__ **мастил суднових дизелів** _____
__ **Загальна методика магістерського дослідження** _____
__ **Експлуатація систем мащення суднових дизелів** _____
__ **Підвищення якості очищення моторного мастила суднових дизелів** _____
__ **методом фільтрації** _____
__ **Перспективи регенерації відпрацьованих мастил** _____
7. *Перелік графічного матеріалу:*
__ **Методологія наукового дослідження** _____
__ **Аналіз способів очищення суднових моторних мастил** _____
__ **Результати досліджень** _____
__ **Висновки** _____

РЕФЕРАТ

Дипломна робота магістра: 89 сторінок, 13 рисунків, 8 таблиць, 46 літературних джерела.

Дипломна робота магістра присвячена розв’язанню важливої науково-прикладного завдання – підвищенню якості очистки моторних мастил суднових дизелів.

Надані схеми систем змащення суднових дизелів, вказані особливості експлуатації цих систем стосовно малообертових та середньообертових дизелів.

Розглянути питання підтримання експлуатаційних показників суднового моторного мастила за допомогою його комбінованого очищення. Надані альтернативні схеми систем очищення мастила, які передбачають його очищення при використання повно або частково-поточного режиму роботу суднових мастильних фільтрів.

СУДНОВА ЕНЕРГЕТИЧНА УСТАНОВКА, СИСТЕМА МАЩЕННЯ, ЦИРКУЛЯЦІЯ МАСТИЛА, ОЧИЩЕННЯ МАСТИЛА, ПОВНОПОТОКОВА ФІЛЬТРАЦІЯ МАСТИЛА, ЧАСТКОВОПОТОКОВА ФІЛЬТРАЦІЯ МАСТИЛА

ABSTRACT

Master's thesis work: 89 pages, 13 figures, 8 tables, 46 references.

The master's thesis is dedicated to solving an important scientific and applied problem - improving the quality of cleaning engine oils of marine diesels.

Diagrams of lubrication systems for marine diesel engines are provided, and the features of the operation of these systems in relation to low-speed diesel engines are indicated.

Consider the issue of maintaining the operational performance of marine engine oil by means of its combined cleaning.

Alternative schemes of oil cleaning systems are provided, which provide for its cleaning when using the full or partial current mode of operation of the ship's oil filters.

SHIP POWER PLANT, LUBRICATION SYSTEM, OIL CIRCULATION, OIL PURIFICATION, FULL FLOW OIL FILTRATION, PARTIAL FLOW OIL FILTRATION

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕННЬ..... 8
ВСТУП..... 9
1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОТОРНИХ МАСТИЛ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ …. 11
1.1. Аналіз експлуатаційних характеристик моторних мастил …… 11
1.2. Присадки до мастил …… 17
1.3. Особливості використання мастил в суднових дизельних енергетичних установках ……. 20
1.4. Аналіз використання суднових моторних мастил і зміни їх експлуатаційних властивостей ……..…… 22
1.4.1. Циліндрові мастила для малообертових крейцькопфних дизелів… 23
1.4.2. Циркуляційні мастила для малообертових дизелів …….. 26
1.4.3. Мастила для середньообертових тронкових дизелів …… 28
1.5. Висновки за розділом 1……... 31
2. ЗАГАЛЬНА МЕТОДІКА МАГІСТЕРСКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ …..…. 33
2.1. Вибір теми наукового дослідження ……. 33
2.2. Обґрунтування мети і завдань магістерського дослідження ……..….. 35
2.3. Системний підхід до розробки технологічної карти наукового дослідження ……..…….. 36
2.4. Висновки за розділом 2……... 38
3. ЕКСПЛУАТАЦІЯ СИСТЕМ МАЩЕННЯ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ …. 40
3.1. Основні типи систем мащення ……..…….. 40
3.2. Старіння мастила в процесі експлуатації ……....…….. 43
3.3. Очищення мастила ……..……. 46
3.3.2. Фільтрація мастила ……. 48

3.3.3 Комбіноване очищення моторного мастила в суднових дизелях …. 51
3.4. Висновки за розділом 3…….. 55
4. ПОНОВЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ МОТОРНИХ МАСТИЛ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ ……..……. 57
4.1. Переваги очищення моторного мастила методом фільтрації …… 57
4.2. Перспективи поновлення експлуатаційних характеристик моторних мастил методом фільтрації ……..…… 64
4.3. Висновки за розділом 4……..……. 67
5. РЕГЕНЕРАЦІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ МАСТИЛ ТА ПОНОВЛЕННЯ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК …….……... 69
5.1. Стан питання …….…….. 69
5.2. Пропозиція по технології регенерації мастил ……..…… 73
5.2.1. Видалення з відпрацьованого мастила нерозчинного осаду …….. 73
5.2.2. Видалення з мастила води і палива ……..….. 75
5.2.3 Видалення з мастила залишкової кількості присадок …….….. 75
5.3. Висновки за розділом 5 ……..…….. 80
ВИСНОВКИ…….. 82
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ……..…… 84

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕННЬ

ДВЗ	–	двигун внутрішнього згорання
ДЕУ	–	дизельна енергетична установка
ЗЛЧ	–	загальне лужне число
КСТОМ	–	комбінована система тонкого очищення мастила
КШМ	–	кривошипно-шатунний механізм
ММ	–	моторне мастило
МОД	–	малообертовий дизель
НМТ	–	нижня мертва точка
НРП	–	нерозчинні продукти
СЕУ	–	суднова енергетична установка
СОД	–	середньообертовий дизель
ФГО	–	фільтр грубого очищення
ФЕ	–	фільтруючий елемент
ФЕПП	–	фільтруючий елемент повно потоковий
ФЕЧП	–	фільтруючий елемент частково потоковий
ФМ	–	фільтруючий матеріал
ФТО	–	фільтр тонкого очищення
ФТОМ	–	фільтр тонкого очищення мастила
ЦПГ	–	циліндропоршнева група

ВСТУП

Тенденції в розвитку суден морського та внутрішнього водного транспорту, а також суднових енергетичних установок (СЕУ) характеризуються збільшенням дедвейту судна, підвищенням їх автономності та дальності плавання, зростанням потужності головних та допоміжних двигунів, можливість використання палива погіршеного складу з одночасним забезпеченням екологічності роботи судна та СЕУ.

Ефективна експлуатація СЕУ може бути досягнута за умовою найкращого вибору режимів роботи двигунів, впровадження сучасної технології технічного обслуговування, раціонального використання палива та мастила, а також підтримання оптимальних режимів охолодження та мащення.

Функціонування головної, допоміжної котельної і електроенергетичною установок, складових енергетичну установку судна, забезпечується різними системами, що включають трубопроводи, теплообмінні апарати, арматуру і так далі.

Двигуні внутрішнього згоряння (ДВЗ) / дизелі, що встановлюються на суднах морського та внутрішнього водного транспорту та виконують функції головних та допоміжних двигунів, вже понад 50-ти років займають домінуюче положення в порівнянні з іншими типами на теплових двигунів (паровими котлами, паровими та газовими турбінами). Перш за все це пов’язано з їх більшим (у порівняння з іншими типами теплових двигунів) коефіцієнтом корисної дії (ККД) та, відповідно з цим, меншою питомою витратою палива.

Основною тенденцією в розвитку суднових дизелів є підвищення їх циліндрової та агрегатної потужності, а також техніко-економічних показників, що багато в чому залежить від якості моторних мастил (ММ), які

забезпечують процеси мащення та охолодження їх циліндрової групи та підшипників руху. Під час виконання цих функцій мастила поступово, а в деяких випадках стрибкоподібно, втрачають експлуатаційні показники – перш за все в’язкість та загальне лужне число. Основною причиною цього є потрапляння до мастила забруднюючих частинок (як результат неповного згоряння) та знос контактних поверхонь (втулка – поршневі кільця та вкладиш підшипника – колінчатий вал). Основним методом видалення з мастила забруднюючих частинок та продуктів зносу для циркуляційних систем мащення є фільтрація мастила.

Правильно і обґрунтовано вибраний сорт моторного мастила, контроль та управління зміною його експлуатаційних показників, кваліфікаційне обслуговування систем мащення, догляд за технічним станом деталей і елементів двигуна в значній мірі сприяють підвищенню надійності, довговічності і економічності суднових дизелів.

Саме питанням поновлення експлуатаційних показників моторних мастил суднових дизелів присвячена дипломна робота.

1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОТОРНИХ МАСТИЛ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

Проблеми забезпечення експлуатаційної надійності та необхідних режимів змащування двигунів, механізмів та їх елементів були і є настільки актуальними і важливими, що дослідження в області створення, випробування, техніки і технології застосування мастильних матеріалів сформувалися в велике наукове напрямок. Досягнуті позитивні результати в цій області прямо впливають на технічну та економічну ефективність використання всіх видів техніки, в тому числі і судновий [1].

1.1. Аналіз експлуатаційних характеристик моторних мастил

Основні властивості нафтових мастил аналогічні, за деяким винятком, властивостям рідкого палива, використовуваного в ДВЗ. Тому визначення цих властивостей не повторюються, а розглядаються тільки їх особливості. В'язкість характеризує здатність мастила створювати визначний режим тертя, при якому шар змащувального матеріалу між деталями, що труться, здатний протистояти високим навантаженням, запобігаючи безпосередньому контакту поверхонь, що труться. Для циркуляційних мастил оптимальною є в'язкість 9...11 мм^2/с при 100°С. При великих значеннях в'язкості важко підведення змащувального матеріалу до вузлів тертя, погіршуються умови розтікання мастила по змащуваній поверхні і зростають втрати на тертя, при менших – знижується міцність масляного шару [2].

Особливе значення в'язкість має при виборі циліндрових мастил. Недостатньо в'язкі мастила знижують здатність масляної плівки, що несе, і

значно погіршують умови змазування циліндрів. Циліндрові мастила мають в'язкість 14...16 мм^2/с при 100 °С.

Індекс в'язкості – це безрозмірна величина, що характеризує за стандартною шкалою пониження в'язкості мастила при підвищенні температури. Визначити індекс в'язкості можна по спеціальній таблиці, знаючи в'язкість при 50 і 100 °С. При цьому залежність в'язкості від температури даного мастила порівнюють з аналогічною залежністю еталонних мастил. Чим менше залежить в'язкість мастила від температури, тим вище індекс в'язкості і тим вище експлуатаційні якості мастила. Незначна зміна в'язкості в діапазоні робочих температур сприяє збереженню змащувальних властивостей мастила і підтримці заданого режиму мастила в деталях, що труться. Для дизельних мастил достатнім значенням індексу в'язкості є 85...90 [3-5].

Кислотне число характеризує корозійну агресивність мастила і виражається кількістю міліграма КОН, яке йде на нейтралізацію вільних кислот в 1 г мастила. Кислотне число використовують для характеристики мастил, що не містять лужні присадки. Значення кислотного числа визначають послідовним додаванням до проби мастила доль лужного індикатора до зміни його забарвлення. Навіть добре очищені мінеральні мастила містять деяку кількість органічної кислоти, що не перевищує звичайні 0,1 міліграм КОН на 1 г мастила.

В процесі експлуатації кислотність мастила зростає унаслідок його окислення і попадання в нього кислот, що утворилися в результаті згорання в циліндрі сірчистих з'єднань. Як указувалося вище, з підвищенням кислотності мастила прискорюється процес його старіння, збільшується схильність мастила до відкладень лаку, нагари і шламу, з'являється небезпека корозійного роз'їдання металу. При збільшенні кислотності мастила важливо встановити в нім наявність неорганічних (мінеральних) кислот, які є найбільш корозійно-активними у присутності води.

Шкідлива дія кислот, що з'являються в мастилі, можна запобігти при використанні лужних присадок.

Лужне число характеризує здатність мастила нейтралізувати кислоти, що з'являються в нім, запобігаючи корозії і зношуванню змащуваних поверхонь. Лужні властивості забезпечують введенням в мастило спеціальних присадок. Загальне лужне число визначається кількістю міліграма КОН на 1 г мастила.

Початкове лужне число підбирають з урахуванням можливої інтенсивності утворення кислот в середовищі, де працюватиме змащувальне мастило. Для суднових допоміжних двигунів, що працюють на дизельних паливах, мінімальний рівень лужності, що забезпечує необхідні нейтралізуючі і миючі властивості мастила, складає 1,5...2,0 міліграм КОН на 1 г мастила. Для крейцкопфних малообертових дизелів (МОД) і потужних тронкових середньообертових дизелів (СОД), що працює на високо сірчистих паливах, цей рівень не повинен бути нижче 6...8 міліграм КОН на 1 г мастила, оскільки скидання мастила з продуктами згорання сірчистих з'єднань, що знаходяться в нім, із стінок циліндра безпосередньо в картер може швидко привести в непридатність циркуляційне мастило [6].

Високі миючі властивості лужних мастил обумовлюють їх застосування також в циркуляційних системах крейцкопфных ДВЗ, особливо при використанні циркуляційного мастила для охолоджування поршнів.

Найбільші лужні числа мають циліндрові мастила, використовувані в двигунах, що працюють на високо сірчистих паливах. При цьому із збільшенням змісту сірі в паливі нейтралізуюча дія мастила повинна бути підвищене, тому вище повинна бути його лужність. Гранична лужність сучасного циліндрового мастила (близько 50 міліграма КОН на 1 г мастила) достатня для нейтралізації сірчистих з'єднань, що утворюються під час згорання палива із змістом сірки до 3,5% [7].

Контроль зміни змісту лугу у відпрацьованому циліндровому мастилі в порівнянні з початковим лужним числом дозволяє встановити правильність

вибору лужності мастила. У відпрацьованому мастилі лужне число повинне бути не менше 1...2 міліграми КОН на 1 г мастила. Не менш важливий контроль лужності і в циркуляційних мастилах, де зменшення лужного числа, що стабілізувалося, указує на появу в мастилі мінеральних кислот і вимагає вживання заходів для запобігання їх утворення.

Зміст водорозчинних кислот і лугів характеризує наявність в мастилі сильних кислот мінерального походження і лугів. У свіжому мастилі без присадок зміст водорозчинних кислот залежить від повноти нейтралізації мастила після сірчанокислого очищення в процесі виготовлення. Наявність водорозчинних кислот, особливо при одночасній присутності води, сприяє інтенсивній корозії деталей двигуна, тому їх вміст в мастилі не допускається.

Вміст лугів в свіжому мастилі може з'явитися наслідком неякісної промивки мастила після лужного очищення в процесі виготовлення. До експлуатації таке,мастило не допускається. У мастилах з лужними присадками наявність лугу обумовлюється характером присадки і не є ознакою непридатності мастила.

Зольність базового мастила характеризує ступінь очищення мастила від мінеральних включень. Завдяки високій якості очищення зольність мастил, що не містять присадки, вельми незначна і не перевищує 0,005%. При використанні присадок металоорганічного походження зольність мастила багато разів зростає. Проте досвідом встановлено, що абразивний знос при використанні таких мастил не збільшується.

Термоокислітельна стабільність характеризує стійкість мастила проти окислювальної дії кисню при підвищених температурах. Цей показник важливий не тільки для циліндрових мастил, що працюють в зоні високих температур, але і для циркуляційних, які в тронковых двигунах часто використовують також для змазування циліндрів, а в могутніх охолоджують поршні. Термоокислітельная стабільність багато в чому визначає особливість роботи мастила в зоні поршневих кілець.

Термоокислітельную стабільність мастила оцінюють по рости, з якою мастило при даній температурі преврашается лакову плівку. Підвищення стійкості мастил в умовах високих температур, а значить запобігання небажаним відкладенням на поверхні деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ) досягається введенням в мастило присадок, що уповільнюють окислення мастила. Крім того, відкладенню нагари і лаку перешкоджає лужність мастила, що забезпечує нейтралізацію кислот згорання сірчистих з'єднань, дія яких на мастило знижує його стабільність.

Застосування перерахованих присадок забезпечує циркуляційному маслу термоокислительную стабільність 17...35 хв при 250 °С, а циліндровому – не менше 90 хв при 250^{o} С [8].

Температура застигання характеризує можливість використання мастил в умовах низьких температур і складає для циркуляційних і циліндрових мастил від -10 до -16 °С. Залежно від температури застигання визначають необхідність підігріву. Для забезпечення надійного перекачування мастила підігрів необхідний при температурі, на 10...15 °С що перевищує температуру застигання. Циліндрове мастило слід використовувати без підігріву, для чого в нього вводять депресантні присадки.

Температура спалаху характеризує схильність масляної пари до займання і показує можливість використання мастил для змазування поверхонь, що мають високі температури, що важливе при виборі циліндрових мастил. Температура спалаху циліндрових мастил повинна бути вище за температуру стінок циліндра, інакше мастило вигорятиме з утворенням твердих відкладень, що порушують режим тертя. У циліндрових мастилах температура спалаху досягає 220°С.

Для циркуляційних мастил температура спалаху, що перевіряється в експлуатації, може показати наявність в мастилі палива. Це особливо важливо в двигунах, що працюють на важких сортах палива. Незначна різниця між в'язкістю важких топ-лив і в'язкістю циркуляційних мастил не

дозволяє встановити наявність в мастилі паливних включень по в'язкості, і лише пониження температури спалаху може вказати на цей недолік. Допустима межа зниження температури спалаху 170°С.

Зміст механічних домішок небажаний для мастила, оскільки викликає додатковий знос деталей, що труться, і відкладення нагари в циліндрах. У більшості циркуляційних мастил без присадок зміст механічних домішок не допускається. Використання присадок до циліндрових і циркуляційних мастил викликає незначне збільшення змісту механічних домішок і не перевищує 0,05 %.

Якщо мастила містять диспергуючі присадки, вміст в мастилі механічних домішок допускається до вельми високого рівня або взагалі не регламентується, оскільки подібна концентрація домішок при нормальній роботі сепараторів не зустрічається. Протизнос, антизадирні властивості проти нагару мастила багато в чому визначаються ступенем дисперсності нерозчинних домішок. При хороших диспергуючих свойствах, присадок, що знаходяться в мастилі, середній розмір домішок не перевищує 0,1 мкм.

Зміст води погіршує змащуючі властивості, знижує здатність масляного шару, що несе, збільшує корозійну дію кислот, що містяться в мастилі, а в мастилах з присадками сприяє вимиванню окремих компонентів присадки і випаданню їх в осад. Тому вода в мастилах допускається лише у вигляді слідів.

В процесі експлуатації вода може потрапити в мастило, тому мастилам додають стійкість проти утворення емульсії, яка не тільки погіршує умови мастила і розчиняє окремі присадки, але і приводить до небажаних відкладень опадів в трубопроводах.

Стійкість при зберіганні – це властивість, якою повинне володіти мастило при тривалому зберіганні в умовах значного коливання температури навколишнього середовища. Призначене для використання на судах мастило містять в берегових резервуарах, де його часто доводиться зберігати

тривалий час в різних кліматичних умовах. Крім того, мастило випробовує значні температурні коливання і в умовах суднового зберігання. Враховуючи це, маслу додають стійкість проти випадання присадок і зміни фізико-хімічних властивостей при тривалому зберіганні. Не дивлячись на достатньо високу стійкість мастила, умови його тривалого зберігання обмовляються [6].

1.2. Присадки до мастил

Використання присадок обумовлюється необхідністю додання мастилам нових властивостей або поліпшення їх фізико-хімічних показників. Найбільш поширені присадки діляться на і антиокислительні і антикорозійні, нейтралізуючі корозійну дію кислот, миючі (детергентні і диспергуючі), протизнос, знижують температуру застигання (депресорні) і антипінні. Тип присадки вибирають з урахуванням її дій і залежно від призначення мастила.

Вязкостниє присадки використовують для підвищення в'язкості мастил, що мають низьку температуру застигання і високу жидко-текучесть. Після додавання присадки ці мастила, зберігаючи низькотемпературні властивості, набувають вищої в'язкості, що забезпечує підвищення міцності масляної плівки.

Іншою позитивною дією присадки є підвищення індексу в'язкості, що дозволяє отримати так звані всесезонні мастила, які забезпечують надійний запуск двигунів при низьких температурах і зберігають хороші змащуючі властивості в умовах високих температур і підвищеного навантаження.

Антіокислітельні присадки уповільнюють процес окислення мастила, що особливо важливе для циркуляційних мастил, від яких вимагається тривала робота без значної зміни експлуатаційних якостей. Окислювальний процес є ланцюговою реакцією, при якій що з'являються в мастилі продукти старіння

діють як каталізатори, і чим більше концентрація продуктів окислення, тим інтенсивніше протікає реакція. На прискорення реакції окислення, крім того, впливають температура і присутність металів, що володіють каталітичними властивостями.

Враховуючи особливості процесу окислення, в мастила вводять присадки, що уповільнюють реакцію окислення, і присадки, створюючи на поверхні металу нерозчинну в мастилі захисну плівку. Основними компонентами присадок, створюючи на поверхні металу захисну плівку, є з'єднання фосфору і сірки. Стійка захисна плівка не тільки предохраняет мастило від каталітичної дії металу при окисленні, але і перешкоджає проникненню кислот до поверхні металу, забезпечуючи антикорозійну дію. Це особливо важливо в двигунах, підшипники яких мають як антифрикційний шар чутливі до корозії сплави кольорових металів (мідь – свинець, кадмій – срібло, кадмій – нікель і ін.).

Нейтралізуючі присадки запобігають корозійній водії на деталі двигуна кислот, що утворюються в результаті згорання в циліндрі сірчистих палив, а також в процесі окислення змащувального мастила. Нейтралізуюча дія присадок забезпечується їх лужністю. Найбільш сильною антикорозійною дією володіють присадки, здатні нейтралізувати водорозчинні неорганічні кислота (алкифеноляти і сульфати барії і кальцію).

Лужні нейтралізуючі присадки використовують як в циліндрових, так і в циркуляційних мастилах. Найбільш необхідні лужні присадки для циліндрових мастил, які застосовують в двигунах, що працюють на сірчистих паливах. Це пояснюється тим, що кислоти, що утворюються при згоранні палива з сірчистих з'єднань, конденсуються в умовах низьких температур на деталях ЦПГ. Окрім антикорозійної дії, лужні присадки, нейтралізуючи кислоти, оберігають циліндрові мастила від розкладання і тим самим попереджають відкладення в циліндрі лаків і нагарів [9].

Водорозчинні солі, реакції нейтралізації кислот, що утворюються в результаті, помітної абразивної дії на поверхні, що труться, не надають.

Миючі (антинагарні) присадки запобігають освіті на робочих поверхнях деталей смолянистих і лакових відкладень, утримуючи частинки нагари і продукти розкладання мастила в зваженому (що диспергує) стані. Як миючі присадки застосовують: нафтенові кислоти, солі барії, магнію, кальцію, солі сульфокислот і інші з'єднання.

За наявності в мастилі ефективних миючих присадок вміст в нім нерозчинних продуктів, що диспергують, може доходити до 4–5%, не викликаючи підвищеної кількості вуглецевих відкладень.

Противоізносні присадки застосовують в мастилах в умовах високих температур і великого контактного тиску між поверхнями, що труться.

При змазуванні циліндрів могутніх дизелів міцність граничного шару, адсорбованого на стінці втулки циліндра, може виявитися недостатньою для запобігання безпосередньому контакту поверхонь, що труться. В цьому випадку використовують присадки: адсорбційні властивості змащувального матеріалу, що підвищують, тобто що забезпечують міцніше зчеплення масляної плівки з поверхнею металу; противозадирные, створюючи на робочих поверхнях міцну неорганічну плівку, що розділяє деталі, що труться, при руйнуванні масляного шару.

У першому випадку як присадки використовують кислоти жирного ряду, які хімічно реагують з поверхнею металу і утворюють металеве мило. Це мило, випробовуючи велике тяжіння до металу, утворює на його поверхні необхідний адсорбційний шар, що володіє низькою міцністю зрушення і низьким коефіцієнтом тертя. При цьому властивості граничного мастила поліпшуються.

У другому випадку для утворення міцної захисної плівки на поверхні металу використовують як присадки фосфорорганические з'єднання, хлор, що містять, і сірку. Захисна плівка знижує опір взаємному зрушенню

контактуючих поверхонь і одночасно перешкоджає їх зближенню, що забезпечує антизадирное, а також дія протизносу.

Депресорні присадки використовують у випадках, якщо умовах експлуатації вимагають, щоб мастило зберігала свою текучість при низьких температурах. Дія депресорних присадок полягає в запобіганні освіті і уповільненні зростання кристалів парафіну, що викликають пониження текучості мастила.

Антипінні присадки запобігають спінюванню мастила при перемішуванні його з повітрям. Піна викликає утворення пробок в масляній системі, погіршення мастила, а також сприяє ерозії кавітації в підшипниках. Антипінні присадки руйнують легко-масляні емульсії.

Перераховані присадки зазвичай застосовуються в композиціях, що забезпечують одночасне виконання декількох функцій. Багатофункціональні присадки, одночасно поліпшуючі декілька показників мастила, є основним типом присадок, використовуваних в сучасних мастилах [10, 11].

1.3. Особливості використання мастил в суднових дизельних енергетичних установках

СЕУ (як головні, так і допоміжні) є порівняно невеликими споживачами мастильних матеріалів в загальному обсязі світового транспортно-енергетичного комплексу [12, 13]. При цьому слід підкреслити, що моторні мастила (ММ), які використовуються в судновий ДЕУ, найбільшою мірою леговані присадками і відрізняються великим запасом якості за своїм первинним властивостям. Середній вміст присадок в суднових мастилах в кілька разів перевищує цей показник по ММ, застосовуваним в інших сферах техніки і енергетики [14]. Це пов'язано в першу чергу зі специфікою

експлуатації суднової техніки: високими температурними і механічними напруженнями в зонах контакту; неминучістю попадання в ММ палива, води і механічних домішок; роботою при різних параметрах навколишнього середовища і т.і. [15]. Все це обумовлює виключно високий рівень вимог до властивостей мастил [16].

Поглиблення переробки нафти супроводжується погіршенням якості всіх видів палив, що призводить до зниження надійності роботи і ресурсних показників суднових дизелів. При цьому збільшується інтенсивність старіння ММ, забруднення ДВЗ вуглецевими відкладеннями і швидкість їх зношування.

В даний час провідними в області розробки моторних мастил є міжнародні нафтові компанії (Mobil oil, Shell, ESSO, Castrol, BP, Agip, Nippon Petroleum, Chevron Texaco та ін.). Між ними точиться гостра конкурентна боротьба за ринки збуту нафтопродуктів. Тому дослідні центри компаній постійно вишукують шляхи поліпшення якості мастил за рахунок вдосконалення їх складу. Особлива увага приділяється питанням економії ММ в процесі їх застосування на суднах, а також перспективам регенерації їх експлуатаційних властивостей [17].

У комплекс заходів, здатних привести до підвищення експлуатаційної надійності суднових дизелів, входить ефективна регенерація експлуатаційних характеристик мастильних матеріалів. Одним з методів, що забезпечують процес регенерації експлуатаційних властивостей ММ, є їх фільтрація.

1.4. Аналіз використання суднових моторних мастил і зміни їх експлуатаційних властивостей

Застосовувані на суднах мастила підрозділяють на моторні і мастила для допоміжних механізмів і пристроїв. ММ в свою чергу поділяються на циліндрові, що застосовуються для змащування циліндрів суднових крейцькопфних МОД; циліндрові, що застосовуються для змащування тронкових СОД; циркуляційні, що застосовуються для змащування і охолодження підшипникових вузлів.

Основні функції мастил зводяться до забезпечення надійної роботи вузлів тертя, зменшення тертя і викликаний ним зносу; запобігання зносу в усіх інших його формах; видалення із зони тертя забруднюючих елементів; охолодження шляхом відведення теплоти від поверхонь, що труться; забезпечення щільності в зоні кільцевого ущільнення поршнів; запобігання корозії.

У суднових дизелях мастила працюють далеко в неоднакових умовах, що визначаються відмінностями в рівні форсування робочого процесу дизелів, їх швидкохідності, конструкції, характеристик використовуваного палива і умов експлуатації. Істотно різні умови роботи мастил в циліндрах і вузлах тертя кривошипно-шатунного механізму (КШМ). Для протистояння явищу сірчистої корозії в циліндрові мастила в обов'язковому порядку вводять з'єднання лугу, зміст якої визначається в мг гідроксиду калію КОН на 1 грам мастила (її величина може досягати 70 мгКОН/г) [18].

1.4.1. Циліндрові мастила для малообертових крейцькопфних дизелів

Проблеми, пов'язані з необхідністю розробки нових циліндрових мастил, виникли ще на початку 60-х років минулого століття і були пов'язані з появою на морських суднах МОД з наддувом і переведенням їх роботи на економічно вигідні палива підвищеної в'язкості. Відповіддю на посилення умов роботи мастил і потреба в наданні їм відповідних властивостей було створення поруч нафтових компаній спеціальних циліндрових мастил з вихідним лужним числом 40...50 мгКОН/г, здатних певною мірою знизити несприятливі наслідки форсування наддувом МОД і використання в них палив низької якості, що впливають на зниження ресурсу ЦПГ. Подальші тенденції в експлуатації суднових МОД були пов'язані з широким застосуванням в них ще більш важких палив з високим вмістом сірки та інших небажаних компонентів, що збіглося з різким підвищенням цін на нафту і нафтопродукти в результаті світової енергетичної кризи 70-х років. Лужні циліндрові мастила першого покоління вже перестали відповідати зрослим вимогам до їх властивостями, в першу чергу до протизносних, миючих і нейтралізуючих. У цей період провідними зарубіжними нафтовими компаніями (Mobil oil, Shell, ESSO, Texaco, Castrol і ін.) були розроблені і випущені на ринок циліндрові мастила з рівнем лужних чисел 60...70 мгКОН/г, що перевершують за своїми експлуатаційними властивостями мастила першого покоління.

Високо-лужні циліндрові мастила другого покоління (Mobilgard 570, Shell Alexia 50, Castrol S/02 та ін.) тривалий час успішно застосовувалися в форсованих суднових МОД в умовах експлуатації на паливах в'язкістю 120...320 сСт при 50°С з вмістом сірки до 3...4 %.

Експлуатація суднових дизелів на подібних сортах палива і мастила проводилася аж до початку нинішнього століття, коли флот став

поповнюватися суднами з довгоходовим моделями двотактних дизелів, високо форсованими чотири тактними дизелями, а крім того, посилилися вимоги до екологічних параметрів роботи СЕУ в цілому і ДВЗ зокрема [19].

В даний час світове судноплавство, суднове дизелебудування, а також тенденції в зміні способів переробки нафти і якості палив, що поставляються для флоту, вступили в новий етап розвитку, завдання якого полягають у значному підвищенні економічності енергетичних установок і забезпеченні можливості використання в них надважких палив, отриманих із залученням вторинних продуктів переробки нафти. Наслідком такого розвитку стало створення довгоходових і понад довгоходових моделей МОД, для яких характерне відношення ходу поршня до діаметру циліндра до 4,0...4,3, а в самих останніх моделях до 5,0. У всіх перспективних типах МОД прийняте прямоточне продування циліндра, яке забезпечує найкращий газообмін в цих умовах [20]. Довгоходові МОД відрізняються від двигунів з традиційними співвідношеннями S/D зниженою частотою обертання на номінальній потужності, що забезпечує більш високий індикаторний ККД двигуна і пропульсивний ККД всієї установки. Висока економічність таких двигунів досягнута і завдяки підвищенню максимального тиску згоряння p_z і поліпшенню індикаторного процесу. Всі ці зміни прямо стосуються формування масляної плівки на поверхні змащуваних деталей. Справді, при рівних робочих обсягах циліндра довгоходові МОД і звичайного в першому випадку необхідно змащувати на 15...25% більшу площу. Збільшення максимальних тисків (до 17,0...18,0 МПа) і температур у верхній частині циліндра (до 200...220°С) призводить до підвищення вимог до маслу щодо запобігання утворенню відкладень і зносу.

Використання важких і надважких палив в крейцькопфних дизелях зумовлює посилення вимог до ряду властивостей циліндрового мастила [21]. Перш за все, це стосується забезпечення нейтралізуючої здатності високої термоокислювальної стабільності і антінагарних властивостей мастила [22].

Конструктивне вдосконалення МОД й посилення умов їх експлуатації формують основні вимоги, що пред'являються до циліндрових мастил нового покоління. Мастило має:

створювати ефективне ущільнення між поршневими кільцями і втулкою циліндра;

знижувати до мінімальної величини тертя ковзання і забезпечувати високі антифрикційні властивості;

нейтралізувати сильні мінеральні кислоти, які утворюються при спалюванні палив, що містять сірку;

запобігати утворенню нагару в зоні поршневих кілець, вікнах втулки циліндра, на клапанах газорозподілу і забезпечувати рухливість кілець в процесі тривалої експлуатації;

спалюватися в циліндрі, залишаючи якомога менше нагару можливо більш м'якої консистенції [23].

Провідні компанії випускають в даний час по одній – дві марки циліндрових мастил. Це, як правило, мастила класу в'язкістю SAE50, рідше SAE60 з лужним числом 70...100 мгКОН/г, що представляють собою за якістю і властивостями високо-лужні мастила третього покоління. До них відносяться мастила фірм: Mobil oil (Mobilgard 570 клас SAE50, лужне число 70 мгКОН/г); ESSO (Exxmar X70 і X90, класи в'язкості відповідно SAE50 і SAE60, лужні числа 70 і 90 мгКОН/г); Shell (Alexia50 і AlexiaX, клас в'язкості обох марок SAE50, лужні числа відповідно 70 і 100 мгКОН/г); Castrol (S/D Z65 і Cyltech 80, клас в'язкості обох марок SAE50; лужні числа відповідно 65 і 80 мгКОН/г), British Petroleum (Energol CLO50M клас в'язкості SAE50, лужне число 70); Teboil (Ward Heavy SAE50, лужне число 70) і ін. Подібні мастила використовуються у випадках, коли ГД експлуатується га паливі, вміст сірки в якому досягає 3,5 %.

1.4.2. Циркуляційні мастила для малообертових дизелів

Другим видом мастила, що застосовуються в крейцькопфних МОД, є циркуляційний для змазування рамових, мотильових і крейцькопфних підшипників і охолодження поршнів. Функції цього мастила, крім змащувальних і охолоджуючих, складаються в запобіганні корозії і іржавіння деталей (в тому числі і в присутності води), підтримці нерозчинних частинок в підвішеному стані (для забезпечення чистоти деталей картера двигуна), хорошою водо відділяючою здатністю, малої емульгуємостю з водою, а також стійкості до окислення при прокачуванні через високотемпературну зону поршнів [24]. Принципові схеми циркуляційної системи мащення суднового МОД фірми MAN-B&W показані на рис. 1.1, 1.2.

Циркуляційний мастило також служить для підтримки масляного клина в підшипниках КШМ, тому в'язкість цих сортів мастила має особливо важливе значення. Для всіх циркуляційних мастил оптимальною вважається в'язкість 10...12 мм^2/с (сСт), що відповідає класу SAE30.

Мастило в крейцкопфних дизелях має працювати без заміни десятки тисяч годин, тому його здатність протягом тривалого часу зберігати свої моторні властивості, головним чином визначаються здатністю протистояти процесам окислення в умовах підвищених температур під впливом кисню повітря і проникають в мастило агресивних сполук, є не менш важливим . Чисто мінеральне мастило в сучасному дизелі, особливо якщо його поршні мають масляне охолодження, під дією високих теплових навантажень піддається процесам полімеризації з утворенням високомолекулярних вуглеводневих сполук, що прилипають до стінок картера, що випадають в осад і нерідко призводять до закупорки масляних каналів. У сучасній практиці експлуатації дизелів чисто мінеральні мастила припинили застосовувати, замінивши їх мастилами з високоефективними присадками.

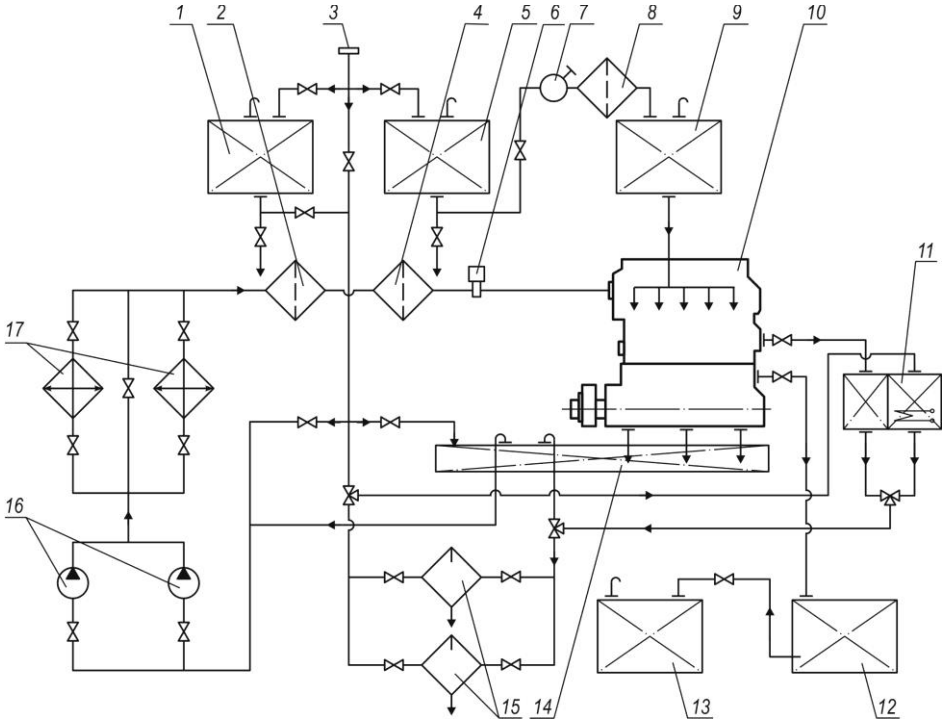


Рис. 1.1. Склад циркуляційної системи змащування суднового МОД

1 - цистерна циркуляційного мастила; 2, 4, 8 - мастильний фільтр; 3 - прийом мастила з палуби; 5 - цистерна циліндрового мастила; 6 - терморегулятор; 7 - ручний насос; 9 - видаткова цистерна циліндрового мастила; 10 - головний двигун; 11 - зливний бак мастила від сальників і штоків поршня; 12 - дренажний бак для ресивера продувочного повітря; 13 - грязевідстійник для сепараторів важкого палива; 14 - піддон циркуляційного мастила; 15 - мастильні сепаратори; 16 - мастильні насоси; 17 – охолоджувачі мастила

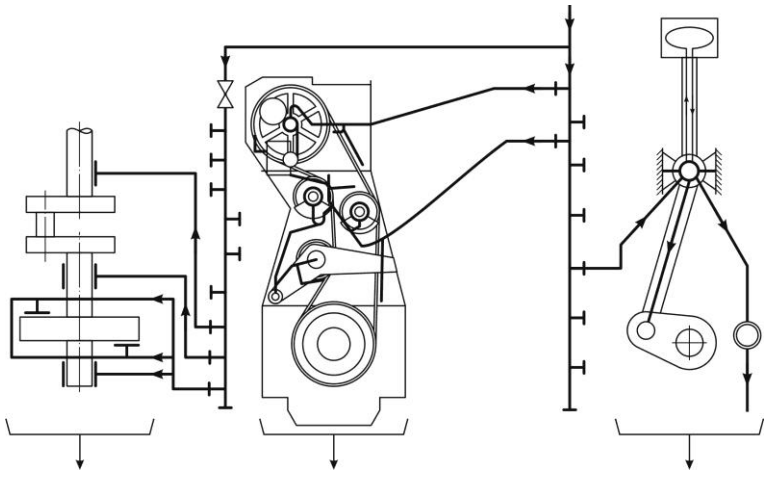


Рис. 1.2. Схема системи циркуляційного змащування дизеля і охолодження поршнів

Дизелі повинні бути також забезпечені від іржі і корозії внутрішніх поверхонь. Однією з найбільш ймовірних причин може бути потрапляння в мастило води, зокрема при наявності протікання в охолоджувачі мастила. Найбільш інтенсивна корозія відбувається при попаданні в мастило забортної води. На поверхні білого металу підшипників утворюються чорні тверді відкладення двоокису олова, що призводять до задирам шийок вала. Для запобігання корозії і утворення відкладень двоокису олова в мастило вводять спеціальні антикорозійні присадки.

У невеликих кількостях в циркуляційні мастила вводять детергенти, що забезпечують чистоту дизеля шляхом диспергування нерозчинних в маслі частинок забруднень і запобігання відкладання їх на холодних поверхнях картера і випадання у вигляді шламу. Циркуляційні мастила повинні також мати властивість нейтралізації кислот, що проникають в картер з циліндра через сальникові ущільнення штоків поршнів.

Рівень лужності сучасних циркуляційних мастил визначається 3...5 мгКОН/г. З огляду на наявність в мастилі присадок, його промивання водою при сепарації небажана. Лужні присадки зазвичай частково розчиняються у воді і можуть бути виведені з неї з мастила. Крім того, деякі присадки утворюють з водою стійкі емульсії, насилу руйнуються в сепараторі.

При розробці циркуляційних мастил для суднових МОД основна увага приділяється забезпеченню перерахованих вище властивостей.

1.4.3. Мастила для середньообертових тронкових дизелів

Особливий клас представляють мастила для потужних суднових СОД, які експлуатуються на високо-сірчистих важких паливах. Такі дизелі використовуються в якості головних двигунів, передавальних свою

потужність на гвинт [25]. Більшість СОД високою циліндрової потужності має дві системи мастила: лубрікаторну - для змазування циліндрів і циркуляційних - для змазування підшипників КШМ. Однак, використання в тронкових двигунах двох різних за своїми властивостями мастил - циліндрового і циркуляційного є недоцільним через неминуче змішування цих мастил як в картері двигуна, так і на стінках циліндрів з огляду на те, що конструкція тронкового дизеля не дозволяє розділити циліндрові і циркуляційний мастила, як це має місце в крейцькопфному двигуні. Принципова схема системи змащування суднового СОД високої потужності показана на рис. 1.3.

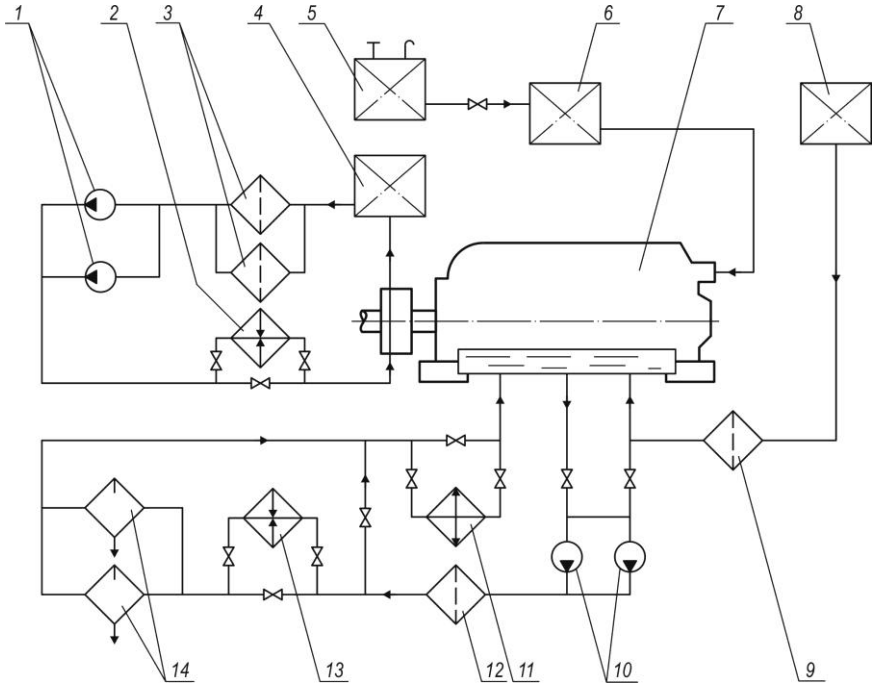


Рис. 1.3. Склад системи змащування суднового СОД високої циліндрової потужності

1 - насоси мастила редуктора; 2 - підігрівач мастила редуктора; 3 - мастильні фільтри; 4 - цистерна мастила редуктора; 5 - танк циліндрового мастила; 6 - видаткової танк циліндрового мастила; 7 - головний двигун; 8 - танк циркуляційного мастила; 9, 12 - мастильний фільтр; 10 - мастильні насоси; 11 - охолоджувач мастила; 13 - мастильний підігрівач; 14 - мастильні сепаратори

Більшість суднових СОД використовуються в якості допоміжних двигунів, забезпечуючи привід електрогенераторів. Такі дизелі мають тільки циркуляційних систем змащування.

Виконання моторним мастилом в СОД сукупності функцій, які в МОД виконують два різних за рівнем властивостей мастила, пред'являють до нього особливі вимоги. Таким чином, з точки зору умов роботи мастила в циліндрі вплив конструктивного розвитку СОД аналогічно впливу розвитку МОД, а саме: збільшення часу контакту масляної плівки з робочими газами, зростання температури і механічного навантаження на плівку, накопичення сажі в плівці. Крім того, аналогічне МОД вплив на вимоги до мастил надає і безперервно погіршується якість застосовуваного палива. Звідси випливають і основні вимоги, що пред'являються до властивостей мастил для змащення суднових СОД:

забезпечувати надійне змащення підшипників КШМ (рамових, мотильових, головних) і розподільного вала, упорного підшипника, ланцюгових і шестеренних приводів і інших деталей;

охолоджувати головки поршнів в двигунах з мастильним охолодженням поршнів;

зберігати змащувані деталі від стоянкової корозії (іржавіння) при тривалій перерві в роботі двигуна;

відводити тепло від вузлів тертя;

перешкоджати утворенню нерозчинного осаду в картері дизеля;

нести з двигуна продукти зносу, пил, окалину та ін.

Крім того, ці мастила не повинні утворювати стійкої емульсії при їх обводнюванні, не сприяти корозії чорних і кольорових металів і їх сплавів, не спінюватися, не викликати відкладень на охолоджуваної поверхні головки поршня, в мастилопроводах і на стінках картера і практично працювати необмежено довгий час. Зважаючи на велику кількість різноманітних марок

ММ, що випускаються навіть однією компанією, мастила повинні мати гарну сполучуваність один з одним.

Розвиток і зміна поколінь мастил для СОД аналогічно циліндровим мастилам для МОД відбувалися внаслідок форсування і збільшення циліндрової потужності двигунів, їх переведення на високо-сірчисті важкі палива. Щодо основних фізико-хімічних показників ці зміни проявилися в збільшенні вихідної в'язкості мастил від класу SAE30 до SAE40 (з підвищенням в'язкості від 9...13 сСт до 14..16,5 сСт при 100°С) і вихідного лужного числа. В даний час кількість марок мастил даного типу, що випускаються кожної великою нафтовою компанією, становить як правило п'ять-сім: мастила з лужним числом 12 мгКОН/г, мастила з лужним числом 20...30 мгКОН/г і мастила з лужним числом 30...40 мгКОН/г.

1.5. Висновки за розділом 1

В результаті проведеного огляду літературних джерел встановлено наступне:

1) в світовому дизелебудування (в тому числі і судновому) триває тенденція збільшення агрегатних і циліндрових потужностей двигунів, одночасно з підвищенням ефективних показників суднових дизелів ростуть енергетичні втрати, пов'язані з передачею потужності споживачам енергії;

2) форсировка суднових дизелів (як МОД, так і СОД) по частоті обертання і ступеню наддуву призводить до підвищених динамічних і теплових навантажень на вузли тертя, режим мащення яких забезпечується моторним мастилом;

3) моторні мастила забезпечує надійну роботу всіх елементів дизеля, але найбільші теплові навантаження відчувають ММ, що використовуються в

циркуляційних системах змащування суднових СОД, оскільки забезпечують режими змащування і охолодження не тільки підшипникових вузлів, але і ЦПГ;

4) експлуатація ММ суднових дизелів пов'язана зі зміною його структурних параметрів і реологічних характеристик, відхилення яких від допустимих меж сприяє виникненню аварійних ситуацій і знижує надійність роботи не тільки дизеля, але і всієї СЕУ.

Наведені факти свідчать про необхідність досліджень по збереженню експлуатаційних показників суднових моторних мастил, що може бути досягнуте за рахунок підвищення якості їх очистки.

2. ЗАГАЛЬНА МЕТОДІКА МАГІСТЕРСКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Вибір теми наукового дослідження

У класичних роботах, що присвячені процесам наукових досліджень, визначено головний методологічний принцип наукового дослідження: «...щоб уникнути однобічності в дослідженні об'єкта, необхідно врахувати всі суттєві сторони і зв'язку предмета...» [26]. Дане висловлювання актуально в даний час, тому що під нього повністю підпадають сучасні вимоги в категоріях «об'єкт дослідження» і «предмет дослідження». Їм же стверджувалося «...для того, щоб визначити тему і напрям наукових досліджень, необхідно використовувати наукові прогнози - передбачення...». З огляду на дані висловлювання, вибір напрямку наукового дослідження заснований на проведеної експертної оцінки можливих варіантів вирішення завдання збереження енергетичної ефективності суднових дизелів і їх систем змащування за наступними критеріями:

актуальність;

наукова новизна;

економічна ефективність;

можливість використання в умовах морського судна;

відповідність спеціальності, а також основним напрямках наукової спеціальності і наукової школи.

Оцінка напрямки наукового дослідження здійснена за вказаними вище показниками і відображена в таблиці 2.1, де позитивну оцінку відповідає знак «+», а негативною знак «-». Виконана експертна оцінка значимості досліджень по технологічному вдосконаленню систем змащування показала, що на сучасному етапі розвитку суднових дизелів і їх систем змащування даний варіант вирішення поставленого завдання всебічно вивчено і не є актуальним.

Таблиця 2.1. Використання методу експертних оцінок для визначення варіантів вирішення завдання підвищення якості очистки моторних мастил суднових дизелів

Варіант вирішення поставленого завдання	Критерії					
	актуальність	наукова новизна	економічна ефективність	можливість використання в умовах морського судна	відповідність спеціальності	сума балів
1. Технологічне вдосконалення систем змащування	–	+	+	+	–	3
2. Технологічне вдосконалення елементів конструкції дизелів	–	+	+	–	–	2
3. Розробка та застосування нових мастильних матеріалів	+	+	–	+	–	3
4. Удосконалення систем підготовки та використання палива	+	+	–	+	+	4
5. Регенерація експлуатаційних характеристики моторного мастила	+	+	+	+	+	5

Технологічне вдосконалення елементів конструкції СОД в даний час також досягло свого максимуму, а окремі варіанти вирішення цього завдання ставляться немає суднової енергетики, а до автомобільного та залізничного транспорту.

Оцінка значущості варіанту, пов'язаного з розробкою і застосуванням нових мастильних матеріалів не підтверджується його економічною ефективністю, в зв'язку з тривалістю етапів його впровадження.

Крім того, названі варіанти не відповідають паспорту спеціальності, основними напрямками наукової спеціальності і наукової школи.

Експертні оцінки значущості вдосконалення систем підготовки та використання палива показали, що в основному всі оцінювані критерії мають позитивну оцінку, проте економічна ефективність даного варіанту зараз ще не може бути забезпечена через необхідність масштабних конструктивних перетворень систем СЕУ.

За результатами експертних оцінок найбільш оптимальним і доцільним слід визнати спосіб відновлення реологічних характеристик моторних мастил, в зв'язку з цим саме на його розвиток направлено наукове дослідження і тема магістерської роботи.

2.2. Обґрунтування мети і завдань магістерського дослідження

З огляду на обраний напрям наукового дослідження, а також на підставі результатів аналізу інформаційного пошуку, виконаного в першому розділі, була визначена **тема магістерського наукового дослідження** – «Поновлення експлуатаційних показників моторних мастил суднових дизелів».

Основним обґрунтуванням вибору теми досліджень також є наступне:

суднові дизелі використовуються на всіх без винятку морських і річкових суднах, їх модельний ряд безперервно розширюється, а циліндрові і агрегатні потужності підвищуються;

невід'ємною частиною суднових дизелів є циркуляційні системи змащування, які забезпечують не тільки задані режими тертя – граничний і гідродинамічний, а й виконання основних законів термодинаміки – підведення і відведення теплоти;

мастильний матеріал, як складова частина всіх контактуючих поверхонь, володіє експлуатаційними характеристиками, поновлення яких сприяє підтримці необхідних режимів змащування і збереженню енергетичної ефективності суднових дизелів.

Актуальність теми магістерського дослідження базується на запиті практики про необхідність пошуку нових шляхів збереження енергетичної ефективності суднових дизелів під час передачі потужності від дизеля до споживачів енергії.

Як **об'єкт дослідження** в магістерському дослідженні обраний процес мащення суднових дизелів.

Предметом дослідження є процес поновлення експлуатаційних характеристик моторних мастил суднових дизелів.

З огляду на тему магістерського дослідження, була сформульована **мета роботи** – підвищення якості очистки моторних мастил суднових дизелів.

Головне завдання магістерського дослідження полягає в визначенні методу поновлення експлуатаційних характеристик ММ суднових дизеля.

2.3. Системний підхід до розробки технологічної карти наукового дослідження

У науковій літературі пропонуються різні визначення поняття «система». Найбільш просте визначення складної системи приведено в роботі [27], в якій система вважається складною, якщо вона складається з великого числа взаємопов'язаних і взаємодіючих між собою елементів. Для технічних систем більш прийнятна і зрозуміла трактування, запропонована в роботі [28]. Її зміст зводиться до того, що будь-яку систему можна описати або як деякий перетворення вхідних впливів у вихідні величини, або з позиції

досягнення певної мети. Для технічних систем СЕУ найбільшого розповсюдження отримало наступне формулювання: «Системою називається сукупність елементів і зв'язків, що перетворюють вхідні впливу у вихідні величини для досягнення певної мети» [29].

Судновий дизель являє собою складну динамічну багатокомпонентну систему, яка складається з великої кількості функціонально самостійних елементів - підсистем. Для суднового дизеля в якості таких підсистем можуть бути визначені наступні: робочий цикл в циліндрі дизеля, процес подачі і згоряння палива, процес змащування деталей ЦПГ і підшипників КШМ, процес відведення теплоти з зон тертя. Незважаючи на різноманітність елементів і їх функціонального призначення загальною ознакою названих підсистем є те, що їх взаємодія здійснюється через робоче тіло, в якості якого виступає ММ. З огляду на фундаментальні принципи системного аналізу [30], замкнутий цикл наукового дослідження системно представлений у вигляді технологічної карти дослідження, наведеної на рис. 2.1.

2.4. Висновки за розділом 2

1. В результаті вибору теми магістерського дослідження за ознаками актуальності, наукової новизни, практичної значущості, відповідно спеціальності сформульована тема, спрямована на збереження енергетичної ефективності суднових дизелів за рахунок регенерації експлуатаційних характеристик мастильного матеріалу, який використовується в їх системах змащування.

Об'єктом дослідження обрано процес мащення суднових середньообертових дизелів.

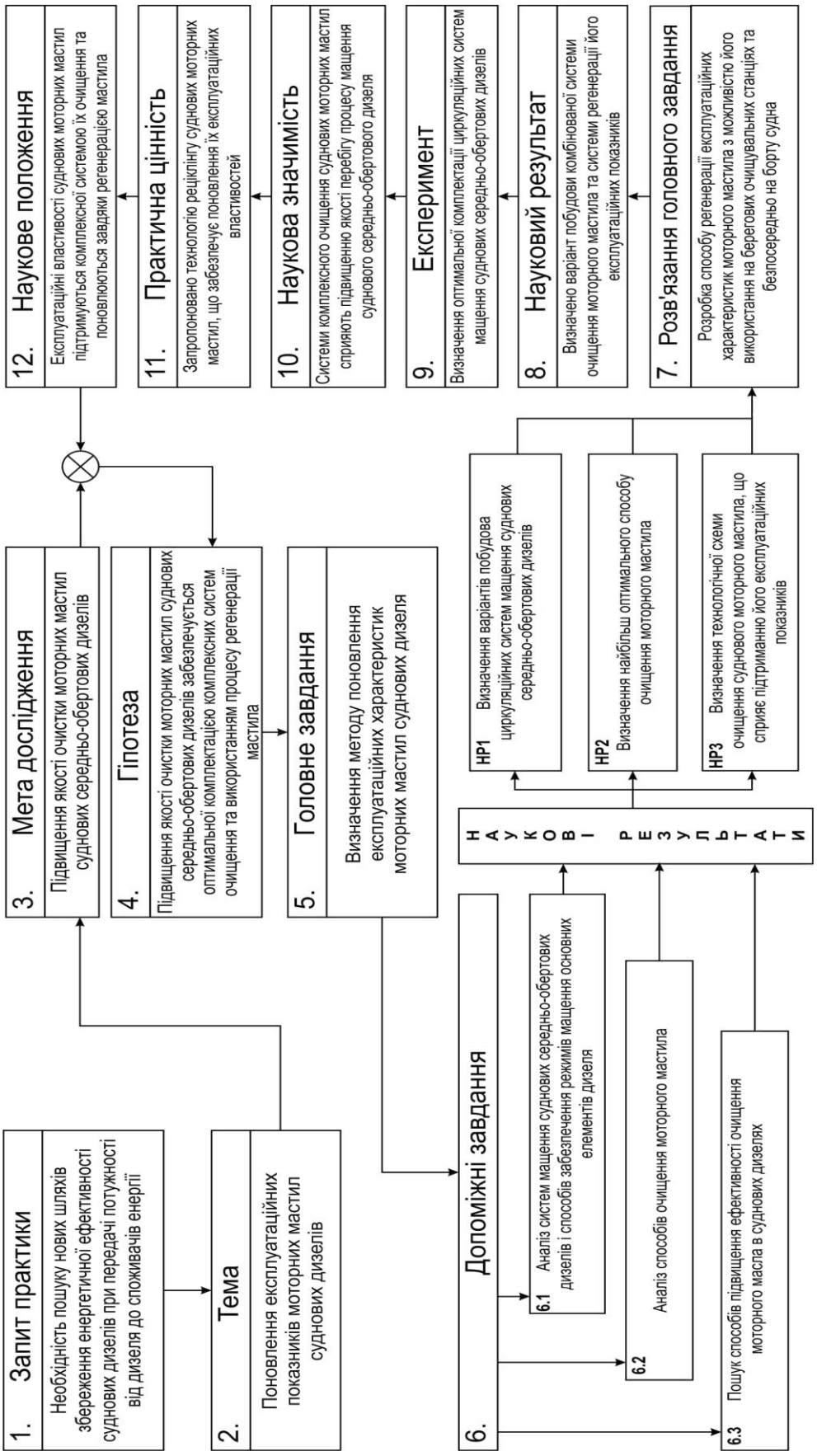


Рис. 2.1. Технологічна карта наукового дослідження

Предметом дослідження є процес регенерація експлуатаційних характеристик моторних мастил суднових дизелів.

2. Метою дослідження є збереження енергетичної ефективності суднових дизелів. За результатами методу експертних оцінок, найбільш оптимальним і доцільним варіантом досягнення поставленої мети дослідження визначена регенерація експлуатаційних характеристики моторного мастила.

3. Головне завдання магістерського дослідження полягає в визначенні методу поновлення експлуатаційних характеристики моторного мастила.

4. На базі системного підходу замкнутий цикл наукового дослідження представлений у вигляді технологічної карти дослідження.

3. ЕКСПЛУАТАЦІЯ СИСТЕМ МАЩЕННЯ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

3.1. Основні типи систем мащення

Системи мащення суднових дизелів розподіляються за такими ознаками:

- за способом мащення поверхні циліндра – з примусовою подачею мастила і з подачею мастила розбризкуванням. У системах з примусовою подачею мастило подається на поверхню втулки циліндра через спеціальні отвори в циліндрі і систему мастилопроводів. При цьому мастило невеликими порціями поступає від спеціального насоса, званого лубрікатором. На деяких двигунах з одномастильною системою мастило на втулку подається безперервно із загальної магістралі. У системах з подачею мастила розбризкуванням мастило дзеркала циліндра здійснюється краплями мастила, що витікає з підшипників колінчастого валу і розкидається (розбризкується) кривошипами в об'ємі картера. Частина цих бризок потрапляє на циліндр. Крім того, деяка кількість дрібних крапель мастила, що знаходяться в зваженому поляганні в пароповітряно-рідкій масі, що заповнює картер, також осідає на поверхні циліндра;
- по місцю розміщення мастила в системі – з «сухим» картером і з «мокрим» картером. У системі мастила з «сухим» картером відпрацьоване мастило, що стікає з підшипників, зубчатих зачеплень, циліндрів і тому подібне в картер двигуна, не накопичується в нім, а через отвір в піддоні (фундаментній рамі) проходить в спеціальну цистерну. У системах мастила з «мокрим» картером піддон (або фундаментна рама) служить як ємкість для мастила. На деяких двигунах застосовують комбіновані системи, коли частина мастила знаходиться в картері, а частина – в спеціальній цистерні [31].

Схема одномастильної системи з «мокрим» картером надана на рис. 3.1.

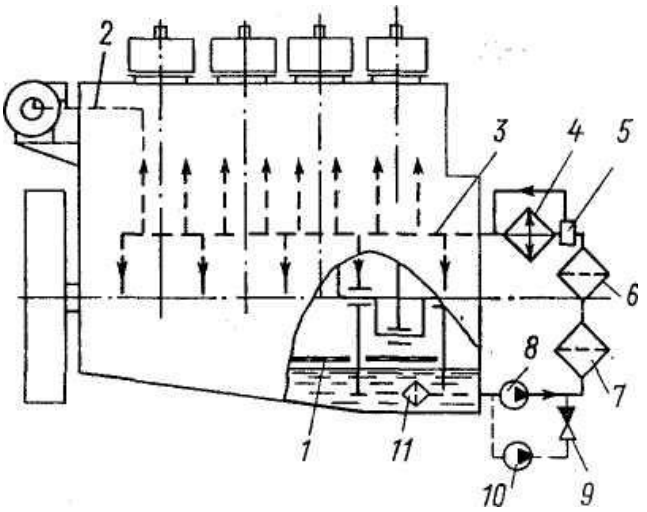


Рис. 3.1. Схема системи мащення з «мокрим» картером

1 – сітка; *2* – трубку для змащення підшипників турбокомпресора; *3* – масляна магістраль; *4* – охолоджувач; *5* – терморегулюючий клапан; *6* – фільтр тонкого очищення; *7*– фільтр грубого очищення; *8* – циркуляційний насос; *9* – неповоротний клапан; *10* – насос з автономним приводом; *11*– приймальний фільтр

Мастило, що стікає з поверхонь змащення через сітку *1*, збирається в піддоні двигуна. З піддону через приймальний фільтр *11* мастило приймається циркуляційним насосом 8 і через фільтри грубого очищення *7*, фільтр тонкого очищення *6*, терморегулирующий клапан *5* і охолоджувач *4* нагнітається в масляну магістраль *3*, звідки потрапляє в трубки, що підводять мастило на поверхні тертя, зокрема в трубку *2* для мастила підшипників турбокомпресора. За допомогою терморегулятора *5* частина мастила перепускається мимо охолоджувача *4*, чим забезпечується підтримка температури мастила на заданому рівні (60...80°С). Окрім насоса, що навішений на двигун, *8* є насос з автономним приводом *10* для подачі мастила через неповоротний клапан *9* на непрацюючий двигун з метою передпускового прокачування [18].

На рис. 3.2 представлена схема системи мащення з «сухим» картером.

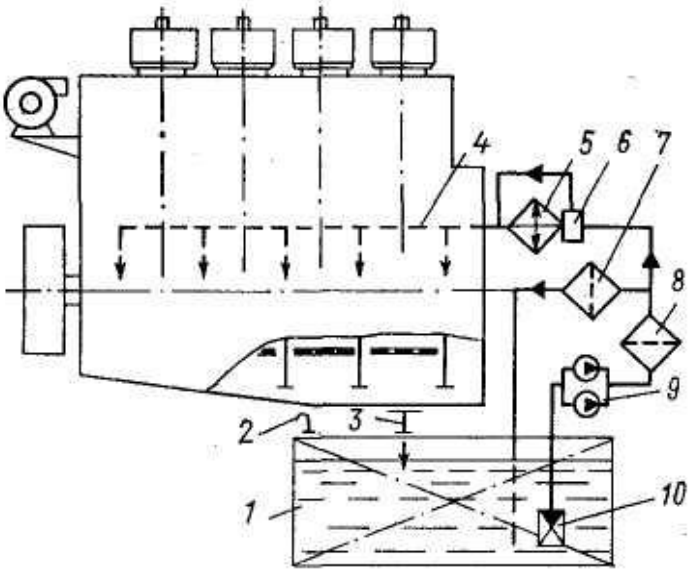


Рис. 3.2. Схема системи мащення з «сухим» картером:

1 – циркуляційна цистерна; *2* – вентиляційній труба; *3* – зливна труба; *4* – нагнітальна магістраль; *5* – охолоджувач мастила; *6* – терморегулятор; *7* – фільтр тонкого очищення; *8* – фільтр грубого очищення; *9* – циркуляційні насоси; *10* – приймальний фільтр

Мастило знаходиться в циркуляційній цистерні *1*, розташованою нижче за двигун. Один з насосів *9* (другий – резервний) через приймальний фільтр *10* приймає мастило з цистерни *1*, подає через фільтр грубого очищення *8*, терморегулятор *6* і охолоджувач мастила *5* в нагнітальну магістраль *4*. Частина мастила після фільтру грубого очищення *8* поступає у фільтр тонкого очищення *7* і повертається в цистерну *1*. Мастило, що стікає з поверхонь тертя в картер, зливається по трубі *3* в цистерну *1*.

Це відпрацьоване мастило має підвищену температуру, насыщено парами, повітрям і газами, містить багато піни. У цистерні *1* воно відстоюється, пари конденсуються, повітря і гази відділяються і йдуть по вентиляційній трубі *2*.

Фільтр тонкого очищення *7* на багатьох двигунах встановлюється в системі не паралельно фільтру грубого очищення *8*, а послідовно. У такому разі він називається повно проточним [32].

3.2. Старіння мастила в процесі експлуатації

Старінням мастила є сукупність різних процесів, що приводять до зміни фізичних і хімічних його властивостей в ході використання в машинах і механізмах і при зберіганні. Сучасним моторним мастилом є комплекс, що складається з базового мастила (вуглеводневій частині) і присадок, і при старінні в нім відбуваються хімічні і фізико-хімічні процеси зміни масляної основи, зовнішнє забруднення, спрацьовування присадок і зміна їх хімічного складу і структури.

Зовнішній прояв старіння мастила – потемніння. Унаслідок роботи в дизелі в маслі з'являються механічні домішки органічного (продукти окислення і окислювальної полімеризації мастила) і неорганічного (продукти зносу) походження, змінюються в'язкість, кислотно-основні властивості, зміст присадки, в нім можуть накопичуватися паливо і вода [14].

Окислення мастила в циліндрах і картері якісно протікає за різними схемами. На інтенсивність і характер окислювальних процесів у високотемпературній зоні в тій, що покриває дзеркало циліндра мастильній плівці роблять вплив теплообмін між газом і плівкою, взаємодія з плівкою кисню повітря, сірчистих і інших агресивних з'єднань. Крім того, в плівку осідає твердий вуглець (сажа). Під впливом перерахованих чинників окислення мастила на втулках йде в десятки разів інтенсивніше, ніж в картері, особливо при спалюванні важких сірчистих палив з високим вмістом асфальтенів.

Окислення супроводжується утворенням кислих (перекиси, оксикислоти, слабкі органічні кислоти) і нейтральних (смоли, асфальтени, карбени, карбоїди) продуктів [17].

У тронковом дизелі процес окислення, що почався в циліндрі, продовжується в маслі, що знаходиться в картері. Тут чинниками, що

визначають швидкість окислення, є: технічний стан дизеля (стан ЦПГ), режим його роботи, ефективність тих, що знаходяться н маслі присадок, якість очищення мастила, його витрата, кількість доливок свіжого мастила і ін. У мастило, що знаходиться в картері, разом з газами, що прориваються через поршневу групу, проникають продукти високотемпературного окислення циліндрового мастила, агресивні з'єднання і сажа, водяні пари і незгоріле паливо. На швидкість процесів окислення робить також вплив наявність в картері масляного туману.

Високомолекулярні продукти, що утворилися в ході окислення, на нагрітих металевих поверхнях ЦПГ створюють липкі лакові плівки, здатні затримувати і скріпляти тверді органічні включення (карбени, карбоїди і сажу) і утворювати нагар.

Асфальтосмолісти з'єднання, володіючи високими поверхнево-активними властивостями, адсорбуються на зважених в маслі частинках (механічних домішках) і покривають їх своєрідною колоїдною захисною плівкою, яка перешкоджає безпосередньому контакту абразивних частинок з поверхнями тертя. У початковий період, коли в дизелі знаходиться свіже мастило і продукти окислення відсутні або їх мало, спостерігається значне знімання металу з поверхонь тертя, що супроводжується локальними температурними спалахами і контактним окисленням мастила (це окислення мікрооб'ємів мастила в точках контакту поверхонь, що труться, де розвиваються високий тиск і температура). У міру накопичення колоїдних продуктів окислення швидкість процесу зношування зменшується, скорочується число точок контактного окислення і процес старіння певною мірою стабілізується [33].

Накопичення в маслі кислих продуктів приводить до зростання його органічної кислотності, яка характеризується кислотним числом – кількістю еквівалентного лугу, необхідного для нейтралізації кислих з'єднань. Кислотне число виражається в міліграмах КОН на 1 г мастила (мгКОН/г).

Зростання кислотності визначає збільшення корозійної агресивності працюючого мастила у зв'язку з освітою в нім органічних кислот, підшипників, що негативно впливають на антифрикційні сплави, із змістом свинцю і кадмію. Помітна дія цих кислот на метал починає позначатися при кислотності мастила, що перевищує 1,5 мгКОН/г. Кислотне число мастила характеризує лише ті кислоти, які лужні з'єднання присадок не в змозі нейтралізувати, і вони накопичуються в маслі у міру його старіння.

Разом із зростанням кислотності збільшується в'язкість мастила, що зв'язане з накопиченням в нім високов'язких продуктів ущільнення (смол, асфальтенів, оксикислот). Це утрудняє надходження мастила до найбільш видалених місць дизеля і може привести до їх підвищеного зношування. Якщо на змазування циліндрів мастило поступає з картера (а в більшості среднеоборотних двигунів це так), то збільшення в'язкості унаслідок окислення, особливо помітне при високих температурах, супроводжується збільшенням товщини масляної плівки на дзеркалі, чаду і інтенсивності подальшого окислення мастила [12].

У крейцькопфном дизелі, у якого циліндри відокремлені від картера діафрагмою і змазування циліндрів і групи руху здійснюється роздільно, мастило в картері окислюється значно повільніше і його старіння в основному визначається накопиченням в нім продуктів зносу і корозії. Цим пояснюється, що при ефективному очищенні системного мастила крейцькопфних двигунів термін його служби практично необмежений.

Виснаження присадок у міру роботи мастила в дизелі відбувається по наступних причинах: витрачання компоненту присадки на нейтралізацію сильних кислих з'єднань, що утворюються в циліндрах; адсорбції молекул присадки на поверхнях деталей і на зважених частинках органічного і неорганічного походження; адсорбції присадки на фільтрі тонкого очищення мастила; втрати присадки разом з мастилом, що вигорає.

У крейцкопфном дизелі виснаження присадок відбувається дуже швидко, лише вихід з ладу сальникових ущільнень штоків і прорив в картер великої кількості агресивних сильних кислот може привести до швидкого виснаження присадок. Бажано, щоб лужність мастила не опускалася нижче 1,5…2 мгКОН/г. За рівнем змісту присадок в маслі особливо важливо стежити в тих дизелях, де воно використовується не тільки для змазування деталей руху, але і для охолоджування поршнів, оскільки саме в поршнях при втраті присадок можливе інтенсивне відкладення продуктів окислення, істотно погіршуючи процеси теплопередачі [34].

У тронковом дизелі виснаження присадок відбувається значно швидше, при цьому велику роль грають сірчистість палива і витрата мастила. Вплив першого чинника зрозумілий з попереднього. Роль витрати пояснюється тим, що при великій витраті виникає необхідність в частих добавках свіжого мастила, а це піднімає рівень його лужності. Важливо також мати на увазі, що з цієї причини дизелі з малою витратою вимагають масел з вищим загальним лужним числом.

3.3. Очищення мастила

3.3.1. Сепарація мастила

Очищення мастила в сепараторах застосовують в суднових установках з могутніми МОД і СОД. Сепаратори настроюють на режим пурификации і включають в систему змазування паралельно основної масляної магістралі. Це дозволяє здійснювати сепарацію незалежно від роботи дизеля в режимах періодичного або безперервного використання (протягом всього часу роботи) [18].

У головному дизелі перевага віддається безперервній сепарації, оскільки це дозволяє концентрацію забруднень в системі змазування підтримувати на деякому сталому рівні $x_{уст}$, при якому наступає рівність абсолютних значень кількостей забруднень, що поступають і видаляються.

Періодичній сепарації зазвичай піддаються мастила допоміжних дизелів, оскільки вона здійснюється з використанням сепараторів головного дизеля. В цьому випадку тривалість сепарації повинна бути не менше 8...10 годин. Решта часу мастило очищається повнопотоковими фільтрами тонкого очищення, а у деяких дизелів – байпасними підключеними гідрореактивними центрифугами [15].

При визначенні подачі сепаратора необхідно виходити із завдання максимально можливого видалення домішок, що забруднюють мастило. Як відомо, зниження подачі сепаратора сприяє повнішому очищенню, але в той же час зменшується кількість часу, що пропускається за одиницю, через сепаратора мастила. Це приводить до зменшення затримуваних частинок. Необхідно шукати оптимальну подачу:

- для масел без присадок або з невеликим їх змістом

$$Q_{опт}=(0,4…5)Q_{пасп},$$

- для масел, що володіють високими детергентно–диспергирующими властивостями,

$$Q_{опт}=(0,2…0,25)Q_{пасп}.$$

Це пояснюється тим, що в мастилах з моюще–диспергирующими присадками забруднюючі домішки менших розмірів, їх видалення вимагає тривалішої дії відцентрових сил і унаслідок цього зменшення швидкості потоку мастила в сепараторові шляхом зменшення подачі.

У суднових умовах оптимальну подачу визначають за швидкістю надходження забруднень, що видаляються, в шлам сепаратора. Дійсно, чим більше в одиницю часу накопичується в шламі забруднень, тим більше їх віддаляється з мастила. Практично знайти $Q_{опт}$ можна, якщо для декількох положень клапана, регулюючого подачу сепаратора, вимірювати протягом 2…12 годин кількість шламу, що скидається з барабана. Положення клапана, при якому спостерігається найбільший вихід забруднень, і відповідатиме $Q_{опт}$.

Температура мастила перед сепаратором в цілях зниження в'язкості і підвищення ефективності очищення повинна підтримуватися: 60…70°С для масел без присадок і 80…90°С для масел з присадками.

3.3.2. Фільтрація мастила

У системах змазування суднових дизелів застосовують фільтри, які по тонкості відсіву підрозділяють на фільтри грубого очищення (розмір затримуваних частинок не перевищує 60…90 мкм) і фільтри тонкого очищення (тонкість відсіву не більше 35…40 мкм). Залежно від схеми включення і кількості мастила, що проходить, фільтри можуть бути повнопотоковими (в основному фільтри грубого очищення (ФГО), рідше фільтри тонкого очищення (ФТО) і частично–поточними (в основному ФТО, оскільки вони володіють великим опором і внаслідок цього меншою пропускною спроможністю). Через частично–поточние фільтри проходить лише частину потоку мастила (зазвичай не більш 8…15%). За принципом дії і конструкції матеріалів, що фільтрують, фільтри ділять на наступні види:

- щілинний, в якому мастило, що поступило під тиском, проходить через щілини, що утворюються набором спеціальних пластин і прокладок, де і відбувається його очищення;

- об'ємний (глибинний), в якому мастило в процесі очищення послідовно проходить через декілька шарів матеріалу, що фільтрує (фільтри з набиванням з повсті, бавовняних тканин, шлакової вати, паперової маси);
- поверхневий, в якому мастило проходить через матеріал, що фільтрує, з крізними порами (металева сітка, фільтрувальні тканини і т. д.) [12].

Проміжне положення займають целюлозно-паперові фильтроелементи, які суміщають в собі характерні ознаки фільтрів поверхневого і об'ємного типів.

Особливо слід розглядати магнітні фільтри, вживані для видалення з мастила металевих частинок – продуктів зносу двигуна, оскільки принцип їх дії тільки умовно може бути названий фільтрацією.

Фільтри грубого очищення недостатньо глибоко очищають мастило від нерозчинних домішок і абразивних продуктів, що знаходяться в сучасних мастилах в мелкодисперсном стані. При використанні тільки ФГО в порівнянні з тонким очищенням мастила в 2,5 разу прискорюється зношування деталей і в 1,6 разу – забруднення поршнів вуглецевими відкладеннями. Сучасні дизелі, що мають вищий рівень форсировки робочого процесу і у зв'язку з цим більш напружені умови роботи ЦПГ і підшипникових вузлів, що є більш чуткими до якості мастила. Цим пояснюється перехід, що відзначається останніми роками, до використання повнопотокових ФТО замість ФГО.

У суднових дизелях в цілях скорочення трудомісткості обслуговування і забезпечення можливості автоматизації роботи засобів очищення на додаток до 35...40 мікронних повнопотоковими ФТО встановлюють байпасних включених в систему сепараторів, а на дизелях невеликої потужності (допоміжних дизель–генераторів) – гідрореактивні центрифуги: відцентрові мастило–очистители завдяки високій розділяючої здатності забезпечують глибше очищення мастила, видаляючи зольні продукти його старіння, що тонкодиспергированние, і воду [34].

3.3.3. Комбіноване очищення моторного мастила в суднових дизелях

Як вказувалося раніше, для очищення моторного мастила на суднах зазвичай застосовується фільтрування і центрифугування. Ці методи реалізовані майже у всіх сучасних конструкціях мастило-очищувачів, використовуваних в ДВЗ. Порівняння ефективності очищення моторного мастила в суднових ДВЗ фільтруванням і центрифугуванням надані у вигляді таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Порівняння ефективності очищення моторного мастила в суднових ДВЗ фільтруванням і центрифугуванням

Показник ефективності очищення, %	Фільтрування	Центрифугування
Інтенсивність очищення	6	100*
Забруднення моторних масел НРД:		
загальні	100	65
зольні	100	38
Тонкість відсіву	84	100
Надійність захисту трибосполучень ДВЗ від попадання абразивних частинок:		
на сталих режимах роботи	100	90
при пуску двигуна	78	5
Інтенсивність старіння моторних масел	100	72
Видалення присадок з мастила очищувачами	82	100
Трудомісткість обслуговування очищувача	27	100
Експлуатаційні витрати на очищувач	100	-

За 100% прийнятий показник при тому методі, при якому він має найбільше значення

Перехід на палива глибокої переробки нафти вимагає підвищення ефективності тонкого очищення моторного мастила у форсованих дизелях для забезпечення їх ресурсу і економічності. При спалюванні в тронкових дизелях низькосортних палив інтенсифікується старіння моторного мастила, зростає його забруднення і абразивність, нерозчинних домішок (НРД) [35].

Збільшення швидкості забруднення мастила НРД при форсировке дизеля і погіршенні якості палива вимагає підвищення надійності захисту трибосполучень від зношування. Посилення каталітичної активності НРД і погіршення розділяємості дисперсних систем моторного мастила двигунів з високим наддувом зробили неможливим задоволення посиленим вимогам до очищення мастила тільки за рахунок фільтрування або центрифугування. Повністю вирішитихарактерні для експлуатованих мастилоочистителей суперечності між тонкістю відсіву і надійністю захисту пара тертя, глибиною очищення і терміном служби фільтроелементів пропонується за рахунок комбінованого очищення мастила.

Комбіновані система тонкого очищення мастила (КСТОМ) розробляється на основі наступних принципів:

- розмежування функцій агрегатів очищення так, щоб найповніше реалізувати переваги повнопотокового фільтрування для відділення від крупних абразивних частинок і центрифугуваннядля глибокого очищення мастила від НРД;
- послідовне включення агрегатів КСТОМ в системі мастила дизелів і оптимізація їх параметрів;
- підтримка високої інтенсивності очищення мастила центрифугуванням на всіх швидкісних режимах роботи дизеля.

Одна з схем включення агрегатів очищення в систему змазування ДВЗ з мокрим картером, в якій реалізовані викладені принципи очищення мастила, показана на рис. 3.3 [36].

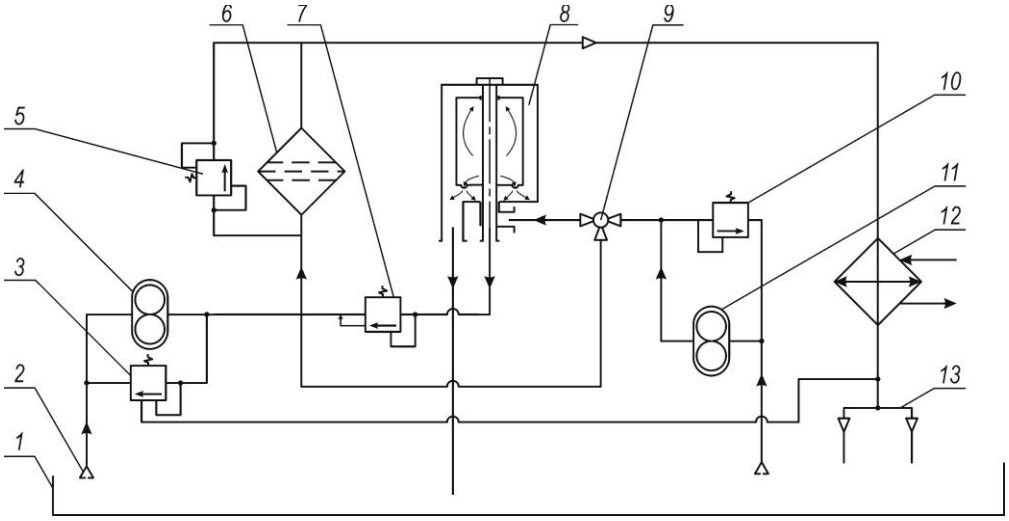


Рис. 3.3. Комбінована система тонкого очищення мастила для суднових тронкових дизелів*1* – картер; *2* – забірник; *3* – редукційний клапан; *4* – насос; *5* – запобіжний клапан; *6* – фільтр; *7* – напірний золотник зі зворотним клапаном; *8* – центрифуга з напірним зливом; *9* – трьохходовий кран; *10* – допоміжний насос; *11* – перепускний клапан; *12* – холодильник; *13* – розподільна магістраль

Головній і допоміжний контури очищення мають гідравлічний зв'язок через напірний золотник із зворотним клапаном. У парі тертя двигуна (мастило розподільник *13*) мастило подається основним масляним насосом *4* через повнопотоковий фільтр *6*, де воно очищається з тонкістю відсіву 25...40 мкм. Дросельній розподільник *3* за рахунок керованої дії автоматичний підтримує постійний тиск мастила перед споживачами при будь-якій температурі мастила в системі мастила без перепускання його мимо фільтроеэлементів скрізь запобіжний клапан *5* фільтру. Допоміжнім насосом *10* мастило через центрифугу *8* з напірним зливом і золотник *7* подається в головний контур циркуляції. Напірній золотник відрегульований так, щоб підтримувати тиск перед центрифугою 0,7...0,8 МПа, при якому ефективність відцентрового очищувача найбільша. При такому тиску чинник розділення центрифуги перевищує 2000. Для чищення ротора на працюючому двигуні відцентровий очищувач відключається від системи мастила триходовим краном *9*.

Подача на фільтр заздалегідь центрифугируемого мастила збільшує тривалість роботи фильтроэлемента без закупорки пір. Перерозподіл «грязьового» навантаження між центрифугою і фільтром сприяє зростанню терміну служби фильтроэлементаЧастка центріфугируємого мастила залежить від массогабарітних розмірів відцентрового очищувача, прокачування мастила через дизель і продуктивності допоміжного насоса. Зазвичай в суднових ДВЗ відношення центріфугируємого мастила до фільтрованого встановлюється в межах 0,2…0,8. Чим інтенсивніше надходження в мастило НРД і більше в них крупних частинок, тим вище повинна бути частка центрифугованого мастила.

Перепускний клапан *11* дозволяє встановити оптимальну подачу мастила в центрифугу, при якій швидкість видалення з мастила НРД буде максимальна. При послідовній схемі підключення очищувача і фільтру досягається режим, що створює найсприятливіші умови для функціонування фільтру.

Перевага комбінованого очищення мастила над повнопотоковим фільтруванням виражается в нижчій концентрації НРД.

Зменшення концентрації НРД в маслі, підданому комбінованому очищенню, сприяє збільшенню терміну служби фільтроелементів в 1,6…2,3 разу (таблиця 3.2).

Збільшення повноти відсіву мастила від НРД і уповільнення його старіння при роботі з КСТОМ сприяє зменшенню нагаро- і лакоутворення в дизелях в 1,4…1,7 разу [37].

При застосуванні низькосортних палив і масел вищих моторних груп з високозольними присадками ефективність КСТОМ, вище приведеною на 20… 40%, при цьому роль відцентрового очищувача в комбінованій системі очищення зростає. У тронкових дизелях великої потужності фільтр тонкого очищення мастила (ФТОМП) доцільно заміщати на фільтр, що самоочищається (СОФ).

Таблиця 3.2. Моторна ефективність комбінованої системи тонкого очищення мастила (КСТОМ) і повнопотокового фільтру тонкого очищення мастила (ФТОМП)

Показник	Марка дизеля			
	6RT-flex58T-D		6L23/30	
	Тип системи очищення мастила			
	ФТОМП	КСТОМ	ФТОМП	КСТОМ
Інтенсивність очищення мастила від НРД, г/год:				
загальні забруднення	22±1	280±30	24±3	310±40
зольні	28±3	520±40	32±5	520±60
Інтенсивність старіння мастила %	100	61	100	58
Інтенсивність спрацьовування присадок %	100	53	100	61
Термін служби фільтроелементу, тисяч годин	0,8±0,2	1,8±0,3	0,7±0,2	1,5±0,2
Швидкість зношування деталей ДВЗ:				
поршневі кільця, г/1000 год	15+2	9±1	16±2	10±1
циліндрові втулки, мкм/1000 год	16±2	12±1	22±3	15±2
вкладиші мотилевих підшипників, мкм/1000 год	14±2	10±1	24±3	18±2
мотильові шийки колінчастого валу, мкм/1000 год	7,2±0,7	5,1 ±0,3	10,6±1,5	8,1±1,2
Нагаро- і лакоутворення на поршнях (загальна оцінка), балів	12±2	7±1	18±3	13±2

Комбінована система очищення (рис. 3.4) забезпечує повнопотокове тонке фільтрування мастила і його ефективне центрифугування за рахунок очищення промивного потоку з концентрованою суспензією і укрупненою дисперсною фазою. Мастило насосом *4* забирається з картера і подається в фільтр *5*, в якому піддається тонкому очищенню. Частина мастила з фільтру йде на роботу гідроприводу розподільного пристрою (золотника) і на промивку фільтроелементу. Промивне мастило поступає в центрифугу *6*,

очищається і через регульований напірний злив скидається в картер. Основний потік відфільтрованого мастила поступає в охолоджувач *7* і далі в розподільну магістраль *8*. Тиск в системи мастила регулюється перепускним клапаном *3* [38].

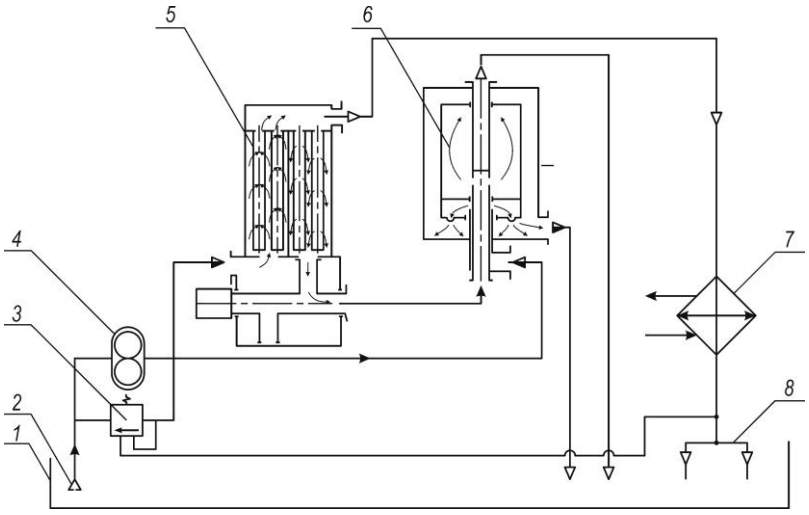


Рис. 3.4. Комбінована система очищення моторного мастила у системі змащування середньобертового дизеля:

1 – картер; *2* – забірник; *3* – перепускний клапан; *4* – насос; *5* – фільтр; *6* – центрифуга; *7*– холодильник; *8* – розподільна магістраль

3.4. Висновки за розділом 3

В результаті проведених досліджень можна зробити наступні висновки.

Для суднових середньообертових форсованих дизелів рекомендується застосовувати комбіновані системи тонкого очищення моторних масел. Новизна їх полягає в наступному:

- послідовному з'єднанні двох контурів очищення, що використовують різні за принципом дії і вибірковості відсіву мастило-очищувачі;
- установці фільтру із змінними фільтроелементами або регенерованим типом для надійного захисту пар тертя дизеля від небезпечних крупних

частинок забруднення на повному потоці мастила, що поступає в дизель;

•підключенні центрифуги з напірним зливом в допоміжний контур очищення з можливістю підтримки за рахунок підпірного клапана високого тиску мастила перед соплами гідроприводу ротора і, отже, чинника розділення відцентрового очищувача при

•роботі дизеля по гвинтовій характеристиці;

•подачі на фільтр заздалегідь центрифугованого мастила для зниження «грязьового» навантаження на нього і збільшення терміну служби фільтроелементів;

•використанні на центрифузі переливного клапана, автоматично регулюючого потік через її ротор для досягнення мінімальної інтенсивності старіння мастила;

•підтримці постійного тиску мастила перед його споживачами за рахунок установки на основному насосі дросельного розподільника із зворотним зв'язком;

•установці в КСТОМ замість самоочищающего фільтру з підключенням відцентрового очищувача для очищення промивного мастила, дисперсна фаза забруднень якого укрупнена і легко отфільтровується;

•підвищенні регенеруючої здатності фільтрів, що самоочищаються, за рахунок установки відцентрового очищувача з регульованим

•(вільним) зливом і автономним підведенням мастила на привід ротора від ділянки системи мастила, де її тиск максимальний.

Ефективність КСТОМ в порівнянні з поширеними системами очищення складається з наступного:

• в 1,2…2,3 уповільнюється старіння моторного мастила в дизелях;

• сприяється збільшенню терміну служби мастила і фільтроелементах;

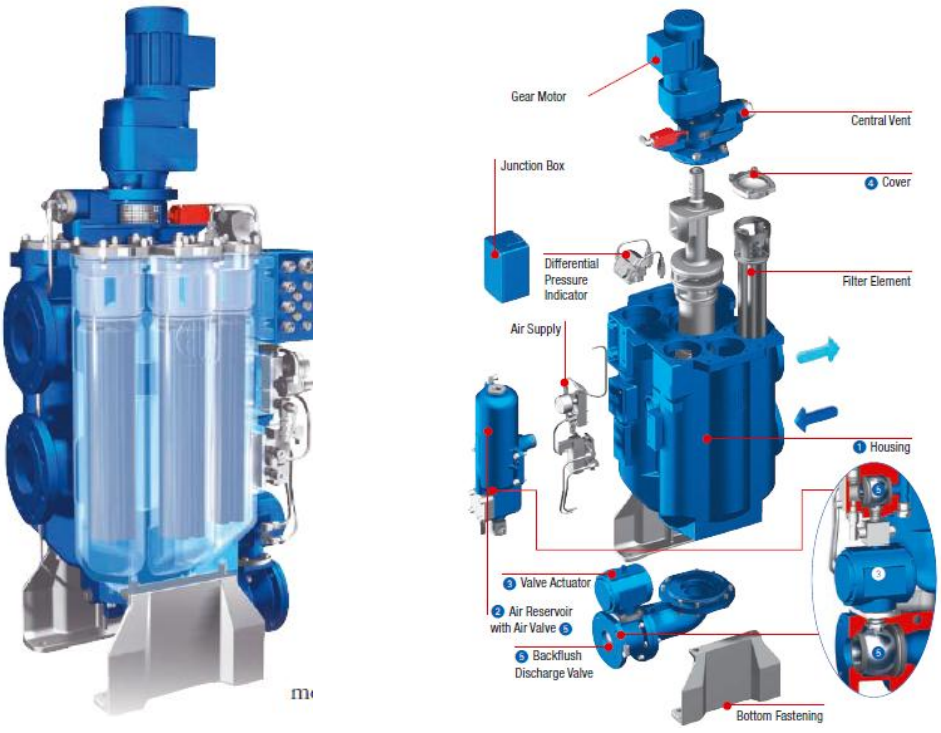
• зменшується зношування основних деталей двигунів в 1,3…2,4 разу і нагаро- і лакоутворення в середньому на 45 %.

4. ПОНОВЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ МОТОРНИХ МАСТИЛ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

4.1. Переваги очищення моторного мастила методом фільтрації

Актуальність досліджень щодо підвищення ефективності тонкого очищення ММ в суднових ДЕУ обумовлена необхідністю забезпечення економічності та ресурсу суднових форсованих дизелів, в тому числі середньої і підвищеної частоти обертання, при конвертації їх на низькосортні і альтернативні палива. При використанні в ДВЗ палив глибокої переробки нафти - зростають забруднення і абразивність нерозчинних продуктів (НРП), що надходять в ММ, що інтенсифікує його старіння і зношування двигуна.

Для підтримування необхідних експлуатаційних характеристик ММ його підлягають очищенню, зокрема фільтрації. Загальний вид, та схема компоновки фільтра для очищення ММ, надана на рис. 4.1, 4.2.



а) *б*)

Рис. 4.1. Загальна вид (*а*) та компоновки фільтра для очищення ММ (*б*)

Зростання циліндрової і агрегатної потужності, повна автоматизація суднових ДВЗ, тривала їх експлуатація без розбирання з діагностикою залишкового ресурсу, застосування довго працюючого ММ зі зміною по бракувальним показникам, визначили першочерговість створення комбінованої системи тонкого очищення мастила (КСТОМ) з високими функціональними властивостями. Широко розповсюдженні повно потокові фільтри тонкого очищення мастила (ФТОМ) не задовольняють вимогам форсованих ДВЗ до якості очищення ММ через характерні для них суперечності між тонкістю відсіву і терміном служби фільтруючих елементів (ФЕ), повнотою (інтенсивністю) очищення від НРП і надійністю захисту двигуна від великих і, отже, найбільш небезпечних механічних домішок.

Структурна схема, що відображає принципи підвищення ефективності комбінованого тонкого очищення мастила в ДВЗ, надана на рис. 4.2 [38].

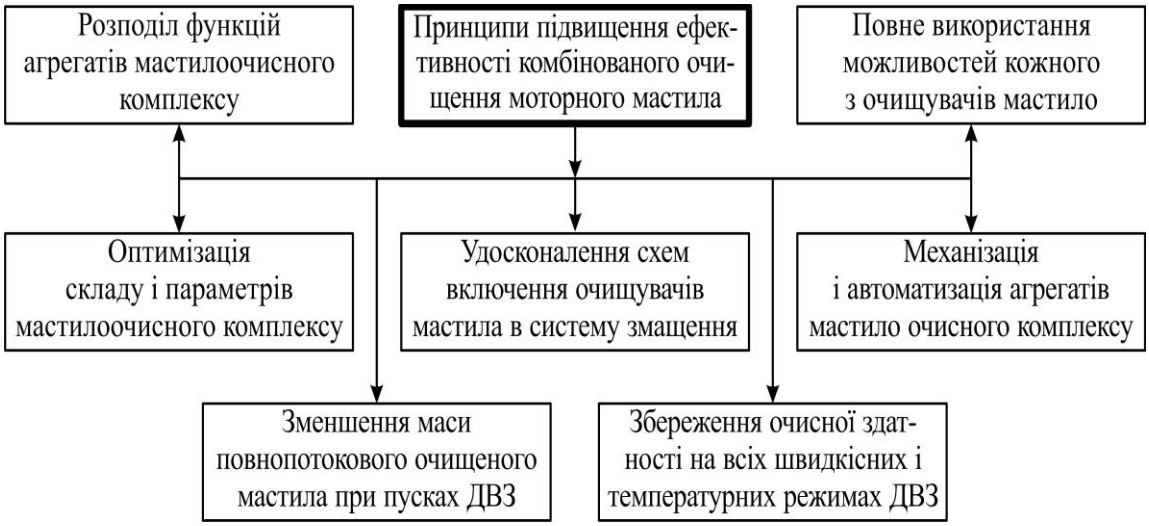


Рис. 4.2. Принципи підвищення ефективності комбінованого тонкого очищення мастила в ДВЗ

Ступінь розробленості КСТОМ на основі фільтрування невелика.

Раціональність і необхідність очищення ММ комбінованим фільтруванням в ДВС неодноразово підтверджувалася на практиці. Однак

цей напрямок не отримало розвитку через широкомасштабного впровадження ФТОМ з заміною в більшості випадків морально застарілих щілинних частково-потокових фільтрів центрифугами.

Практика комбінованого фільтрування реалізована в основному використанням в повно поточних ФЕ крупно- і дрібнопористих вставок. У першому випадку незначно поліпшується гідравліка ФТОМ, у другому - глибина очищення мастила від дрібнодисперсних забруднень.

Особливість комбінованої очистки ММ в ДВЗ полягає в використанні окремих агрегатів для повно- і частково потокового очищення (рис. 4.3, *а*). Комбіноване очищення в одному корпусі фільтра надано на рис. 4.3, *б, в* [39].

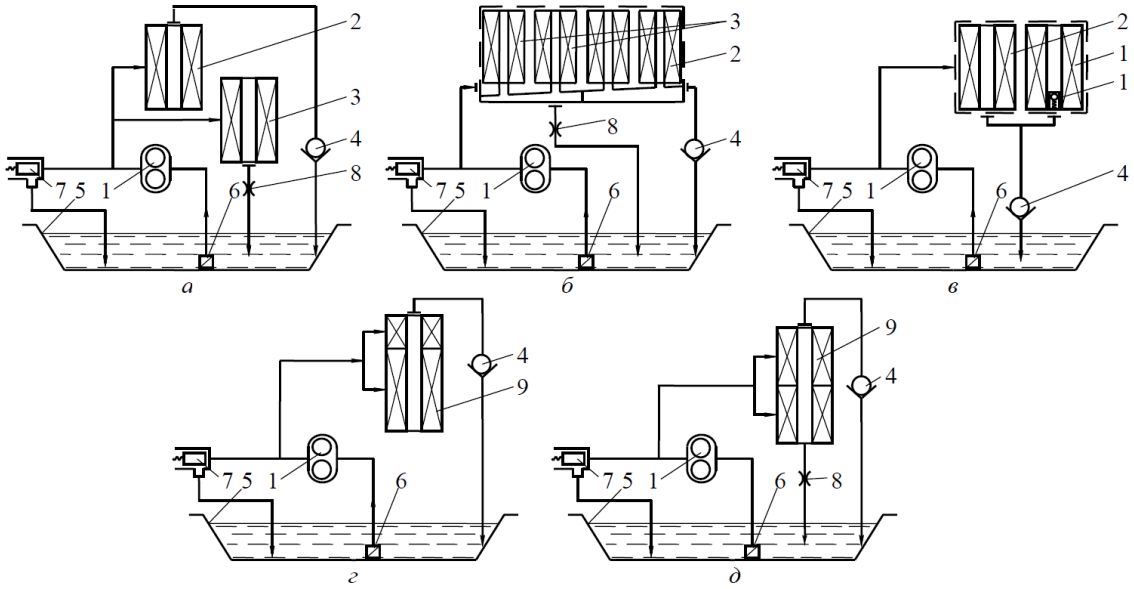


Рис. 4.3. Схеми включення очищувачів в систему змащення двигуна при комбінованому фільтруванні мастила:

а - комбінована система очищення мастила з ФЕПП і ФЕЧП; *б, в* - системи очищення з комбінованими фільтрами; *г, д* - системи з ФЕППК і ФЕК

1 - масляний насос; 2 - ФЕПП; 3 - ФЕЧП; 4 - головна магістраль; 5 - картер або стічна цистерна двигуна; 6 – приймальник мастила; 7 - перепускний клапан; 8 - дросель; 9 - комбінований фільтруючий елемент; 10 - допоміжний фільтруючий елемент; 11 - регулюючий клапан

Широкомасштабна модернізація штатних фільтрів полягає в установці в його корпусі (основані) додаткової перегородки, яка формує порожнини повно- і частково поточного фільтрування, які відповідно замикаються на основний і байпасний контури циркуляції мастила в системі змащення дизеля. У варіанті *б* частково потокові ФЕ байпасується на скидання очищеного мастила в картер, в варіанті *в* - допоміжний елемент 10 знаходиться в резерві і підключається через регулюючий клапан 11 на повно потокове фільтрування при забрудненні основного елемента 2.

Схеми рис. 4.3, *г*, *д* передбачають використання комбінованих ФЕ. Вони застосовуються як для збільшення пропускної здатності повно поточних ФЕ (див. рис. 4.3, *г*) при крупно пористої вставці, так і для збільшення інтенсивності очищення мастила від НРП за рахунок використання дрібно пористої вставки шляхом байпасного включення еѐ в систему мащення зі скиданням відфільтрованого мастила в картер, або стічну цистерну двигуна (див. рис. 4.3, *д*).

Детально зупинимося на комбінованої очищення мастила по повно- і частково потокової схемами з застосуванням окремих агрегатів і суміщенням ФЕ різного призначення в одному корпусі. При цьому розглядається схема фільтрування з постійним підтриманням повного потоку в повно поточних фільтрах і збереженням одного і того ж перепаду тисків в частково поточних фільтрах.

Для додання високих функціональних властивостей повно потоковий ФЕ бажано, щоб використовуваний в ньому фільтрувальний матеріал (ФМ) мав «круту» залежність для фракційного коефіцієнта відсіву від розміру часток, особливо для дисперсної фази з діаметром 5...35 мкм. В такому випадку фільтруючий елемент повно потоковий (ФЕПП), який використовує цей матеріал, матиме високий термін служби і низьке гідравлічного опір. Чим менше розкид пір по діаметру у нього, тим краще ФМ підходить для повно поточного фільтрування. З метою підвищення гідрофобності і

зменшення повноти відсіву дрібнодисперсного забруднювача цей ФМ просочують спеціальними складовими.

У матеріалах для фільтруючих елементів частково поточних (ФЕЧП) використовуються як грубі, товщиною 60...120 мкм при довжині 15...35 мкм, так і тонкі, діаметром 9...25 мкм, волокна. Для дизелів, що висувають дуже жорсткі вимоги до інтенсивності очищення мастила від загальних НРП, раціонально застосування об’ємних ФМ.

Оптимальні фільтрувальні характеристики ФМ для частково поточних фільтрів можуть бути представлені з номінальною тонкістю відсіву від 15 до 35 мкм. Особливість їх залежностей фракційних коефіцієнтів відсіву від розміру часток складається в високих значеннях фракційного коефіцієнта відсіву для дрібнодисперсного забруднювача.

Оптимізуючи порову структуру та інші показники ФМ, можна регулювати функціональні характеристики ФЕ, в яких вони будуть використовуватися. Слід зазначити, що поєднання повно- і частково поточних ФЕ, виготовлених відповідно з ФМ з одно- і різнорідними поровими структурами, встановлених в різних або одному агрегаті (фільтрі), надають ФЕ граничну компактність, забезпечують їх високу ефективність при фільтруванні в самих тяжѐлих умовах експлуатації ДВЗ.

Аналіз характеристик поверхневих листових матеріалів, призначених для комбінованого повно- і частково поточного фільтрування, з позицією технології виготовлення і властивостей вихідних компонентів та їх фізико-технічні характеристики представлені в табл. 4.1.

Товщина поверхневих матеріалів коливається в діапазоні 0,42...0,98 мм для повно поточного фільтрування і 0,42...1,8 - частково поточного. Номінальна тонкість відсіву у них відповідно дорівнює 25...45 і 10...20 мкм, максимальний розмір пор змінюється в діапазоні 80...140 для повно поточного і 80…58 мкм - частково поточного фільтрування.

Таблиця 4.1 – Фільтрувальні матеріали для комбінованого очищення ММ в ДВЗ

Фільтруючий матеріал	Тип матеріалу	Товщина, мм	Тонкість очищення, мм	Максимальний розмір пір, мкм	Пористість, %	Пропускна здатність, $м^3$/год	Повнота відсіву, %
Для повно поточного фільтрування мастила в комбінованих СОМ							
КФМУ-25	поверхневий	0,94	25	80	84	25	35
МФ-30	поверхневий	0,56	32	126	74	65	12
БМ-40	поверхневий	0,70	40	128	83	108	6
НКФМ-35	поверхневий	0,69	40	90	87	51	9
МФУ-35	поверхневий	0,98	35	124	78	58	16
КФМ-40	поверхневий	0,56	35	115	70	58	15
ДРКБ-45	поверхневий	0,42	45	140	81	100	4
БМУ-45	поверхневий	0,50	45	140	80	142	8
Для частково поточного фільтрування мастила в комбінованих СОМ							
БМ-10	поверхневий	0,42	10	40	87	12	75
КФМУ-10	поверхневий	1,80	10	30	90	13	82
БМУ-15	поверхневий	0,48	15	54	86	19	56
НКФМ-20	поверхневий	0,70	20	58	76	18	46
ОФМ-5	об’ємний	-	5	-	87	-	98
ФМУ-35	об’ємний	4	35	120	83	15	76
ФМ-60	об’ємний	4	60	152	86	28	34

Пористість у розглянутих паперів та нетканих матеріалів мало залежить від призначення (по режиму фільтрування) і відповідають 70...90 %.

Пропускна здатність ФМ для повно потокової очищення при стандартному методі випробувань дорівнює 51...108 м^3/год. Частково потокове фільтрування задовольняється матеріалами з пропускною спроможністю 12...19 м^3/год при однаковому з повно поточними ФМ режимі прокачування.

Повнота відсіву фільтрів, призначених для повно потокового очищення мастила, коливається в межах 4...9 %. Матеріали для фільтрів частково поточного режиму очищення мастила мають дуже високі показники значення повноти відсіву з даного забруднювачі – в межах 46...82 %. У об'ємних ФМ цей показник змінюється ще в більш широкому діапазоні - близько 34...98 % (див. табл. 4.1).

Об'ємні матеріали можуть використовуватися для формування фільтрувальної перегородки (штори) в формі багатопроменевої зірки. В цьому випадку його товщина становить 4 мм. При тонкощі відсіву 5...60 мкм і пористості 83...87 % вони в листовому виконанні мають пропускну здатність 15...28 м^3/год при стандартних випробуваннях. Максимальний розмір пір у таких ФМ може бути досить великим, відповідним 120...152 мкм, що притаманне матеріалами для повно потокової очищення.

Пропоновані для комбінованої очистки моторного мастила ФМ володіють високою пористістю, яка перевищує 70%. Поліпшення їх характеристик іде як по лінії збільшення пористості, так і однорідності із залученням мінімальної кількості наповнювача і повязуючої речовини. Це сприяє збільшенню проникності і грязеємність ФМ.

Велика увага останнім часом приділяється жорстокі і міцності фільтрувальних паперів. Багато з них мають тиснення і рифлення, що запобігає злипання складок штор гофрованої фільтрувальної перегородки і покращує гідравлічні властивості виготовленого з нього ФЕ.

Підвищення ефективності ФМ стосовно до комбінованого фільтрування досягалося не тільки оптимізацією їх порової структури. Експлуатаційні характеристики деяких з них покращилися введенням до складу паперів волокна нітрон, просоченням їх смолами з наступною термообробкою. Хороший результат дає просочення волокон ФМ складом, що перешкоджає їх осмолению.

4.2. Перспективи поновлення експлуатаційних характеристик моторних мастил методом фільтрації

Подальше вдосконалення ФМ направлено на створення порових структур зі змінними фільтрувальними показниками по товщині матеріалу. Це дозволить зберегти необхідну тонкість відсіву і жорсткість ФМ при подальшому підвищенні їх грязьоємності за рахунок зниження щільності укладки волокон по фронту листа з боку входу фільтрованої рідини.

Створення ФЕ для комбінованої очистки ММ можливо за рахунок додаткової установки фільтрувальної перегородки в формі багатопроменевої зірки. Для додання жорсткості у фільтру є перегородці. Її гофрують спільно з поліетиленом сіткою, що особливо важливо для ФЕ великих габаритних розмірів і пропускної здатності.

Для надання деяким ФЕ жорсткості і усунення злипання променів штори використовують гребіньові вставки з картону або синтетичної сітки полотняного плетіння. Гідравліка ФЕ, що використовують штори з поперечними складками, поліпшена оптимізацією розмірів складок. Найвищі фільтрувальні характеристики елементів досягнуті при застосуванні підкладки, рифлених матеріалів і оптимізації кількості (щільності укладки) і розмірів гофрів фільтрувальної перегородки. При цьому не тільки

поліпшується гідравліка ФЕ, але і їх грязьоємність, термін служби і очисна здатність.

Комбіноване фільтрування ММ може здійснюватися в суднових дизелях з циліндровою потужністю від 4 до 5000 кВт. Для цієї мети запропоновано використовувати п'ять типорозмірів ФЕ з об’ємом від 0,6 до 10,2 дм^3.

Багато з них можуть встановлюватися в штатні корпусу фільтра грубого очищення (ФГО) і фільтра тонкого очищення (ФТО) при мінімальних модернізаційних заходах.

Комбіноване фільтрування мастила здійснюється за комбінованою повно- і частково потокової схемами. Агрегати ФПП і ФЧП встановлювалися в системах змащення дизелів окремо і поєднувалися в очищувачі ФМК шляхом спільного використання ФЕПП і ФЕЧП. Комбіновані ФЕ не використовувалися, тому що їх застосування не дає значного збільшення ефективності очищення ММ.

Інтенсифікація видалення з мастила НРП частково поточними фільтрами і ЕЧП значно полегшує функціонування ФПП і дозволяє надійно захистити трибо-сполучення ДВЗ від попадання небезпечних абразивних частинок механічних домішок. Інтенсивне очищення ФЧП від дрібнодисперсних зольних продуктів спрацювання присадок і зносу дизеля знижує каталітичну дію на ММ і уповільнює його старіння в 1,4...2 рази.

Інтенсивність очищення мастила від загальних НРП при комбінованому фільтруванні підвищується в 3...8 разів. При цьому показник інтенсивності очищення у частково потокових очищувачів вище повно потоковий аналогічних розмірів в середньому в 9,8 разу [40].

Моторна ефективність повно-потокового та комбінованого фільтрування мастила у дизелі надану у вигляді таблиці 4.2.

Таблиця 4.2. Моторна ефективність повно-потокового та комбінованого фільтрування мастила у дизелі

Показник	Повно-потокове фільтрування	Комбіноване фільтрування
Стан моторного мастила		
Концентрація НРП, % загальних зольних	 1,8±0,3 0,48±0,07	 1,3±,2 0,32±0,05
Лужність мастила, мгКОН/г	7,4±1,2	12,5±1,6
Ступінь окислення, %	9,0±1,1	6,9±0,8
Вміст смол, %	11,5±1,2	7,5±0,06
Вміст присадок, %	18±2	33±3
Диспергуюча здатність, умов.ед.	0,48±0,05	0,56±0,08
Інтенсивність (швидкість) старіння мастила		
Потрапляння НРП, гр/год	22,4±3,2	18,7±2,4
Спрацювання присадок, гр/год	51,4±6,2	38,7±4,2
Окислення, гр/год	58±7	45±6
Утворення смол, гр/год	132±15	96±12
Робота очищувачів мастила		
Інтенсивність очищування від НРП, гр/год загальних зольних	 72±8 101±9	 340±42 420±56
Термін служби ФЕ, тис. год. повно-потокових частково-потокових	 0,83±0,22 —	 1,32±0,15 0,76±0,1
Швидкість зношування		
Поршневі кільця, гр/1000год	9,1±1,3	5,8±0,7
Циліндрові втулки, мкм/1000год	18,6±1,9	12,4±1,7
Вкладені мотильових підшипників, мг/1000год	158±16	126±14
Мотильові шейки колінчатого валу, мкм/1000год	12,6±1,3	9,8±0,9
Утворення нагарів та лаків на поршнях (загальна оцінка), бал	15,6±1,8	12,7±1,3
Утворення нагарів на поршневих канавках, бал	5,6±0,7	3,8±0,4

4.3. Висновки за розділом 4

1. Висока ефективність комбінованого фільтрування досягається розмежуванням функцій очищення мастила між використовуваними агрегатами. При цьому фільтруванням повного потоку здійснена надійний захист двигуна від небезпечних абразивних частинок з високою (25...40 мкм) тонкістю їх відсіву і частково поточним фільтруванням значно підвищена інтенсивність очищення мастила від дрібнодисперсних НРП, що гальмує старіння ММ. Такий розподіл функцій між агрегатами очищення мастила дозволяє вибрати порові структури ФМ, повністю задовольняють вимогам, що пред'являються до повно- і частково поточним ФЕ.

2. Створення комбінованих фільтрів для системи очищення мастила здійснювалося на основі використання наступних принципів:

- розмежування функцій очищувачів повного і часткового потоків;
- підбору порових структур повно- і частково поточних ФЕ, що забезпечують саморегулювання відсіву НРП різної дисперсності;
- зниження «грязьового» навантаження на повно потоковий ФЕ для тривалого функціонування їх при високій тонкощі відсіву з низьким гідравлічним опором, що сприяє високому терміну їх служби;
- підвищення інтенсивності очищення і грязьоємності частково поточних ФЕ оптимізацією їх порової структури для досягнення високої повноти відсіву мастила від дрібнодисперсного забруднювача.

3. Основні напрямки в підвищенні ефективності комбінованої очистки ММ складаються в:

- підборі на підставі виконаних розрахунків параметрів ФЕ елементів повного і часткового потоків, що забезпечують їх повну взаємодію при спільному фільтруванні ММ;
- поліпшення фільтрувальних, гідравлічних і грязьоємностних характеристик ФЕ;

- підвищенні терміну служби і функціональних показників фільтрувальних матеріалів і елементів при їх використанні;

- зниженні масо габаритних показників ФЕ зі збереженням їх експлуатаційних характеристик;

- збільшенні надійності роботи ФЕ, конструктивними і технологічними методами;

- зниженні працьоємності обслуговування ФЕ.

5. РЕГЕНЕРАЦІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ МАСТИЛ ТА ПОНОВЛЕННЯ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

5.1. Стан питання

Регенерація відпрацьованих нафтових мастил дозволяє вирішувати одночасно два завдання, пов'язані з перспективою підвищення ефективності використання нафтопродуктів: економія дефіцитного і дорогого мінерального ресурсу і зниження забруднення навколишнього середовища.

Актуальність рішень обох завдань з кожним роком зростає, особливо у зв'язку із збільшенням цін на нафтопродукти і підвищенням вимог до екологічної чистоти промислових виробництв і транспорту. З 1000 тонн нафти вихід мастил становить 100 тонн, а з 1000 тонн відпрацьованих мастил – 600...800 тонн регенерованих [41].

Загальний збір відпрацьованих мастил в світі в даний час складає більше 15 млн. тонн на рік. Значна частина їх використовується як котельного палива і лише 10% піддається регенерації (в Україні цей відсоток значно менше). У країнах ЄС співвідношення споживання свіжих і збору відпрацьованих мастил наступне:

- споживання свіжих мастил 4...5 млн. тонн на рік;
- збір відпрацьованих мастил 2…2,5 млн. тонн на рік;
- використання відпрацьованих мастил,
- списання 1,5...2 млн. тонн на рік,
- регенерація 0,5...1 млн. тонн на рік.

У сформованих умовах необхідний пошук шляхів, спрямованих на зниження фінансових витрат і споживання дорогого продукту, яким є мінеральне масло. Найбільш радикальним засобом вирішення цього завдання є відновлення експлуатаційних властивостей відпрацьованих мастил і

повторне їхнє використання в енергетичних установках. Організація повторного використання цих мастил представляє актуальну задачу.

Методи відновлення якості мастил можна розділити на:

- фізичні,
- хімічні,
- фізико-хімічні.

До фізичних методів (не зачіпаючи хімічної основи видаляють лише домішки) відносяться: відстій, сепарування, фільтрація, термічна обробка, промивання водою, а також використання полів (електричного, ультразвукового і т.і.).

До хімічних методів належать: сіркокислі очищення (використання сірчаної кислоти для розчинення одних і ущільнення інших сполук, що знаходяться у відпрацьованому маслі з подальшим їх видаленням і лужне очищення), застосування ряду підстав соди, тринатрийфосфату та ін для нейтралізації речовин, що утворилися в маслі в результаті обробки сірчаною кислотою).

До фізико-хімічних методів відносять коагуляцію і адсорбцію.

Коагуляції (злипання і укрупнення часток дисперсної фази з утворенням великих агломератів, які потім видаляються фільтруванням або відстоєм). В якості коагулянту використовують електроліти, деякі види поверхнево-активних речовин. Адсорбція - це процес концентрування речовин на поверхні адсорбенту. Адсорбентами є: силікагель, окис алюмінію, алюмосилікати, відбілюючі глини.

Аналіз даних про діючі маслорегенераціонних установках показує, що в тій чи іншій мірі застосовуються всі перераховані методи відновлення якості мастил. Як правило, фізичні методи використовують в якості попередньої ступені обробки мастила, а фізико-хімічні - в якості основної. В даний час основним способом регенерації мастил є очищення за допомогою сірчаної

кислоти і отбеливающей глини. Загальний обсяг відновлюваних таким чином мастил складає близько 1,3 млн.тонн на рік [42].

У ФРН фірмою «Mahen» розроблений удосконалений процес регенерації. Масло перед серно кислотним очищенням піддають зневоднення і термічному крекінгу при температурі 330°С під невеликим вакуумом. Потім масло піддають обробці 96%-ним розчином сірчаної кислоти, після чого переганяють у присутності активованої отбеливающей глини при температурі 280°С і тиску 10 кПа. В результаті контактної перегонки, по даним фірми, підвищується стійкість проти окислення мастила, яке відновлюється.

Загальний вихід регенерованих мастил становить близько 72% від загальної кількості зневодненого вихідного, продукту. Отримується в результаті перегонки газойль використовують на установці в якості палива. За ліцензією фірми «Mahen» будуються і проектуються близько 60% всіх сучасних установок по регенерації відпрацьованих мастил.

У таблиці 5.1 наведені фізико-хімічні показники регенерованого мастила MLC30 фірми Castrol.

Таблиця 5.1. Показники регенерованих мастил

Найменування показників	Свіже мастило	Регенероване мастило
Густина при 15°С, кг/м^3	899	860
Температура спалаху, °С	249	200
Температура застигання,°С	-20	-15
В'язкість при 50°С, сСт	56	58
індекс в'язкості	94…96	90
Кислотне число, мгКОН/г	0,03	0,01
Коксівність, % маси	0,13	0,08
Зольність, % маси	0,005	0,005

З даних таблиці 5.1 видно, що показники якості регенерованого мастила ні в чому не поступаються первинним структурам. Разом з тим слід зазначити, що фізико-хімічні показники ще не характеризують експлуатаційних властивостей, тому остаточна оцінка ефективності застосування регенерованих мастил може бути дана після моторних випробувань.

У 2021 р. в Італії побудована і введена в дію установка регенерації мастил за технологією фірми «Snaprogetti» продуктивністю 50000 тонн на рік. Процес складається з стадій перегонки при атмосферному тиску, екстракції пропаном, вакуумної перегонки, термообробки отриманого залишку при 300...500^{o}С і гідроочищення.

Процес регенерації, розроблений Французьким інститутом нафти в 2019 р., включає очищення мастила рідким пропаном, перегонку при атмосферному тиску, обробку глиною і також гідроочищення.

У США у 2022 р. розроблена та експлуатується установка продуктивністю 14700 тонн на рік (за технологією фірми «Resorts Technology Inc»). Процес включає перегонку при атмосферному тиску і вакуумі, а також адсорбційну очистку отриманих дистилятів.

Наведені дані показують, що в різних країнах розроблені і діють велика кількість установок по регенерації відпрацьованих мастил, засновані на використанні різних технологій. Такі установки, як правило, представляють собою складні і дорогі комплекси. Відомі й більш компактні пристрої для надтонкого очищення, які в принципі можуть бути використані як мастилогенераційних. Так, фірма «Kawakamy» (Японія) у 2021 р. розробила і представила на ринок типорозмірний ряд малогабаритних установок ILC, що містять від 1000 до 20000 фільтроелементів. Установка здійснює очищення мастила на молекулярному рівні (тонкість відсіву домішок – від сотих до тисячних часток мкм) і відновлює його якості до рівня базового мастила.

Як показав досвід використання цих установок, крім забруднюючих домішок видаляються також залишилися присадка і вода. Паливо з мастила практично не видаляється. Основним недоліком установок є їх мала продуктивність (до 10 л/год) при вартості найбільш великої установки близько 18000 $. У ряді країн (Англія, Фінляндія) виробляються маслорегенераціонние установки невеликої продуктивності, дія яких оснащено на принципі повторної перегонки продукту. Наприклад, установка Lubecleane (Англія) виробляє залежно від типорозміру від 150 до 3000 л/год базового продукту. Розрахункова температура перегонки 300 С, тиск в межах 0,2...1,6 МПа [43].

В Україні регенерація та повторне використання їх як мастильних матеріалів, практично відсутня. Зібрані мастила частково спрямовуються на нафтопереробні заводи і знову залучаються до цикл перегонки нафти. Інша частина мастил використовується як на технічні потреби, наприклад, при виробництві керамзиту, так і в якості котельного палива.

5.2. Пропозиція по технології регенерації мастил

Виходячи з відомих даних про можливості кожного з методів регенерації, розглянемо найбільш доцільні способи відновлення якості мастила.

5.2.1. Видалення з відпрацьованого мастила нерозчинного осаду

Видалення нерозчинного осаду з мастила доцільно виробляти чотирма ступенями очищення:

- попередня ступінь очищення, що представляє собою фільтр з тонкістю відсіву частинок від 100 до 200 мкм, де масло звільняється від найбільш великих часток переважно неорганічного походження (пісок, окалина, стружка тощо);
- груба очистка - самоочищається фільтр з тонкістю відсіву 30 ... 40 мкм, в якому масло звільняється від частинок середніх розмірів, кількісний вміст яких у кілька разів більше, ніж перша і тому становлять особливу небезпеку для двигунів;
- тонке очищення, проводиться одночасно фільтрами тонкого очищення з початковою тонкістю 20...25 мкм і відцентровим самоочисним сепаратором мастила великої продуктивності. На цьому ступені очищення з мастила видаляються практично всі частинки з розмірами більше 5 мкм і частково міститься в ньому вода;
- надтонка очищення може проводитися з використанням різних засобів. Їх перевагою є виключно глибоке очищення (до сотих часток мкм), вироблена на субмолекулярном рівні, проте мала продуктивність і висока вартість таких установок не дозволяє рекомендувати ці установки для використання в берегових системах регенерації. Альтернативним рішенням є застосування електричним мастила. Принцип електроочісткі полягає в тому, що при пропущенні рідкого діелектрика (мастила) повз електродів при високій напрузі (до 10 кВольт) заряджені частинки (присадки, смолисті сполуки тощо) орієнтуються і направляються до відповідних полюса і таким чином витягуються з мастила. Як показав досвід використання електричним в паливній середовищі при цьому віддаляються частинки від 2 мкм і менш залежно від в'язкості мастила і кратності очищення. При багаторазовому пропущенні мастила через електрофільтр тонкість очищення може бути значно підвищена [44].

5.2.2. Видалення з мастила води і палива

Часткове видалення води проводиться у відцентровому сепараторі. Однак при наявності стійкої водомасляного емульсії видалення води утруднене і вся емульсія переходить в шлам, при цьому втрачається велика кількість мастила, тому в системі регенерації необхідно передбачити наявність спеціальної установки по відганяти води і палива (летючих домішок) з мастила.

Принцип її дії заснований на випаровуванні тонкого шару мастила, води і легких паливних фракцій.

5.2.3 Видалення з мастила залишкової кількості присадок

У який працював маслі присадки присутні у вигляді активної (неспрацьовану) і неактивній (спрацюють) частин. Спрацювали присадка адсорбувати на частинках нерозчинних домішок. Ці включення повинні віддалятися у всіх щаблях очищення від нерозчинних забруднень. Не спрацював частина присадки, що представляє собою міцели поверхнево-активних речовин, що володіють електричним зарядом, і тому здатних накопичувати на відповідному полюсі електростатичного очисника.

Найбільш раціональною схемою включення засобів регенерації є наступна:

1) фільтр-маслоприемник попереднього очищення;

2) самоочищається фільтр грубої очистки;

3) фільтр тонкого очищення;

4) самоочищається сепаратор мастила;

5) електричним мастила;

6) установка для видалення летючих забруднень;

7) дозатор введення присадок [45].

Замість сепаратора, електричним мастила і установки для видалення летючих забруднень може бути використана малогабаритна установка для вакуумної перегонки мастила. Її використання дозволить, додавши до модуля необхідні елементи (фільтри грубого і тонкого очищення, дозатор присадок), істотно скоротити виробничу площу стаціонарного ділянки по регенерації мастил. Виконаний аналіз методів і засобів регенерації відпрацьованих мастил показує, що для повного відновлення властивостей цих продуктів необхідно використання великих капіталомістких промислових виробництв, що в умовах малих просторів в портах і порівняно малих обсягів збору мастил в галузі, є технічно важкодосяжним.

Очікувати, поки будуть спроектовані і введені в дію такі потужності, які забезпечать потреби в регенерації мастил в масштабах всього флоту, недоцільно, оскільки за цей час буде безповоротно втрачено сотні тисяч тонн цінної сировини. В умовах морської галузі найбільш раціональним напрямом в області збору та відновлення якості відпрацьованих мастил є створення ділянок зберігання регенерації мастил на території портів, а також розробка конструкції малогабаритних пересувних маслорегенераціонних модулів.

Дві різні з організації та оснащення устаткуванням системи регенерації мастил мають різні області застосування.

На стаціонарні маслорегенераціонние ділянки можна доставляти мастила злиті з різних агрегатів як суднових, так і берегових об'єктів (перевантажувальна техніка, верстати, автомобілі тощо). На цих ділянках потрібно більш глибоке очищення мастил, ніж у пере ¬ пересувних станціях.

Пересувна маслорегенераціонная станція (модуль) здійснює часткове відновлення властивостей мастил на самих об'єктах, головним чином, на судах. У разі досягнення маслом бракувальних значень по одному або

декільком фізико-хімічними показниками або наближення до цих значень - по відповідній заявці до борту судна може подаватися пересувна станція, обладнана автономними засобами регенерації. Виробничий цикл очищення мастила здійснюється безпосередньо біля причалу судна або на самому судні, куди подається модуль, після чого відновлене масло використовують повторно на цьому ж технічному засобі.

Залежно від в'язкості і лужного числа відновлене моторне масло має задовольняти вимогам однієї з п'яти груп мастил, відповідних наступним в'язкістним класам і лужним числах:

- клас SAE30 (в'язкість від 9 до 30 сСт при 100° С, лужне число від 8 до 12 мгКОН/г);
- клас SAE40 (від 13 до 16 сСт при 100° С, лужне число від 8 до 12 мгКОН/г);
- клас SAE30, лужне число від 17 до 20 мгКОН/г;
- клас SAE40, лужне число від 20 до 25 мгКОН/г;
- клас SAE20W30 (в'язкість від 6 до 9 сСт при 100 ° С, лужне число від 6 до 10 мгКОН/г).

Решта фізико-хімічні показники відновлених мастил не повинні бути гірше наступних значень:

- температура спалаху - не нижче 190 ° С;
- вміст води - не вище 0,05%;
- вміст механічних домішок - не вище 0,03%.

Лужне число регулюється відповідною кількістю багатофункціональних присадок. В'язкість мастила - за умови відповідності вимогам по температурі спалаху - може бути підвищена введенням загущувальну присадки в концентрації до 1 %. В якості присадок можуть бути використані готові вітчизняні чи зарубіжні пакети.

Схема підключення основного устаткування ділянки дана на прикладі лінії регенерації суднових моторних мастил (рис. 5.1) [46].

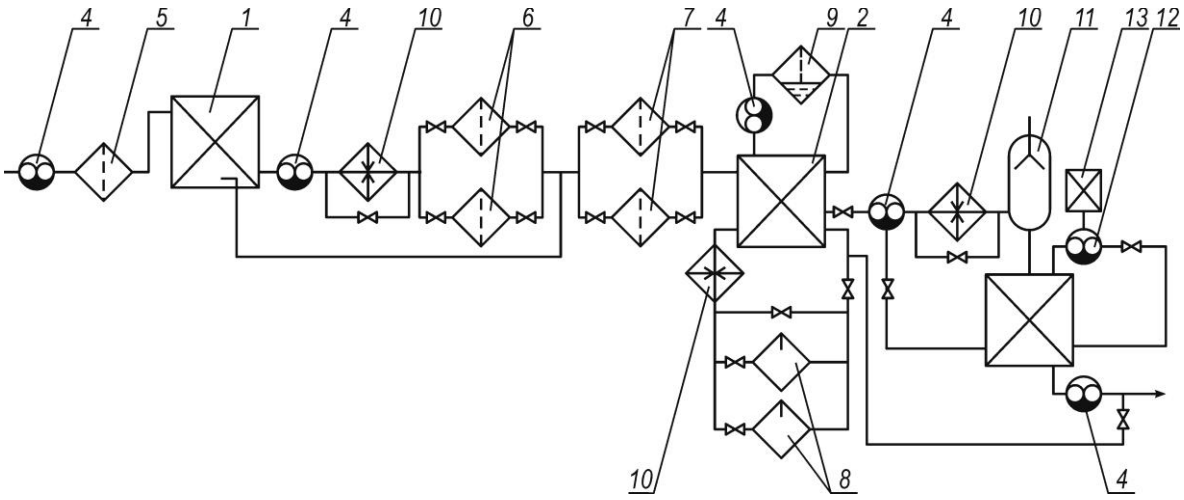


Рис. 5.1. Принципова схема підключення основного обладнання ділянки по регенерації мастил в порту (1-а лінія-регенерація моторних мастил)

1 - ємність для збору відпрацьованого мастила; 2 - ємність мастила, очищеного від твердих забруднень; 3 - ємність мастила, очищеного від твердих і рідких забруднень; 4 - перекачує насос; 5 - фільтр попереднього очищення; 6 - самоочищається фільтр грубої очистки; 7 - фільтр тонкого очищення; 8 - сепаратор мастила самоочищається; 9 - електричним мастила; 10 – підігрівач мастила; 11 - установка для видалення летючих забруднень (води, палива); 12 - насос-дозатор присадок; 13 - ємність для присадок

Основне обладнання повинно включати:

- цистерни для збору відпрацьованого і очищеного мастила 4...5 м^3;
- насоси, що перекачують продуктивністю 5...6 м^3 год;
- фільтр, що самоочищається ;
- фільтри тонкого очищення;
- сепаратор мастила самоочищається продуктивністю не менше 5 м^3/год;
- підігрівачі мастила;
- електричний очисник мастила;
- установку для видалення летючих забруднень;
- дозатор присадок.

У ємність для збору відпрацьованого мастила може бути зроблений підвід коагулянту (речовини, що сприяє втраті залишкових диспергирующих властивостей мастила дая полегшення видалення з нього твердих частинок).

У разі використання пересувного маслорегенераціонного модуля установки комплектація ділянки буде включати:

- фільтр, що самоочищається ;
- установку вакуумної перегонки;
- дозатор присадки;
- ємності, насоси, підігрівачі.

Схема пересувного маслорегенераціонного модуля показана на рис. 5.2.

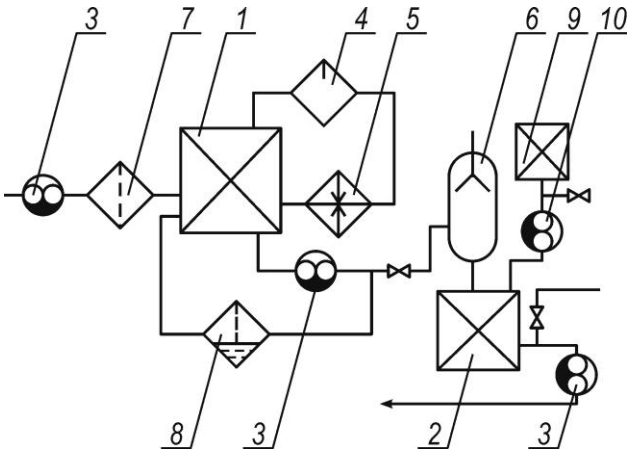


Рис. 5.2. Принципова схема пересувного маслогенеріруючего модуля

1 - ємність для збору очищаемого мастила; 2 - ємність для збору очищеного мастила; 3-перекачує насос, 4 - сепаратор; 5 – підігрівач мастила; 6 - установка для видалення з мастила летючих забруднень (води, палива); 7 - фільтр грубої очистки; 8 - електричним мастила; 9 - насос-дозатор присадок; 10 - ємність для присадок

Основне обладнання модуля повинно включати:

- цистерни для збору відпрацьованого і очищеного мастила ємністю 1,5…2 $м^3$;
- насоси, що перекачують продуктивністю 2…3 $м^3$/год;

- фільтр грубої очистки;
- сепаратор мастила продуктивністю 1,5 м/год;
- маслоподогреватель електричний;
- електричний маслоподігрювач;
- установку для видалення летючих забруднень;
- насос-дозатор присадок.

Якщо масло вибраковано тільки за змістом нерозчинного осаду - воно піддається очищенню в самоочищення і сепараторі.

Якщо масло вибраковано за вмістом води або по температурі спалаху - воно піддається очищенню в фільтрі, сепараторі і установці для видалення летючих забруднень.

У разі, якщо масло вибраковано з причини спрацювання присадки (лужному числу, втрати диспергирующей здібності) - воно піддається очищенню в фільтрі, сепараторі, електричним, а потім ушляхетнюється присадками. В якості присадок допускається використання сумісного з очищається циліндрового мастила однієї і тієї ж фірми-розробника. Додавання у відновлений продукт циліндрового мастила іншої фірми не допускається.

5.3. Висновки за розділом 5

Виходячи з сучасного рівня розвитку маслоочищувальної обладнання, з метою забезпечення вторинного використання мастил та захисту навколишнього середовища водних басейнів, рекомендується:

1) організація в морських портах стаціонарних ділянок з регенерації відпрацьованих мастил. Обладнання ділянки має включати попередню, грубу, тонку і надтонку очищення від нерозчинних домішок, видалення води

і палива, введення присадок. Для забезпечення можливості регенерації різних видів мастил ділянка повинна включати дві виробничі лінії: регенерації моторних мастил судновий та наземної техніки і регенерації інших видів олій (гідравлічних, індустріальних, трансформаторних та ін.) Ділянка повинна бути оснащений лабораторією для контролю якості відновленого мастила;

2) розроблення, випробування і виготовлення малогабаритних пересувних маслорегенеравдонних модулів, які могли б подаватися до борту судна і здійснювати відновлення якості мастила, використовуваного на конкретному об'єкті (двигун, гідросистема і т.і.).

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломної роботи зробимо наступні висновки.

1. Сучасні дизелі мають систему мащення, яка повинна забезпечувати якісною змазкою як елементі руху (підшипники колінчастого валу) так і деталі циліндро-поршневої групи.

2. Для поліпшення характеристик мастила, що знаходиться у експлуатації, застосовують фільтри та відцентрові очищувачі мастила (сепаратори).

3. Найбільш ефекти очищення достягається за рахунок використання комбінованої системи тонкого очищення мастила, яка виконує наступні функції

- розмежування функцій агрегатів очищення так, щоб найповніше реалізувати переваги повно потокового фільтрування для відділення від крупних абразивних частинок і центрифугування для глибокого очищення мастила від нерозчинних домішок, що знаходяться у дрібно диспергованому стані;
- послідовне включення агрегатів комплексної системи в системі мащення дизелів і оптимізація їх параметрів для повного використання можливостей очищувачів;
- підтримка високої інтенсивності очищення мастила центрифугуванням на всіх швидкісних режимах роботи дизеля;
- послідовному з'єднанні двох контурів очищення, що використовують різні за принципом дії і вибірковості відсіву очищувачі мастила;
- установці фільтру із змінними фільтруючими елементами або регенерованим типом для надійного захисту пар тертя дизеля від небезпечних крупних частинок забруднення на повному потоці мастила, що поступає в дизель;

•подачі на фільтр заздалегідь центрифугованого мастила для зниження «грязьового» навантаження на нього і збільшення терміну служби фільтруючих елементів.

4. Ефективність комбінованої системи очищення мастила в порівнянні з поширеними системами очищення складається з наступного:

•забезпечується ресурсо-зберігаюча експлуатація ДВЗ на низькосортних паливах;

• знижується в порівняні з повно-потоковим фільтруванням зношування основних деталей двигуна в 1,2…1,8 разів;

•збільшується при тонкості відсіву 25…50 мкм інтенсивність очищення мастила від НРП в 3…6 разів;

• знижується швидкість старіння моторного мастила по основним напрямкам в 1,5 разу та стабілізується на протязі довгого періоду його вигорання;

•зменшується витрата та збільшується строк служби мастила не менш як на 30 %.

• зменшується інтенсивність утворення нагарів і лаків в середньому на 45 %.

5. З метою підвищення економія дефіцитного і дорогого мінерального ресурсу, а також зниження забруднення навколишнього середовища сучасних розвиток суднової енергетики передбачає регенерацію відпрацьованих нафтових мастил, яка забезпечується як у берегових умовах, так й безпосередньо на морському судне.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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.

2. Sagin S.V. Improving the performance parameters of systems fluids / S.V. Sagin // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, Vienna-2018. – № 7-8 (July-August). – P. 55-59. doi.org/10.29013/AJT-18-7.8-55-59

3. Богач В.М. Эксплуатационная проверка эффективности модернизированной системы смазывания цилиндров двигателей RTA / В.М. Богач, А.Н. Шебанов // Судовые энергетические установки : науч.-техн. сб. – 2016. – Вып. 36. – Одесса : ОНМА. – С. 41-49.

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

5. Сагін С.В. Зниження енергетичних втрат в прецизійних парах паливної апаратури суднових дизелів // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 38. – С. 132-142.

6. Суворов П.С. Управление режимами работи главных судовых дизелей / П.С. Суворов. – Одесса : ЛАТСТАР, 2000. – 240 с.

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. Черниш І.І. Сучасні суднові дизелі : особливості конструкції, експлуатації та автоматизованого управління / І.І. Черниш, С.А. Кар'янський, Є.М. Оженко. – Одеса : НУ «ОМА», 2018. – 216 с..

9. Заблоцький Ю.В., Сагін А.С. Визначення динамічних навантажень під час зміни режимів мащення прецизійних пар паливної апаратури суднових дизелів // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2022. – Вип. 44. – С. 121-131. doi: 10.31653/smf44.2022.121-131.

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

11. Сагін С.В., Столярик Т.О. Аналіз експлуатаційних характеристик моторних мастил суднових дизелів // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2021. – Вип. 43. – С. 69-80. doi: 10.31653/smf343.2021.69-80.

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

13. Карьянский С.А. Двигатели MAN-B&W типа ME с электронным управлением : учебное пособие / С.А. Карьянский, Е.М. Оженко. – Одесса : НУ «ОМА», 2020. – 92 с.

14. 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.

15. Судовой механик. Справочник. Том 2 / под ред. Фока А. А. – Одесса : Феникс, 2010. – 1032 с.

16. 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.

17. Столярик Т.О. Забезпечення режимів мащення чотиритактних суднових дизелів // Автоматизація суднових технічних засобів: наук.-техн. зб. – 2023. – Вип. 28. – Одеса: НУ "ОМА". – С. 90 – 105. DOI: 10.31653/1819-3293-2023-1-28-90-105.

18. 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.

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

20. Марченко О.О., Сагін С.В. Вдосконалення процесу очищення суднових важких палив // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 41. –С. 10-14. DOI: 10.31653/smf341.2020.10-14.

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

22. Заблоцький Ю.В. Аналіз особливостей процесу мащення циліндрової групи суднових дизелів // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 46. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 67-78. doi: 10.31653/10.31653/smf46.2023. 67-78.

23. Сагін С.В., Бондар С.А. Метод попередження аварійних ситуацій під час експлуатації суднових дизелів за аналізом потоку відмов його основних вузлів // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023.

– Вип. 46. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 101-109. doi: 10.31653/smf46.2023.101-109.

24. 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.

25. Сагин С.В. Особенности подготовки масляной системы судовых дизелей, работающих на винт регулируемого шага, при выходе судна из сухого дока / С.В. Сагин, Д.В. Мацкевич // Проблеми техніки. – 2011. – № 3.– С. 50-56.

26. Сагін С.В., Столярик Т.О. Динаміка суднових дизелів під час використанні 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.

27. Парменова Д.Г., Кулєшов 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.

28. Голіков В.А. Методологія наукових досліджень : навчальний посібник / В.А. Голіков, М.А. Козьміних, О.А. Онищенко. – Одеса : ОНМА, 2014. – 164 с.

29. 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

30. Сагін С.В., Бондар С.А., Столярик Т.О. Оцінка безвідмовності суднових дизелів за технічним станом моторного мастила циркуляційних

систем мащення // Водний транспорт. – 2023. – № 1(37). – 59-70. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.06.

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

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

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

37. 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.

35. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В. Влияние анизотропных жидкостей на работу узлов трения судовых дизелей // Проблеми техніки: наук.-виробн. журнал. – 2012 . – № 4. – С. 68-81.

36. Сагин С.В., Мацкевич Д.В. Оптические характеристики граничных смазочных слоев масел, применяемых в циркуляционных системах судовых дизелей // Судовые энергетические установки: науч.-техн.сб. – 2011. – № 26. – С.116-125.

37. 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.

38. 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.

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

40. Sagin S. V., Stoliaryk T. O. Comparative assessment of marine diesel engine oils // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7-8 (July – August). – P. 29-35. https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-29-35.

41. Sagin S., Sagin A., Zablotskyi Y., Fomin O., Pišťek V., Kuˇcera P. Method for Maintaining Technical Condition of Marine Diesel Engine Bearings. Lubricants. – 2025. – Vol. 13(4). – P. 146. https://doi.org/10.3390/lubricants13040146.

42. 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.

43. Сагін С.В. Зниження механічних втрат у суднових середньообертових дизелях // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 40. –С. 5-11. DOI : 10.31653/smf340.2020.5-11.

44. Сагін С.В., Куропятник О.А. Визначення оптимальних режимів експлуатації суднових 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.

45. Сагін С.В., Заблоцький Ю.В. Діагностування технічного стану суднових енергетичних установок засобів водного транспорту // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – № 2(38). – С. 164-175. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.18.

46. Будулатій Д.Є. Поновлення експлуатаційних показників моторних мастил суднових дизелів / Д.Є. Будулатій, М.В. Міюсов // Матеріали Науково-технічної конференції молодих дослідників «Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт». – 19.11.2025. – Одеса: НУОМА. –С. 11-14.