

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

Кафедра безпеки життєдіяльності та захисту довкілля

ДИПЛОМНА РОБОТА МАГІСТРА
на тему:

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ СУДНОВИХ
ДИЗЕЛІВ МІЖНАРОДНИМ ЕКОЛОГІЧНИМ
НОРМАМ ЩОДО ВИКИДІВ ОКСИДІВ СІРКИ**

Курсанта 2-го року навчання навчально-наукового інституту інженерії
Чалого Дмитра Андрійовича

Керівник: к-т техн. наук, професор Колегаєв М.О.

Нормоконтроль *Діва* к.т.н., доц. Парменова Д.Т.

Роботу заслухано на засіданні кафедри БЖ та ЗД та рекомендовано до
захисту в ЕК, протокол № 9 від 15 грудня 2025 р.

Завідувач кафедри БЖ та ЗД
к-т техн. наук, доцент *Діва* Дана ПАРМЕНОВА
підпис

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 *Сашко* Сергій САГІН
(підпис)

Рецензент (зовнішній) *М.В. Мисюк* *Т.Шебанова*
(ПІБ, підпис, дата) 25.12.25

Рецензент (внутрішній) *Мисюк* *М.В. Мисюк*
(ПІБ, підпис, дата) 23.12.2025

Одеса – 2025

Національний університет «Одеська морська академія»
Навчально-науковий інститут інженерії
Кафедра безпеки життєдіяльності та захисту довкілля

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
суднових енергетичних установок

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

ЗАВДАННЯ

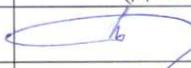
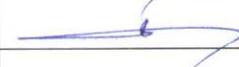
на виконання дипломної роботи магістра

Курсант ННІ _____ Чалий Дмитро Андрійович _____

1. Тема дипломної роботи: Забезпечення відповідності суднових дизелів міжнародним екологічним нормам щодо викидів оксидів сірки
Затверджена наказом ректора НУОМА № 1414 від 24 листопада 2025 р.
2. Об'єкт дослідження процес підтримання екологічних показників роботи суднових дизелів на рівні, що відповідає вимогам МАРПОЛ
3. Предмет дослідження процес регулювання емісії оксидів сірки з випускними газами суднових дизелів
4. Обсяг пояснювальної записки: 70...80 стор.
5. Структура пояснювальної записки дипломної роботи:
Аналіз досліджень та публікацій з завдання забезпечення відповідності суднових дизелів міжнародним екологічним нормам щодо викидів оксидів сірки
Методологічні основи наукових досліджень
Забезпечення відповідності суднових дизелів міжнародним екологічним нормам щодо викидів оксидів сірки шляхом використання альтернативних видів палива
Забезпечення відповідності суднових дизелів міжнародним екологічним нормам щодо викидів оксидів сірки шляхом їх переведення на низькосірчисті морські сорти палива у районах SECAs
Забезпечення відповідності суднових дизелів міжнародним екологічним нормам щодо викидів оксидів сірки шляхом використання системи скрубєрного очищення випускних газів від домішок сірки
6. Зміст основної частини пояснювальної записки:
Аналіз досліджень та публікацій з завдання забезпечення відповідності суднових дизелів міжнародним екологічним нормам щодо викидів оксидів сірки
Методологічні основи наукових досліджень
Забезпечення відповідності суднових дизелів міжнародним екологічним нормам щодо викидів оксидів сірки шляхом використання альтернативних видів палива
Забезпечення відповідності суднових дизелів міжнародним екологічним нормам щодо викидів оксидів сірки шляхом їх переведення на низькосірчисті морські сорти палива у районах SECAs
Забезпечення відповідності суднових дизелів міжнародним екологічним нормам щодо викидів оксидів сірки шляхом використання системи скрубєрного очищення випускних газів від домішок сірки
7. Перелік графічного матеріалу:
Методологія наукового дослідження
Результати досліджень
Висновки

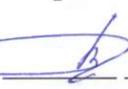
Робота повинна бути виконана відповідно до «Методичних вказівок для виконання дипломної роботи магістра», затверджених Вченою радою ННІ 27.06.2023, протокол № 11.

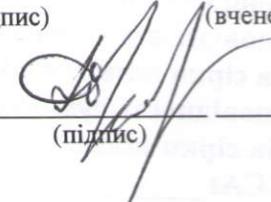
8. Календарний план виконання роботи

№ з/п	Назва етапу дипломної роботи	Відмітка керівника про виконання етапу (дата, підпис)
1	Перелік прийнятих скорочень	
2	Вступ	
3	Аналіз досліджень та публікацій з завдання забезпечення відповідності суднових дизелів міжнародним екологічним нормам щодо викидів оксидів сірки	
4	Методологічні основи наукових досліджень	
5	Забезпечення відповідності суднових дизелів міжнародним екологічним нормам щодо викидів оксидів сірки шляхом використання альтернативних видів палива	
6	Забезпечення відповідності суднових дизелів міжнародним екологічним нормам щодо викидів оксидів сірки шляхом їх переведення на низькосірчисті морські сорти палива у районах secas	
7	Забезпечення відповідності суднових дизелів міжнародним екологічним нормам щодо викидів оксидів сірки шляхом використання системи скруберного очищення випускних газів від домішок сірки	
8	Висновки	
9	Перелік використаних джерел	

9. Дата видачі завдання _____ **10 вересня 2025 р.** _____

Термін подання дипломної роботи на випускову кафедру 17.12.25

Керівник дипломної роботи  **к-т техн. наук, професор Михайло КОЛЕГАЄВ** _____
(підпис) (вчене звання, посада, П.І.Б.)

Виконавець дипломної роботи  **Дмитро ЧАЛИЙ** _____
(підпис) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота магістра: 89 сторінок, 19 рисунків, 7 таблиць, 56 літературних джерел.

Магістерське наукове дослідження спрямоване на розв'язання науково-прикладного завдання – необхідності забезпечення міжнародних вимог щодо попередження забруднення довкілля оксидами сірки з суден морського транспорту.

Висунута та підтверджена наукова гіпотеза про те, що зниження емісії оксидів сірки досягається за рахунок управління вмістом сірковмісних сполук в випускних газах судових дизелів.

Розглянуті питання забезпечення екологічних норм при експлуатації судових дизелів на важких паливах. Надані вимоги міжнародних організацій, спрямовані на скорочення викидів в атмосферу окислів сірки SO_x .

Розглянуті питання скрубєрного очищення випускних газів від окислів сірки. Надані схеми «сухого» і «мокрого» очищення у скрубєрах.

СПЕЦІАЛЬНІ ЕКОЛОГІЧНІ РАЙОНИ, ВИМОГИ ДО ВМІСТУ ОКСИДІВ СІРКИ У ВИПУСКНИХ ГАЗАХ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ, ВИМОГИ ДО ВМІСТУ СІРКИ У ПАЛИВІ, СКРУБЕРНЕ ОЧИЩЕННЯ ВИПУСКНИХ ГАЗІВ ВІД ОКСИЛІВ СІРКИ, «СУХЕ» СКРУБЕРНЕ ОЧИЩЕННЯ, «МОКРЕ» СКРУБЕРНЕ ОЧИЩЕННЯ

ABSTRACT

Master's degree thesis: 89 pages, 19 figures, 7 tables, 56 references.

The master's research is aimed at solving a scientific and applied task – the need to ensure international requirements for the prevention of environmental pollution by sulfur oxides from sea transport vessels.

A scientific hypothesis was proposed and confirmed that the reduction of sulfur oxide emissions is achieved by controlling the content of sulfur-containing compounds in the exhaust gases of marine diesel engines.

The issue of ensuring environmental standards during the operation of marine diesel engines on heavy fuels is considered.

The requirements of international organizations aimed at reducing emissions of sulfur oxides (SO_x) into the atmosphere have been provided. Considered issues of scrubber cleaning of exhaust gases from sulfur oxides. Schemes of "dry" and "wet" cleaning in scrubbers are provided. Issues of safety and survival at sea and environmental protection during the operation of ship power plants are covered.

SPECIAL ENVIRONMENTAL AREAS, REQUIREMENTS FOR SULFUR OXIDES IN THE EXHAUST GASES OF MARINE DIESELS, REQUIREMENTS FOR SULFUR CONTENT IN FUEL, SCRUBBING OF EXHAUST GASES FROM SULFUR OXIDES, "DRY" CLEANING IN A SCRUBBER, "WET" CLEANING

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
1. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ З ЗАВДАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ МІЖНАРОДНИМ ЕКОЛОГІЧНИМ НОРМАМ ЩОДО ВИКИДІВ ОКСИДІВ СІРКИ	13
1.1. Нормативні вимоги, спрямовані на скорочення викидів в атмосферу забруднюючих речовин.....	13
1.2. Контроль емісії оксидів сірки з випускними газами суднових дизелів	21
1.3. Вплив вмісту сірки в паливі на експлуатаційні показники роботи суднового дизеля	24
1.3. Вибір стратегії відповідності технічним регламентам.....	29
1.3.1. Використання морського газойлю чи дистилатів	29
1.3.2. Нові сумісні низькосірчисті палива	30
1.3.3. Використання важких палив HSFO зі скруббером SO _x	31
1.3.4. Зріджений природний як паливо	34
1.3.5. Інші альтернативні види палива	36
1.4. Висновки за розділом 1	37
2. МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	38
2.1. Технологія наукових досліджень.....	38
2.2. Наукове пізнання.....	39
2.3. Методологічні принципи наукових досліджень	42
2.4. Системний підхід до розробки технологічної карти наукового дослідження	47

2.5. Висновки за розділом 2	49
3. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ МІЖНАРОДНИМ ЕКОЛОГІЧНИМ НОРМАМ ЩОДО ВИКИДІВ ОКСИДІВ СІРКИ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ ПАЛИВА.....	50
Висновки за розділом 3.....	57
4. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ МІЖНАРОДНИМ ЕКОЛОГІЧНИМ НОРМАМ ЩОДО ВИКИДІВ ОКСИДІВ СІРКИ ШЛЯХОМ ЇХ ПЕРЕВЕДЕННЯ НА НИЗЬКОСІРЧИСТІ МОРСЬКІ СОРТИ ПАЛИВА У РАЙОНАХ SECAS	58
4.1. Конструктивні способи адаптації	59
4.2. Експлуатаційні способи адаптації	55
4.3. Переведення суднової паливної системи на роботу з малосірчистим паливом	59
4.4. Висновки за розділом 4	66
5. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ МІЖНАРОДНИМ ЕКОЛОГІЧНИМ НОРМАМ ЩОДО ВИКИДІВ ОКСИДІВ СІРКИ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ СКРУБЕРНОГО ОЧИЩЕННЯ ВИПУСКНИХ ГАЗІВ ВІД ДОМШОК СІРКИ	67
5.1. Відкрита система очищення газів від оксидів сірки в «мокрих» скруберах.....	67
5.2. Закрита система очищення газів від оксидів сірки в «мокрих» скруберах.....	69
5.3. Гібридна система очищення газів від оксидів сірки в «мокрих» скруберах.....	71

5.4. Система очищення газів від оксидів сірки в «сухому» скрубери.....	73
5.5. Експлуатація дизеля на мало-сірчистому паливі.....	75
5.6. Висновки за розділом 5.....	77
ВИСНОВКИ	78
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	82

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

ВГ	– випускні гази
ГТН	– газотурбонагнітач
ДВЗ	– двигун внутрішнього згоряння
ДТЗ	– двигуни транспортних засобів
ЄС	– Європейський Союз
ККД	– коефіцієнт корисної дії
МАРПОЛ	– Міжнародна конвенція по запобіганню забрудненню з суден
ОВГ	– очищення випускних газів
ПНВТ	– паливний насос високого тиску
СЕУ	– суднова енергетична установка
СПГ	– скраплений природний газ
ЦПГ	– циліндропоршнева група
ЕСА	– Emission Control Areas
CARB	– Каліфорнійська Рада з Повітряних Ресурсів
CCR	– California Code of Regulation
DNV GL	Det Norske Veritas & Germanischer Lloyd
EEDI	– Energy Efficiency Design Index
LNG	– Liquefied Natural Gas / скраплений природний газ
LPG	– Liquefied Petroleum Gas / скраплений нафтовий газ
MEPC	– Marine Environment Protection Committee
NECA	– NO _x Emission Control Area
SECA	– SO _x Emission Control Areas

ВСТУП

В даний час вплив суден морського та внутрішнього водного транспорту на навколишнє середовище – одна з найбільш нагальних і актуальних проблем сучасного суспільства. Наслідки цього впливу позначаються не тільки на нинішньому поколінні, а й майбутньому, якщо не брати серйозні заходи по контролю, зниження та усунення наслідків впливу.

Результати багатьох досліджень показують, що в безпосередній близькості до суднових фарватерах, місцях скупчення суден, портів зміст в повітряному середовищі оксиду вуглецю, оксидів азоту, оксидів сірки перевищує гранично допустимі максимальні-разові концентрації для атмосферного повітря. Це свідчить про суттєве забруднення повітря суднами морського та внутрішнього водного транспорту. Експлуатація цих суден супроводжується інтенсивним зростанням їх впливу на довкілля.

Також необхідно визначити, що морський транспорт є одним з найважливіших компонентів суспільного та економічного розвитку, який поглинає значну кількість ресурсів і робить серйозний вплив на довкілля. Послуги морського транспорту грають важливу роль в економіці і в житті людей. При всій важливості транспортного комплексу необхідно враховувати його вельми значній мірі негативно впливає на природні екологічні системи. Щорічне зростання кількості суден морського та внутрішнього водного транспорту тягне за собою збільшення обсягу палива, що спалюється ними, а, отже, до великих викидів токсичних компонентів з випускними газами (ВГ).

Величезну роль у забрудненні атмосферного повітря грають дизелі і котли морських суден, які до сих пір залишаються найбільш ефективними тепловими двигунами та встановлюються майже на всіх без винятку суднах. Але, при згорянні палива нафтового походження ці теплові двигуни виділяють ВГ, викид яких в атмосферу є наслідком і природним умовою

функціонування суднових енергетичних установок (СЕУ). За своєю природою ВГ дизелів є дуже складну суміш парів, газів, крапель рідин і частинок. ВГ двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) містять близько 270 речовин, частина з яких є нетоксичними. Токсичні компоненти, які утворюються в суднових дизелях і котлах, – це моно оксид вуглецю, вуглеводні, альдегіди, сажа, оксиди азоту та сірки. Суднові дизелі та котли, які знаходяться в експлуатації, вимагають постійного пошуку ефективних способів зниження токсичності ВГ, в першу чергу, викидів оксидів азоту NO_x та сірки SO_x .

Питанням екологічної безпеки мореплавання у комплексі проблем сучасних суден морського та внутрішнього водного транспорту приділяється підвищена увага. Найбільших збитків довкіллю завдається СЕУ, у результаті якої утворюються такі шкідливі компоненти, як незгорілі вуглеводні, тверді частинки, оксиди азоту, парникові гази і, окремих випадках, сполуки сірки. У той час як на утворення ряду небезпечних компонентів, що містяться у ВГ, можна впливати за рахунок спеціальної організації процесів в циліндрі двигуна, емісія сірковмісних компонентів цілком і повністю визначається вмістом сірки у паливі. Як наслідок, вирішення проблем скорочення викидів SO_x потребує специфічних рішень.

З 2020 р. набули чинності нові правила щодо обмеження до 0,5 % вмісту сірки у паливі, що використовується на суднах. Нові вимоги діють у всіх міжнародних водах. Принциповим питанням є те, що досягнення нормативних показників викидів SO_x може бути отримано в результаті використання спеціальних видів низькосірчистого палива або шляхом очищення у спеціальних периферійних пристроях випускних газів двигунів на традиційних високосірчистих сортах палива.

Даній проблемі присвячено увагу міжнародних організацій: ІМО (International Maritime Organization – Міжнародна морська організація), ІСВ (Міжнародна палата судноплавства – International Chamber of Shipping), ІСО

(Міжнародна організація зі стандартизації – International Standard Organization), класифікаційного товариства Det Norske Veritas та Germanischer Lloyd (DNV GL). При цьому враховуються останні нормативні зміни та заходи щодо забезпечення дотримання вимог до викидів сполук сірки, а також технологічні та ринкові розробки для альтернативних рішень щодо проблеми скорочення викидів SO_x .

У зв'язку із зростаючими темпами забруднення морського середовища та атмосфери шкідливими викидами проблема екології стає актуальною для СЕУ всіх без винятку суден морського та внутрішнього водного транспорту. Підвищення екологічної стійкості та енергетичної ефективності суден морського та внутрішнього водного транспорту є актуальним завданням, розв'язання якого можливо шляхом використання скрубберного очищення випускних газів судових дизелів.

Саме ці питання встановлені, розглянуті та вирішені у дипломній роботі.

1. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ З ЗАВДАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ МІЖНАРОДНИМ ЕКОЛОГІЧНИМ НОРМАМ ЩОДО ВИКИДІВ ОКСИДІВ СІРКИ

1.1. Нормативні вимоги, спрямовані на скорочення викидів в атмосферу забруднюючих речовин

Глобальні проблеми, пов'язані із забрудненням повітряного басейну, не залишили без уваги і судноплавство. Міжнародна морська організація ІМО, почавши в 1980 році дослідження з вивчення проблеми забруднення повітряного середовища в акваторії Балтійського моря, на підставі отриманих результатів в 1986 році прийняла рішення про поширення свого мандата на охорону повітряного басейну і в 2000 році представила громадськості розгорнутий текст Додатки VI до Міжнародної конвенції MARPOL 73/78 «Запобігання забруднення повітряного басейну з суден» (далі Додаток VI). Рада міністрів Європейського економічного співтовариства (ЄЕС) на хвилі отриманих шокуючих результатів також взяв дві директиви 84/360/ЄС та 88/609/ЄС, спрямовані на обмеження шкідливих викидів з відпрацьованими газами (ВГ) промислових підприємств і суден, у тому числі працюючих на внутрішніх водних шляхах. Згідно із зазначеними директивам в країнах ЄЕС стала обов'язковою екологічна експертиза морських і річкових портів, в яких обробляються судна водотоннажністю понад 1350 тонн, а також суднових фарватерів, за якими курсують судна з вказаним водотоннажністю [1-3].

Додатком VI визначені особливі райони контролю над викидами в атмосферу (Emission Control Areas – ECA) і встановлені набагато строгіші обмеження до викидів окислів азоту NO_x у випускних газах, а також до змісту сірки в морських сортах палива і до викидів SO_x в цих районах, за виключенням тих випадків, коли судно обладнане схваленою системою

очищення випускних газів для зменшення загальних викидів SO_x і NO_x до нормативних величин.

Додаток VI набув чинності 19 травня 2005 року і поширює свою дію на усі судна валовою місткістю 400 тонн і більш, стаціонарні і плавучі бурові установки і інші платформи, які знаходяться в міжнародних і територіальних водах.

Основні положення Додатка VI полягають в наступному. При випуску суден в міжнародні рейси належить керуватися такими положеннями:

1) судна, що виконують міжнародні рейси, повинні мати документ про відповідність вимогам Додатка VI. Ця вимога застосована до "нових" суден (тобто, побудованим 19 травня 2005 р. і пізніше). Існуючі судна повинні мати документ про відповідність не пізніше першого планового огляду судна в сухому доку після 19 травня 2005 р., і у будь-якому випадку не пізніше за 19 травня 2008 року;

2) усі суднові дизельні установки потужністю більше 130 кВт, встановлені на судах, побудованих 1 січня 2000 року і пізніше, а також дизельні установки потужністю понад 130 кВт, що пройшли переобладнання істотного характеру 1 січня 2000 р. і пізніше, повинні мати документ про відповідність дизельної установки вимогам правила 13 Додатків VI, а також технічний формуляр дизельної установки (технічне досьє двигуна). Ця вимога не поширюється на аварійні дизельні установки;

3) суднові інсінератори потужністю до 1500 кВт, що встановлені на судах 1 січня 2000 р. і пізніше, повинні мати копію Свідоцтва про типове схвалення відповідно до Резолюції Комітету ІМО по запобіганню забрудненню моря з суден МБРС.76(40);

4) бункерування суден, здійснюване 19 травня 2005 р. і після цієї дати, повинне передбачати отримання на судно документу, що свідчить про те, що зміст сірки в паливі по масі не перевищує 4,5%, а також наявність зразка палива у необхідній кількості (з 2012 р. зміст сірки у паливі повинен не

перевищувати 3,5 %). Вказані документи повинні зберігатися на суднах не менше 3 років, а зразки палива - не менше одного року;

5) якщо судно є танкером, а в порту призначення регулюється викид в атмосферу летких органічних сполук, це судно має бути обладнане системою уловлювання пари вуглеводнів, що відповідає вимогам до безпеки, викладеним в циркулярі Комітету ІМО по безпеці мореплавання MSC/Circ.585;

б) використання речовин, що руйнують озоновий шар, в нових системах і установках, не допускається (правило 12 Додатків VI). Викид таких речовин в атмосферу в ході ремонту, обслуговування або демонтажу устаткування або систем, не допускається. Екіпаж має бути проінструктований про необхідність виконання вказаної вимоги в ході експлуатації судна [4-6].

При випуску суден в міжнародні рейси, а також при оглядах суден, з метою запобігання їх затриманням в портах держав, що є Сторонами Протоколу 1997 року до міжнародної конвенції МАРПОЛ-73/78, належить керуватися пунктами 1-6.

І хоча Додаток VI в запропонованій у 1990 році редакції набула чинності в травні 2005 року, вже в 2008 році на 57-й сесії Комітету по захисту морського середовища (MEPC) була винесена на обговорення нова редакція, значно посилюють вимоги до викидів оксидів азоту NO_x і оксидів сірки SO_x , що наочно продемонстровано на рис. 1.1 і 1.2 відповідно.

Судна, що збудовані з 2011 року повинні відповідати нормам викидів оксидів азоту 2-го рівня (Tier II) в межах від 7,7 до 14,4 г/(кВт·год) залежно від номінальних обертів двигуна.

Судна, що збудовані з 2016 році повинні відповідати нормам на викиди оксидів азоту в зонах контролю емісії оксидів азоту (NO_x Emission Control Area - NECA) до 3-го рівня (Tier III), які на 80% більш жорсткого по відношенню до діючих в даний час нормам [7-9].

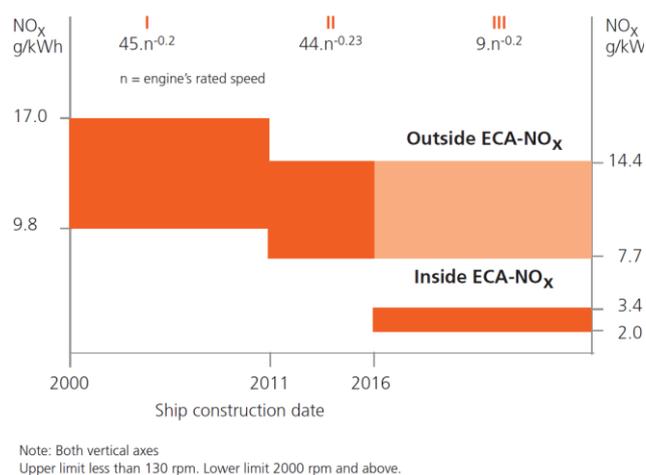


Рис. 1.1. Графік зниження викидів NO_x згідно вимог МАРПОЛ

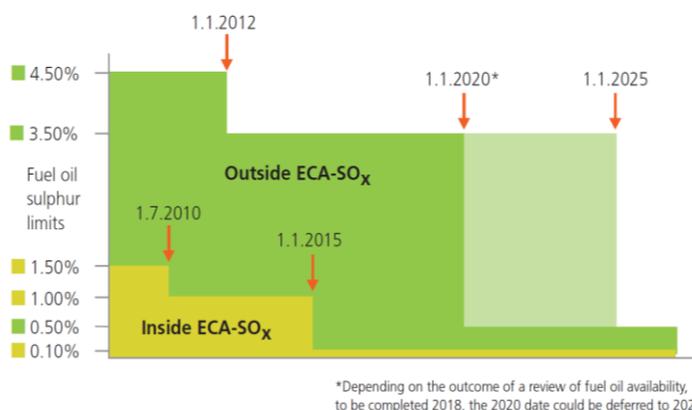


Рис.1.2. Графік зниження вмісту сірки в паливі з плином часу

Що стосується викидів оксидів сірки з ВГ судових дизелів, то їх рівень у рамках діючих вимог Додатка VI лімітується обмеженням вмісту сірки в будь-якому використовуваному на судні паливі. Зараз вимога така, що вміст сірки в паливі в довільному районі плавання не повинно перевищувати 0,5 % за масою. В особливих районах – зонах контролю емісії оксидів сірки (SO_x Emission Control Area – SECA) вміст сірки в паливі повинно бути не більше 0,1% за масою або на судні повинна застосовуватися система очищення ВГ з гарантованим рівнем очищення від викидів оксидів сірки до необхідного рівня [10-12].

Судна, що збудовані з 2011 року повинні відповідати нормам викидів оксидів азоту 2-го рівня (Tier II) в межах від 7,7 до 14,4 г/(кВт·год) залежно від номінальних обертів двигуна.

Судна, що збудовані з 2016 році повинні відповідати нормам на викиди оксидів азоту в зонах контролю емісії оксидів азоту (NO_x Emission Control Area - NECA) до 3-го рівня (Tier III), які на 80% більш жорсткого по відношенню до діючих в даний час нормам.

Що стосується викидів оксидів сірки з ВГ судових дизелів, то їх рівень у рамках діючих вимог Додатка VI лімітується обмеженням вмісту сірки в будь-якому використовуваному на судні паливі. Зараз вимога така, що вміст сірки в паливі в довільному районі плавання не повинно перевищувати 0,5 % за масою. В особливих районах – зонах контролю емісії оксидів сірки (SO_x Emission Control Area – SECA) вміст сірки в паливі повинно бути не більше 0,1% за масою або на судні повинна застосовуватися система очищення ВГ з гарантованим рівнем очищення від викидів оксидів сірки до необхідного рівня [13].

З травня 2006 року Додатком VI були визначені особливі райони, в яких потрібне забезпечення спеціального рівня викидів сірки у випускних газах судових дизелів. Кількість особливих районів що до контролю викидів оксидів сірки SECA постійно збільшується. Один з прикладів цих районів наведено на рис. 1.3.

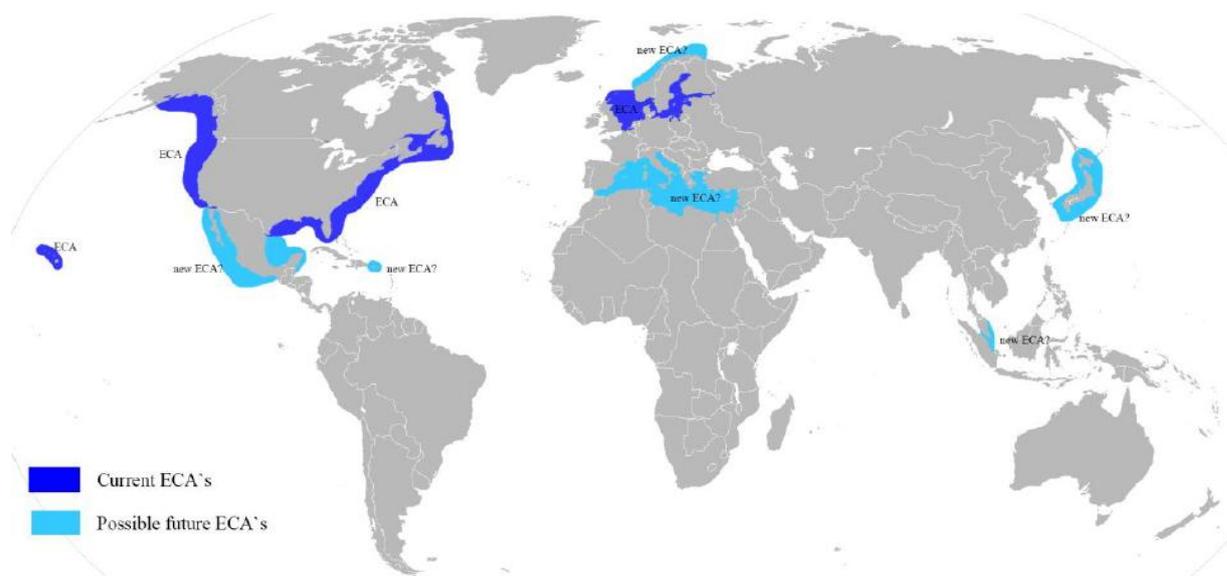


Рис. 1.3. Зони особливого контролю ECA для міжнародного судноплавства

Зона SECA в Північному морі і протоці Ла-Манш наведена на рис. 1.4.

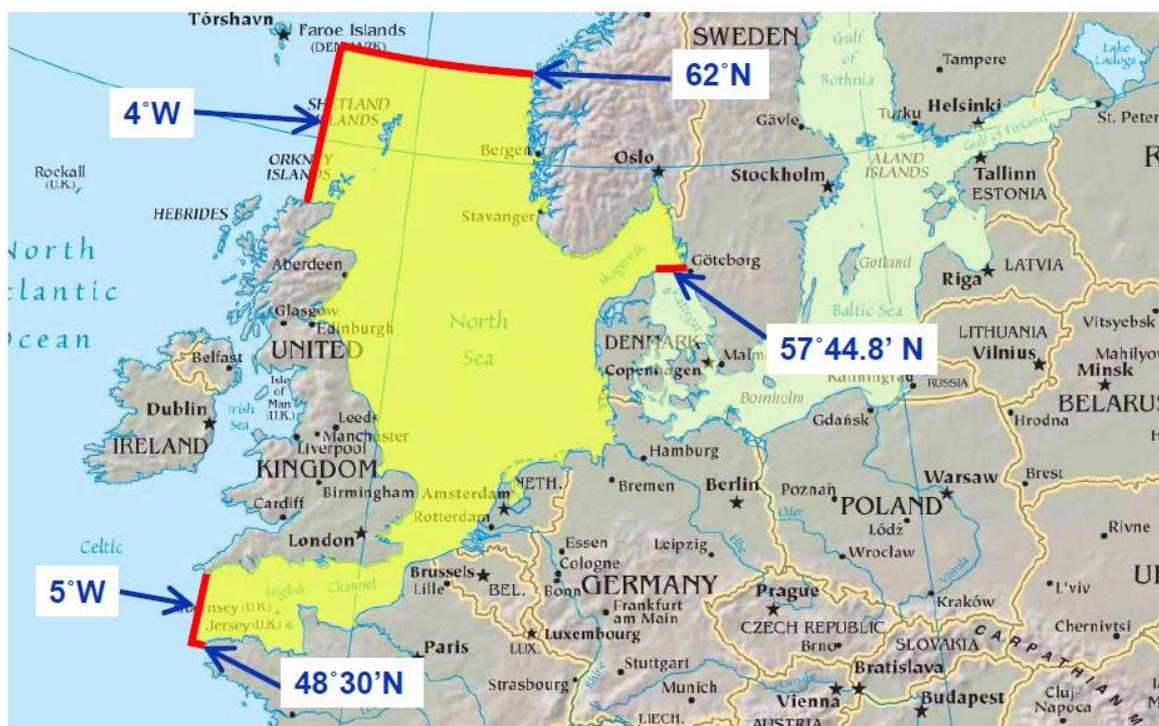


Рис. 1.4. Європейські особливі райони по викидах SO_x
(Балтійське та Північне моря)

Директивою ЄС щодо обмеження вмісту сірки в морських сортах палива встановлені наступні вимоги:

- максимальне зміст сірки в морських сортах палива, використовуваних пасажирськими суднами на регулярних рейсах в порти або з портів ЄС, коли вони знаходяться в територіальних водах ЄС і не в зоні SECA, не повинно перевищувати 0,1 %;
- заборонений продаж MGO із змістом сірки більше 0,1% на території країн-членів ЄС і їх територіальних водах;
- заборонений продаж на території ЄС морських сортів палива з граничним значенням змісті сірки 3,5% і більш;
- зміст сірки в усіх морських сортах палива, використовуваних суднами у причалів портів ЄС, на якірних стоянках і суднами внутрішнього плавання, не повинно перевищувати 0,1% і відноситься до будь-якого палива, яке

використовується в головних, допоміжних двигунах і котлах, з наданням для екіпажа достатнього часу для найбільш швидкого завершення необхідної процедури перемикання палива після постановки до причалу або на якірну стоянку як можна пізніше, перед відходом судна від причалу або якірної стоянки;

- судна біля причалу означають судна, які надійно пришвартовані або стоять на якорі в порту ЄС, протягом часу, коли вони вантажаться, розвантажуються, включаючи той час, коли вони стоять біля причалу без вантажних операцій.

Вимога ЄС до використання суднових сортів палива з змістом сірки 0,1 % по масі не застосовується до суден:

- якщо на судні застосовуються схвалені технології по боротьбі з викидами забруднюючих речовин в атмосферу;

- якщо на судні використовується, замість суднових генераторів, живлення електроенергією від берегових джерел електроенергії;

- коли, згідно опублікованим розкладом, судно знаходиться біля причалу або на якірних стоянках менше двох годин.

Палата судноплавства Туреччини встановила наступні вимоги до палив, що використовують на судах:

- з 1 січня 2012 року на судах не повинні використовуватися морські сорти палива із змістом сірки більше 0,1 %, при їх стоянці або знаходженні у внутрішніх водах, що відносяться до морських територій Туреччини;

- при проходженні суден турецьких проток, без заходу в турецькі порти і якщо судна не заходять в якій-небудь турецькій порт або відходять з нього, то на них не поширюється дія вимоги відносно використання морських сортів палива із змістом сірки не більше 0,1%.

США і Канада внесли до ІМО пропозицію по встановленню власних районів ЕСА. У липні 2009 року, Франція приєдналася до цієї пропозиції, від

імені її острівних територій Saint - Pierre і Miquelon, які формують архіпелаг поблизу берегів Ньюфаундленду. 26 березня 2010 року, ІМО внесла зміни до Додатка VI, позначивши особливі області Північної Америки, як області Північноамериканської ЕСА - НАЕСА. Нормативні вимоги НАЕСА вступили в юридичну силу з 01 серпня 2012 року. Область НАЕСА включає морські води, суміжні з Тихоокеанським узбережжям, узбережжями Атлантики, Мексиканської затоки і вісім головних Гавайських островів. Дія НАЕСА поширюється на 200 морських миль від берегової лінії Сполучених Штатів, Канади і французьких територій, за винятком тих морських територій, які відносяться до юрисдикції інших держав (см. темно зелений колір на рис.4.3).

Законодавцями Штату Каліфорнія (США), в цілях зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу прийнятий відповідний Кодекс – «California Code of Regulation – CCR 13» що діє з 01 січня 2007 року. Цей Кодекс спрямований на обмеження змісту викидів SO_x і твердих часток в атмосферу з газами, що відпрацювали, під час роботи допоміжних дизельних двигунів, допоміжних котлів і дизель-електричних установок, що працюють на морських судах в межах 24 морських миль від берегової лінії територіальних вод Каліфорнії.

Судна, що здійснюють морські переходи в межах 24-х мильної зони територіальних вод Каліфорнії і заходи в порти штату Каліфорнія, зобов'язані використовувати тільки дистильовані палива: DMX, DMA і DMZ (Marine Gas Oil - MGO) або DMB (Marine Diesel Oil - MDO).

1.2. Контроль емісії оксидів сірки з випускними газами суднових дизелів

Вимоги щодо обмеження викидів оксидів сірки SO_x пов'язані з районами контролю викидів SO_x і полягають у наступному:

– вміст сполук сірки у будь-якому рідкому паливі, що використовується на судні, не повинен перевищувати 3,5 % за масою, а для районів контролю за викидами SO_x – SECA, ECA не повинен перевищувати 0,1 % за масою;

– викид з'єднань сірки з судна (головні та допоміжні двигуни) не повинен перевищувати 6 г/(кВт·год), якщо це не забезпечується технічними характеристиками СЕУ, то на судні має застосовуватись система очищення відпрацьованих газів від сіроз'єднань;

Відповідно до Додатку VI «Правил запобігання забруднення атмосфери з суден» Міжнародної конвенції щодо запобігання забруднення з суден від 1973 р., зміненої Протоколом від 1978 р. до неї (Конвенція МАРПОЛ-73/78) та Технічного Кодексу до вмісту сполук сірки в судновому паливі у всьому світі (поза зонами SECA) – 0,5 % за масою та 0,1 % за масою в районах SECA.

15 травня 2015 року Комітет із Захисту Морського Середовища Міжнародної Морської Організації Резолюцією МЕРС.259(68) оновив Керівництво 2009 року щодо систем очищення випускних газів (ОВГ), прийнятого Революцією МЕРС.184(59). Система ОВГ укомплектована приладами постійного моніторингу. Як критерій при проведенні моніторингу прийнято відношення SO_2 (млн⁻¹)/ CO_2 (% об'ємні), яке приймається залежно від концентрації сіркоз'єднань у судновому паливі згідно з правилами 14.1, 14.4 Додатку VI до Конвенції МАРПОЛ – 73/78 (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1. Зміна критерію токсичності ВГ СЕУ від концентрації сірчистих сполук у судновому паливі

№	Концентрація сірчистих сполук у судновому паливі, % за масою	Співвідношення SO ₂ (млн ⁻¹)/CO ₂ (% об'ємні) у ВГ СЕУ
1	4,5	195
2	3,5	151,7
3	1,5	65
4	1,0	43,3
5	0,5	21,7
6	0,1	4,3

У Кіотському протоколі 1997 р. щодо проблеми «парникового» ефекту на Планеті судноплавство та авіація не були включені до остаточної редакції Угоди.

Міжнародна Морська Організація, Міжнародна організація цивільної авіації доклали достатньо зусиль, щоб ця помилка надалі не повторилася. Обидві ці міжнародні організації проводять лінію на зміну екологічного законодавства щодо посилення вимог до емітантів техногенних систем, включаючи судноплавство та авіацію, за основними компонентами «парникових» газів. Необхідно зазначити, що деякі судноплавні та авіаційні Компанії цілком задоволені тим, що Угода «минула їхньою стороною», оскільки вони побоюються додаткових матеріальних та фінансових витрат на впровадження заходів з метою забезпечення екологічної безпеки, пов'язаної з ризиком інтенсифікації «парникового» ефекту [14].

Концепція COP 21 мала стати відправною точкою для її вироблення. У попередньому варіанті Паризької угоди COP 21, над якою працювали 200 країн-учасниць, спочатку було згадано судноплавство та авіація, але згодом

цей розділ Угоди було скасовано. Необхідно відзначити, що цей розділ не містив конкретних приписів, лише заклик – звернути увагу на викиди з морських та авіаційних суден, але навіть у такому вигляді міг вплинути на обидві галузі.

Справді, це справедлива думка фахівця, що відповідає концепції екологічної безпеки в цілому, оскільки судноплавство та авіація займають місця в першій десятці за вкладом у «парниковий» ефект та інтегральне забруднення Планети як результат функціонування техногенних систем.

З 1990 по 2010 р. маса емісії шкідливих токсичних компонентів і з'єднань авіації зросла на 80 %, а судноплавстві – на 40 %.

Проте бурхливий розвиток цих галузей техногенної системи може збільшити цей внесок у «парниковий» ефект до 40 % вже до 2050 року.

Тому очевидна неспроможність ігнорування (неврахування) авіації та судноплавства у зміні клімату Землі.

Крім матеріальних відходів авіація та судноплавство виділяють значний рівень енергетичних відходів – теплові, шум, вібрація, електромагнітні поля, ультразвукове, інфразвукове випромінювання, радіочастоти всіх рівнів та спектрів, супутникові навігаційні системи, радары, радіоактивне забруднення.

Відповідно до проведеного аналізу морських вантажоперевезень та розрахунків сучасний морський транспорт витрачає близько 1 млрд. тонн на рік вуглеводневого суднового палива, що відповідає емісії близько 3,2 млрд. тонн на рік діоксиду вуглецю [15].

Слід зазначити, що у 2016 році сумарний викид діоксиду вуглецю – результат дії техногенних систем – становив 40 млрд. тонн. Водночас лише від судноплавства, включаючи порти та портові споруди, викид діоксиду вуглецю становив близько 4,5 млрд. тонн на рік.

Таким чином, внесок у цілому галузі техногенної системи судноплавства – до загального «парникового» ефекту (за діоксидом вуглецю) становив

11,3 %. Можна припустити, що в авіації приблизно така сама величина за вкладом у «парниковий» ефект. У результаті частку судноплавства й авіації у загальний «парниковий» ефект припадає понад 22 %, і з цим слід зважати під час прогнозування розвитку інтенсивності «парникового» ефекту на планеті.

У зв'язку з вищевикладеним, а саме з відсутністю в остаточному Кліматичному Протоколі СОР-21 судноплавства та авіації, можна пояснити значно «м'які» вимоги до ВГ СЕУ порівняно з вимогами до рівня токсичності ВГ ДТЗ.

Виключити емісію компонентів парникових газів – діоксиду вуглецю, вуглеводнів, мінерального пилу при використанні вуглеводневої сировини неможливо. Для зниження / виключення емісії компонентів парникових газів необхідний плавний, поетапний переведення техногенних систем на неуглеводневу сировину.

Невирішені проблеми захисту повітряного басейну:

- 1) перманентне забруднення повітряного басейну над територіями країн ЄС та в усьому світі;
- 2) інтенсифікація планетарного розвитку «парникового» ефекту;
- 3) відмінність у законодавчих актах нормування якості та рівня токсичності випускних газів СЕУ.

1.3. Вплив вмісту сірки в паливі на експлуатаційні показники роботи суднового дизеля

Екологічні вимоги, пропоновані до СЕУ в цілому і до суднових дизелів зокрема, змушують проводити їх експлуатацію на паливах з пониженим вмістом сірки. Згідно з вимогами Міжнародної конвенції MARPOL, в деяких особливих районах вміст сірки у використовуваному паливі не повинно

перевищувати 0,1%. При цьому слід враховувати, що нафтопереробна промисловість в даний час ще не готова до виробництва палив з подібним змістом сірки, а на ринок надходить палива, фракційний склад яких містить до 3,5 % сірки [16].

Застосування палива подібного фракційного складу погіршує якість процесу згоряння, що, в тому числі, призводить до підвищеного зносу деталей ЦПГ, циліндрових кришок, випускних клапанів, а також прогорання лопаток ГТН і елементів газовипускного тракту. Аналіз даних з експлуатації суднових ДВЗ, показує, що знос їх ЦПГ при роботі на залишкових сортах палива приблизно в 2,5 рази більше в порівнянні з використанням дистилатів дизельних палив. У тій же пропорції скорочується період між мотористками дизелів. Насамперед, високий знос і надмірне утворення нагарів обумовлюється значним погіршенням групового та хімічного складу подібного палива.

Значний вплив на процеси зношування елементів паливної системи і деталей ЦПГ дизеля надають сірчисті сполуки, що містяться в паливі. У світовій практиці видобуток сірчистих нафтей зростає. Вміст сірки в них доходить до 4%. Збільшенню вмісту сірки супроводжує погіршення групового та хімічного складу нафти.

Велика частина сірчистих сполук нафти має високу молекулярну вагу і температуру кипіння, тому при прямій перегонці нафти від 70 до 90% всіх сірчистих сполук конденсується в залишках (мазут, гудрон). Так, наприклад, в прямогонних продуктах нафти, що містить в початковому стані 0,3...0,35% сірки, міститься: в бензині – 0,045...0,048%, гасі – 0,058...0,06%, у мазуті – 0,58...0,65% сірки (тобто вдвічі більше ніж у вихідній нафти).

Природно, що з ростом процентного вмісту сірки в «базовій» нафти, підвищується вміст сірки в одержуваному в результаті її перегонці паливі. Залишкове паливо, що отримується в результаті вторинної переробки нафти (наприклад, крекінг процесу), містить ще більшу кількість сірки, ніж

прямогонні мазути. Це викликано технічним розпадом сірчистих сполук, які у прямогонних фракціях нафти, причому значна частина сірки концентрується в залишкових продуктах крекінгу.

Велика частина сірчистих сполук знаходиться в високомолекулярної (ароматичної) частини нафти, і приблизно 70% їх групового складу досі мало вивчена у зв'язку з недосконалістю методів аналізу.

Елементарна сірка може міститися в розчиненому стані (до 3%) у нафтах і дистильованих продуктах перегонки. Вона дуже агресивна до кольорових металів, особливо до міді і її сплавів (чорні метали при температурі 100...120°C не піддавалося руйнувань). Перебуваючи в паливі, вона запобігає рідко фазному окисленню вуглеводнів, тобто виконує роль анти окислювальної присадки. Ще до попадання в циліндр дизеля агресивні сірчисті сполуки, що знаходяться в паливі, надають кородуючий вплив на цистерни, трубопроводи, і деталі паливної апаратури двигуна.

Вплив продуктів згорання високов'язких палив сірчистих палив на деталі дизеля і насамперед деталі ЦПГ викликає підвищений знос циліндрових втулок і поршневих кілець і підсилює відкладення нагару і лаку в циліндрах і випускній системі дизеля. Все це сильно ускладнює обслуговування дизелів, тому що потрібні більш часті висновки судів з експлуатації для моточисток дизелів і заміни зношених деталей.

У таблиці 1.2 наведені відомості для деяких типів дизелів по зносам циліндрових втулок при роботі на дизельному і важкому паливі зі вмістом сірки до 3,5 % [17].

В останні роки у всіх сучасних суднових ДВЗ середньо-і високов'язкі палива використовуються не лише на сталих, а і на змінних режимах роботи. У зв'язку з цим змінилися і вимоги до якості палива безпосередньо перед його подачею у циліндр дизеля, яка, в свою чергу, знаходиться в прямій залежності від якості його підготовки до спалювання.

Таблиця 1.2. Знос циліндрових втулок

Тип дизеля	Знос на 1000 годин роботи, мм	
	на дизельному паливі	на важкому паливі
MAN-B&W	0,08...0,16	0,13...0,40
Wartsila-Sulzer	0,05...0,20	0,15...0,47
MaK	0,05...0,08	0,15...0,53
Mitsubishi	0,08...0,11	0,13...0,45

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

- застосування спеціальних присадок (антиокисних, для запобігання окислювальних процесів і скорочення утворення опадів при зберіганні палива; диспергируючих, для запобігання утворення асфальто-смолистих агломератів; деемульгуючих, для протидії утворенню стійких водопаливних емульсій);

- застосування багатоступінчастої фільтрації з додатковою гідродинамічної обробкою;

- застосування методів магніто-і електродинамічної обробки;

- оснащення дизелів пристроями, що забезпечують застосування більш в'язкого палива.

Для забезпечення якісної підготовки палива і подальшого ефективного паливо використання, новоспоруджені судна комплектуються спеціальними системами підготовки та подачі палива, а паливні системи дизелів діючих суден переобладнуються з урахуванням можливості застосування середньо-і високов'язкого палива. Традиційними методами очищення палива є відстоювання, сепарації і фільтрація, основним завданням яких є видалення з нього води, механічних домішок і золи. Це завдання сформулювалася в результаті аналізу впливу домішок, що у паливі, на показники роботи дизеля

і тих методів і засобів підготовки палива, якими володіє більшість СЕУ.

Аналіз працездатності основних вузлів і деталей дизелів показує, що від якості палива залежить робота, головним чином, деталей ЦПГ, паливної апаратури та випускних клапанів. У таблиці 1.3 показано розподіл відмов по основних вузлах дизелів фірм MAN-B&W і Wartsila-Sulzer.

Таблиця 1.3. Розподіл відмов по основних вузлах дизелів

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

Як впливає з таблиці 1.3, найбільшу кількість відмов припадає на деталі ЦПГ, паливну апаратуру і випускні клапани. Неважко припустити, що це насамперед пов'язано з якістю підготовки палива та забезпеченням його згоряння. На стан цих деталей основний вплив роблять містяться в паливі механічні домішки (карбени, карбоїди і частинки неорганічного походження), меркаптанові сполуки сірки, вода (особливо морська) і різні солі, які при згорянні переходять в золу. При цьому слід враховувати той факт, що існуючі системи підготовки палива не в змозі здійснити повну і комплексну очистку палива від всіх перерахованих домішок.

Крім цього, наявність сірки у паливі негативно впливає на екологічні показники роботи ДВЗ [18].

1.4. Вибір стратегії відповідності технічним регламентам

Враховуючи нові екологічні вимоги до емісії оксидів сірки, кожен судновласник вибирає свою стратегію відповідності СЕУ нормативним положенням щодо викидів. Універсальних рішень проблеми не існує, і найкращий варіант значною мірою залежить від типу судна, його розміру, експлуатаційних характеристик і того, які види палива доступні в короткі та тривалі терміни. Для варіантів, що вимагають модифікації, важливо враховувати складність установки, інтенсивність та ефективність експлуатації, а також термін експлуатації судна, що залишився. Ускладнюючим фактором при розгляді варіантів відповідності є регіональні та місцеві правила, які в деяких випадках передбачають суворіші вимоги, а в інших – заборону деяких варіантів відповідності. Наведемо аналіз доступних варіантів досягнення відповідності новим вимогам щодо контролю та обмеження викидів сірковмісних продуктів [19].

1.4.1. Використання морського газойлю чи дистилатів

Перехід на дистилатне або MGO (Marine Gas Oil) паливо означатиме значне збільшення витрат за статтею паливно-мастильних матеріалів, а також може вимагати модернізацію енергетичної установки в частині паливопідготовки через значно нижчу в'язкість палива. Паливні танки, які раніше використовуються для HSFO, повинні бути ретельно очищені до бункерування MGO, щоб уникнути проблем забруднення і, як наслідок, порушення вимог. Основна проблема використання MGO або дистилатів пов'язана з їхньою доступністю та вартістю на ринку палива. Багато

аналітиків вважають, що різниця цін між HSFO та дистиллятами залишатиметься дуже високою на продовженні тривалого періоду (до 5...7 років), що значно збільшить вартість палива та зробить альтернативні варіанти фінансово привабливими. Недоліки та переваги використання дистилятів наведено у таблиці 1.4 [20].

Таблиця 1.4. Очікувані результати використання морського газойлю або дистилятів

Дистиллятні палива	
Переваги	Недоліки
Використовується для більшості конфігурацій двигунів	Вища вартість палива. Може створити робочі проблеми через низьку в'язкість палива

1.4.2. Нові сумісні низькосірчисті палива

Очікується, що паливні суміші з низьким вмістом сірки будуть доступні на ринку у вигляді різних продуктів. Однак установки для десульфурації дуже дорогі, а їх монтаж, впровадження та налагодження можуть зайняти кілька років до того, як вони почнуть функціонувати з повною продуктивністю. Таким чином, більшість нафтопереробних заводів вважають за краще переробляти високосортні види палива, а не інвестувати в системи десульфурації. Можна вважати, що для задоволення попиту виготовлять нові паливні суміші, які відповідатимуть необхідній межі вмісту сірки менше 0,5 %, при зниженні вартості на 10...15% порівняно з прямими видами палива. Перші зразки палива були представлені наприкінці 2018 р. Цілком ймовірно, що при використанні нових паливних сумішей виникнуть

проблеми сумісності і це зробить технологічну підготовку палива дуже важливим процесом для безпечної експлуатації агрегатів енергетичної установки. Інші проблеми, пов'язані з видом палива, що розглядається, включають довготривалу стабільність, вплив на каталізатори і відносно низьку температуру спалаху. Велике значення набуває контроль якості при бункеруванні, необхідний для того, щоб забезпечити отримання палива відповідно до специфікації.

Найбільш нагальні проблеми, пов'язані з якістю сумішей з граничним вмістом сірки 0,5 %, пов'язані зі стабільністю та сумісністю різних продуктів, і це, ймовірно, буде в центрі уваги. Слід розробити нові методи випробувань для більш точної оцінки стабільності та сумісності палива. Особливості та результати використання сумісних низькосірчистих палив наведено у таблиці 1.5 [18].

Таблиця 1.5. Переваги та недоліки нових низькосірчистих палив

Нові низькосірчисті палива	
Переваги	Недоліки
Використовується для більшості конфігурацій двигунів	Невідома вартість палива. Невизначена доступність. Може створювати операційні проблеми через відмінність фізико-хімічних характеристик чи несумісності

1.4.3. Використання важких палив HSFO зі скруббером SO_x

Застосування HSFO, як і раніше, можливе і після 2020 р. Однак, для відповідності нормам буде потрібно впровадження в конструкцію

газовипускних трактів енергетичної установки пристроїв з технологією очищення випускних газів, широко відомих як скрубери SO_x .

Використання системи скрубєрного очищення є одним з найпоширеніших способів зниження емісії SO_x в випускних газах суднових дизелів. З метою зниження викидів SO_x можливо використання системи очищення випускних газів дизеля за рахунок їх промивання прісною водою, в яку додається каустична сода $NaOH$. Схема системи надана на рис. 1.3.

До системи входить очищувач газів, якій встановлено на випускній трубі після утилізаційного котла та допоміжне обладнання, яке його обслуговує.

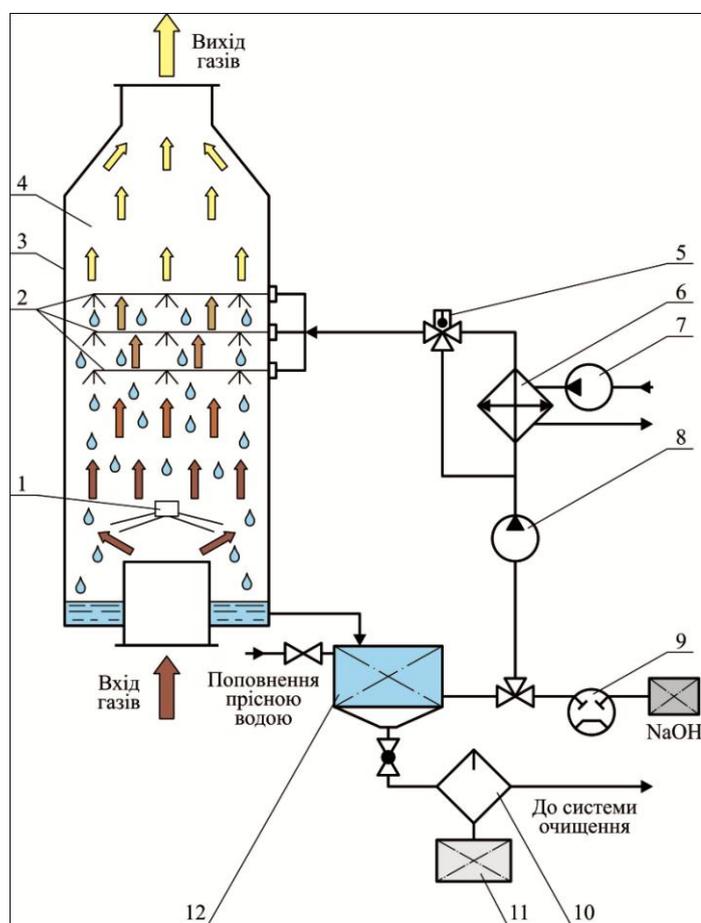


Рис. 1.3. Система очищення випускних газів дизеля:

- 1 – розподільувач рівномірного потоку газів; 2 – форсунки; 3 – корпус скрубєра; 4 – секція відділення крапель; 5 – терморегулюючий клапан; 6 – охолоджувач; 7 – насос забортної води; 8 – циркуляційний насос прісної води; 9 – насос-дозатор; 10 – сепаратор; 11 – шламова цистерна; 12 – циркуляційна цистерна

В середній частині очищувача розміщені три ярусу зрошення прісною водою, яка розпилюється всередині корпусу 3 за допомогою форсунок 2. Вода до очисника потрапляє з циркуляційної цистерни 12 за допомогою насосу 8 через охолоджувач 6. Температура води контролюється терморегулюючим клапаном 5. Каустична сода NaOH для нейтралізації SO_x потрапляє в систему за допомогою насосу-дозатора 9.

Гази з випускної труби потрапляють до нижньої частини очищувача газів, рівномірно розподіляються за допомогою розпилювача 1 та підіймаються по корпусу 3 в гору.

Краплі водяного розчину, що утворюються, падають під дією сили тяжіння назустріч забрудненим газам, змочують тверди домішки, таким чином відокремлюючи їх від газів. Через контакт NaOH з SO_x здійснюється хімічна реакція, як результат якої утворюються сульфати натрію Na₂SO₄. Очищені гази відділяються від крапель води в секції 4 та відводяться через газохід, що розміщено в верхній частині очищувача. Відпрацьована вода рухається самопливом назад в циркуляційну цистерну.

Поповнення цистерни прісної води необхідно в такій кількості, щоб компенсувати випарену та викинути вологу. Шлам, що збирається в конічній частині цистерни 12, періодично відділяється від води в сепараторі 10, збирається в шламовій цистерні та здається на утилізаційні берегові станції або судна-збиральники. Вода з сепаратора 10 спрямовується до суднової системи очищення. Нейтралізація та очищення газів виконуються під час роботи дизеля безперервно.

Установка скрубєрів не вимагає жодних змін у конструкції двигунів енергетичної установки або систем паливопідготовки та паливоподачі. Однак загалом така модернізація суднової енергетичної установки може виявитися досить складною та дорогою, оскільки існує значна інвестиційна вартість установки обладнання, яка сумуватиметься з експлуатаційними витратами, пов'язаними зі збільшенням споживання енергії, можливою потребою у

хімічних витратних матеріалах, а також із витратами на обробку осаду. Основні переваги та недоліки технології представлені в таблиці 1.6 [18].

Таблиця 1.6. Технологія скруберів SO_x

HSFO зі скрубером	
Переваги	Недоліки
Може використовувати стандартний HSFO.	Значні початкові інвестиції (2...10 млн. дол.).
Можливе переоснащення.	3-5% штрафу за паливо.
Зменшує вміст твердих частинок, а також SO _x .	Потрібне місце для встановлення скруберної вежі та опорних систем.
Привабливий бізнес-проект для певних типів суден.	Можливі додаткові витрати на хімікати.
	Необхідна інтеграція у систему управління.
	Потрібен моніторинг.

1.4.4. Зріджений природний як паливо

Цілком очевидним є той факт, що використання зрідженого природного газу (Liquified Natural Gas – LNG) як основне паливо отримає нові переваги у світлі нових обмежень ІМО щодо викидів сірки. LNG як суднове паливо є технічно обґрунтованим рішенням, а бункеровочна інфраструктура швидко розвивається по всьому світу. Традиційні нафтові палива залишатимуться основним видом палива для більшості існуючих суден у найближчому майбутньому, проте комерційні можливості LNG перспективні головним чином нових проектів судів, але у деяких випадках також цікаві й у проектів конверсії і модернізації. При цьому переклад енергетичної установки на LNG слід проводити лише на основі ретельного аналізу різнобічної інформації. І хоча докладний аналіз переваг використання газоподібного палива не є

предметом розгляду цієї публікації, необхідно акцентувати увагу на окремих аспектах цієї проблеми. Крім комерційних аспектів, основним аргументом на користь вибору LNG як заміну звичайних нафтових палив є суттєве скорочення загального забруднення повітря від викидів як SO_x , а й NO_x , і навіть викидів твердих частинок (Particulate Matter – PM). Повне усунення викидів SO_x і PM – потенційна можливість скорочення викидів NO_x до 85% – сприяє використанню LNG особливо у зонах контролю. Крім того, LNG може знизити викиди парникових газів на 10...20 % залежно від технології двигуна. Таким чином, використання LNG виявляє безліч переваг як для здоров'я людини, так і для збереження довкілля. Крім того, воно також позитивно впливає на коефіцієнт енергоефективності судна (Energy Efficiency Design Index – EEDI). Сьогодні двигуни, які здатні використовувати газоподібне паливо, охоплюють широкий діапазон потужності. Таким чином, газові двигуни, а також двопаливні чотиритактні та двотактні двигуни (газодизелі) підходять практично для всіх типів суден. Переваги та недоліки використання LNG наведені у таблиці 1.7 [19].

Таблиця 1.7. Переваги та недоліки використання LNG

LNG як паливо	
Переваги	Недоліки
<p>Має добрі екологічні показники.</p> <p>Може досягати вимог до рівня NO_x Tier III.</p> <p>Позитивний вплив на EEDI.</p>	<p>Високі інвестиційні витрати 3...30 млн дол.</p> <p>Дороге дооснащення/модернізація.</p> <p>Великі регіональні різницю за цінами LNG.</p> <p>Можливість появи у ВГ метану.</p> <p>Потрібно місце та умови для зберігання. Деякі типи двигунів потребують додаткових засобів для досягнення рівня NO_x Tier III.</p> <p>Вибухонебезпечний.</p>

1.4.5. Інші альтернативні види палива

Існує безліч нових видів палива, які також можуть розглядатися як варіанти відповідності вимогам щодо глобального обмеження викидів сірки. Найбільш поширеними є метанол, різні види біопалива та зріджений газ – пропан-бутанові суміші – Liquefied Petroleum Gas (LPG). Вважається, що зазначені види палив дуже мало впливають на світовий ринок, але вони можуть розглядатися як альтернативні варіанти у випадках, коли їх постачання легко можна здійснити.

В даний час існує кілька суден, що працюють на метанолі як основне паливо, і, як мінімум, два газозовози зрідженого газу, які використовують LPG як паливо. Проте для переходу на ці види палива (крім деяких видів біопалива) знадобиться адаптація двигунів, а також створення специфічних паливних систем та систем управління.

Для невеликих суден з малою дальністю плавання технічно здійсненним рішенням є двигуни або паливні елементи, що працюють на водні, і можна розглядати електроаккумуляторні системи. Такі енергетичні установки вже перебувають у експлуатації і забезпечують переваги операцій із нульовим рівнем викидів. Наприклад, в експлуатації вже знаходяться пороми з батарейним живленням, а парові пороми з водневим двигуном планується збудувати в найближчі два-три роки в Норвегії, Шотландії та Каліфорнії [20].

1.5. Висновки за розділом 1

Як результат інформаційного пошуку, що виконано у розділі 1, визначимо наступне.

1. Європейське та Світове суспільство стурбовано постійним негативним впливом, що надається з боку енергетичних установок (в тому числі суднових) на довкілля. З метою його попередження та зниження його інтенсивності міжнародні організації, що займаються захистом довкілля, постійно вдосконалюють та оновлюють вимоги, що висуваються до забруднення, що пов'язані з роботою теплових двигунів суднових енергетичних установок.

2. Одним з джерел постійного забруднення довкілля є випускні гази суднових дизелів, до складу яких входять токсичні компоненти, у тому числі оксиді сірки.

3. Скорочення викидів оксидів сірки з випускними газами суднових дизелів досягається завдяки: використанню морського газойлю чи дистилатів, а також низькосірчистих палив (вміст сірки в яких не перевищує 0,1 % за масою); використанню природного газу; використанню альтернативних видів палива (не нафтового походження); використанню важких палив зі скруберами, що забезпечує видалення оксидів азоту з випускних газів.

4. Використання скруберами очищення випускних газів від домішок сірки є одним з надійних методів попередження забруднення довкілля, тому наукові розробки, що стосуються цього методу, відрізняються актуальністю та доцільністю виконання.

2. МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Технологія наукових досліджень

Технологія наукових досліджень – це сукупність знань про процеси досліджень та методику їх виконання. Процес досліджень включає вибір теми, інформаційний пошук, вирішення основних та допоміжних завдань і етап впровадження. Графічне зображення цього процесу називається технологічною картою наукових досліджень [21]. Такий підхід до наукового дослідження був запропонований доктором наук, професором І.І. Кринецьким і далі розвинений доктором наук, професором В.А. Голіковим [22].

Його використання можливе у будь-яких прикладних науково-технічних завданнях, у тому числі у завданнях моніторингу та параметричної діагностики суднових дизелів. Завершальна наукове дослідження зворотний передбачає остаточне зіставлення результатів роботи з цілями основних завдань. Існує багато як прихильників, так і критиків такої форми уявлення загальної структури та завдань наукового дослідження. Ми відносимо себе до прихильників не лише тому, що є учнями професора І.І. Кринецького та послідовниками професора Голікова В.А., а й з низки об'єктивних причин.

По-перше, логічне уявлення взаємозв'язків дослідницького процесу при вирішенні великої комплексної наукової задачі допомагає структурувати наукову діяльність та впорядкувати дії щодо вирішення поставленого завдання [23].

По-друге, чітке структурування і логічні взаємозв'язки дозволяють уникнути низки помилок і повторень, що неминуче виникають під час вирішення комплексного завдання з багатьма невідомими, що з безлічі приватних завдань із заздалегідь невідомою глибиною вкладення цих завдань.

По-третє, нині на найсучаснішому рівні розглядається концепція графічного чи віртуального уявлення наукової та організаційної діяльності.

Прикладами цього є проекти найбільших ІТ-компаній: Microsoft MindMap©, ConceptDraw MindMap©, Microsoft Project©, ConceptDraw Project© та ін. В даний час існують та успішно розвиваються цілі напрямки віртуального програмування, такі як Project management, Flow Chart drawing та багато інших, які за допомогою сучасних засобів on-line програмування вирішують науково – прикладні завдання технічних наук.

2.2. Наукове пізнання

Наукове пізнання починається із спостереження навколишньої дійсності – природи, техніки, технологій й т.п. Спостерігаючи незрозумілі, суперечливі явища й процеси, дослідник прагне знайти пояснення незрозумілому й, не знайшовши відповіді, приступає до вивчення наявних знань (концепцій, методології, теорії й т.п.) з метою придбання нових знань про навколишню дійсність шляхом дослідження [22].

У процесі наукового пізнання необхідно уникати оман – не перевірених досвідом і практикою ілюзорних, або перекручених, відображень світу.

Реальні знання – об'єктивні й представляються у вигляді концепцій, законів науки, навчань, теоретичних положень і підтверджених практикою висновків. Вони об'єктивно існують незалежно від свідомості вченого.

Абсолютні (детерміновані) знання характеризуються повним відтворенням узагальнених уявлень про навколишню дійсність, що забезпечують збіг з нею наших концептуальних подань. Наукові знання вважаються відносними, якщо вони носять стохастичний (імовірнісний) характер, вірно відображають дійсність, однак характеризуються неповним збігом наукового подання з навколишньою дійсністю. На відміну від

відносного знання, абсолютне знання не змінюється й не спростовується. Відрізнити дійсні знання від оман можливо тільки на практиці.

Процес наукового пізнання включає в себе п'ять етапів:

- 1) спостереження;
- 2) вивчення;
- 3) дослідження;
- 4) апробацію;
- 5) підтвердження [23].

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

Етап *вивчення* необхідний для вибору найбільш актуальної, принципової й вчасно розв'язуваної в результаті наступних досліджень, наукової проблеми або завдання. Необхідно спочатку спланувати й систематизувати дослідження в цьому напрямку.

Вивчити будь-яке явище – це означає встановити взаємозв'язок між процесами й параметрами, що його характеризують. Цей етап вимагає від дослідника високої ерудиції, глибини знань та уміння вгадувати явища природи.

Під час вибору теми наукового дослідження використовується метод експертних оцінок. У цьому випадку експертом є або сам дослідник, або колектив учених. Вимоги до наукової й науково-технічної експертизи викладені в Законі України «Про наукову й науково-технічну експертизу». Наукова і науково-технічна експертиза – це діяльність, метою якої є дослідження, перевірка, аналіз та оцінка науково-технічного рівня об'єктів експертизи і підготовка обґрунтованих висновків для прийняття рішень.

Об'єктом наукового дослідження є процес, явище, матеріальна або ідеальна система. *Предмет дослідження* – це параметри внутрісистемної структури: властивості елементів, закономірності взаємодії між елементами усередині системи й поза неї, закономірності розвитку, властивості, якості й т.д. Предмет дослідження уміщується у об'єкті дослідження.

Для посилення цілеспрямованості дослідження уточнюють його мету й завдання.

Мета відбиває інтереси й запити верхніх системних ієрархічних рівнів, коли їхні ідеї є відбиттям актуальності наукового дослідження.

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

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

Передбачувана **наукова новизна** представляє нову ідею, гіпотезу, закономірність або наукову тезу про шляхи досягнення поставленої мети. Процес рішення головного завдання традиційно розділяється на ряд самостійних допоміжних завдань, результати рішення яких мають елементи наукової новизни. Наукові результати надалі використовуються при доказі передбачуваної наукової новизни дослідження. Теоретично обґрунтовані й доведені наукові передумови повинні мати не тільки теоретичне, але й практичне підтвердження [23].

Основними компонентами наукового дослідження є: постановка завдання; аналіз і вибір умов і методів рішення завдання на основі аналізу інформації, отриманої на етапі вивчення; формулювання вихідних гіпотез й їхній теоретичний аналіз; планування, організація й проведення експерименту; аналіз й узагальнення отриманих результатів; перевірка вихідних гіпотез на основі отриманих фактів; остаточне формулювання нових фактів і законів, одержання пояснень або наукових передбачень.

У результаті наукового дослідження наукова гіпотеза з імовірнісного судження може перетворитися в теорію – істинне судження. **Теорія** – це система узагальненого істинного знання, що встановлює властивості, зв'язки й відносини в предметах, процесах або явищах, пояснюючи певні сторони дійсності, що є уявним відбиттям і відтворенням реальної дійсності. Теорія формується у результаті узагальнення пізнавальної діяльності й практики.

2.3. Методологічні принципи наукових досліджень

Методологія – це система способів організації наукової діяльності, а також вивчення про структуру, логічну організацію, методи та засоби діяльності.

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

Методи умовно розділяють на: **загальні**, діючі у всіх галузях науки й на всіх етапах дослідження; **загальнонаукові**, які застосовні для всіх наук; **часткові**, які використовуються певною групою наук; **спеціальні** – які застосовуються тільки для даної науки.

До **загальнонаукових** методів відносять: спостереження, порівняння, рахунок, вимір, експеримент, узагальнення, абстрагування, формалізацію, аналіз і синтез, індукцію й дедукцію, аналогії, моделювання, ідеалізації, ранжирування, аксіоматичний, гіпотетичний, логічний, евристичний, історичний й системний методи.

Методи експериментально-теоретичного рівня: експеримент, аналіз і синтез, індукція й дедукція, ідентифікація і моделювання, гіпотетичний і логічний методи. і методи дозволяють дослідникові виявити безсумнівні факти й об'єктивні прояви в перебігу досліджуваних процесів. З їхньою

допомогою здійснюється нагромадження факторів й їхня перевірка. Таким чином, виявлення істини вимагає не тільки збору факторів, але і їх правильної теоретичної обробки.

Методи теоретичного дослідження: абстрагування, ідеалізація, формалізація, аналіз і синтез, індукція й дедукція, аксіоматика, узагальнення й т.і. На теоретичному рівні виробляються логічні дослідження зібраних фактів, вироблення понять, суджень й умовиводів. На теоретичному рівні наукове мислення переходить від емпіричної відносності до теоретичних узагальнень.

Методи метатеоретичного рівня служать для дослідження самих теорій і розробки шляхів їхньої побудови. Основним завданням цього рівня пізнання є пізнання умов формалізації наукових теорій і вироблення формалізованих мов, які названі метамовами.

До методів метатеоретичного рівня належить **системний аналіз**, що одержав широке застосування в різних сферах наукової діяльності при вивченні складних, взаємозалежних систем або проблем. Суть системного аналізу полягає у виявленні зв'язків між елементами системи та встановленні їх впливу на поведінку системи загалом [23].

Системний аналіз зазвичай складається із чотирьох основних етапів:

1) **постановка задачі.** Визначаються цілі, завдання дослідження та критерії вивчення процесу. є надзвичайно важливий етап. Неправильна або неповна постановка цілей може звести нанівець всю роботу;

2) **окреслення межі системи та визначення її структури.** Всі об'єкти та процеси, що мають відношення до поставленої мети, розбиваються на два класи: досліджувальну систему та зовнішнє середовище, а також розрізняють замкнуті та розімкнені системи. Вплив зовнішнього середовища в замкнуту систему можна знехтувати. Виділяють структурні частини системи та встановлюють взаємодію між ними та зовнішнім середовищем;

3) *упорядкування математичної моделі системи.* Спочатку визначають параметри елементів і потім використовують той чи інший математичний апарат (лінійне програмування, теорія множин та ін.) [24].

При дослідженні складних систем, що характеризуються великою кількістю параметрів різної природи, з метою спрощення математичного опису їх розчленовують на підсистеми, виділяють типові підсистеми, роблять стандартизацію зв'язків для різних рівнів ієрархій однотипних систем.

Теоретичні дослідження. Під час проведення будь-якого теоретичного дослідження переслідується кілька цілей:

- узагальнення результатів усіх попередніх досліджень та знаходження загальних закономірностей шляхом обробки та інтерпретації цих результатів;
- вивчення об'єкта, недоступного безпосередньому дослідженню;
- поширення результатів попередніх досліджень на ряд таких об'єктів без повторення всього обсягу досліджень;
- підвищення надійності об'єкта експериментального дослідження.

На етапі дослідження застосовуються евристичні, логічні, загальнотеоретичні й експериментальні методи, базовані на аналізі, синтезі й узагальненні [29].

Аналіз – це метод, що є однією з основ будь-якого аналітичного дослідження й полягає в розчленовуванні або розкладанні предметів дослідження на складові частини для вивчення їхніх якостей і властивостей та отримання висновків.

Синтез – метод з'єднання окремих сторін предмета дослідження в єдине ціле. Аналіз і синтез взаємозалежні й фактично становлять собою єдність протилежностей.

Узагальнення полягає у визначенні загального для розглянутих об'єктів або процесів поняття, що характеризує їхній стан або поведінку. Узагальнення є методом, який використовується при формуванні закономірностей, законів і теорій.

Вище розглянуте є широко відомими методами наукових досліджень, які практично завжди, використовуються у творчій діяльності. Хне знання й навички використання дають можливість швидше отримати необхідні результати при організації й виконанні наукових досліджень.

Системни аналіз – це науково-методологічна дисципліна, яка вивчає принципи, методи та засоби дослідження складних об'єктів за допомогою представлення їх як системи та аналізу цих систем. Таким чином, у системному аналізі будь-який об'єкт розглядається з урахуванням його системного характеру, тобто не як єдине ціле, а як комплекс взаємопов'язаних складових елементів, їх властивостей та процесів.

Системний аналіз носить загальний, міждисциплінарний характер, тобто стосується освіти, розвитку науки, функціонування, синтезу будь-яких систем, та деякі фахівці вважають, що системний аналіз замінює філософію, є новою загальною методологією науки. Таке сприйняття системного аналізу невірне, оскільки зводить функцію філософського знання лише до методології наукового дослідження. Системний аналіз, з одного боку, дозволяє застосовувати ряд загальнофілософських положень для вирішення окремих задач, а з іншого – збагачує саму філософію розвитком конкретних наук [25].

Даний аналіз використовується для дослідження таких складних систем, як системи автоматичного управління, енергетичні і електромеханічні системи, економіка окремої галузі, промислового підприємства, об'єднання, при плануванні та організації технології комплексних процесів та ін. Системний аналіз складається з основних чотирьох етапів, які були описані раніше:

- 1) постановка завдання;
- 2) визначення границь системи, що вивчається;
- 3) складання математичної моделі і її верифікація;
- 4) аналіз моделі предмета дослідження.

Найважливішою складовою частиною наукових досліджень є *експеримент*, основою якого є науково поставлений дослід з точно врахованими і керованими умовами.

У поняття *експеримент* вкладається наукова постановка дослідів, спостереження і обробці результатів досліджуваного явища. При чому в умовах, які точно враховуються та дозволяють стежити за ходом явищ і відтворювати його кожного разу при повторенні цих умов.

Основними цілями *експерименту* є виявлення властивостей досліджуваних об'єктів, перевірка справедливості гіпотез та глибоке вивчення теми наукового дослідження.

Таким чином, *експеримент* являє собою процес вивчення об'єкта або явища, заснований на цілеспрямованому впливі на нього штучно створених умов, що дозволяє спостерігати, порівнювати і вимірювати його властивості, встановлювати їх залежність від зовнішніх впливів. У порівнянні зі спостереженням експеримент – більш складний метод емпіричного пізнання.

Експерименти розрізняються:

- способом формування умов (природні і штучні);
- метою дослідження (перетворюючі, констатуючі, пошукові, вирішальні);
- організацією проведення (лабораторні, натурні, польові);
- структурою досліджуваних об'єктів і явищ (прості, складні);
- характером зовнішніх впливів на об'єкт дослідження (речові, енергетичні, економічні);
- числом варійованих факторів (однофакторний і багатофакторний);
- характером досліджуваних об'єктів або явищ (технологічні, соціометричні).

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 [21], 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 [22]. 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. А.В. Козьмініх для технічних систем СЕУ запропонував наступне формулювання: «Системою називається сукупність елементів і зв'язків, що перетворюють вхідні впливу у вихідні величини для досягнення певної мети» [26].

Судновий дизель являє собою складну динамічну багатокomпонентну систему, яка складається з великої кількості функціонально самостійних елементів – підсистем. Для суднового дизеля як такі підсистем можуть бути визначені наступні: робочий цикл в циліндрі дизеля, процес подачі та згоряння палива, процес мащення основних деталей і підшипників, процес управління ВГ ДВЗ, процес забезпечення екологічних показників.

З огляду на фундаментальні принципи системного аналізу [23, 25, 26], замкнутий цикл наукового дослідження системно представлений у вигляді технологічної карти дослідження, наведеної на рис. 2.1.

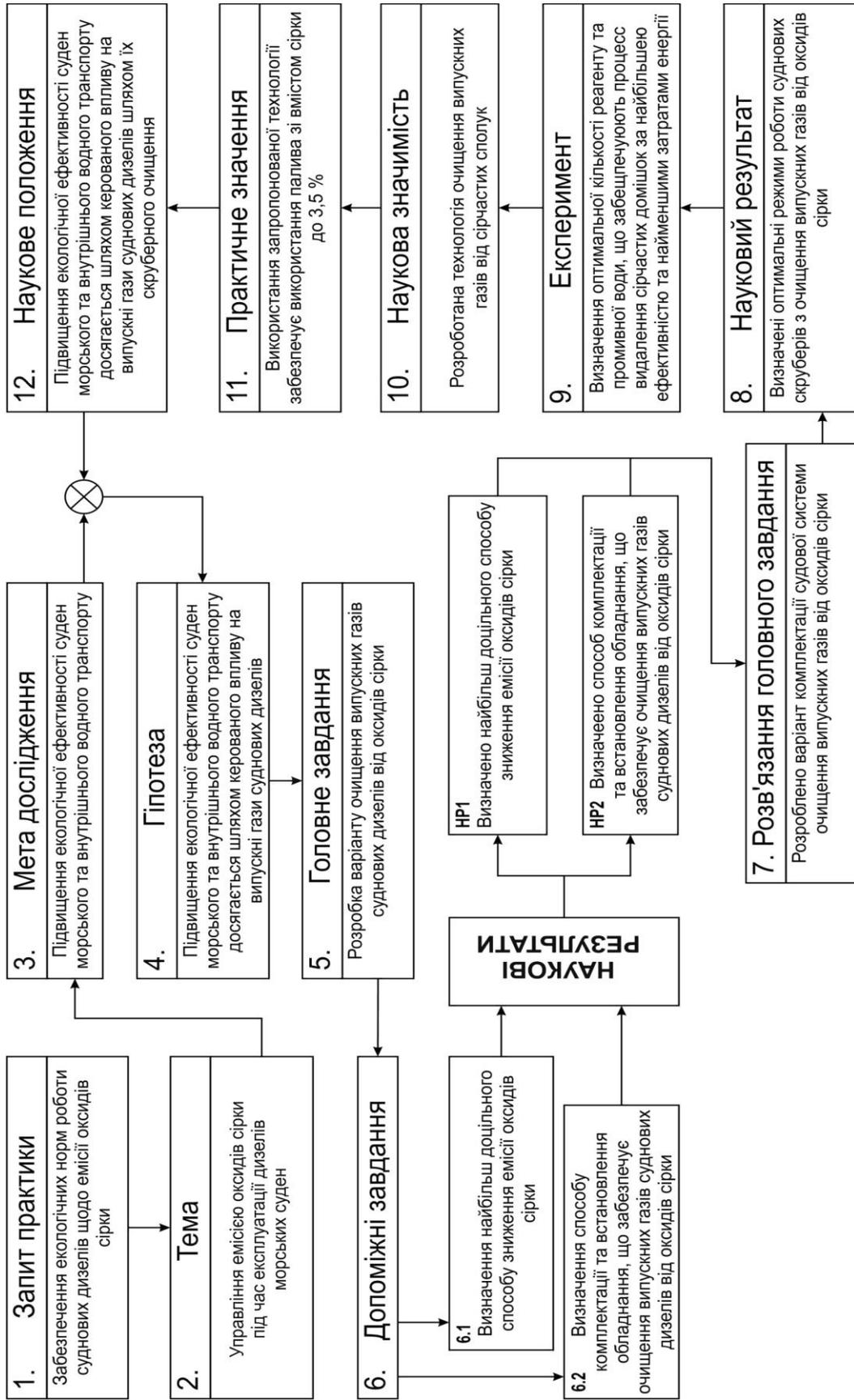


Рис. 2.1. Технологічна карта наукового дослідження

2.5. Висновки за розділом 2

1. В результаті вибору теми магістерського дослідження за ознаками актуальності, наукової новизни, практичної значущості, відповідно спеціальності сформульована тема, спрямована на забезпечення міжнародних вимог щодо попередження забруднення довкілля оксидами сірки з суден морського транспорту за рахунок управління вмістом сірковмісних сполук в випускних газах судових дизелів.

2. Метою дослідження є забезпечення емісії оксидів сірки з випускними газами судових дизелів на рівні, що відповідає вмісту сірки в паливі 0,1 %.

3. Головне завдання магістерського дослідження полягає в розробці методу очищення випускних газів судових дизелів від оксидів сірки.

4. Рішення головного завдання дослідження запропоновано здійснити шляхом синтезу наукових результатів рішення допоміжних завдань. На базі системного підходу замкнутий цикл наукового дослідження представлений у вигляді технологічної карти дослідження.

5. Як об'єкт дослідження обрані процес підтримання екологічних показників роботи судових дизелів на рівні, що відповідає вимогам МАРПОЛ.

6. Як предмет дослідження визначено процес регулювання емісії оксидів сірки з випускними газами судових дизелів.

3. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ МІЖНАРОДНИМ ЕКОЛОГІЧНИМ НОРМАМ ЩОДО ВИКИДІВ ОКСИДІВ СІРКИ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ ПАЛИВА

Як було доведено у розділі 1, питанням екологічної безпеки суден морського та внутрішнього водного транспорту приділяється особлива увага. Найбільші збитки довкілля завдаються судною енергетичною установкою, внаслідок роботи якої утворюються такі шкідливі компоненти, як незгорілі вуглеводні, тверді частинки, оксиди азоту, парникові гази та сполуки сірки. У той час як на утворення ряду небезпечних компонентів, що входять до складу випускних газів, можна впливати за рахунок спеціальної організації процесів в циліндрі двигуна, емісія сірковмісних компонентів цілком і повністю визначається вмістом сірки в паливі.

Принциповим питанням є те, що досягнення нормативних показників щодо викидів оксидів сірки SO_x може бути отримано в результаті використання спеціальних видів низькосірчистого палива (зі вмістом сірки не більш за 0,5 % за масою) або шляхом очищення випускних газів в спеціальних периферійних пристроях двигунів, у випадку, коли судновий дизель експлуатується на високосірчистих сортах палива (зі вмістом сірки до 3,5 % за масою). Основним документом, що регламентує вміст сірки у судновому паливі та вимоги якого повинні забезпечуватися під час експлуатації дизелів, що встановлені на судах морського та внутрішнього водного транспорту, є Міжнародна конвенція MARPOL [27, 28].

Розв'язанню даній проблемі присвячені матеріали та рекомендації міжнародних організацій: IMO (International Maritime Organization – Міжнародна морська організація), ICS (Міжнародна палата судноплавства – International Chamber of Shipping), ISO (Міжнародна організація зі стандартизації – International Standard Organization), а також міжнародних

морських реєстрів Lloyd's Register (Великобританія), Bureau Veritas (Франція) та American Bureau of Shipping (США), які є членами IACS (Міжнародна асоціація класифікаційних товариств – International Association Classification Societies), а також дослідження багатьох науковців [29, 30].

Одним з варіантів, які забезпечують виконання вимог MARPOL щодо емісії оксидів сірки SO_x та вмісту сірки у судновому паливі є використання альтернативних видів палива.

За своїми хімічними та фізичними характеристиками альтернативні види палива суттєво відрізняються від традиційних палив нафтового походження, що використовуються у енергетичних установках суден морського транспорту. Перш за все це пов'язано з наднизькою, а іноді з повною відсутністю сірки у цих видах палива. До основних видів палива, використання яких може повністю або частково замінити використання палива нафтового походження відносяться: зріджений природний газ (Liquefied Natural Gas – LNG), зріджений нафтовий газ (Liquefied Petroleum Gas – LPG), метанол, аміак, водень, паливо біологічного походження / біопаливо (біодизель чи біогаз).

Зріджений природний газ (LNG) – це чисте і безпечне суднове паливо. Воно відповідає вимогам Annex VI MARPOL. Через повну відсутність сірки у своєму складі LNG становить собою паливо з нульовим викидом оксиду сірки і майже нульовим викидом твердих частинок. LNG використовується як паливо для суднових дизелів з початку 2000-х років. LNG є широко доступним паливом – експортери та імпортери LNG існують майже у всіх регіонах світу. За оцінками Exxon Mobil, 12 % палива, яке передбачається використовувати до 2040 року, буде газом. LNG є однією з екологічних альтернатив важкого палива нафтового походження. Використання LNG сприяє зниженню викидів сірчистих сполук на 90...95 %. Упродовж останніх років чимало нових суден було спроектовано саме під використання LNG як основного палива. Рік від року спостерігається збільшення кількості

замовлень на судна, що працюють на LNG. Динаміку розвитку суден морського транспорту на LNG паливі наведено на рис. 3.1.

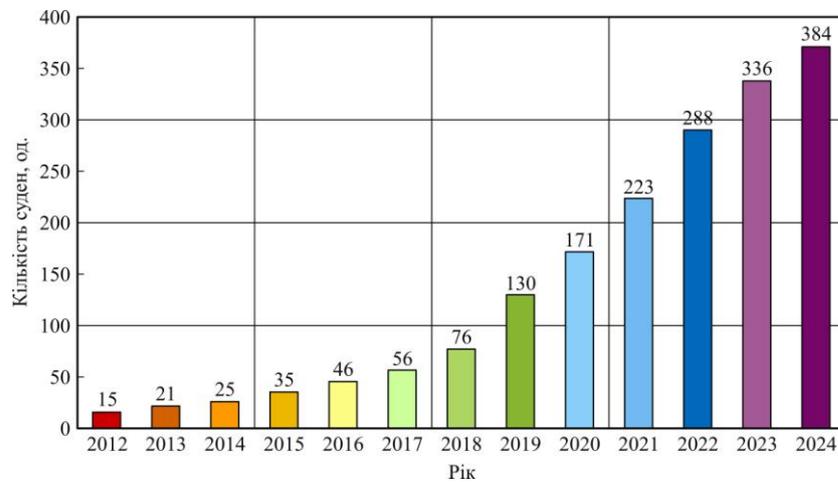


Рис. 3.1. Динаміка розвитку суден морського транспорту на LNG паливі

Переваги палива LNG:

- є екологічно чистим паливом;
- розвинена інфраструктура і логістика;
- криогенні паливні системи для LNG, газові турбіни, поршневі двигуни виробляються в промислових масштабах і доступні.

Недоліки палива LNG:

- проблеми бункерування, пов'язані зі спеціальним обладнанням;
- паливні баки займають в 3...4 рази більше місця в порівнянні з суднами, які працюють на традиційному паливі;
- зберігатися LNG може виключно в спеціальних криогенних цистернах.

Зріджений нафтовий газ (LPG) – деякими суднобудівниками розглядається як основний вид палива на танкерах, що його транспортують. Одночасно з цим, технічних перешкод для використання LPG суднами різних розмірів – від океанських пасажирських лайнерів до невеликих транспортних суден або суден технічного флоту не існує [31, 32].

Переваги LPG як палива:

- низька вартість (близька до LNG);

- низькі інвестиційні витрати.

Недоліки LPG як палива – відсутність бункерувальної інфраструктури.

Метанол займає друге місце після LNG в рейтингу перспективних альтернативних видів палива для використання в дизелях морських суден. Метанол частіше виготовляється з природного газу. Його собівартість становить половину ціни на газ. Виробництво метанолу з поновлюваних джерел енергії робить його зеленим паливом для судноплавства.

Переваги метанолу як палива у порівнянні з нафтовим паливом:

- екологічно чисте паливо, що відповідає правилам в зонах контролю викидів;
- економічно вигідне з точки зору витрат на зберігання і інфраструктури для бункерування;
- вартість переобладнання суден для роботи на метанолі значно менше, ніж під час конверсії на LNG або LPG;
- існування схвалених стандартів для метанолу як морського палива;
- швидко розчиняється у воді та швидко випаровується – що зменшує його негативний вплив на довкілля у випадку аварійного розливу (у порівнянні з розливом нафти);
- може вироблятися з природного газу, вугілля і відновлюваних джерел;
- доступність бункерування завдяки існуючій інфраструктурі.

Недоліки метанолу як палива – екологічна небезпека через підвищений рівень випарованості в разі аварійних викидів або розливу метанолу під час його виробництва, транспортування, використання [33, 34].

Аміак – хімічна речовина, що є варіантом чистого палива, яку можна використовувати в суднових дизелях для отримання корисної роботи.

Переваги аміаку як палива:

- не містить вуглецевого компоненту, отже, не виділяє CO та CO₂;
- забезпечує викиди оксидів азоту NO_x у необхідних межах;
- практично необмежена сировинна база;

- розвинена інфраструктура і логістика – виробляється в усьому світі і транспортується через більшість портів.

Недоліки аміаку як палива:

- відсутність бункерувальної інфраструктури;
- висока вартість;
- високі викиди парникових газів;
- інвестиційні витрати на необхідні системи безпеки [35, 36].

Динаміку розвитку суден морського транспорту, що використовують аміак як паливо наведено на рис. 3.2.

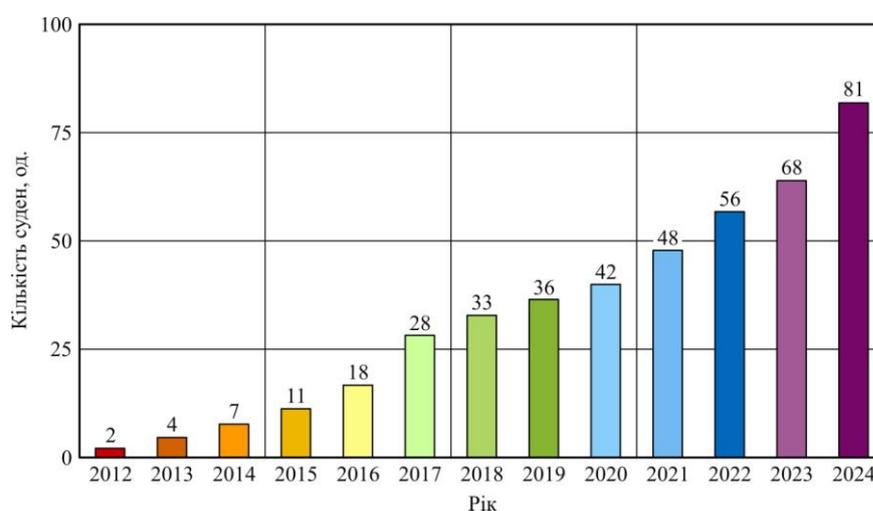


Рис. 3.2. Динаміка розвитку суден морського транспорту, що використовують аміак як паливо

Водень – саме екологічно чистий вид палива Отримують з природного газу або шляхом електролізу. На суднах водень в зрідженому стані поміщається в компресійні резервуари або зберігається у вигляді хімічної сполуки.

Переваги водню як палива – нульові викиди в разі виробництва з поновлюваних джерел енергії.

Недоліки водню як палива:

- відсутність бункерувальної інфраструктури;
- високі інвестиційні витрати на виробництво, зберігання, паливні елементи;

- додаткові витрати на необхідні системи безпеки;
- відсутність правил використання водню як палива [37, 38].

Паливо біологічного походження / біопаливо. Дизеля суден морського та внутрішнього водного транспорту можуть використовувати як біопаливо біодизель (у рідкому стані) або біогаз (у газоподібному стані). Біодизель – це синтетичний вид палива, що виробляють з біологічної сировини (рослинна олія, тваринний жир, водорості тощо) в процесі хімічної реакції.

Переваги використання біопалива – знижені викиди оксидів сірки SO_x , азоту NO_x та вуглецю CO_2 та CO .

Недоліки використання палива:

- обмежена бункерувальна інфраструктури та логістика;
- підвищена вартість [39, 40].

Динаміку розвитку суден морського транспорту, що використовують паливо біологічного походження як основне джерело енергії, або у складі суміші з паливом нафтового походження, наведено на рис. 3.3

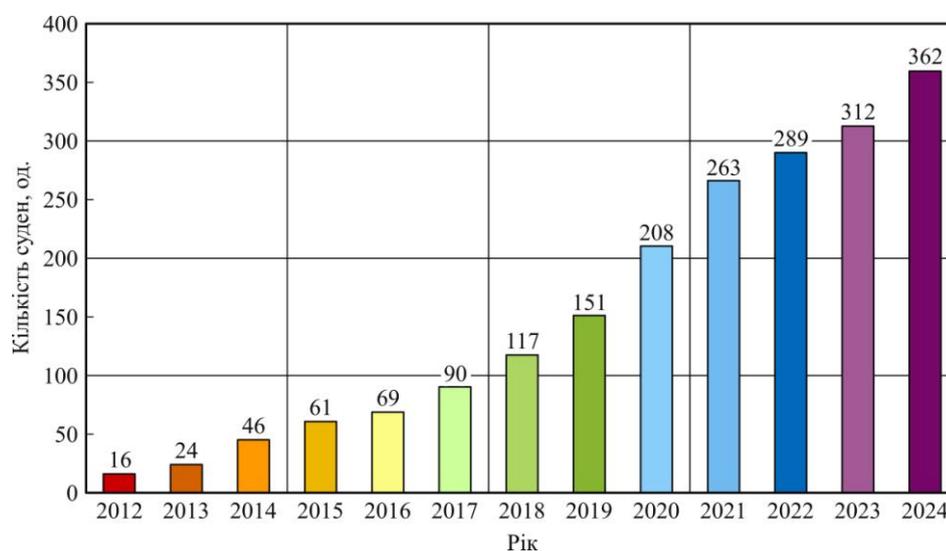


Рис. 3.3 Динаміка розвитку суден морського транспорту, що використовують паливо біологічного походження як основне джерело енергії, або у складі суміші з паливом нафтового походження

До технологічних метолів, що сприяють зниженню емісії оксидів сірки з випускними газами відноситься використання акумуляторних батарей паливних елементів. Подібні інноваційні технології актуальні для суден, які пересуваються переважно на низькій швидкості, експлуатація яких здійснюється у прибережних морських акваторіях, а також на внутрішніх водних шляхах.

Динаміка розвитку суден морського та внутрішнього водного транспорту, що використовують акумуляторні батареї для забезпечення руху, наведена на рис. 3.4.

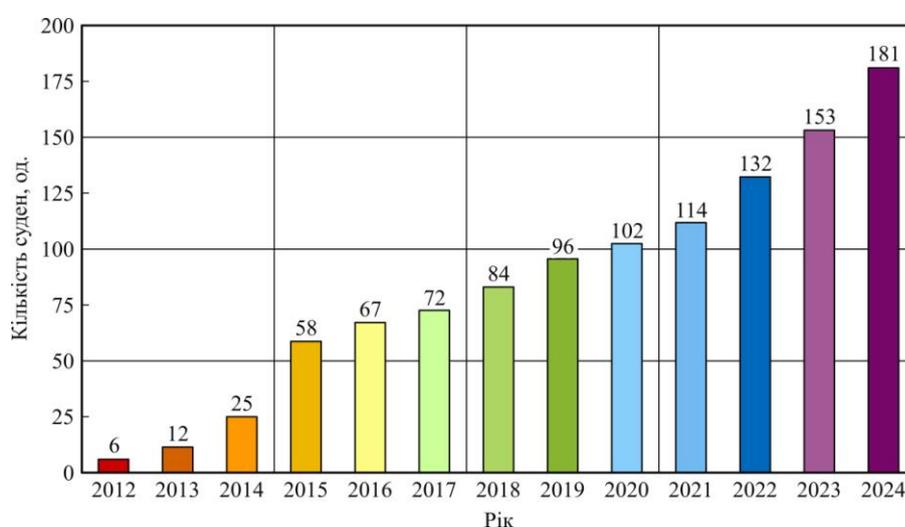


Рис. 3.4. Динаміка розвитку суден морського та внутрішнього водного транспорту, що використовують акумуляторні батареї для забезпечення руху

Переваги акумуляторів, як джерела руху суден морського та внутрішнього водного транспорту – висока екологічність (нульові викиди під час використання електроенергії від відновлюваних джерел).

Недоліки акумуляторів:

- значні витрати на зберігання - повністю електричні системи можливі тільки для дуже обмеженого числа типів і розмірів суден;
- обмежена за часом ефективність та необхідність поновлення від іншого автономного джерела енергії.

Висновки за розділом 3

Експлуатація суден морського та внутрішнього водного транспорту повинна виконуватися з забезпеченням міжнародних екологічних норм щодо викидів оксидів сірки. Досягнення цієї мети можливо за рахунок використання альтернативних видів палива, які (на відміні від палива нафтового походження) характеризуються наднизькою, а іноді з повною відсутністю сірки у своєму складі.

До основних видів палива, використання яких може повністю або частково замінити використання палива нафтового походження відносяться: зріджений природний газ (Liquefied Natural Gas – LNG), зріджений нафтовий газ (Liquefied Petroleum Gas – LPG), метанол, аміак, водень, паливо біологічного походження / біопаливо. Кожне з вказаних видів альтернативного палива володіє перевагами як у порівнянні з паливом нафтового походження, також і у порівнянні в іншими альтернативними паливами.

Вибір альтернативного палива з метою зниження рівню емісії оксидів сірки з випускними газами суднових дизелів залежить від конструкції паливної апаратури та комплектації паливних систем дизеля, від характеристик та призначення судня а також від району його експлуатації.

4. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ МІЖНАРОДНИМ ЕКОЛОГІЧНИМ НОРМАМ ЩОДО ВИКИДІВ ОКСИДІВ СІРКИ ШЛЯХОМ ЇХ ПЕРЕВЕДЕННЯ НА НИЗЬКОСІРЧИСТІ МОРСЬКІ СОРТИ ПАЛИВА У РАЙОНАХ SECAS

В умовах розглянутих обмежень і швидкого зростання світового флоту, оснащення його високофорсованим дизелями з підвищеною частотою обертанн, а також зміни паливного балансу флоту в сторону збільшення споживання важких низькоякісних палив, проблема забезпечення діючих обмежень на викиди шкідливих речовин з ВГ суднових двигунів придбала першорядне значення для вітчизняних і зарубіжних фахівців [27].

Для її вирішення в даний час судовласникам пропонується:

- використовувати тільки мало сірчисте паливо;
- встановити на судні другий паливний резервуар і, в разі роботи в зоні SECA, переключатися з звичайного палива на мало сірчисте;
- використовувати суміші дистиллятів;
- використовувати портове енергопостачання при стоянці в порту;
- встановити систему очищення ВГ.

Наслідками жорсткості норм щодо викидів оксидів сірки в атмосферу, за різними оцінками фахівців, будуть зростання попиту на мало сірчисте паливо разом з націнкою за мало сірчисте, прискорення розвитку технологій очищення ВГ.

На сьогоднішній день в різних країнах світу розроблені десятки технологій очищення ВГ від оксидів азоту, оксидів сірки, оксиду вуглецю, вуглеводнів і твердих частинок. Однак з усього їх різноманіття до стадії промислового впровадження доведені: каталітичне окислення продуктів неповного згоряння палива, каталітичне відновлення оксидів азоту аміаком і

азотовмісними сполуками, а також фільтрація газів від частинок.

Що стосується обмежень по викидам оксидів сірки, то у цьому питанні потрібно перш за все відмітити використання скрубберного очищення випускних газів.

Крім того, в цілях забезпечення безпечної роботи і працездатного технічного стану двигунів і устаткування, необхідно розробити конструктивні зміни, спрямовані на рішення виникаючих проблем і добре продумані і ефективні процедури переведення з HFO на MGO і навпаки.

Розглянемо способи адаптації головних і допоміжних двигунів до використання палив з низьким змістом сірки [28].

4.1. Конструктивні способи адаптації

Конструктивні способи адаптації суднових дизелів до використання низько сірчистих палив полягає у наступному.

1. Має бути переглянута місткість цистерн для зберігання палива, з метою забезпечення відповідної кількості бункера на борту для завершення усіх вантажних операцій, з урахуванням можливих затримок судна в порту і забезпечення витрати палива судновими генераторами. Хоча для деяких типів суден, з додатковими технологічними операціями в порту, не завжди може бути достатньою місткість цистерн, призначених для зберігання запасів палива на увесь термін перебування в порту, і, в таких випадках, розв'язати цю проблему може організація своєчасних періодичних поставок бункерного палива, при знаходженні судна в порту.

Необхідно ретельно спланувати використання додаткової місткості призначеної для MGO. Для того, щоб MGO ненавмисно не нагрівалося, то не можна використовувати одну з наявної відстійної цистерни HFO для цілей

змісту в ній MGO, якщо вона є суміжною з сусідньою відстійною або витратною цистерною, в яких знаходиться постійно HFO, що підігрівається.

Бажано, щоб зберігання HFO і MGO було роздільним. Останні виявляють деструктивну дію на високомолекулярні з'єднання входять до складу сумішей вуглеводнів твірних HFO і грають роль розчинників захисних сольвантних оболонок асфальтосмолистих речовин. В результаті, при змішуванні HFO і MGO, відбувається інтенсивне утворення шламу і витіснення парафінів, що погіршує змащуючі властивості таких сумішей і сприяє утворенню задирів прецизійних пар компонентів паливної системи; викликає блокування фільтрів, закупорювання трубопроводів, елементів управління, датчиків і вимірювальних приладів.

При перемиканнях між різними паливами, має бути гарантія, що паливо по трубопроводах рециркуляції поверталось в відповідну паливну цистерну. Особливе заходи мають бути прийняті, для запобігання змішуванню MGO з паливом, що має більш високим змістом сірки. Для цілей найбільш ефективного перемикання мають бути належним чином скомпоновані цистерни, в яких знаходиться MGO достатньої місткості, і системи трубопроводів. Для реалізації операції перемикань відповідна процедура має бути ретельно продумана і спланована.

2. Системи трубопроводів HFO і MGO (у тому числі арматура і устаткування трубопроводів) мають бути організовані так, щоб здійснювати ефективно видалення (промивання) HFO з системи.

3. Модернізація паливних насосів високого тиску. Паливні насоси високого тиску, якими обладнані існуючі паливні системи дизельних двигунів, в основному призначені для роботи на HFO. Тому, при використанні MGO, у паливних насосах високого тиску (ПНВТ), можуть виникнути утруднення зі всмоктуванням, наповненням і подачею легких сортів палива за рахунок зниження в'язкості палива і пов'язаним з цим погіршенням змащувальних здатності палива. Якщо ПНВТ не призначені для

роботи на низковязких сортах палива, то недолік змащувальних властивостей палива може викликати їх перегрівання. Таким чином, це може бути причиною, яка викликає необхідність устаткування дизельних установок різними модифікаціями ПНВТ, які можуть надійно і ефективно працювати на легенях сортів палива, таких як MGO.

4. Надмірний знос ПНВТ може бути результатом нижчих змащувальних властивостей MGO. Це може стати причиною необхідності заміни встановлених насосів призначених для роботи на HFO або MDO на ПНВТ модифікованих конструкцій. Це відноситься до ПНВТ, які можуть зажадати заміни на спеціально виготовлені компоненти насосів, наприклад, ПНВТ твердосплавні (карбід - вольфраміві) покриття рухомих вузлів, що мають.

5. При модифікації ПНВТ, доцільно включити до складу їх конструкції електронні системи управління подачею палива, безпосереднього уприскування і згорання палива в двигуні, що дозволяють забезпечити ефективніше згорання палива. В результаті це дозволить понизити питому витрату палива (підвищити потужність, що розвивається двигуном, при одній і тій же витраті палива) і зменшити викид тих, що забруднюють, речовин в атмосферу.

6. Повинно бути взято до уваги дотримання вимог Додатка VI Конвенції МАРПОЛ при модифікації усього, що стосується процесу згорання. Це необхідно машинобудівникам для устаткування дизелів деякими спеціальними компонентами призначені для роботи на певних сортах палива або для цілей забезпечення визначених вимог до робочих характеристик. У таких випадках ці компоненти мають бути належним чином перевірені і випробувані, з метою демонстрації їх придатності до використання як альтернативна частина системи, що відповідає стандартам NO_x або параметрам конкретного класу або ряду двигунів. Способом вирішення проблеми змащувальних здатності палива і, відповідно, забезпечення мастила компонентів ПНВТ являється застосування таких технологій, як

нанесення покриттів або обробка поверхні. Відмінності в займистості різних видів палива може зажадати використання різних систем уприскування палива, у тому числі і нових налаштувань тимчасових характеристик уприскування палива. Це може привести до значних конструктивних змін і вимог нової сертифікації двигунів.

7. Для MGO з мінімальною в'язкістю від 1,5сСт при 40°C (ISO 8217) вимагається, щоб його температура складала приблизно 22°C, яка дозволить забезпечити граничне мінімальне значення в'язкості близько 2 сСт. Підтримка температури палива в необхідному діапазоні значень може бути ускладнена в існуючих паливних системах. Якщо не забезпечується граничне мінімальне значення в'язкості, то наслідком цього можуть бути задираки і заїдання і підвищений знос компонентів паливної системи. Таким чином, при розробці модифікованої паливної системи, в якій можуть ефективно використовуватися як HFO, так і MGO, для цілей підтримки мінімальної в'язкості 2сСт може виявитися необхідним включення до її складу нового устаткування – охолоджувача палива з відповідними системами і засобами управління.

8. При використанні MGO що має низькі значення в'язкості, включення до складу паливної системи охолоджувача може бути недостатнім. У таких випадках необхідно включити до складу паливної системи холодильну установку, в якій для цілей охолодження може бути реалізований паро-компресорний цикл або цикл охолодження абсорбції.

9. Для цілей поліпшення змащувальних властивостей і зменшення проблем, пов'язаних з в'язкістю, можна застосовувати хімічні присадки до палива. При їх використанні необхідно проводити консультації з постачальниками палива, виготовниками двигунів і компонентів паливної апаратури.

10. Може потрібно установка додаткових цистерн призначених для зберігання циліндрового масла з низьким значенням лужного числа - TBN (TBN – загальне лужне число). Також необхідно виконувати пункт 6 в розділі 4.2 Експлуатаційні способи адаптації.

4.2. Експлуатаційні способи адаптації

При розробки експлуатаційних способів адаптації необхідно враховувати наступне [29].

1. Одній з основних проблем, що вимагає рішення, виникає в процесі перемикання з НФО на МГО, внаслідок того, що трубопроводи і інші компоненти систем перекачування і подачі палива нагріваються при використанні НФО. Паливо з низьким змістом сірки, поступаючи в ті ж гарячі трубопроводи, може випаровуватися, з утворенням парових пробок, викликаючи неоднорідну подачу палива до форсунок, що в результаті може викликати зупинку двигуна. Таким чином, якщо виробляється переведення двигуна на палива з низьким змістом сірки, то вони не повинні подаватися до двигуна по нагрітих трубопроводах.

2. Заїдання і задіри компонентів високого тиску і уприскування палива: швидка або нерівномірна зміна температури, яка виникає при переведенні роботи двигуна з НФО на МГО, може викликати термічний удар і некеровані зміни прецизійних проміжків в паливній апаратурі, що призводить до заїдань і задирак рухомих компонентів: форсунок, всмоктуючих клапанів, плунжерів ПНВТ або заклинюванню останніх.

3. Висока швидкість зносу поршневих кілець і втулок циліндрів: тривала експлуатація двигуна на паливах, несумісних з циркуляційними або циліндровими мастильними маслами може привести до збільшення швидкості зносу поршневих кілець і втулок циліндрів.

4. Може виникнути втрата достатньої товщини масляної плівки внаслідок утворення лакової плівки на робочій поверхні циліндрових втулок.

5. Одне або декілька з вище вказаних в пунктах (2, 3 і 4) подій, можуть привести до раптової зупинки головних і допоміжних двигунів.

6. Мастильні масла з високим рівнем лужних присадок, тобто високим

TBN, рекомендовані багатьма виготівниками дизелів для використання палив з високим вмістом сірки. Таким чином, низькі значення TBN циркуляційних масел для СОД або циліндрових мастильних масел для МОД слід вибирати в тих випадках, якщо буде постійне або протягом тривалого періоду часу використовуватися паливо з низьким змістом сірки (MDO або MGO) [30].

При використанні палив з низьким змістом сірки, необхідно настроїти питома дозування подачі циліндрового масла залежно від змісту сірки в паливі і значення TBN масла відповідно до наступної залежності:

$$D = FS_{\%} \frac{70}{X}, \text{ г/(кВт} \cdot \text{год)},$$

де F – коефіцієнт витрати, $F=0,26\dots 0,34$;

$S_{\%}$ – зміст сірки в паливі, в % по масі;

70 – значення загального лужного числа базового циліндрового масла, що має TBN=70;

X – значення загального лужного числа циліндрового масла, яке має інше значення, TBN<70 [28].

Якщо використовуються палива з низьким значенням змістом сірки, то перевагу необхідно віддавати циліндровим маслам TBN40 (TBN 0), оскільки стандартне циліндрове масло TBN70 застосовується тоді, коли використовуються НФО. У тих випадках, якщо внаслідок особливостей комерційної діяльності судна необхідно виробляти часті перемикання на різні види палива, то рекомендується застосовувати циліндрові мастильні масла з нижчим лужним числом – TBN50 і нижче.

7. Як правило, не вимагається очищення легких сортів палива MGO у відцентрових очисниках (відцентрових сепараторах, декантаторах). Однак деякі виготівники двигунів можуть рекомендувати, їх очищення у відцентрових очисниках. В цьому випадку, робочі деталі очисників мають

бути відповідати інструкціями виготівника очисників і їх рекомендаціям.

8. Як тільки робота двигуна переводиться на MGO, то температуру води, що охолоджує, на вході в зарубашечний простір двигуна необхідно понизити і вона має бути нижче, ніж при експлуатації двигуна на HFO. Крім того, необхідно перевірити роботу випарника і якісні показники води, що охолоджує.

9. Якщо контроль параметрів роботи і їх регулювання здійснюється автоматично, то в процесі перемикання з одного палива на інше может виникнути необхідність виробити регулювання різного обладнання, яке використовується в системах контролю і управління, наприклад: арматура управління і регулювання, термочутливі елементи, віскозиметр або регулювальник в'язкості та ін. Якщо регулювання параметрів роботи виробляється вручну, то вона повинна відбуватися відповідно до рекомендацій заводу-виготівника двигуна.

10. Дрібні частки каталізаторів, присутні в паливах, є з'єднаннями кремнію і алюмінію, які використовуються як каталізатори процесу переробки нафти, відомого як каталітичний крекінг. Після переробки нафти, в паливах може знаходитися велика кількість дрібних часток каталізаторів, отриманих в результаті крекінг процесу переробки нафти, - залишкових важких сортах і дистильатних сортах палива, чинячи негативний вплив. Частки каталізаторів є надзвичайно твердим абразивним матеріалом і розрізняються як по розмірах, так і але твердості. Оскільки при виробництві важких палив, вони менше час знаходяться в процесі переробки, то вони містять менший часток каталізаторів, тому палива з низьким змістом сірки, часто містять вищі рівні змісту часток каталізаторів [31].

Звичайний метод зниження змісту часток каталізаторів включає:

- відстоювання палива у відстійних цистернах;
- регулярний дренаж відстою з цистерн;

- очищення палива у відцентрових сепараторах і інші способи обробки палива.

Якщо зміст часток каталізаторів в паливі не зводиться до допустимого граничного значення, то руйнівні дії абразивних часток можуть викликати дуже швидкий знос або ушкодження рухомих вузлів і компонентів двигуна і систем обробки і подачі палива з потенційно тяжкими наслідками або привести до повних відмов таких елементів як:

- насосів, що перекачують паливо, ПНВТ і форсунок;
- арматури управління і регулювання систем обробки і подачі палива;
- поршневих кілець і циліндрових втулок.

На додаток до вищезгаданого, рекомендується, щоб менеджери суден забезпечили і врахували наступне:

- мають бути розроблені план-графіки технічного обслуговування і перевірок паливних систем;

- повинні знаходитися в працездатному стані системи аварійної сигналізації, датчики і пристрої, що реєструють тиски і температури, витратоміри, фільтри диференціального тиску і інші технічні засоби контролю;

- уцільнення, прокладення, фланці, фітинг, кріплення і опори систем мають бути в справному і обжатому стані;

- має бути в наявності схвалена детальна схема паливних систем HFO і MGO;

- повинні проводитися первинні і періодичні інструктажі екіпажів, а їх підготовка повинна включати навчання і ознайомлення з новими даними і вимогами.

Після завершення усіх модифікацій, у тому числі і випробувань усі зміни мають бути відбиті в документації, а в судові процедури внесені відповідні коригування і схвалені класифікаційними товариствами [32].

4.3. Переведення суднової паливної системи на роботу з малосірчистим паливом

Паливна система розглянутого в проекті судна обладнана спеціальною системою переведення з палива з звичайним змістом сірки на паливо зі змістом сірки не більш 0,1 % (рис. 4.1).

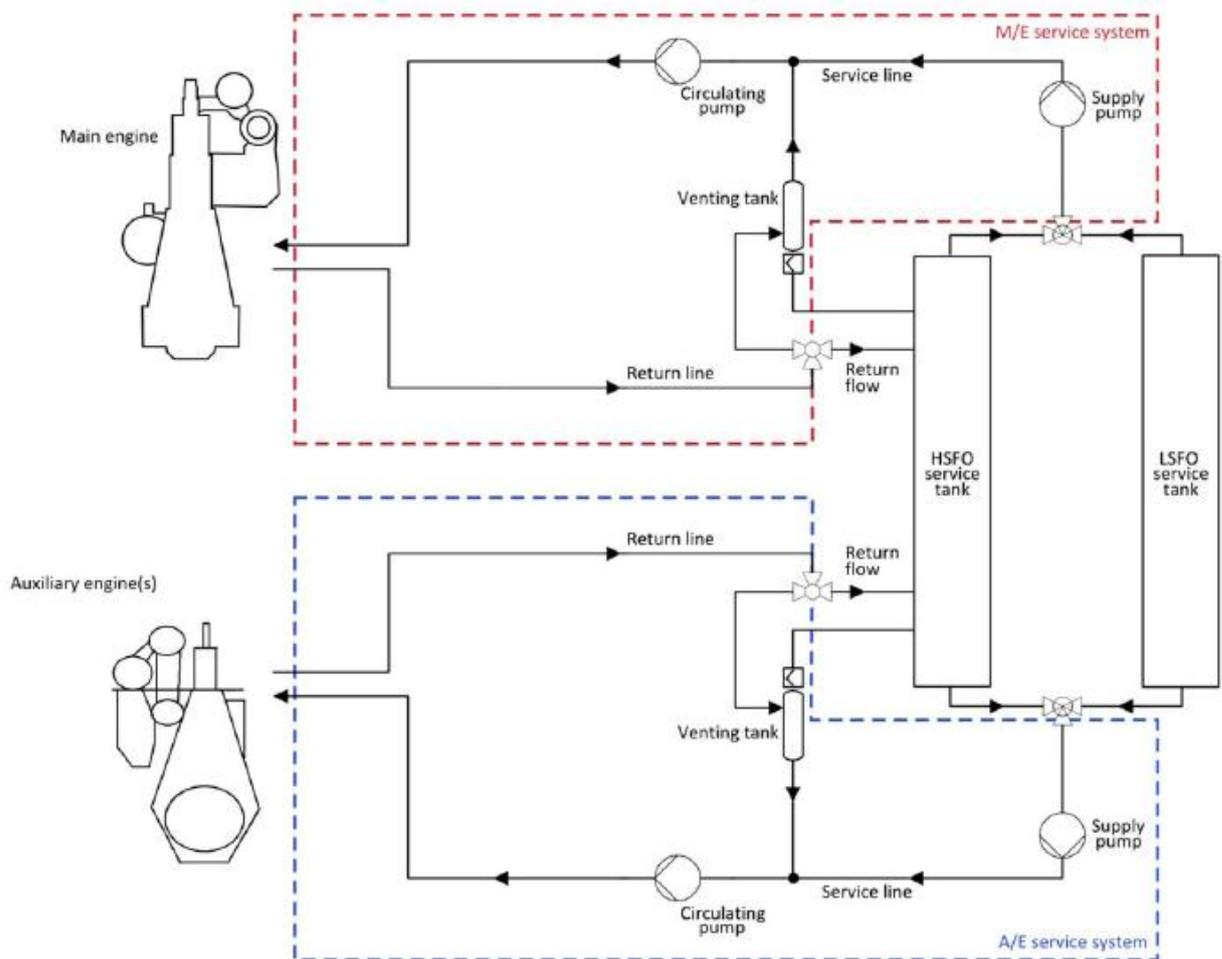


Рис. 4.1. Принципова схема переведення суднових дизелів на роботи з високосірчистого на малосірчисте паливо

Згідно з наданою схемою, переведення головного двигуна з високо сірчистого палива на мало сірчисте паливо складається з наступного.

1. В встановленій ЕТА зоні SECA виконати такі дії.
2. Розрахувати період використання високо сірчистого палива головним двигуном для його заміни на мало сірчисте паливо.
3. Зупинити перекачування високо сірчистого палива у відстійний танк.
4. Зупинити паливний сепаратор.
5. Підготувати порожній, або з мінімальним залишком палива відстійний танк (не більш $0,2 \text{ м}^3$). У випадку необхідності перекачати високо сірчисте паливо в танк збереження.
6. Перекачати мало сірчисте паливо зі танка збереження в танк відстоювання палива.
7. Відкачати високо сірчисте паливо з витратного танка. Залишити в цьому танку лише такий об'єм палива, який необхідний для тимчасової роботи головного двигуна.
8. Ввести в дію паливний сепаратор для його роботи з відстійного танку в витратний.

Найбільш поширеною програмою, яка використовується під час переведення роботи дизелів на паливо з низьким вмістом сірки, є FOBAS Calculator. Ця програма схвалена ІМО та Lloyd's Register of Shipping.

FOBAS Calculator – це спеціалізований інструмент, розроблений службою аналізу бункерованого палива FOBAS (Fuel Oil Bunkering Analysis and Advisory Service) від Lloyd's Register), який допомагає судновласникам та операторам розрахувати необхідний час для безпечного переходу (зміни) з одного виду суднового палива на інший, дотримуючись екологічних норм. Він оцінює ключові параметри палива для забезпечення ефективної та безпечної роботи суднових двигунів.

Основні функціональні можливості FOBAS Calculator:

- оцінює час зміни палива – дозволяє розрахувати, скільки часу потрібно судну, щоб повністю очистити паливну систему від старого палива (з високим вмістом сірки) та перейти на нове (з низьким вмістом сірки), щоб уникнути проблем у роботі двигунів та дотриматися вимог ІМО 2020 щодо вмісту сірки у паливі під час експлуатації суден у SECAs;

- аналізує якість палива – допомагає зрозуміти, як характеристики різних видів палива (наприклад, в'язкість, щільність, вміст сірки) впливають на двигун;

- підвищує ефективність – надає дані для керування експлуатацією та оптимізації роботи двигуна, мінімізуючи ризики та витрати.

Приклади номограм, що ілюструють процес переведення роботи дизелів з високосірчистого палива на малосірчисте паливо для різних палив та різних характеристик паливної системи наведені на рис. 4.2-4.5



FOBAS Change-Over Calculator (For entry into sulphur oxide emission control areas)

Version 8.0

Please read the Guidance Notes and Terms of Use before using the FOBAS Calculator. Proceeding with the use of the FOBAS Calculator is deemed acceptance and compliance of the Guidance Notes and Terms of Use.

Rate of fuel consumption of fuel combustion unit(s)*:	<input type="text" value="2,500"/>	t/hr
Service system - fuel oil quantity ⁴ :	<input type="text" value="10,000"/>	t
Sulphur content of high sulphur ⁴ fuel:	<input type="text" value="0,48"/>	% m/m
Sulphur content of low sulphur ⁴ fuel:	<input type="text" value="0,080"/>	% m/m
Required sulphur content at fuel engine inlet:	<input type="text" value="0,100"/>	% m/m Please select from drop down
Change-over time to achieve required fuel oil sulphur value at fuel combustion unit:	<input type="text" value="11,90"/>	hr

Calculations are based on the assumption that the following setup is being used:

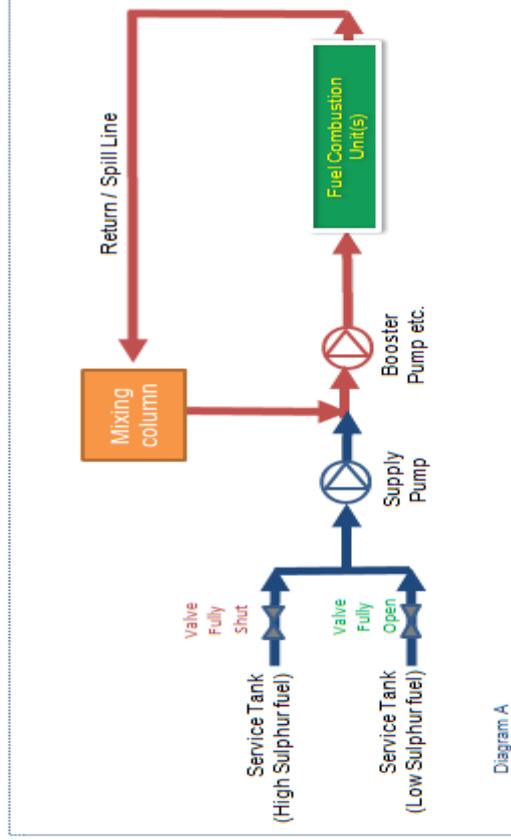


Рис. 4.2. Номограма переведення роботи суднових дизелів з палива зі вмістом сірки 0,48% на паливо зі вмістом сірки 0,08 % (при 100% навантаженні головного двигуна потужністю 14285 кВт)



FOBAS Change-Over Calculator (For entry into sulphur oxide emission control areas)

Version 8.0

Please read the Guidance Notes and Terms of Use before using the FOBAS Calculator. Proceeding with the use of the FOBAS Calculator is deemed acceptance and compliance of the Guidance Notes and Terms of Use.

Rate of fuel consumption of fuel combustion unit(s)*: t/hr

Service svstems - fuel oil quantity **: t

Sulphur content of high sulphur* fuel: % m/m

Sulphur content of low sulphur** fuel: % m/m

Required sulphur content at fuel engine inlet: % m/m
Please select from drop down

Change-over time to achieve required fuel oil sulphur value at fuel combustion unit: hr

Calculations are based on the assumption that the following setup is being used:

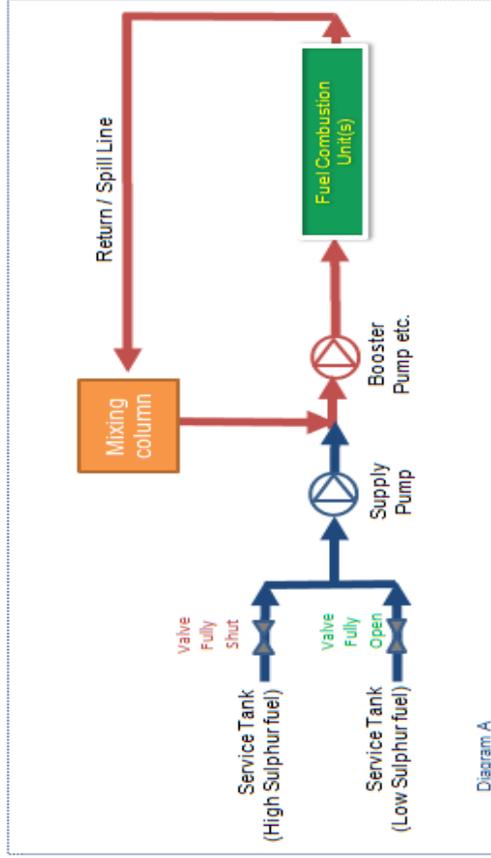


Рис. 4.3. Номограма переведення роботи суднових дизелів з палива зі вмістом сірки 0,42% на паливо зі вмістом сірки 0,09 % (при 80% навантаженні двох допоміжних двигунів загальною потужністю 2100 кВт)



FOBAS Change-Over Calculator (For entry into sulphur oxide emission control areas)

Version 8.0

Please read the Guidance Notes and Terms of Use before using the FOBAS Calculator. Proceeding with the use of the FOBAS Calculator is deemed acceptance and compliance of the Guidance Notes and Terms of Use.

Rate of fuel consumption of fuel combustion unit(s)*:	<input type="text" value="3,850"/>	t/hr
Service svstem - fuel oil quantity ^o :	<input type="text" value="37,200"/>	t
Sulphur content of high sulphur* fuel:	<input type="text" value="0,50"/>	% m/m
Sulphur content of low sulphur** fuel:	<input type="text" value="0,085"/>	% m/m
Required sulphur content at fuel engine inlet:	<input type="text" value="0,090"/>	% m/m Please select from drop down

Change-over time to achieve required fuel oil sulphur value at fuel combustion unit: **42,50** hr

Calculations are based on the assumption that the following setup is being usec

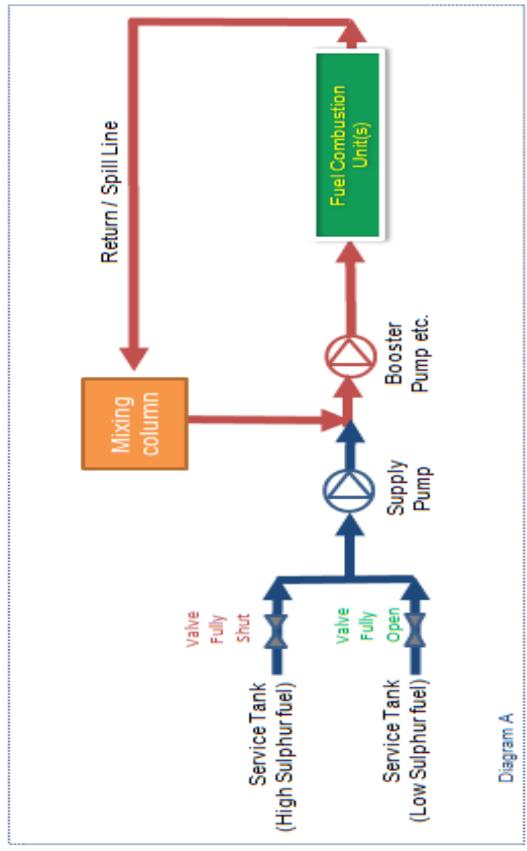


Рис. 4.4. Номограма переведення роботи суднових дизелів з палива зі вмістом сірки 0,50% на паливо зі вмістом сірки 0,09 % (при 100% навантаженні головного двигуна потужністю 22000 кВт)



FOBAS Change-Over Calculator (For entry into sulphur oxide emission control areas)

Version 8.0

Please read the Guidance Notes and Terms of Use before using the FOBAS Calculator. Proceeding with the use of the FOBAS Calculator is deemed acceptance and compliance of the Guidance Notes and Terms of Use.

Rate of fuel consumption of fuel combustion unit(s) ⁴: t/hr

Service svstem - fuel oil quantitv ⁴: t

Sulphur content of high sulphur* fuel: % m/m

Sulphur content of low sulphur** fuel: % m/m

Required sulphur content at fuel engine inlet: % m/m
Please select from drop down

Change-over time to achieve required fuel oil sulphur value at fuel combustion unit: hr

Calculations are based on the assumption that the following setup is being used:

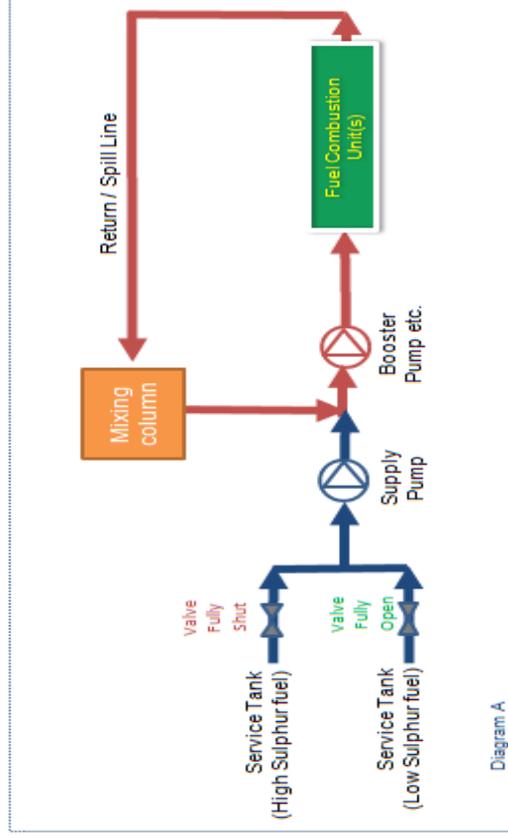


Рис. 4.5. Номограма переведення роботи суднових дизелів з палива зі вмістом сірки 0,42% на паливо зі вмістом сірки 0,09 % (при 80% навантаженні двох допоміжних двигунів загальною потужністю 2820 кВт)

4.4. Висновки за розділом 4

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

1. Одним з шляхів, що забезпечують відповідність суднових дизелів міжнародним екологічним нормам щодо викидів оксидів сірки є їх переведення на низькосірчисті морські сорти палива. Це процедури є обов'язковою під час експлуатації суден морського та внутрішнього водного транспорту у районах SECAs.

2. В цілях забезпечення безпечної роботи і працездатного технічного стану двигунів і устаткування, необхідно розробити конструктивні зміни, спрямовані на розв'язання проблем, що пов'язані з переведення з HFO на MGO і навпаки.

3. Оптимальний час з точки зору ефективності роботи суднових дизелів (як головного, також і допоміжних) та з точки зору забезпечення екологічних вимог щодо роботи суден морського та внутрішнього водного транспорту у районах SECAs доцільно визначати за спеціальними програмами. Однією з яких є FOBAS Calculator – спеціалізований інструмент, розроблений службою аналізу бункерованого палива FOBAS (Fuel Oil Bunkering Analysis and Advisory Service) від Lloyd's Register), який допомагає судновласникам та операторам розрахувати необхідний час для безпечного переходу (зміни) з одного виду суднового палива на інший, дотримуючись екологічних норм. Він оцінює ключові параметри палива для забезпечення ефективної та безпечної роботи суднових двигунів.

5. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ МІЖНАРОДНИМ ЕКОЛОГІЧНИМ НОРМАМ ЩОДО ВИКИДІВ ОКСИДІВ СІРКИ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ СКРУБЕРНОГО ОЧИЩЕННЯ ВИПУСКНИХ ГАЗІВ ВІД ДОМШОК СІРКИ

Одним з найпоширеніших способів зниження емісії SO_x у випускних газах суднових дизелів є використання системи скрубберного очищення.

5.1. Відкрита система очищення газів від оксидів сірки в «мокрих» скруберах

У цьому випадку, скруббер працює з технологією незамкнутого контуру рис. 5.1. У технології незамкнутого контуру морська вода подається до скрубери, в розпилувачі. Водний рівень рН фактора не контролюється. Після процесу чищення брудна морська вода ведеться через або очисні установки або прямо в море. В іншому варіанті вода йде спочатку в сепаратор сажі, потім в масловідділювачі і, врешті, чорна вода запасається у відстійнику сажі, в той час як решта випускається за борт [32-34].

Головна функція скрубера знизити SO_x до рівня 0,1%. У нашому випадку, двигун працює з паливом НФО і викидами SO_x – 2,7%. Рішення помістити скруббер в область труби засноване на обмеженості в машинному приміщенні. Іншою проблемою став трубопровід, тому що скруббер – остання частина системи. Він охолоджує випускний газ в свою чергу, викликає перепад тиску в межах 7..14 mbar. Найбільша незручність – відсутність стабільності, тому що скруббер – дуже важка частина.

При використанні технології незамкнутого контуру дають деякі переваги. По-перше, немає ніякої потреби в додаткових резервуарах і одиницях, таким чином, повна технологія не займає багато місця взагалі. Крім того, немає ніякої потреби в установці додавання NaOH в систему. Експлуатаційні витрати технології незамкнутого контуру дуже низькі, тому що не багато частин необхідні, щоб працювати. Один скруббер коштує приблизно 1,6 мільйонів євро.

Викиди SO_x у випускних газів в незамкнутому контурі знижується на 95 %. Велика незручність – те, що більша частина відпрацьованої емісії залишається у воді і не чиститься перш, ніж повернутися в море. Це викликає проблеми в портах [35-37].

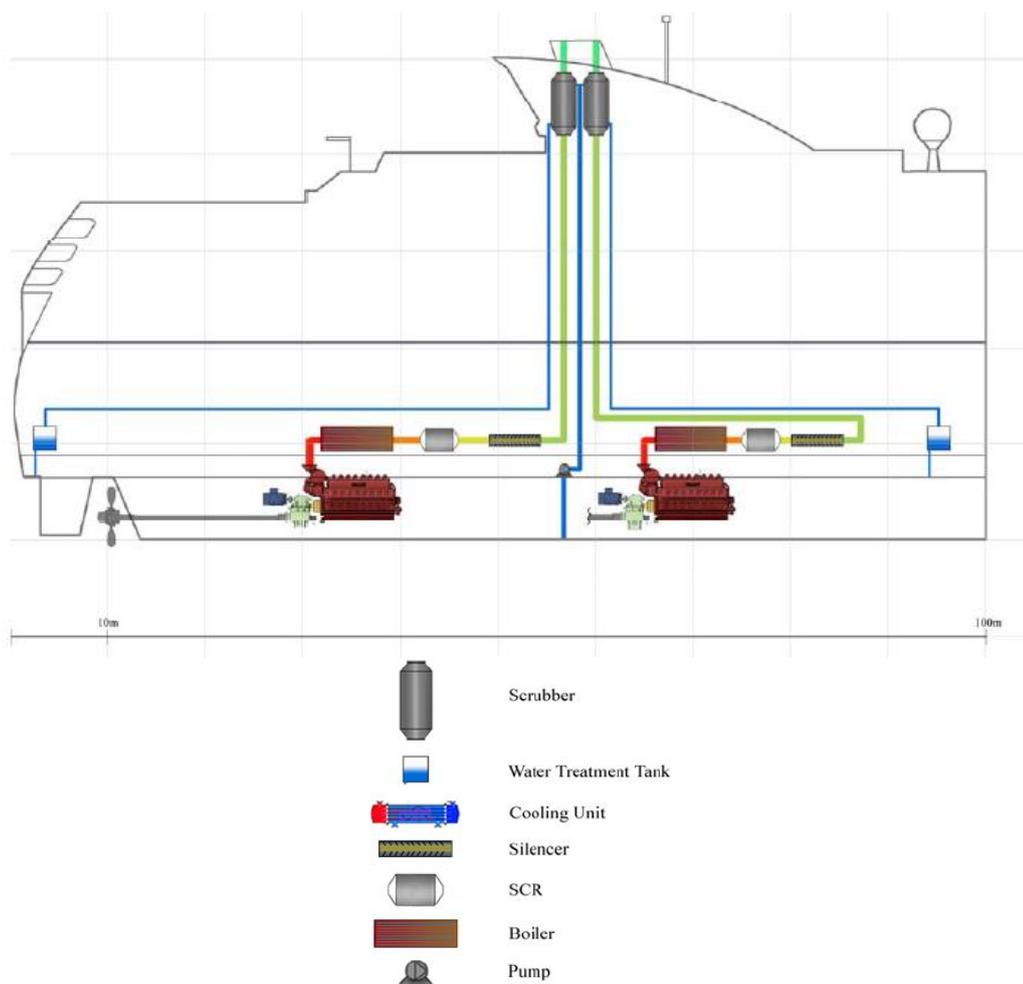


Рис. 5.1. Відкрита система очищення газів від оксидів сірки в «мокрим» скруберах

5.2. Закрита система очищення газів від оксидів сірки в «мокрих» скрубберах

У цьому випадку, скруббер працює з технологією замкнутого контуру. У технології замкнутого контуру, наведеною на рис. 5.2, морська вода бере участь тільки в охолодженні відпрацьованої прісної води. Прісна вода запасасться у великих резервуарах. Замкнутий контур працює з прісною водою, до якої додається лужний гідроксид натрію [NaOH] для нейтралізації SO_x . Ця технологія є енергоємною і становить приблизно 0,2...1,4% витрати пального [38-40].

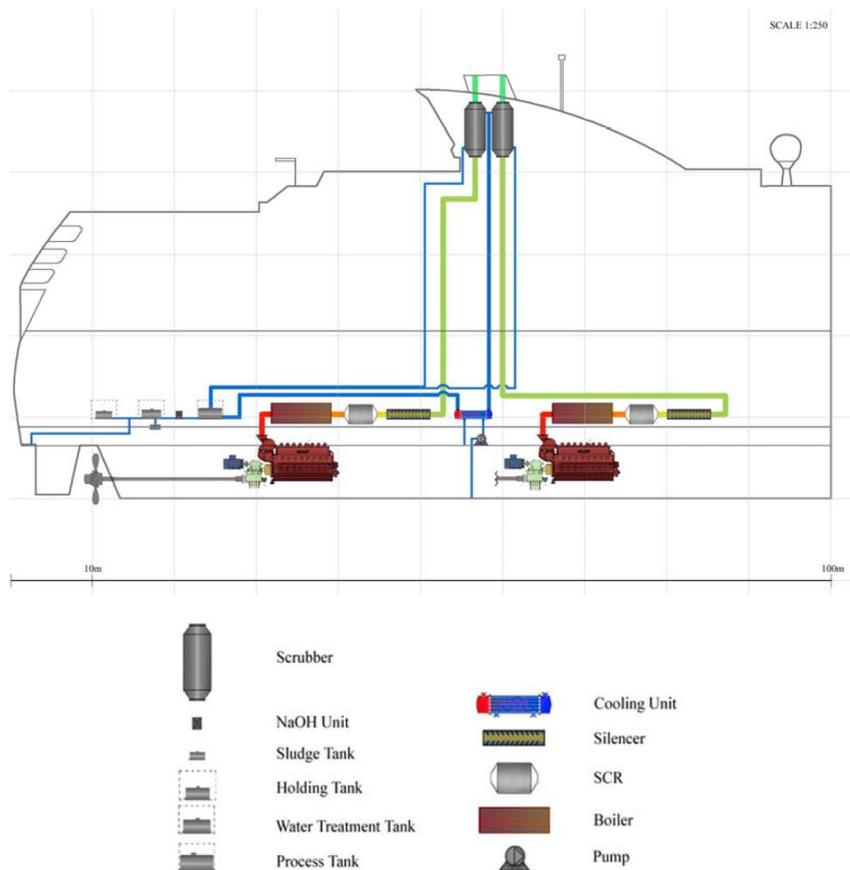


Рис. 5.2. Закрита система очищення газів від оксидів сірки в «мокрих» скрубберах

NaOH додається до води чищення, щоб стимулювати рН фактор і поліпшити ефективність переміщення оксиду сірки. Типова 50%-а концентрація NaOH використовується в якості лугу. Лужне споживання залежить від ступеня концентрації, потужності двигуна, паливного рівня сірки, і бажаного зниження SO_x . Однак, оптимальне рішення залежить від вільного місця, водної температури, водної лужності, маршруту судна, цін на паливо, ціни NaOH, і законодавчих вимог [41-43].

Перед подачею концентрованої прісної води в скруббер, відбувається процес її охолодження заборотною водою в пластинчастих холодильниках. Після процесу чищення вода проходячи фільтр повертається до буферного танку. Забруднена вода йде в шламову цистерну, а чиста вода використовується знову в циклі. Переваги технології замкнутого контуру – можливість збільшити рівень рН фактора, не маючи ніякої корозії і істотного зменшивши кількість води, що скидається за борт, щоб очищати газу. Але є також кілька незручностей, якими є витрати, на закупівлю і зберігання NaOH і додаткові резервуари, які необхідні.

Головна функція скрубера повинна знизити викиди SO_x до рівня 0,1%. У цьому випадку, двигун може працювати з використанням палива HFO з рівнем викидів SO_x до 3,3% [44, 45].

Використовуючи замкнутий контур дана технологія очищення має деякі переваги. По-перше, є можливість збільшити рівень рН фактора, щоб знизити більшу кількість викидів SO_x . Крім того, немає ніякої корозії частин і необхідності великої кількості води для процесу очищення.

Експлуатаційні витрати технології замкнутого контуру відносно високі, тому що вона використовує NaOH, який становить 0,2 €/кг. Крім того, вміст шламової цистерни має бути здана в порту (з метою збереження навколишнього середовища), вартість видачі шламу дуже висока. Інша незручність – потреба додаткових резервуарів, які займають багато простору.

Вартість тільки одного скрубера приблизно 1,6 мільйонів євро. Замкнутий контур знижує приблизно до 98% викидів SO_x у відпрацьованому газі.

І значним мінусом даної системи є використання її поза територією дотримуються вимог ІМО Tier III, а також поза зоною ECAs, так як вартість реагентів дуже велика і не є економічно обґрунтованим використанням для судновласників [46, 47].

5.3. Гібридна система очищення газів від оксидів сірки в «мокрих» скруберах

У цьому випадку, скрубер працює за принципом гібридної системи. Схема вказана на рис. 5.3.

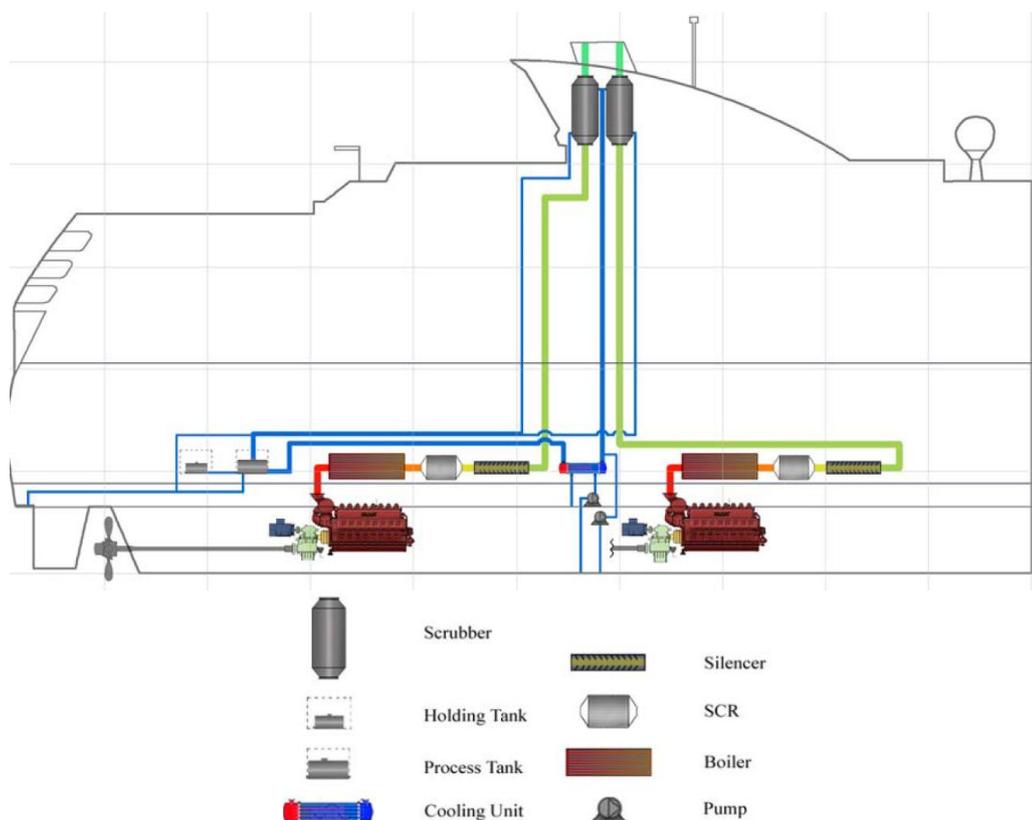


Рис. 5.3. Гібридна система очищення газів від оксидів сірки в «мокрих» скруберах

Гібридна система – суміш між незамкнутим контуром і замкнутим контуром. У портах і зонах ECAs, система може працювати з прісною водою, не генеруючи істотної кількості відстою, який буде виданий при заході в порт. У відкритому морі система перемикається до незамкненої контур з використання морської води для очищення газу. Головна функція скрубера є пониження рівня SO_x до 0,1. Через обмеженості в машинному відділенні розташовується тільки частина обладнання, сам же скруббер винесений в фальш трубу [48, 49].

Використовуючи систему гібридної очищення можна мати деякі переваги. По-перше, якщо судно йде у відкритому морі, після перемикання до незамкненої контур, вода буферного резервуара може бути повільно видалена за борт, потім резервуар повинен бути заново наповнений концентратом води і NaOH, для подальшого використання в зонах ECAs. Залежність витрат концентрату NaOH від потужності головного двигуна зображено на рис. 5.4.

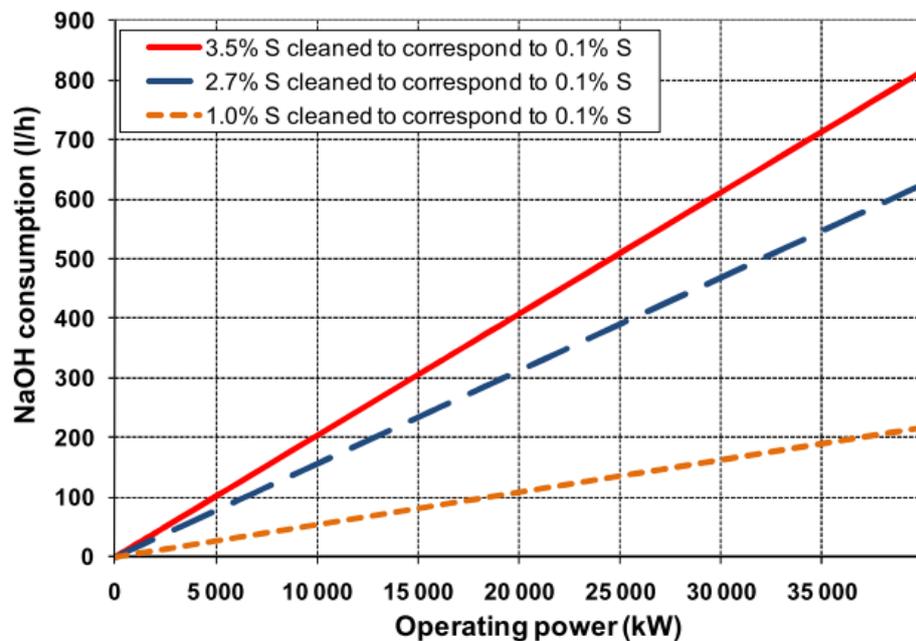


Рис. 5.4. Залежність витрат NaOH від потужності головного двигуна

Експлуатаційні витрати гібридної системи очищення є прийнятними для судновласників, так як дорогі витрати будуть відбуватися в зонах ECAs, коли система буде працювати в режимі замкнутого контуру. Грошові кошти будуть витрачені на використання NaOH, і видачі вмісту шламової цистерни в порту. Два додаткових резервуара необхідні, щоб експлуатувати цю систему з можливістю переходу між замкнутим і незамкнутими контурами.

Гібридна система знижує приблизно 99%-ві викиди SO_x у відпрацьованому газі. Це не буде абсолютно складної задачі для виконання основних критеріїв вимог ІМО III на 2016р., і у цієї технології є кращі результати. Вкладення в гібридну технологію для судна могло бути хорошим вибором мати гарні результати для екологічних аспектів і не витрачати даремно гроші у відкритому морі [50, 51].

5.4. Система очищення газів від оксидів сірки в «сухому» скрубєрі

У цьому випадку, технологія працює з сухим скрубєром, показаному на рис. 5.5.

У сухому скрубєрі абсолютно ніяка вода не знаходиться в системі.

Відпрацьований газ входить в багатоступінчастий абсорбер збоку і піднімається через насипний шар гранул абсорбенту, який завантажується зверху [52].

Відпрацьований газ подається і випускається з абсорбера через формовані трикутником каскадні канали, які взаємно закриваються в стіні корпусу так, щоб відпрацьований газ був змушений проходити через шари абсорбенту.

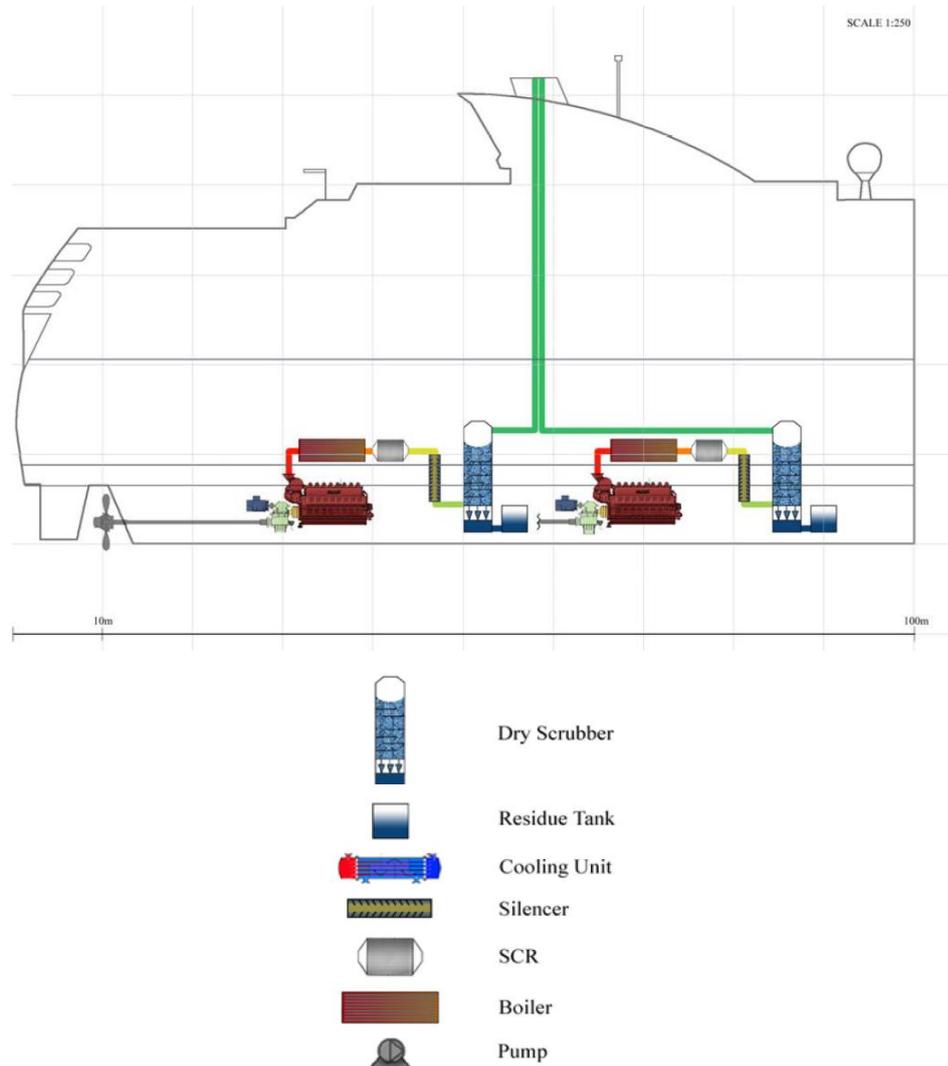


Рис. 5.5. Система очищення газів від оксидів сірки в «сухому» скрубєрі

Контейнер постачання для свіжого $\text{Ca}(\text{OH})_2$ інтегрований в першу стадію абсорбера, подовжуючи корпус нагорі. Баластні цистерни в межах судна використовуються для того, щоб закласти залишок. Головна функція скрубєра повинна знизити рівень SO_x до 0,1%. У цьому випадку, двигун працює з паливом HFO і рівнем викиду SO_x – 3,5%. Скрубєр розміщується перед надбудовою на головній палубі, так його розміри не дозволяють розмістити в машинному відділенні. При використанні сухого скрубєра з'являються деякі переваги. По-перше, гідність цієї технології – те, що

одиниця десульфурзації вимагає, крім електроенергії, тільки $\text{Ca}(\text{OH})_2$ у формі сферичних гранул. Також сухий скруббер далі діє в якості глушника звуку.

Це приводить до пониження втрати тиску приблизно 100mPa і пониженню вищезгаданого споживання питомої енергії до 0,0015 кВт/год. Експлуатаційні витрати сухої технології скруббера високі, тому що вона використовує $\text{Ca}(\text{OH})_2$, який становить 1,3 €/кг. Також контейнери з новими гранулами, повинні бути завантажені в кожному порту, а залишки повинні бути здані. Інша незручність – потреба додаткових контейнерів зберігання, які займають багато простору. Один скруббер стоїть приблизно 1,2 мільйонів євро і більше з урахуванням контейнерів. Сухий скруббер знижує 99%-ті викиди SO_x у випускних газах. Сухий скруббер має в порівнянні з вологим скруббером більш низькі капітальні витрати і більш високі експлуатаційні витрати і вимагає великої кількості простору, який знижує прибуток [53, 54].

5.5. Експлуатація дизеля на малосірчистому паливі

У випадку експлуатації суднового дизеля на мало-сірчистому паливі (зі вмістом сірки до 0,1 %) срубберне очищення не потрібно, і система очищення має вигляд, наданий на рис. 5.6 [55, 56].

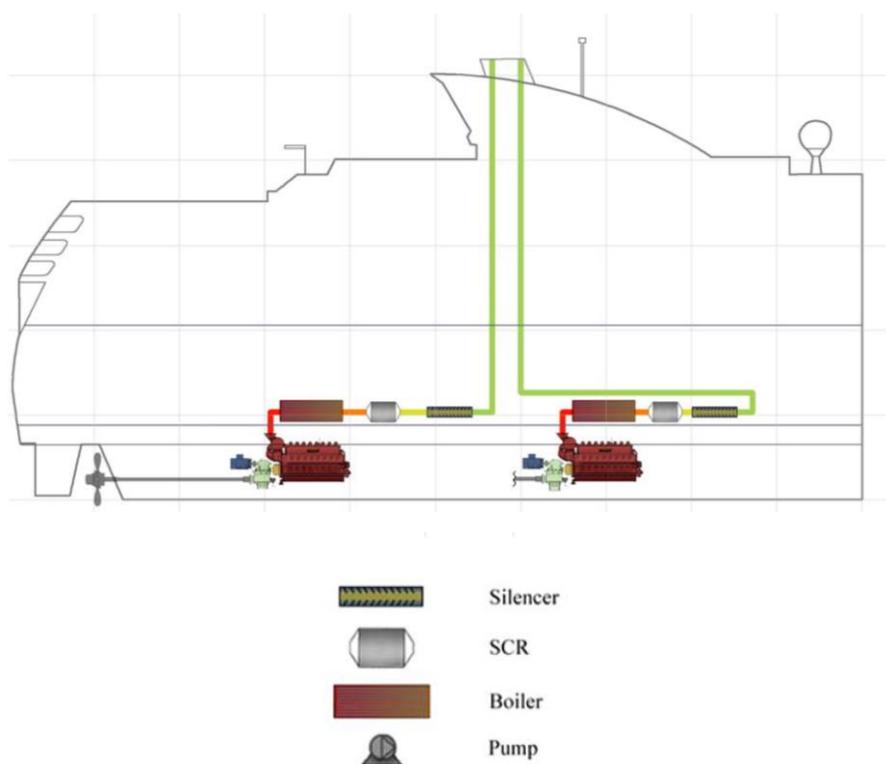


Рис. 5.6. Система очищення газів без скрубера

5.6. Висновки за розділом 5

Як результат досліджень, наведених в розділі 5, визначаємо наступне.

1. Скорочення викидів оксидів сірки дизелів суден морського та внутрішнього водного транспорту досягається або шляхом пониження вмісту сірки в паливі, або шляхом застосування технології уловлювання оксидів сірки з випускних газів в спеціальних приладах – скруберах.

2. Як скрубери в суднових енергетичних установках використовуються різноманітні приладі, що забезпечують так звану «суху» чи «мокру» очистку випускних газів від окислів сірки.

3. У технології незамкнутого контуру морська вода подається до скрубери, в розпилювачі. Водний рівень рН фактора не контролюється. Після

процесу чищення брудна морська вода ведеться через або очисні установки або прямо в море.

4. У технології замкнутого контуру морська вода бере участь тільки в охолодженні відпрацьованої прісної води. Прісна вода запасається у великих резервуарах. Замкнутий контур працює з прісною водою, до якої додається лужний гідроксид натрію для нейтралізації SO_x .

5. Гібридна система – суміш між незамкнутим контуром і замкнутим контуром. У портах і зонах ECAs, система може працювати з прісною водою, не генеруючи істотної кількості відстою, який буде виданий при заході в порт. У відкритому морі система перемикається до незамкненого контуру з використанням морської води для очищення газу.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломної роботи зробимо наступні висновки.

1. Прагнення до захисту навколишнього середовища від забруднень, у тому числі і з судових енергетичних установок, накладає суворі обмеження до забезпечення екологічної безпеки при експлуатації судових дизелів. До стандартних обмежень по захисту навколишнього середовища від забруднень нафтою, нафтовими водами, сміттям, побутовими відходами, додаються вимоги по запобіганню забрудненню повітряного простору.

2. Одним з компонентів, що потрапляють в атмосферу з випускними газами судових дизелів є окисли сірки SO_x .

3. Директивою ЄС встановлені наступні обмеження по шкідливим викидам сірки з випускними газами:

- з 01 січня 2015 р. максимальний вміст сірки в морських паливах в при знаходженні у районах SECA SO_x MGO не повинен перевищувати 0,1 %;

- заборонений продаж MGO із змістом сірки більше 0,1 % на території країн-членів ЄС і їх територіальних водах;

- з 01 січня 2020 р. максимальний вміст сірки в морських паливах не повинен перевищувати 0,5 %;

- вміст сірки в усіх морських сортах палива, використовуваних суднами у причалів портів ЄС, на якірних стоянках і суднами внутрішнього плавання, не повинно перевищувати 0,1 % і відноситься до будь-якого палива, яке використовується в головних, допоміжних двигунах і котлах, з наданням для екіпажа достатнього часу для найбільш швидкого завершення необхідної процедури перемикання палива після постановки до причалу або на якірну стоянку як можна пізніше, перед відходом судна від причалу або якірної стоянки;

•судна біля причалу означають судна, які надійно пришвартовані або стоять на якорі в порту ЄС, протягом часу, коли вони вантажаться, розвантажуються, включаючи той час, коли вони стоять біля причалу без вантажних операцій, на такі судна також розповсюджуються вимоги по використанню палива зі змістом сірки до 0,1 %.

4. Крім заборони на використання палива зі вмістом сірки в межах від 0,1 % (для районів SECA SO_x) до 0,5 % (для Світового океану) існують суворі вимоги до вмісту SO_x в випускних газах судових дизелів. Скорочення викидів SO_x дизеля досягається або шляхом пониження вмісту сірки в паливі, або шляхом застосування технології уловлювання окислів сірки з відпрацьованих газів в спеціальних приладах – скруберах.

5. Як скрубери в судових енергетичних установках використовуються різноманітні приладі, що забезпечують так звану «суху» чи «мокру» очистку випускних газів від окислів сірки.

6. У технології незамкнутого контуру морська вода подається до скрубери, в розпилювачі. Водний рівень рН фактора не контролюється. Після процесу чищення брудна морська вода ведеться через або очисні установки або прямо в море.

7. У технології замкнутого контуру морська вода бере участь тільки в охолодженні відпрацьованої прісної води. Прісна вода запасастся у великих резервуарах. Замкнутий контур працює з прісною водою, до якої додається лужний гідроксид натрію для нейтралізації SO_x.

8. Гібридна система – суміш між незамкнутим контуром і замкнутим контуром. У портах і зонах ECAs, система може працювати з прісною водою, не генеруючи істотної кількості відстою, який буде виданий при заході в порт. У відкритому морі система перемикається до незамкнений контур з використання морської води для очищення газу.

9. Вибір оптимального рішення з питання відповідності новим вимогам ІМО щодо обмеження емісії сірки з 2020 р. в кожному конкретному випадку пов'язаний з різнобічним розглядом багатофакторних аспектів проблеми і повинен проводитися з урахуванням впливу на інші параметри екологічної безпеки суднових енергетичних установок, серед яких викиди парникових газів і NO_x .

10. Скруберні системи з розімкненим контуром, безумовно, є найбільш популярними в даний час завдяки їхній відносній простоті і порівняно низькій вартості, особливо для дооснащення існуючих суден. Однак застосування цих систем не поширюється на райони, в яких введені обмеження на скидання промивної води скрубера. У таких випадках може знадобитися установка гібридного скрубера, що істотно збільшить витрати на модернізацію судна і експлуатаційні витрати.

11. Доцільність того чи іншого варіанту способу відповідності суттєво залежить від типу і розмірів судна. Термін окупності скрубєрних систем скорочується зі збільшенням потужності суднової енергетичної установки, тому установка скрубєра представляється найбільш доцільною для великих суден з високою витратою палива. У той же час при виборі способу відповідності для невеликих суден переклад LNG може бути більш привабливим рішенням, ніж установка скрубєрних систем.

12. Для суден, які можуть здійснювати плавання в зонах SECA або поблизу прибережних районів, де часто введені обмеження на скидання промивної води скрубєра, інвестування у LNG може бути більш підходящим рішенням, враховуючи довгострокову перспективу. Одночасно необхідно брати до уваги можливість того, HSFO не буде легкодоступним у всіх портах, що може позначитися на окупності проекту модернізації деяких суден з установкою скрубєрних систем.

13. Можна припустити, що потенційне збільшення цін на сумісний паливо щодо газоподібного палива змусить багатьох судновласників інвестувати в LNG. Ця можливість викликає постійне збільшення кількості суден, що використовують LNG в якості палива.

14. Альтернативні види палива, такі як метанол і біопаливо, зможуть обслуговувати невелику частку ринку в короткостроковій перспективі, а водень як паливо з технологією паливних елементів у поєднанні з батареями є новим альтернативним рішенням.

Z. Ristovski, R.J. Brown // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. – 2019. – Vol. 70. – Pp. 123-134. DOI: 10.1016/j.trd.2019.04.001.

8. 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>.

9. Sulphur 2020 – cutting sulphur oxide emissions [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.imo.org/en/mediacentre/hottopics/pages/sulphur-2020.aspx>.

10. ISO statement on ISO 8217 and IMO 2020 0,50 % Sulphur fuels [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://shipandbunker.com/news/world/482202-iso-statement-on-iso-8217-and-imo-2020-0,50-sulphur-fuels>.

11. Global Sulphur Cap 2020 – extended and updated [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dnvgl.com/maritime/publications/global-sulphur-cap-2020.html>.

12. What you need to know: The 2020 IMO fuel sulphur regulation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.seatrade-maritime.com/images/PDFs/SOMWME-whitepaper_Sulphur-p2.pdf

13. Global Sulphur Cap 2020 – extended and updated [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dnvgl.com/maritime/publications/global-sulphur-cap-2020.html>.

14. Global Sulphur Cap 2020 – extended and updated [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dnvgl.com/maritime/publications/global-sulphur-cap-2020.html>

15. Мадей В.В. Забезпечення екологічності роботи суднових дизелів під час використання біопалива // Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції «Суднова енергетика: стан та проблеми», 4–5 листопада 2021 року. Націон. ун-т кораблебудування, Миколаїв, 2021. – С. 227-230.

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

17. 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>.

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

19. Maryanov D. M. Maintaining the efficiency of drilling fluids when they are transported by platform supply vessels class offshore vessels // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7–8 (July – August). – P. 22-28. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-22-28>.

20. Guidance to Shipping Companies and Crews on Preparing for Compliance with the 2020 “Global Sulphur Cap” for Ships’ Fuel Oil in Accordance with MARPOL Annex VI. – London: Marisec Publications, 2019. – 36 p.

21. Варбанец Р.А. Технологические карты научных исследований в задачах мониторинга и параметрической диагностики судовых дизелей / Р.А. Варбанец, Ю.Н. Кучеренко, В.И. Кырнац, Е.И. Жолтиков // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. – 2016. – № 1. – С. 47-59.

22. Кринецкий И.И. Основы научных исследований: учеб. пособие / И.И. Кринецкий. – Киев; Одесса : Вища школа, 1981. – 207 с.

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

24. Varbanets R. Analyse of marine diesel engine performance / R. Varbanets, A. Karianskiy // Journal of Polish CIMAC. Energetic Aspects.

Gdansk: Faculty of Ocean Engineering and Ship Technology Gdansk University of Technology. – 2012. – Vol. 7. – № – 1. P. 269-275.

25. Голиков В.В. Системный подход к проблеме безопасного управления судном / Голиков В. В // Судовождение. – Одесса. – 2010. – Вып. 17. – С. 51-58.

26. Козьминых А.В. Основы системного анализа судовых энергетических установок: учебное пособие / А.В. Козьминых. – Одесса : ОГМА, 2000. – 192 с.

27. Леонов В.Е. Основы экологии и охрана окружающей среды: монография. / В.Е. Леонов, В.Ф. Ходаковский, Л.Б. Куликова; под ред. В.Е. Леонова. – Херсон: Издательство ХГМИ, 2010. – 352 с.

28. Дмитриев В.И. Обеспечение безопасности плавания судов и предотвращение загрязнения окружающей среды / В.И. Дмитриев, В.Е. Леонов, П.Г. Химич, В.Ф. Ходаковский, Л.Б. Куликова. Под редакцией проф. В.И. Дмитриева, проф. В.Е. Леонова. – Херсон: ХГМА, 2014. – 400 с.

29. Леонов В.Е. Обеспечение экологической безопасности судоходства / В.Е. Леонов, О.В. Соляков, П.Г. Химич, В.Ф. Ходаковский. Под редакцией проф. Леонова В.Е. – Херсон: ХГМА, 2014. – 188 с.

30. Леонов В.Е. Защита окружающей среды при эксплуатации судов / В.Е. Леонов, В.И. Дмитриев. – Херсон: ХГМА, 2017. – 252 с.

31. Добровольский В.В. Подготовка вязких топлив судовых малооборотных двигателей / В.В. Добровольский, С.А. Ханмамедов // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2010. – № 26. – Одесса: ОНМА. – С.46-54.

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

33. Ханмамедов С.А. Минимизация энергетических затрат на топливоподготовку высоковязких топлив малооборотных ДВС системы СИМАС / С.А. Ханмамедов, В.В. Добровольский, Н.Л. Добровольская // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2011. – № 28. – Одесса: ОНМА. – С.111-119.

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

35. Солодовников В.Г. Использование топлив с повышенным содержанием серы при эксплуатации судовых среднеоборотных дизелей / В.Г. Солодовников // Проблемы техники: науково-виробничий журнал. – 2014. – № 2. – С. 65-71.

36. Добровольский В.В. Подготовка вязких топлив судовых малооборотных дизелей / В.В. Добровольский, С.А. Ханмамедов // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2010. – № 26. – Одесса: ОНМА. – С.46-54.

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

38. Калугин В. Н. Нормативные требования, направленные на сокращение выбросов в атмосферу загрязняющих веществ / В. Н. Калугин // В збірки мат. наук.-техн. конф. «Суднові енергетичні установки : експлуатація та ремонт», 21.03.2012-23.03.2012. Частина 1. – Одеса : ОНМА, 2012. – С.90-93.

39. Emission Limits and Requirements for Auxiliary Diesel Engines and Diesel-Electric Engines Operated on Ocean-Going Vessels Within California Waters and 24 Nautical Miles of the California Baseline. Final Regulation Order. New section 2299.1, title 13, California Code of Regulation (CCR). 2006.

40. Directive 2005/33/EC of the European Parliament and of the Council of 6 July 2005 amending Directive 1999/32/EC. – Official Journal of the European Union, 22.7.2005. EN L 191/59-69.

41. For use of and switching to low sulfur marine gas oil in auxiliary boilers and associated equipment on board tankers to meet requirements of the EU Sulfur Directive 2005/33/EC : Guidance for hazard identification. INTERTANKO and OCIMF Guidelines, December 2009. – 9 p.

42. Калугин В.Н. Рекомендации по переводу работы судовых дизельных установок на низкосортные морские сорта топлив / В.Н. Калугин // В збірки мат. наук.-техн. конф. «Суднові енергетичні установки : експлуатація та ремонт», 21.03.2012-23.03.2012. Частина 1. – Одеса : ОНМА, 2012. – С.94-101.

43. Калугин В.Н. Особенности использования низкосернистых топлив в судовых дизельных установках / В.Н. Калугин // В збірки мат. наук.-техн. конф. «Енергетика суден : експлуатація та ремонт», 05.04.2011-07.04.2011. – Одеса : ОНМА, 2011. – С.103-107.

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

45. Мадей В. В. Використання альтернативного палива в судових середньооберткових дизелях // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вип. 43. – Одеса: НУ «ОМА». – 2021. – С. 45 - 53. doi: 10.31653/smf343.2021.41-53.

46. Sagin S., Karianskyi S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Tkachenko I. Impact of Biofuel on the Environmental and Economic Performance of Marine Diesel Engines. J. Mar. Sci. Eng. 2023, 11(1), 120. <https://doi.org/10.3390/jmse11010120>.

47. Побережний Р.В., Сагін С.В. Забезпечення екологічних показників дизелів суден річкового та морського транспорту // Суднові енергетичні

установки: науково-технічний збірник. Вип. 41. – Одеса: НУ «ОМА». – 2020. – С. 5-9. DOI : 10.31653/smf340.2020.5-9.

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

49. Hombrevella A. Study of Gas Cleaning Systems for vessels to fulfill IMO-III in 2016 / A. Hombrevella, A. Kilicaslan, J. Perales // European Project Semester, 2011. – 220 p.

50. Солодовников В.Г. Использование сернистых топлив в судовых вспомогательных двигателях / В.Г. Солодовников // Зб. ст. VI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті – MINTT-2014» (27-29 травня 2014 р., м. Херсон). – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2014. – С. 304-306.

51. Diesel Directory // Marine Propulsion Perspective in association with MER. – 2013. – № 1. – P. 10-23.

52. Солодовников В.Г. Совершенствование процесса топливо подготовки судовых дизелей / В.Г. Солодовников // Збірка матеріалів VII Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті – MINTT-2015» (26-28 травня 2015 р., м. Херсон). – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2015. – С. 316-319.

53. Tightening emissions regime drives new initiatives // MER. – 2010. – № 6. – P. 16-20.

54. Nadkarni K. Determination of Sulfur in Petroleum Products and Lubricants: A Critical Review of Test Performance / K. Nadkarni // American Laboratory, 2000. – № 11. – P.16-25.

55. 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>.

56. Чалий Д.А. Забезпечення відповідності суднових дизелів міжнародним екологічним нормам щодо викидів оксидів сірки / Д.А. Чалий, М.О. Колегаєв // Матеріали XV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика» (СЕІЕА-2025). – 26.11.2025. – Одеса: НУОМА. –С. 124-127.