

Руснак Д.Ю.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ЩОДО ЕМІСІЇ В АТМОСФЕРУ СІРЧИСТИХ СПОЛУК З ВИПУСКНИМИ ГАЗАМИ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

Виконано аналіз методів, що забезпечують виконання вимог щодо емісії в атмосферу сірчистих сполук з випускними газами суднових дизелів. Визначено, що під час забезпечення суднового пропульсивного комплексу та суднового допоміжного обладнання необхідною енергією, дизелі викидають в атмосферу велику кількість випускних газів, які разом з небезпечними складовими містять токсичні домішки. До них відносяться оксиди азоту, оксиди сірки, монооксид вуглецю, а також незгорілі вуглеводні. Мінімізація викидів оксидів сірки, які потрапляють в атмосферу з випускними газами суднових дизелів, є актуальним завданням, на її розв'язання спрямовані численні дослідження та розробки. Зазначено, що у Європейському Союзі з метою зниження рівня токсичності випускних газів дизелів суден морського та внутрішнього водного транспорту використовують три напрямку: оптимізація та вдосконалення конструктивних особливостей дизелів; покращення експлуатаційних характеристик та якості палива; встановлення на дизелях нейтралізаторів випускних газів, що забезпечують видалення з них шкідливих компонентів. Саме цим напрямкам присвячено аналіз виконаних способів, що сприяють зниженню оксидів сірки з випускними газами суднових дизелів. Як такі способи проаналізовані використання морського газойлю чи дистилатів; створення сумісних низькосірчистих палив; використання важких високосірчистих палив зі скруббером очищення випускних газів від оксидів сірки; використання альтернативних видів палива. Для кожного з нагаданих способів визначені переваги та недоліки, а також виконана оцінка доцільності їх використання на сучасному етапі розвитку енергетичних установок суден морського та внутрішнього водного транспорту. Зазначено, що скорочення викидів оксидів сірки з випускними газами суднових дизелів досягається завдяки: використанню морського газойлю чи дистилатів, а також низькосірчистих сумішей палив (вміст сірки в яких не перевищує 0,1 % за масою); використанню природного газу; використанню палива не нафтового походження; а також використанню важких палив (вміст сірки в яких може досягати 3,5 % за масою) з обов'язковим одночасним та безперервним очищенням випускних газів зі скруббером, що забезпечує видалення оксидів сірки з випускних газів.

Ключові слова: важке паливо, випускні гази, вміст сірки в паліві, дистилатне паливо, екологічні показники, емісія оксидів сірки, концентрація оксидів азоту, морський транспорт, паливо з низьким вмістом сірки, скрубберне очищення випускних газів, судновий дизель.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Екологічна безпека судна є комплексними показниками та включає: безпечне управління баластними операціями, підтримання безпечного технічного стану корпусу судна, забезпечення вимог міжнародних конвенцій щодо захисту довкілля від забруднень [1-4]. Особливо актуальним є управління екологічною безпекою під час знаходження суден морського транспорту в 12-ти мильній прибережній зоні, у спеціальних екологічних районах та акваторіях внутрішніх морів [5-7]. Під час забезпечення суднового пропульсивного комплексу та суднового допоміжного обладнання необхідною енергією, дизелі викидають в атмосферу велику кількість випускних газів, які разом з небезпечними складовими містять токсичні домішки. До них відносяться оксиди азоту NO_x , оксиди сірки SO_x , монооксид вуглецю CO , а також незгорілі вуглеводні C_nH_m . Мінімізація викидів NO_x , SO_x , CO , які потрапляють в атмосферу з випускними газами суднових дизелів, є актуальним завданням, на її розв'язання спрямовані численні дослідження та розробки.

Основним методом зниження емісії оксидів сірки із випускними газами є використання палива із вмістом сірки до 0,1 % за масою. Відповідно до міжнародного стандарту ISO8217 "Fuel Standard

for marine distillate fuels” ці сорти суднових палив відносяться до класу Marine Gas Oil та характеризуються найбільшою вартістю порівняно з паливами інших класів. Використання таких палив знижує економічну ефективність суден морського транспорту. Це є однією з причин використання скрубберного очищення випускних газів, при якому можливе використання палива із вмістом сірки до 3,5 % [8-11].

Додаткове очищення випускних газів суднових дизелів в скруберах суттєво поширює можливість використання морських сортів палива з підвищеним вмістом сірки, сприяє тим самим зменшенню експлуатаційних витрат на придбання палива. Одночасно з цим системи скрубберного очищення вимагають додаткових витрат енергії на обслуговування обладнання, що входить до їх складу, а також є підставою збільшення опору в газопускній магістралі дизелів та пов'язаного з цим зменшення ефективної потужності дизелів [12-15].

Наведене підтверджує актуальність досліджень, спрямованих на зниження концентрації шкідливих компонентів (насамперед оксидів азоту та сірки) в випускних газах суднових дизелів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із пріоритетних напрямів діяльності Європейського Союзу (ЄС) є створення «зеленої», екологічно безпечної Зони для країн, що входять до його складу.

У ЄС з метою зниження рівня токсичності випускних газів дизелів суден морського та внутрішнього водного транспорту використовують три напрямку:

- 1) оптимізація та вдосконалення конструктивних особливостей дизелів [16-18];
- 2) покращення експлуатаційних характеристик та якості палива, а саме, розробка та використання високоцетанових палив, синтетичних присадок до палив нафтового походження, використання нафтових палив з мінімальним вмістом сірки, що дозволяє знизити викиди токсичних речовин та сполук [19-21];
- 3) встановлення на дизелях нейтралізаторів випускних газів, що забезпечують видалення з них шкідливих компонентів [22-24].

У Північній частині ЄС для зниження рівня токсичності випускних газів суднових енергетичних установок (а саме, під час знаходження суден в акваторіях Балтійського та Північного морів, а також у протоці Ла-Манш) використовують лише один напрямок – поліпшення якості судового дизельного палива. Це відображається у використанні в цих районах (зонах особливого контролю викидів сірчистих сполук Sulphur Emission Control Areas – SECA) виключно палива з низьким вмістом сірки (менш за 0,1 %) [23-26].

Даній проблемі присвячено увагу міжнародних організацій: Міжнародної морської організації – International Maritime Organization (IMO), Міжнародної палати судноплавства – International Chamber of Shipping (ICS), Міжнародної організації зі стандартизації – International Standard Organization (ISO), 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 розробки для альтернативних рішень щодо розв'язання проблеми скорочення викидів SO_x [27-29].

З 1 січня 2020 року набрала чинності глава IV, правило 22 до Додатка VI Міжнародної конвенції по запобіганню забрудненню з суден (МАРПОЛ) щодо обмеження викидів сірчистих сполук, що містяться у випускних газах суднових енергетичних установок. Це досягається за рахунок використання низькосірчистого судового палива (не більше 0,1 % за масою – Low sulphur fuel oil, LSFO) у зонах особливого контролю. Перераховані морські басейни та райони SO_x Emission Control Areas – SECA та ECA – зони контролю за викидами сполук сірки, де в першу чергу, контролюються вибори оксидів сірки та де встановлені обмеження на вміст сіркосполучень у судовому паливі. До зони SECA входять:

- акваторії Північного та Балтійського морів, протоки Ла-Манш (рис. 1) [31-33];
- до зони ECA входять морські акваторії, прилеглі до Західного та Східного узбережжя Північної Америки, Канади, і навіть Карибські острова (рис. 2) [34-36].

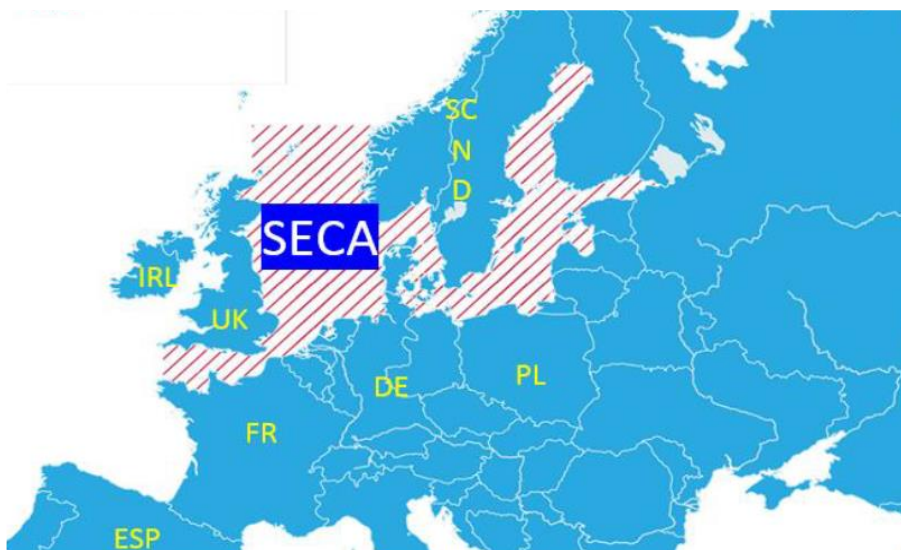


Рисунок 1 – Європейська зона особливого контролю SECA для міжнародного судноплавства

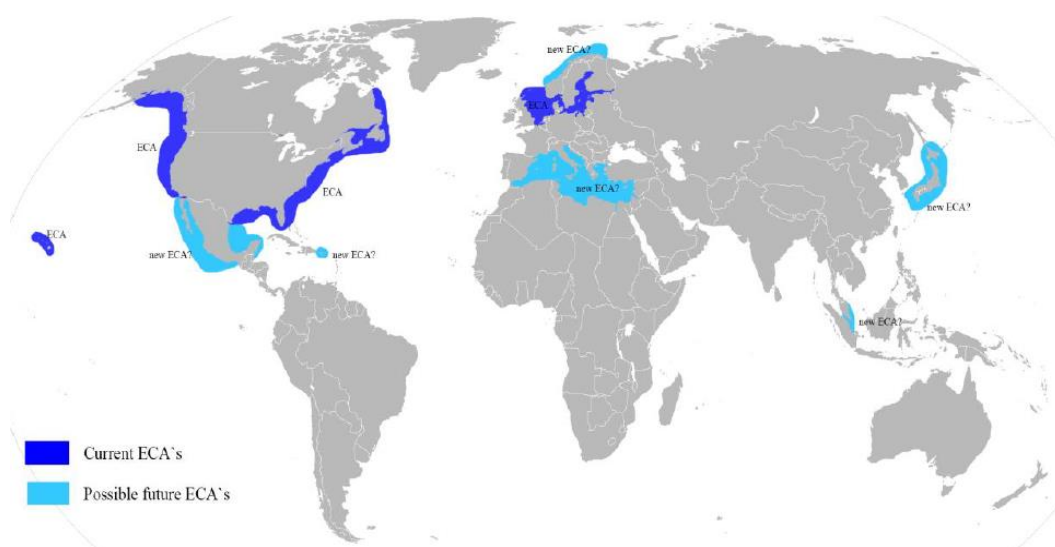


Рисунок 2 – Світові зони особливого контролю SECA для міжнародного судноплавства

Після огляду допустимості застосування сумісного малосірчастого палива, ІМО було прийнято рішення про глобальне обмеження вмісту сірки в паливі до 0,5 % для всіх районів плавання, яке набуло чинності з 2020 р. Ця вимога вводиться на додаток до обмежень у 0,1 % сірки у Північноамериканських та Американських районах Карибського басейну, Північного та Балтійського морів. При цьому суднам, на енергетичних установках яких встановлені спеціальні системи очищення випускних газів від сполук сірки, дозволено не припиняти використання палива з підвищеним вмістом сірки (Heavy sulphur fuel oil – HSFO), таблиця 1 [37, 38].

Таблиця 1 – Регіональні та глобальні вимоги щодо вмісту сірки в морському паливі

Регіон	Межа за вмістом сірки у паливі	Можливість використання скрубєрів
Всі райони плавання в міжнародних водах	0,5 %	Так
Зони контролю (SECA)	0,1 %	Так
ЄС	0,1 % у всіх портових акваторіях	У деяких країнах обмежене використання відкритого циклу
Китай	0,5 % в національних водах в 12-мильній зоні	Так
США, Каліфорнія	0,1 %, в 24-мильній зоні узбережжя	Ні, тільки як виняток у разі окремої заявки та додаткових досліджень

Суттєвою поправкою до регулювання є «Угода про заборону перевезення HSFO у паливній системі», за винятком суден, обладнаних скрубєрами. Як і раніше, дозволено перевозити HSFO як вантаж, проте забороняється мати HSFO в резервуарах паливних систем у разі, якщо не використовуються скрубєри. Ця поправка дозволяє затримувати судна, які використовують невідповідне паливо, при проведенні державного контролю порту – Port State Control (PSC), без необхідності перевірки незалежно від того, було воно використане чи ні. Очікується, що такі виправлення дозволять значно знизити ймовірність порушення вимог екологічного законодавства у міжнародних водах.

Формулювання цілей статті. Метою дослідження був аналіз методів забезпечення вимог щодо емісії в атмосферу сірчистих сполук з випускними газами суднових дизелів та оцінка можливості їх використання в енергетичних установках суден морського та внутрішнього водного транспорту.

Виклад основного матеріалу. 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 вимогам Додатку VI Міжнародної конвенції МАРПОЛ щодо вмісту в паливі, яке використовується в енергетичних установках суден морського та внутрішнього водного транспорту, сірки, а також щодо контролю та обмеження викидів сірковмісних продуктів з випускними газами [39].

Використання морського газойлю чи дистилатів

Перехід на дистилатне або Marine Gas Oil (MGO) паливо, вміст сірки в якому не перевищує 0,1 %, означатиме значне збільшення витрат за статтею паливно-мастильних матеріалів, а також може вимагати модернізацію енергетичної установки в частині паливopідготовки 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 МАРПОЛ. Основна проблема використання MGO або дистилатів пов'язана з їхньою обмеженою доступністю та вартістю на ринку палива. На теперішній час ще існують морські порти, бункерування в яких паливом з низьким вмістом сірки обмежено або вимагає попереднього замовлення. Багато аналітиків вважають, що різниця цін між HSFO та дистилатами залишатиметься

дуже високою на продовженні тривалого періоду (до 5...7 років), що значно збільшить вартість палива та зробить альтернативні варіанти фінансово привабливими. Основною перевагою палива з низьким вмістом сірки є можливість його використання для судових дизелів будь-якого класу – двох- та чотиритактних, мало-, середньо- та високооборотних. Також не викликає труднощів під час використання палива MGO в судових парових котлах [40].

Створення сумісних низькосірчистих палив

Паливні суміші з низьким вмістом сірки доступні на ринку у вигляді різних продуктів. При цьому до складу подібних сумішей включені як палива з низьким (до 0,1 % вмістом сірки) та наднизьким (до 0,01...0,03 % вмістом сірки – Very low sulphur fuel oil, VLSFO), а також палива HSFO з вмістом сірки більш за 0,5 %, які пройшли додаткову десульфурізацію. Однак установки для десульфурації дуже дорогі, а їхній монтаж, впровадження та налагодження можуть зайняти певний проміжок часу до того, як вони почнуть функціонувати з повною продуктивністю. З подібними проблемами стикається судовий екіпаж в разі встановлення мобільних установок з десульфурізації палива безпосередньо на борту судна. 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. Цілком ймовірно, що при використанні нових паливних сумішей виникнуть проблеми сумісності і це зробить технологічну підготовку палива дуже важливим процесом для безпечної експлуатації теплових двигунів енергетичної установки. Інші проблеми, пов'язані з видом палива, що розглядається, включають довготривалу стабільність подібних сумішей, їх підвищену схильність до окислення, а також відносно низьку температуру спалаху. Велике значення набуває контроль якості під час бункерування, необхідний для того, щоб забезпечити отримання палива відповідно до специфікації. Аналогічно MGO, паливні суміші VLSFO та HSFO, вміст сірки в яких не перевищує 0,1 % можуть використовуватися для більшості конфігурацій дизелів, що є перевагою. Одночасно з цим, їх виготовлення вимагає додаткової попередньої десульфурізації HSFO складових (що сприяє невизначеності їхньої кінцевої вартості); їх отримання обмежується здатність бункерованих баз до їх постачання; їх використання може створювати операційні проблеми під змішування через відмінність фізико-хімічних характеристик чи несумісності [41].

Використання важких палив HSFO зі скруббером SO_x очищення випускних газів

Використання HSFO, як і раніше, можливе і в теперішній час – після набуття чинності вимог щодо обмеження вмісту сірки в паливі після 01.01.2020 р. Однак, для відповідності нормам в цьому випадку необхідно встановлення в конструкцію газувипускних трактів енергетичної установки пристроїв з технологією очищення випускних газів, широко відомих як скрубери SO_x. Використання системи скрубберного очищення є одним з найпоширеніших способів зниження емісії SO_x в випускних газах судових 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. 3. До системи входить очищувач газів, якій встановлено на випускній трубі після утилізаційного котла та допоміжне обладнання, яке його обслуговує.

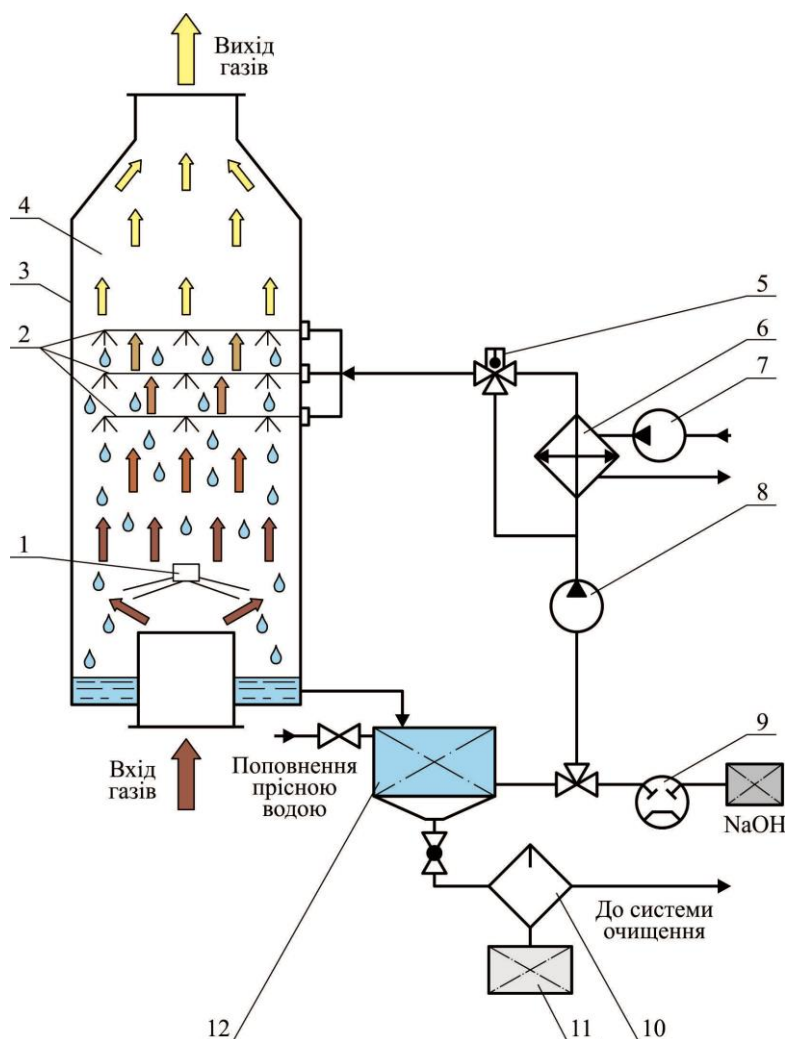


Рисунок 3 – Система очищення випускних газів дизеля:

- 1 – розподільувач рівномірного потоку газів; 2 – форсунки; 3 – корпус скрубера;
 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

Система працює в такий спосіб. В середній частині очищувача розміщені три яруси зрошення прісною водою, яка розпилюється всередині корпусу 3 за допомогою форсунок 2. Вода до очисника потрапляє з циркуляційної цистерни 12 за допомогою насоса 8 через охолоджувач 6. Температура води контролюється терморегулюючим клапаном 5. Каустична сода NaOH для нейтралізації SO_x потрапляє в систему за допомогою насос-дозатора 9. Газ з випускної труби потрапляють до нижньої частини очищувача газів, рівномірно розподіляються за допомогою розпилювача 1 та рухаються в гору по корпусу 3. Краплі водяного розчину, що утворюються, падають під дією сили тяжіння назустріч забрудненим газам, змочують тверді домішки та таким чином відокремлюють їх від потоку газів. Через контакт NaOH з SO_x здійснюється хімічна реакція, як результат якої утворюються сульфати натрію Na_2SO_4 . Очищені гази відділяються від крапель води в секції 4 та відводяться через газохід, що розміщено в верхній частині очищувача. Відпрацьована вода рухається самотливом назад в циркуляційну цистерну.

Поповнення цистерни прісної води необхідно в такій кількості, щоб компенсувати випарену та викинути вологу. Шлам, що збирається в кінчій 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 підсумовується з експлуатаційними витратами, пов'язаними зі збільшенням споживання енергії, можливою потребою у хімічних витратних матеріалах, а також із витратами на обробку та видалення осаду.

До основні переваги системи з скрубєром SO_x очищення випускних газів відносяться: можливість використання палива HSFO з підвищеним (до 3,5 %) вмістом сірки; можливість переобладнання з умовою вдосконалення технології та характеристик реагентів, що використовуються для нейтралізації сірчистих сполук; додаткове очищення випускних газів від твердих частинок та незгорілих вуглеводнів.

Основні недоліки системи: значні початкові інвестиції (2...10 млн. \$USA відносно від продуктивності та потужності енергетичної установки для якої вона використовується); обов'язкове очищення всіх випускних газів всіх теплових двигунів (головних, допоміжних та котлів) в яких використовуються HSFO; необхідність наявності додаткового місця для встановлення; додаткові витрати на хімікати; забезпечення інтеграція у систему управління; необхідність проведення безперервного моніторингу складу випускних газів [42].

Використання зрідженого природного газу як основного палива

Цілком очевидним є той факт, що використання зрідженого природного газу (Liquefied Natural Gas – LNG) як основного палива з часом 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 переведення теплових двигунів енергетичної установки на LNG слід проводити лише на основі ретельного аналізу різнобічної інформації. 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 та 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 використання LNG полягають у високих екологічних показниках дизелів (а саме емісії оксидів сірки та азоту); можливість забезпечення вимог Tier III МАРПОЛ щодо викидів NO_x (найбільш суворого рівня, що відноситься до суден, збудованих після 2016 р); позитивний вплив на EEDI.

Недоліками використання LNG як основного палива є: високі інвестиційні витрати 3...30 млн дол. \$USA на встановлення нового обладнання; обмежена бункеровочна інфраструктура; можливість появи у випускних газах метану (якій сприяє глобальному потепленню); необхідність додаткових суднових об'ємів для зберігання через менший питомий об'єм LNG; необхідність підтримання вибухонебезпечних умов зберігання та використання [43].

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 та зрідженому газу (LNG та LPG) як основному паливі. 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 [44].

Висновки. Як результат виконаних досліджень визначимо наступне.

1. Європейські та Світові природоохоронні організації, а також міжнародні організації, що виконують нагляд та класифікацію морських та річкових засобів транспорту, а також їх енергетичних установок висувають суворі вимоги щодо екологічних показників роботи суднових дизелів, насамперед до емісії з випускними газами оксидів азоту та сірки. Саме оксиди азоту та сірки є не лише джерелом постійного забруднення атмосфери, але також відносяться до токсичних компонентів, та найбільш негативно впливають на довкілля та людину.

3. Скорочення викидів оксидів сірки з випускними газами суднових дизелів досягається завдяки: використанню морського газойлю чи дистилатів, а також низькосірчистих сумішей палив (вміст сірки в яких не перевищує 0,1 % за масою); використанню природного газу; використанню альтернативних видів палива (не нафтового походження); а також використанню важких палив (вміст сірки в яких може досягати 3,5 % за масою) з обов'язковим одночасним та безперервним очищенням випускних газів зі скруббером, що забезпечує видалення оксидів сірки з випускних газів.

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

ЛІТЕРАТУРА

1. Тимочко О.І., Левченко О.В., Руденко В.М., Сітков О.М. Використання гібридних роботизованих комплексів для інспекції морських нафтогазових об'єктів // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 2(40). – С. 6-22. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.01.
2. Сагін С.В., Бондар С.А., Столярик Т.О. Оцінка безвідмовності суднових дизелів за технічним станом моторного мастила циркуляційних систем мащення // Водний транспорт. – 2023. – № 1(37). – 59-70. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.06.
3. Сагін С.В., Сагін С.С. Визначення методу управління рухом суден морського транспорту під час забезпечення їх безпечного розходження // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 2(38). – С. 187-198. doi.org/10.33298/2226-8553/2023.2.38.20.
4. Sagin S., Sagin A. Development of method for managing risk factors for emergency situations when using low-sulfur content fuel in marine diesel engines // Technology Audit and Production Reserves. – 2023. – № 5 (1(73)). – P. 37–43. doi: https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.290198.
5. Тимошук О.М., Боріна М.В. Дослідження методів підвищення екологічності суднових енергетичних установок у водному середовищі // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 240-252. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21.
6. Руснак Д.Ю., Сагін С.В. Забезпечення екологічних вимог при ультразвуковій десульфурізації вуглеводних палив // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 40. – Одеса : НУ«ОМА». – С. 49-54. DOI: 10.31653/smf340.2020.49-54.
7. Petrychenko O., Levinskyi M., Prytula D., Vynohradova A. Fuel options for the future: a comparative overview of properties and prospects // Transport Systems and Technologies. – 2023. – № 41. – P. 96-106. https://doi.org/10.32703/2617-9059-2023-41-8.

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. Мадей В.В., Сагін С.В., Волков О.М. Управління процесом впорскування під час використання в судових дизелях паливних сумішей до складу яких входить паливо біологічного походження // *Водний транспорт. Збірник наукових праць.* – 2024. – Вип. 1(39). – С. 193-205. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.21.
10. Тимошук О.М., Дакі О.А., Бойко О.А., Карадобрій Т.А. Аналітичний огляд адаптивних систем керування судном та шляхи їх побудови // *Водний транспорт. Збірник наукових праць.* – 2020. – Вип. 3(31). – С. 120-125. <https://doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.13>.
11. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A., Zablotskyi Yu.V. Gaichenia O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // *Nase More: International Journal of Maritime Science & Technology.* – 2022. – Vol.69. – Iss.1. – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7.
12. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // *Technology Audit and Production Reserves.* – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33–42. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039>.
13. Дакі О.А., Пліта Л.Л., Трофименко І.В., Федунів В.М. Особливості та вимоги щодо навігаційного забезпечення безпеки судноводіння на внутрішніх судноплавних шляхах // *Водний транспорт. Збірник наукових праць.* – 2022. – Вип. 2(36). – С. 184-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.15.
14. Сагін С.В., Куропятник О.А. Визначення оптимальних режимів процесів управління випускними газами судових дизелів // *Водний транспорт: Збірник наукових праць.* – 2024. – Вип. 2(40). – С. 173-185. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.16.
15. Сагін С.В., Куропятник А.А. Оптимизация режимов работы системы перепуска выпускных газов судовых среднеоборотных дизелей // *Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сб.* – 2019. – Вып. 25. – Одесса: НУ«ОМА». – С. 79-89.
16. Levinskyi M. Automatic diagnostic of marine diesel generator lubricating oil condition // *Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб.* – 2023. – Вип. 28. – Одесса: НУ «ОМА». – С. 106-120. DOI: 10.31653/1819-3293-2023-1-28-106-120.
17. Поповский А.Ю., Сагін С.В. Оценка эксплуатационных свойств смазочно-охлаждающих жидкостей судовых технических средств // *Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сборник.* – 2016. – Вып. 22. – С. 66-74.
18. Zablotsky Yu.V. The use of chemical fuel processing to improve the economic and environmental performance of marine internal combustion engines // *Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”. Part 1.* August 31, 2019. Beijing, PRC. – P. 131-138. DOI. 10.34660/INF.2019.15.36257.
19. Сагін С.В., Поповский Ю.М., Гребенюк М.Н. Влияние ориентационной упорядоченности в граничных смазочных слоях на триботехнические характеристики узлов трения // *Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб.* – 1998. – Вып. 1. – Одесса: ОГМА. – С.102-104.
20. Сагін С.В., Заблоцкий Ю.В. Влияние анизотропных жидкостей на работу узлов трения судовых дизелей // *Проблемы техники : науч.-виробн. журнал.* – 2012. – № 4. – Одесса : ОНМУ. – С. 68-81.
21. Поповский А.Ю., Сагін С.В. Комплексная оценка эксплуатационных характеристик смазочных углеводородных жидкостей // *Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сборник.* – 2014. – Вып. 20. – С. 74-83.
22. Sagin S.V. Decrease in mechanical losses in high-pressure fuel equipment of marine diesel engines // *Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”. Part 1.* August 31, 2019. Beijing, PRC. – P. 139-145. DOI. 10.34660/INF.2019.15.36258.
23. Sagin S.V. Determination of the optimal recovery time of the rheological characteristics of marine diesel engine lubricating oils // *Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments” (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4).* – P. 195-202. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52991.

24. Сагін С.В., Сагін А.С. Контроль та діагностування надійності та економічності дизелів морських та річкових засобів транспорту // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 46. – С. 118-131. doi: 10.31653/smf46.2023.118-131.
25. Сагін С.В., Сагін С.С. Використання штучного інтелекту в ситуаціях надмірного зближення суден // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 215-225. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22.
26. Мадей В.В., Сагін С.В., Волков О.М. Управління процесом впорскування під час використання в судових дизелях паливних сумішей до складу яких входить паливо біологічного походження // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 193-205. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.20.
27. Марченко О.О., Сагін С.В. Вдосконалення процесу очищення судових важких палив // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. – 2020. – Вип. 41. – Одеса: НУ«ОМА». – С. 10-14. DOI: 10.31653/smf341.2020.10-14.
28. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В., Перунов Р.В. Технология использования и результаты испытаний присадок к топливам для судовых дизелей // Проблемы техники: наук.-виробн. журнал. – 2012. – № 3. – Одесса: ОНМУ. – С. 84-103.
29. Сагин С.В., Мацкевич Д.В. Оптические характеристики граничных смазочных слоев масел, применяемых в циркуляционных системах судовых дизелей // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2011. – № 26. – С. 116-125.
30. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. Using exhaust gas bypass for achieving the environmental performance of marine diesel engines // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7-8 (July – August). – P. 36-43. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-36-43>.
31. Kuropyatnyk O.A. Ensuring environmental performance indicators of marine diesel engines // Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”. Part 1. August 31, 2019. Beijing, PRC. – P. 146-153. DOI. 10.34660/INF.2019.15.36259.
32. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В. Определение триботехнических характеристик поверхностей по степени упорядоченности пристенных слоев углеводородных жидкостей // Проблемы техники : наук.-виробн. журнал. – 2011. – № 3. – Одесса: ОНМУ. – С. 78-88.
33. Сагін А.С., Сагін С.В. Експериментальне визначення оптимальних фаз подачі палива в циліндр судових дизелів // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 206-215. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.22.
34. Куропятник А.А., Сагин С.В. Управление выпускными газами судовых дизелей для обеспечения экологических показателей // Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сборник, 2018. – Вып. 24. – С. 72-80.
35. Сагін С.В., Столярик Т.О. Динаміка судових дизелів під час використанні моторних мастил з різними структурними характеристиками // Автоматизація судових технічних засобів : наук. -техн. зб. – 2021. – Вип. 27. – Одеса: НУ«ОМА». – С. 108-119. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-108-119.
36. Зверьков Д.О., Сагін С.В. Зниження механічних втрат у судових дизелях // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 40. – С. 20-25. DOI : 10.31653/smf341.2020.20-25.
37. Sagin S.V., Karianskyi S., Sagin S.S., Volkov O., Zablotskyi Y., Fomin O., Pířtěk V., Kuřcera P. Ensuring the safety of maritime transportation of drilling fluids by platform supply-class vessel // Applied Ocean Research, 2023. – Vol. 140. 103745. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103745>.
38. 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>.
39. Левченко О.В. Синтез варіантів дій судоводія у небезпечних ситуаціях з урахуванням часових та ресурсних обмежень у судових СППР // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2021. – Вип. 3(34). – С. 89-98. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.10.

40. Побережний Р.В., Сагін С.В. Забезпечення екологічних показників дизелів суден річкового та морського транспорту // Суднові енергетичні установки: наук. -техн. зб. – 2020. – Вип. 41. – Одеса: НУОМА. – С. 5-9. DOI: 10.31653/smf340.2020.5-9.

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

42. Kuropyatnyk O.A. Selection of optimal operating modes of exhaust gas recirculation system for marine low-speed diesel engines // Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments” (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4). – P. 203-211. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52992.

43. Kuropyatnyk O.A. Reducing the emission of nitrogen oxides from marine diesel engines // Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration January 25, 2020. Part 2. Beijing, PRC. – P. 154-160. DOI. 10.34660/INF. 2020.24.53689

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

REFERENCES

1. Tymochko O.I., Levchenko O.V., Rudenko V.M., Sitkov O.M. Use of hybrid robotic complex for inspection of marine oil and gas facilities // Water transport. – 2024. – Vol. 2(40). – P. 6-22. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.01.

2. Sagin S.V., Bondar S.A., Stoliaryk T.O. Assessment of the reliability of marine diesel engines according to the technical condition of engine oil of circulating lubrication systems // Water transport. – 2023. – Vol. 1(37). – P. 59-70. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.06.

3. Sagin S.V., Sagin S.S., Determination of the method of controlling the movement of marine transport vessels while ensuring their safe divergences // Water transport. – 2023. – № 2(38). – С. 187-198. doi.org/10.33298/2226-8553/2023.2.38.20.

4. Sagin S., Sagin A. Development of method for managing risk factors for emergency situations when using low-sulfur content fuel in marine diesel engines // Technology Audit and Production Reserves. – 2023. – № 5 (1(73)). – P. 37–43. doi: https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.290198.

5. Tymoshchuk O., Borina M. Research of methods of enhancing the environmental facility of ship power plants in the aquatic environment // Water transport. – 2022. – № 2(36). – P. 240-252. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21.

6. Rusnak D.Y., Sagin S.V. Ensuring environmental requirements during ultrasonic desulfurization of hydrocarbon fuels // Ship power plants. – 2020. – Vol. 40. – P. 49-54. DOI: 10.31653/smf340.2020.49-54.

7. Petrychenko O. Levinskyi M., Prytula D., Vynohradova A. Fuel options for the future: a comparative overview of properties and prospects // Transport Systems and Technologies. – 2023. – № 41. – P. 96-106. https://doi.org/10.32703/2617-9059-2023-41-8.

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. Madey V.V., Sagin S.V., Volkov O.M. Ensuring operational performance of diesel engines of marine vessels when using fuel of biological origin // Water transport. – 2024. – №. 1(39). – P. 193-205. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.21.

10. Tymoshchuk O., Daki O., Boyko O., Karadobriy T. Analytical Inspection of adaptive vessel control systems and ways of their construction // Water Transport. – 2020. – № 3(31). – P. 120-125. doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.13.

11. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A., Zablotskyi Yu.V. Gaichenia O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // *Nase More : International Journal of Maritime Science & Technology*. – 2022. – Vol. 69. – Iss.1. – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7.
12. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33–42. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039>.
13. Daki O.A., Plita L.L., Trofymenko I.V., Fedunov V.M. Feature and requirements for navigational safety of navigation on inland waterways // *Water transport*. – 2022. – № 2(36). – P. 184-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.15.
14. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. Determination of optimal modes of exhaust gas control processes for marine diesel engines // *Water transport*. – 2024. – №. 1(39). – P. 173-185. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.16.
15. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. Optimization of operating modes of the exhaust gas bypass system of marine medium-speed diesel engines // *Automation of ship facilities*. – 2019. – № 25. – P. 79-89.
16. Levinskyi M. Automatic diagnostic of marine diesel generator lubricating oil condition // *Automation of ship technical facilities*. – 2023. – № 28. – P. 106-120. DOI: 10.31653/1819-3293-2023-1-28-106-120
17. Popovskii A.Y., Sagin S.V. Evaluation of operational properties of lubricating and cooling liquids of marine technical equipment // *Automation of ship technical facilities*. – 2016. – Vol. 22. – P. 66-74.
18. Zablotsky Yu.V. The use of chemical fuel processing to improve the economic and environmental performance of marine internal combustion engines // *Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”*. Part 1. August 31, 2019. Beijing, PRC. – P. 131-138. DOI. 10.34660/INF.2019.15.36257.
19. Sagin S.V., Popovskii Y.M., Grebenuk M.N. The influence of orientation ordering in boundary lubricant layers on the tribological characteristics of friction units // *Ship power plants*. – 1998. – Vol. 1. – P. 102-104.
20. Sagin S.V., Zablotsky Yu.V. The influence of anisotropic fluids on the operation of friction units of marine diesel engines // *Problems of technical*. – 2012. – Vol. 4. – P. 68-81.
21. Popovskii A.Y., Sagin S.V. Complex assessment of operational characteristics of lubricating hydrocarbon liquids // *Automation of ship facilities*. – 2014. – №20. – P. 74-83.
22. Sagin S.V. Decrease in mechanical losses in high-pressure fuel equipment of marine diesel engines // *Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”*. Part 1. August 31, 2019. Beijing, PRC. – P. 139-145. DOI. 10.34660/INF.2019.15.36258.
23. Sagin S.V. Determination of the optimal recovery time of the rheological characteristics of marine diesel engine lubricating oils // *Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments”* (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4). – P. 195-202. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52991.
24. Sagin S.V., Sagin A.S. Control and diagnosis of reliability and economy of diesel engines of sea and river means of transport // *Ship power plants*. – 2023. – Vol. 46. – P. 118-131. doi: 10.31653/smf46.2023.118-131.
25. Sagin S.S., Sagin S.V. Use of artificial intelligence in the situations of excessive vessels approaching // *Water Transport*. – 2024. – №. 1(39). – P. 215-225. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22.
26. Madey V.V., Sagin S.V., Volkov O.M. Direction of the injection process during the use of fuel mixture that include fuel of biological origin in marine diesel engines *Water transport*. – 2024. – Vol. 1(39). – P. 193-205. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.20.
27. Marchenko O.O., Sagin S.V. Improving the process of cleaning marine heavy fuels // *Ship power plants*. – 2020. – Vol. 41. – P. 10-14. DOI: 10.31653/smf340.2020.10-14.
28. Sagin S.V., Zablotsky Yu.V., Perunov R.V. Technology of use and test results of fuel additives for marine diesel engines // *Problems of technical*. – 2012. – Vol. 3. – P. 84-103.

29. Sagin S.V., Matskevych D.V. Optical characteristics of boundary lubricating layers of oils used in circulation systems of marine diesel engines // *Ship power plants*. – 2011. – Vol. 26. – P. 116-125.
30. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. Using exhaust gas bypass for achieving the environmental performance of marine diesel engines // *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal*. – 2021. – № 7-8 (July – August). – P. 36-43. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-36-43>.
31. Kuropyatnyk O.A. Ensuring environmental performance indicators of marine diesel engines // *Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”*. Part 1. August 31, 2019. Beijing, PRC. – P. 146-153. DOI. 10.34660/INF.2019.15.36259.
32. Sagin S.V., Zablotskyi Y.V. Determination of tribological characteristics of surfaces by the degree of ordering of wall layers of hydrocarbon liquids // *Problems of technical*. – 2011. – Vol. 3. – P. 78-88.
33. Sagin A.S., Sagin S.V. Experimental determination of optimal phases of fuel supply to the cylinder of marine diesel engines // *Water transport*. – 2024. – №. 1(39). – P. 206-215. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.22.
34. Kuropyatnyk O.O., Sagin S.V. Controlling the exhaust gases of marine diesel engines to ensure environmental performance // *Automation of ship technical facilities*. – 2018. – № 24. – P. 72-80.
35. Sagin S.V., Stoliaryk T.O. Dynamics of marine diesel engines when using motor oils with different structural characteristics // *Automation of ship facilities*. – 2021. – № 27. – P. 108-119. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-108-119.
36. Zverkov D.O., Sagin S.V. Reduction of mechanical losses in marine diesel engines // *Ship power plants*. – 2020. – Vol. 40. – P. 20-25. DOI : 10.31653/smf341.2020.20-25.
37. Sagin S.V., Karianskyi S., Sagin S.S., Volkov O., Zablotskyi Y., Fomin O., Píšťek V., Kučera P. Ensuring the safety of maritime transportation of drilling fluids by platform supply-class vessel // *Applied Ocean Research*, 2023. – Vol. 140. 103745. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103745>.
38. 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>.
39. Levchenko O. Synthesis of vessels' options in dangerous situations taking into account time and resource restrictions in vessel DSS. // *Water transport*. – 2021. – № 3(34). – P. 89-98. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.10.
40. Poberezhniy R.V., Sagin S.V. Ensuring the environmental performance of diesel engines in river and sea transport vessels // *Ship power plants*. – 2020. – Vol. 41. – P. 5-9. DOI: 10.31653/smf340.2020.5-9.
41. Sagin A.S., Sagin S.V. Experimental determination of optimal phases of fuel supply to the cylinder of marine diesel engines // *Water transport*. – 2024. – Vol. 1(39). – P. 206-215. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.21.
42. Kuropyatnyk O.A. Selection of optimal operating modes of exhaust gas recirculation system for marine low-speed diesel engines // *Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments”* (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4). – P. 203-211. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52992
43. Kuropyatnyk O.A. Reducing the emission of nitrogen oxides from marine diesel engines // *Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”* January 25, 2020. Part 2. Beijing, PRC. – P. 154-160. DOI. 10.34660/INF. 2020.24.53689
44. Sagin S., Kuropyatnyk O., Tkachenko I. Ensuring the environmental friendliness of marine diesel engines of specialized ships // *Ship power plants*. – 2022. – Vol. 45. – P. 5-16. [doi: 10.31653/smf45.2022.5-16](https://doi.org/10.31653/smf45.2022.5-16).

Rusnak D.Y.**ANALYSIS OF METHODS FOR ENSURING REQUIREMENTS FOR EMISSIONS OF SULFUR COMPOUNDS INTO THE ATMOSPHERE WITH EXHAUST GASES FROM MARINE DIESEL ENGINES**

An analysis of methods ensuring compliance with the requirements for emissions of sulfur compounds into the atmosphere with exhaust gases from ship diesel engines has been performed. It has been determined that when providing the ship's propulsion system and ship's auxiliary equipment with the necessary energy, diesel engines emit a large amount of exhaust gases into the atmosphere, which, together with hazardous components, contain toxic impurities. These include nitrogen oxides, sulfur oxides, carbon monoxide, and unburned hydrocarbons. Minimizing emissions of sulfur oxides that enter the atmosphere with exhaust gases from ship diesel engines is an urgent task, and numerous research and development projects are aimed at solving it. It is noted that in the European Union, in order to reduce the level of toxicity of exhaust gases from diesel engines of sea and inland waterway transport vessels, three directions are used: optimization and improvement of design features of diesel engines; improvement of operational characteristics and fuel quality; installation of exhaust gas neutralizers on diesel engines that ensure the removal of harmful components from them. It is to these areas that the analysis of implemented methods that contribute to the reduction of sulfur oxides in the exhaust gases of ship diesel engines is devoted. As such methods, the use of marine gas oil or distillates; the creation of compatible low-sulfur fuels; the use of heavy high-sulfur fuels with a scrubber for cleaning exhaust gases from sulfur oxides; the use of alternative fuels are analyzed. For each of the mentioned methods, advantages and disadvantages are determined, and the feasibility of their use at the current stage of development of power plants for ships of marine and inland water transport is also assessed. It is noted that the reduction of sulfur oxide emissions in the exhaust gases of ship diesel engines is achieved through: the use of marine gas oil or distillates, as well as low-sulfur fuel mixtures (the sulfur content in which does not exceed 0.1% by mass); the use of natural gas; the use of non-petroleum fuels; and the use of heavy fuels (the sulfur content of which can reach 3.5% by weight) with mandatory simultaneous and continuous exhaust gas cleaning with a scrubber, which ensures the removal of sulfur oxides from the exhaust gases.

Keywords: heavy fuel, exhaust gases, sulfur content in fuel, distillate fuel, environmental performance, sulfur oxide emissions, nitrogen oxide concentration, maritime transport, low-sulfur fuel, exhaust gas scrubber cleaning, marine diesel.