

*Мельник О.В., Сорока В.В., Гаталяк М.Я.*

## МЕТОДИ ЗНИЖЕННЯ ВМІСТУ ТОКСИЧНИХ КОМПОНЕНТІВ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

*В статті проведено аналіз методів зниження токсичних компонентів відпрацьованих газів суднових дизелів та сформована узагальнююча таблиця.*

*Визначено, що захист навколишнього середовища останнім часом є глобальною проблемою людства. Постійне збільшення споживання вуглеводних палив і викидів в атмосферу шкідливих речовин від їх використання викликає порушення природного процесу самоочищення біосфери і є загрозу життя людини. Для зупинки даного процесу, підписані міжнародні угоди, прийняті державні постанови і програми захисту навколишнього середовища від шкідливих викидів.*

*Найбільш небезпечними компонентами відпрацьованих газів суднових дизельних двигунів фахівці більшості країн і співробітники Комітету з захисту морського середовища ІМО вважаються оксиди азоту  $NO_x$  і оксиди сірки  $SO_x$ . З огляду на специфіку суднових дизельних двигунів більшістю країн нормуються тільки викиди оксидів азоту, що знаходяться в складі відпрацьованих газів, а так само накладається обмеження на вміст сірки в суднових паливах, унаслідок чого відбувається зростання цін на паливо і збільшуються експлуатаційні витрати.*

*Зроблено висновок, що розробка заходів із зменшення токсичності відпрацьованих газів може проводитися по таких напрямках: удосконалення конструкції двигуна, урахування експлуатаційних факторів з корегуванням регульовальних параметрів дизельного двигуна, застосування альтернативних видів палива. Ідентифіковано, що найбільш перспективні рішення в області мінімізації викидів суднових дизельних двигунів можна відобразити наступними напрямками наукових досліджень і технологічних розробок: адаптація конструкції двигуна; оптимізація роботи паливної апаратури; використання каталізаторів виборчої нейтралізації; використання водопаливних емульсій.*

*Доведено, що найбільш прийнятними методами є удосконалення робочого процесу дизеля (на його користь свідчать наступні показники: низькі початкові витрати, пов'язані в основній своїй масі з модернізацією окремих компонентів двигуна, практично незмінними експлуатаційними витратами і низький рівень технічного ризику) та використання водопаливних емульсій.*

**Ключові слова:** *відпрацьовані гази, водний транспорт, водопаливна емульсія, екологічність, конструкція, судовий дизель.*

**Постановка проблеми.** *Захист навколишнього середовища останнім часом є глобальною проблемою людства. Постійне збільшення споживання вуглеводних палив і викидів в атмосферу шкідливих речовин від їх використання викликає порушення природного процесу самоочищення біосфери і є загрозу життя людини. Для зупинки даного процесу, підписані міжнародні угоди, прийняті державні постанови і програми захисту навколишнього середовища від шкідливих викидів.*

*У країнах Європейського Союзу нормування викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами (ВГ) автомобільних дизелів здійснюється відповідно до правил Європейської екологічної комісії (ЄЕК) ООН № 49. За минулі роки ці правила неодноразово піддавалися істотному корегуванню, як за переліком нормованих*

шкідливих речовин, так і за жорсткістю їх нормативів. Згідно Євро-5 (діють з 2008 року) значення питомих викидів оксидів азоту з ВГ дизельних двигунів не повинне перевищувати 2 г/ (кВт·год) Тобто, у порівнянні з Євро-3 (діють з 2000 року) вимоги до значення питомих викидів оксидів азоту стали більш жорсткими на 250 %.

Завдяки високій енергетичній ефективності дизельні двигуни в даний час витиснули інші типи енергетичних установок на судах морського та річкового флоту і у близькому майбутньому вони збережуть домінуюче положення.

Працюючий дизельний двигун є інтенсивним джерелом акустичного, теплового і хімічного забруднення навколишнього середовища. Проблема скорочення викидів забруднюючих речовин працюючим дизельним двигуном є однією з найважливіших задач, як судноплавства, так і дизелебудування, від рішення якої залежить стан здоров'я людини і збереження оточуючого середовища.

В даний час склалася ситуація, коли розвиток судових дизельних двигунів та їх конкурентоздатність визначаються головним чином розробкою технологічних рішень, що дозволяють знизити викиди шкідливих речовин до рівня зазначених вище екологічних вимог. Ці вимоги можуть бути досягнуті різними засобами.

Найбільш відомі в суднобудівній галузі способи зниження викидів оксидів азоту, такі як селективне каталітичне відновлення і рециркуляція ВГ мають серйозні недоліки – це значне ускладнення конструкції та збільшення витрати палива. Ріст цін на паливо змушує суднобудівні компанії шукати такі методи, що одночасно забезпечують зниження викидів оксидів азоту без помітного погіршення паливної економічності дизельного двигуна.

Серед таких методів заслуговують на особливу увагу ті, які спрямовані на удосконалення робочого процесу шляхом впливу на термодинаміку горіння палива в циліндрі двигуна внутрішнього згорання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Зазначені питання висвітлені в працях таких учених, як: А.С. Лишевский, М.М. Іванченко, А.С. Орлін, А.С. Курников, М.Р. Петриченко, М.О. Іващенко, Н.Ф. Разлейцев, О.Г. Красовський, Г.В. Тринклер, І.І. Вибє, В.І. Гринецький, Г.В. Кулешов, М.А. Горбанів, В.В. Мержиєвський, І.Л. Захаров, Ю.І. Воржев, В.І. Смайлис та ін.

Незважаючи на значну кількість дослідницьких робіт зі зниження шкідливих викидів відпрацьованих газів (ВГ), дане питання залишається актуальним, при цьому важливими факторами також є вартість обладнання, а також вартість і енерговитрати на його експлуатацію, складність обслуговування в судових (рейсових) умовах. Також гостро стоїть питання про збереження експлуатаційних та економічних показників дизельного двигуна при збільшенні його екологічності.

**Метою дослідження** є узагальнення підходів та методів зниження вмісту токсичних компонентів відпрацьованих газів судових дизелів.

**Основні результати дослідження.** Морський транспорт – один з найважливіших компонентів суспільного й економічного розвитку, що поглинає значну кількість ресурсів і робить серйозний вплив на навколишнє середовище [10].

Одним з найбільш важливих вимог, що у даний час пред'являються до судових енергетичних установок – є безумовне виконання Міжнародних екологічних норм. Дана вимога часто ставиться на перше місце в переліку основних напрямках розвитку світового двигунобудування.

Перші Міжнародні норми, що обмежують викиди шкідливих речовин з ВГ судових дизелів були прийняті 26 вересня 1997 року Міжнародної Морської Організації (ІМО) на "Міжнародній Конвенції по запобіганню забруднення із судів" (МАРПОЛ 73/78). Цей директивний документ набрав сили 1 січня 2000 р.

Складовою частиною Додатка VI МАРПОЛ 73/78, є "Технічний Кодекс по викидам окислів азоту від судових двигунів". У цьому документі нормуються питоми середньозважені викиди забруднюючих речовин, які містяться у ВГ.

У США охорону атмосферного повітря здійснює United States Environment Protection Agency (USEPA) – Агентство по захисту навколишнього середовища".

У країнах ЄС, для суднових дизелів річкового флоту, контроль за викидами шкідливих речовин в атмосферне повітря здійснює "Рейнська Комісія" (RCINC). Ця Комісія у свою чергу підпорядковується "Європейському Агентству Навколишнього Середовища" (ЕЕА).

Норми забруднення, встановлені Агентством ЕЕА, також відповідають Міжнародному стандарту ДСТУ ISO 8178-4-2013 «Двигуни внутрішнього згоряння поршневі. Вимір викиду продуктів згоряння».

З 2009 року набрав сили Європейський стандарт "Граничного рівня викидів для Європейських водних шляхів" (Stage III A).

Існують також вимоги технічного Кодексу Додатка VI Матеріалів "Міжнародної Конвенції МАРПОЛ 73/78".

У 2016 р. Правилами МАРПОЛ 73/78 у зонах контрольованих викидів до яких відносяться Північноамериканське узбережжя Канади, США, а з 2021 р. - Балтійське, Північне море і ряд районів Китайського узбережжя вводяться в дію норми Tier 3, що передбачають подальше скорочення викидів оксидів азоту на 80 %.

У перспективі, для світового суднобудування поставлена задача досягти скорочення концентрації шкідливих (забруднюючих) речовин у ВГ дизелів, до таких показників, які характеризуються як "практично нульові викиди".

Проблема скорочення викидів шкідливих речовин від суднових дизельних двигунів цікавить багатьох вітчизняних і закордонних вчених, які ставлять перед собою мету не тільки вивчити причини, але і знайти шляхи її рішення.

Розроблені способи зниження викидів токсичних компонентів ВГ розділяються на первинні і вторинні (рис. 1). Первинні методи пов'язані з організацією процесів сумішоутворення і згоряння, удосконаленням системи впорскування палива, а так само використанням альтернативних видів палива. До вторинних методів відносяться: рециркуляція ВГ газів, каталітичне очищення газів.



Рисунок 1 – Класифікація основних способів зниження викидів токсичних компонентів ВГ суднових дизелів

Таким чином, розробка заходів щодо зменшення токсичності ВГ може проводитися по наступних основних напрямках [8]: удосконалювання конструкції двигуна, урахування експлуатаційних факторів з корегуванням регульовальних параметрів дизельного двигуна, застосування альтернативних видів палива.

Удосконалення конструкції двигуна полягає у наступних заходах (рис. 2):

- оптимізація сумішоутворення;
- вибір робочого обсягу і ступеня стиску;
- урахування рівня форсування дизеля;
- вибір параметрів повітряного заряду та системи охолодження;
- оптимізація процесу паливостачання;
- удосконалення систем повітропостачання, газорозподілу, рециркуляції ВГ;
- застосування системи очищення ВГ.

На даний час на задоволення потреб сучасного суднобудування орієнтовані багато дизелебудівних фірм, такі як MAN D & T (Німеччина), Мак, Caterpillar, GME (США), Wartsila (Фінляндія), Iveco (Італія), Mitsubishi, Daihatsu (Японія) і інші. Великі дизелебудівні фірми вже довгий час ведуть розробки в галузі зниження емісії шкідливих речовин ВГ силових установок, морських судів. При цьому найбільш перспективні рішення в області мінімізації викидів судових дизельних двигунів можна відобразити наступними напрямками наукових досліджень і технологічних розробок:

- адаптація конструкції двигуна;
- оптимізація роботи паливної апаратури;
- використання каталізаторів виборчої нейтралізації;
- використання водопаливних емульсій (ВПЕ) [5].



Рисунок 2 – Методи удосконалення конструкції двигуна

До технологічних і технічних заходів, що сприяють зниженню токсичності ВГ дизелів, необхідно віднести наступні:

1. Зменшення кута випередження впорскування палива приводить до зниження окислів азоту, але спричиняє деяке збільшення питомої витрати палива.

2. Збільшення числа соплових отворів розпилювача форсунки з одночасним зменшенням їх діаметра призводить до більш однорідного розпилювання палива та поліпшення сумішоутворення, у результаті чого зміст окислів азоту падає.

3. Зменшення температури надувального повітря з одночасним збільшенням його тиску і коефіцієнта надлишку повітря приводить до зниження викидів оксидів азоту.

4. Застосування рециркуляції (перепуску) частини ВГ, через охолоджувач у впускний трубопровід. Продуктивність використання способу полягає в тому, що в газах утримується водяна пара, яка має більшу теплоємність, ніж повітря. У результаті відбувається зменшення температури полум'я усередині камери згоряння і тим самим зниження викидів окислів азоту.

5. Використання ВПЕ. Вода, яка утримується в паливі, при прогріві в циліндрі перетворюється в парові пухирці, що миттєво дроблять паливні краплі на дрібні частки. Частки палива, перемішуючись з киснем повітряного заряду, прискорено згоряють. Додавання до палива 5-10% води прискорює процес згоряння в 5-6 разів. У результаті скорочується витрата палива і вміст викидів окислів азоту і сірки. Для приготування ВПЕ використовуються змішувачі-диспергатори різної конструкції (дросельні, ультразвукові, кавітаційні, роторно-пульсаційні та інші).

6. Попередня обробка палива. У сучасних системах паливо-підготовки для покращення якісних характеристик важких сортів палива застосовуються гомогенізатори - апарати для одержання однорідних сумішей. У процесі обробки палива в гомогенізаторах негорючі з'єднання (смоли, залізні згущення, механічні домішки), що входять до його складу, розриваються під впливом ультразвукових коливань, подрібнюються та інтенсивно перемішуються в паливі вихровим потоком. Це приводить до зменшення в'язкості палива, температури спалаху, зменшенню нагароутворення, скороченню викидів окислів азоту і сірки.

7. Застосування нейтралізаторів для очищення ВГ. При використанні даного методу ВГ змішуються з аміаком перед пропусканням через каталізатор при температурі близько 400 °С. У каталізаторі окисли азоту перетворюються в N<sub>2</sub> і водяну пару, що дозволяє знизити вміст окислів азоту на 95%.

8. Переведення роботи двигуна на природний газ. Однак даний спосіб вимагає значних витрат на модернізацію двигуна (так, збільшення вартості навіть незначної модифікації дизеля середньої потужності в порівнянні з базовою може досягати до 5 тис долл. США).

9. Використання комплексного пристрою очищення ВГ. На рисунку 3 наведена конструкція пристрою для комплексного очищення ВГ суднового дизеля. Спосіб комплексного очищення включає змішування ВГ з озоном у змішувальній камері, де частково відбувається окислювання шкідливих компонентів (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO<sub>x</sub>), очищення від вищезгаданих шкідливих компонентів у камері очищення, де газова суміш проникає через отвори в стінках адсорбційних перфорованих секцій, і контактує з гранулами жужільної пемзи діаметром від 5 до 10 мм, виготовленої з основних металургійних шлаків, очищаючи при цьому від NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO<sub>x</sub>. В подальшому очищені до необхідного ступеня ВГ викидаються в атмосферу, а глушіння їх шуму відбувається одночасно з процесом очищення шляхом поглинання звуку високопористою структурою гранул шлаку.

ВГ змішуються з озоном без домішок оксидів азоту, окислювання більшої частини азоту, що утримувався у ВГ, монооксидів азоту (NO) до діоксидів (NO<sub>2</sub>), діоксидів сірки (SO<sub>2</sub>) до сірчаного ангідриду (SO<sub>3</sub>) і монооксиду вуглецю (CO) до діоксида вуглецю (CO<sub>2</sub>) здійснюється з витратою всього озону і конденсації деякої частини пари води в закрученому газовому потоці у змішувально-окисній камері, яка охолоджується абсорбентом. Абсорбція окислених шкідливих компонентів і доокислення залишку

відбувається в кільцевій порожнині абсорбційної камери, яка охолоджується зовнішнім повітрям, що омиває зовнішню оребрену поверхню блоку очищення від  $\text{NO}_x$ , абсорбційною водою зверху з кільцевого розприскувача цього пристрою, абсорбційна вода при контакті з ВГ поглинає утворені оксиди  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , мілкодисперсні частки (сажа та ін.), у результаті чого у ВГ, залишається, в основному,  $\text{CO}_2$ .

Після чого очищені від  $\text{NO}_x$  охолоджені ВГ надходять в адсорбер, де проходять через адсорбційні секції, заповнені гранулами жувільної пемзи та очищуються від більшої частини  $\text{CO}_2$  і залишків  $\text{NO}_x$  у результаті їх адсорбції вищезгаданими гранулами жувільної пемзи з утворенням легкокорозивних у воді  $\text{NO}_2$  та  $\text{SO}_3$ , що взаємодіють з частками води, які утворюються в порах гранул у результаті капілярної конденсації пари води, що знаходяться в ВГ з утворенням відповідних кислот  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  і  $\text{H}_2\text{CO}_3$ .

Очищені ВГ проходять через крапельвідбійник, звільнюються від води і викидаються в атмосферу, а кислий конденсат та абсорбційна вода з блоку очищення від  $\text{NO}_x$ , промивна вода з адсорбера, насичені кислими компонентами і шламом, стікають у колектор кислої води. При цьому одночасно з процесом очищення ВГ відбувається глушіння їх шуму шляхом приміщення змішувально-окисної камери усередину корпуса блоку очищення від  $\text{NO}_x$ .

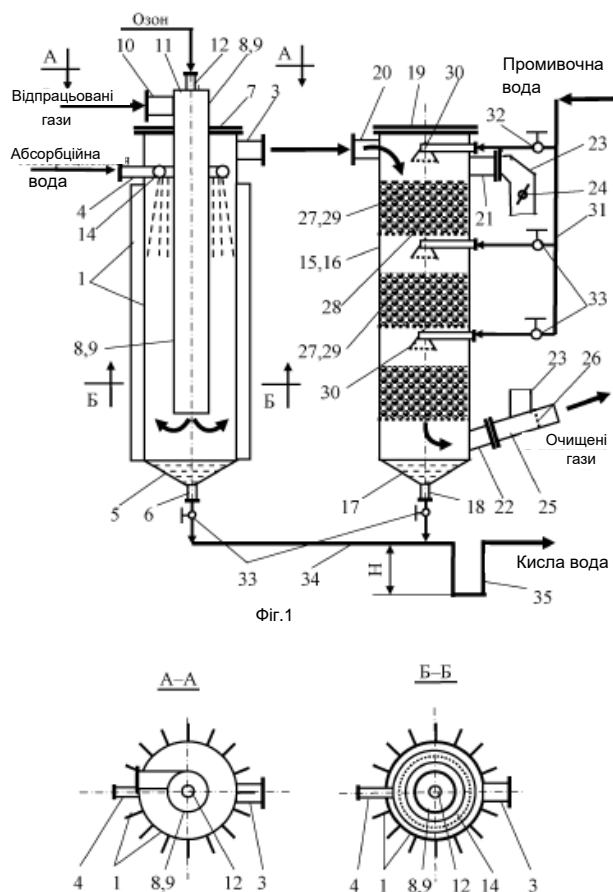


Рисунок 3 - Конструкція пристрою для комплексного очищення ВГ суднового дизельного двигуна

Пристрій для здійснення способу комплексного очищення ВГ суднового двигуна містить корпус, укомплектований кришкою і днищем, газовими патрубками, озоновим патрубком, з'єднаним з розподільником озону, штуцери подачі промивної води, з'єднані з розподільниками промивної води, штуцери зливу забрудненої води, змішувально-окисну камеру, адсорбер, у якому встановлені перфоровані ємності, заповнені

адсорбентом – гранулами пемзи, виготовленої з металургійних шлаків з модулем основності  $M > 1$  та діаметром гранул від 5 до 10 мм.

Змішувально-окисна камера розміщена усередині блоку очищення від  $NO_x$ , яка виконана з корозійностійкого матеріалу з високою теплопровідністю, що складається з:

- порожнього вертикального циліндричного орєбренного зовні корпусу з патрубком виходу вихлопних газів і штуцером абсорбційної води у своїй верхній частині;
- конічним днищем зі зливальним штуцером;
- знімною верхньою кришкою, через яку пропущена циліндрична труба змішувально-окисної камери з тангенціальним патрубком входу ВГ, розташованим у її верхній частині, закрита зверху заглушкою з озоновим патрубком, з'єднаним з кисневим озонатором, абсорбційної камери, розташованим у кільцевій порожнині, утвореній зовнішніми стінками блоку очищення від  $NO_x$  і циліндричної труби змішувально-окисної камери.

Адсорбер складається з вертикального циліндричного корпусу з конічним днищем зі зливальним штуцером і знімною кришкою, патрубком входу ВГ, з'єднаним з патрубком виходу ВГ, очищення від  $NO_x$ , байпасним патрубком, розташованим у верхній частині корпусу адсорбера, патрубком виходу очищених ВН, розташованого в нижній частині корпусу адсорбера під кутом, що дорівнює або більше кута природного скосу води  $\alpha$ , з'єднаним з байпасним трубопроводом, який комплектується клапаном і трубопроводом виходу очищених ВГ з краплевідбійником.

Усередині корпусу адсорбера поміщені зверху – вниз по ходу ВГ адсорбційні секції, які складаються з горизонтальних опорних ґрат, покладених на опорні куточки і заповнені вищезгаданими гранулами пемзи, виготовленої з металургійних шлаків.

Над кожною абсорбційною секцією встановлені розподільники промивної води, з'єднані з колектором промивної води через вентиля, а зливальні штуцери блоку очищення від  $NO_x$  і адсорбера з'єднані з колектором кислої води, поставленим на виході гідрозатвором висотою Н.

Проведені дослідження різних методів зниження емісії шкідливих речовин з ВГ. Результати досліджень наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Порівняння різних методів зниження емісії шкідливих у відпрацьованих газах судових дизелів

	Базовий двигун	Удосконалення робочого процесу	Використання ВПЕ	Безпосереднє впорскування води	Каталізатор вибіркової нейтралізації
$NO_x$	12 г/(кВт год)	8 г/(кВт год)	9 г/(кВт год)	6 г/(кВт год)	2 г/(кВт год)
Сажа	100%	33 %	20 %	11.3 %	100%
Первинна вартість	100%	108%	115%	119%	139%
Вартість експлуатації	100%	100%	103 %	104%	116%
Фактор технічного ризику	Ні	Низький	Середній корозія	Середній корозія	Низький
Ринкова оцінка	-	Добра	Середня	Середня	Погана при морському застосуванні

Аналіз представлених у таблиці даних свідчить, що найбільша перевага може бути віддана рішенню, пов'язаному з удосконаленням робочого процесу. На його користь свідчать наступні показники: низькі початкові витрати, пов'язані в основній своїй масі з модернізацією окремих компонентів двигуна, практично незмінними експлуатаційними витратами і низький рівень технічного ризику.

Суднові дизелі у зв'язку зі специфіку організації робочого процесу, мають свої особливості по складу ВГ у порівнянні з двигунами внутрішнього згорання інших типів. У ВГ судових дизелів мало продуктів неповного згорання палива (монооксид вуглецю CO і незгорілих вуглеводнів  $C_xH_y$ ), але при цьому мається значна кількість окислів азоту NOx і окислів сірки SOx, твердих часток.

Головна особливість ВГ судових дизелів складається в наявності в них окислів азоту NOx і твердих часток, унаслідок того, що утворенню цих токсичних компонентів сприяють антагоністичні фактори – неможливо отримати одночасно абсолютний мінімум емісії та окислів азоту NOx і твердих часток методами узгодження параметрів дизеля, можна говорити тільки про досягнення деякого оптимуму.

При введенні міжнародних норм на викид екологічно шкідливих речовин виникає необхідність вибрати досить ефективний метод їх зниження.

З огляду на викладене вище, боротьбу з викидом нормованих Конвенцією МАРПОЛ токсичних речовин доцільно вести первинними методами, впливаючи на робочі процеси дизельного двигуна таким чином, щоб зменшити кількість шкідливих речовин, які утворюються в циліндрах.

Первинні методи можна розділити на чотири групи:

- потребуючі зміни конструкції дизеля або окремих його елементів,
- реалізовані при розробці нових дизелів (удосконалювання системи впорскування і сумішоутворення дизеля, системи турбонадуву; вибір оптимального газорозподілу ступеня стиску, частоти обертання колінчатого вала; організація вихрового руху заряду в камері згорання та ін);
- не потребуючої істотної зміни конструкцій, реалізація яких
- можлива при незначній модернізації дизеля (зміна фаз паливоподачі та інші).

Вторинні методи спрямовані на видалення шкідливих викидів з ВГ і здійснюються поза циліндром дизельного двигуна (рециркуляція частини ВГ, зволоження робочої суміші, каталітичне очищення ВГ, очищення від кислотних оксидів).

**Висновки.** Жорсткість вимог до екологічних показників судових дизельних двигунів, до складу і концентрації шкідливих речовин у викидах ВГ на сьогоднішній день є одним з головних напрямків у системі організаційно-технічних заходів, націлених на мінімізацію шкідливого впливу судових енергетичних установок на навколишнє середовище.

Стандарти і технічні регламенти як України, так і інших країн приймаються, виходячи з вимог захисту навколишнього середовища, специфіки економічних показників, з урахуванням думки вчених, економістів, промисловців і навіть політиків.

Ступінь небезпеки і присутність токсичних і канцерогенних речовин у складі ВГ є одними з основних параметрів при виборі нормованих компонентів шкідливих викидів.

Найбільш небезпечними компонентами ВГ судових дизельних двигунів фахівці більшості країн і співробітники Комітету з захисту морського середовища ІМО вважаються оксиди азоту NOx і оксиди сірки SOx. З огляду на специфіку судових дизельних двигунів більшістю країн нормуються тільки викиди оксидів азоту, що знаходяться в складі ВГ, а так само накладається обмеження на вміст сірки в судових паливах, унаслідок чого відбувається зростання цін на паливо і збільшуються експлуатаційні витрати.

Доведено, що найбільш прийнятними методами є удосконалення робочого процесу дизеля та використання ВПЕ.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Варбанец Р.А. Влияние системы VIT на характер рабочего процесса малооборотных дизелей MAN B&W серии MC / Р.А. Варбанец, Ю.Н. Кучеренко, А.И. Головань, Н.И. Александровская // *Авиационно-космическая техника и технология*. 2013. № 10. С. 161-165.
2. Васькевич Ф.А. Двигатели внутреннего сгорания. Теория, эксплуатация, обслуживание. Новороссийск: МГА имени адмирала Ф.Ф.Ушакова, 2009. 266 с.
3. Возницкий И.В. Практика использования морских топлив на судах. СПб.: Моркнига, 2006. 124 с.
4. Возницкий И.В. Современные малооборотные двухтактные двигатели. Одесса: Изд-во ООО «Моркнига», 2007. 121 с.
5. Возницкий И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Том 1 / И.В. Возницкий, А.С. Пунда. Одесса: МОРКНИГА, 2010. 260 с.
6. Возницкий И.В. Топливная аппаратура судовых дизелей: Учебное пособие. Одесса: Изд-во ООО «Моркнига», 2007. 131 с.
7. Воронина Э.И. Лидарная система определения аварийных выбросов углеводородов в атмосферу / Э.И. Воронина, В.Е. Привалов, В.Г. Шеманин // *Безопасность жизнедеятельности*. 2003. № 9. С. 30-33.
8. Гедгаудас А. Определение выбросов оксидов азота двигателями морского паромы в условиях эксплуатации / А. Гедгаудас, В. Смайлис, Р. Страздаускене // *Двигателестроение*. 2005. №4. С.33-38.
9. Голуб С.С., Мадорский С.З., Розенберг Г.Ш. Діагностування суднових технічних засобів: довідник. К.: Транспорт, 1993. 150 с.
10. Голубев І. Р. Навколишнє середовище і транспорт: Навчальний посібник/ І.Р. Голубев, Ю.В. Новиков. К.: Транспорт, 2009. 96 с.

## REFERENCES

1. Varbanecz R.A. Vliyanie sistemy VIT na kharakter rabocheho prozessa malooborotnykh dizelej MAN B&W serii MC [Influence of the VIT system on the nature of the working process of low-speed MAN B&W diesel engines of the MC series] / R.A. Varbanecz, Yu.N. Kucherenko, A.I. Golovan, N.I. Aleksandrovskaya // *Aviacionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*. 2013. # 10. S. 161-165.
2. Vaskevich F.A. Dvigateli vnutrennego sgoraniya. Teoriya, ekspluatatsiya, obsluzhivanie [Internal combustion engines. Theory, operation, maintenance]. Novorossiysk: MGA imeni admirala F.F.Ushakova, 2009. 266 s.
3. Vozniczkij I.V. Praktika ispolzovaniya morskikh topliv na sudakh [The practice of using marine fuels on ships]. SPb.: Morkniga, 2006. 124 s.
4. Vozniczkij I.V. Sovremennye malooborotnye dvukhtaktnye dvigateli [Modern low-speed two-stroke engines]. Odessa: Izd-vo ООО «Morkniga», 2007. 121 s.
5. Vozniczkij I. V. Sudovye dvigateli vnutrennego sgoraniya [Ship internal combustion engines]. Tom 1 / I.V. Vozniczkij, A.S. Punda. Odessa: MORKNIGA, 2010. 260 s.
6. Vozniczkij I.V. Toplivnaya apparatura sudovykh dizelej: Uchebnoe posobie [Fuel equipment of marine diesel engines: Textbook]. Odessa: Izd-vo ООО «Morkniga», 2007. 131 s.
7. Voronina E.I. Lidarnaya sistema opredeleniya avarijnykh vybrosov uglevodorodov v atmosferu [Lidar system for determination of emergency hydrocarbon emissions into the atmosphere] / E.I. Voronina, V.E. Privalov, V.G. Shemanin // *Bezopasnost` zhiznedeyatel`nosti*. 2003. # 9. S. 30-33.
8. Gedgaudas A. Opredelenie vybrosov oksidov azota dvigatelej morskogo paroma v usloviyakh ekspluataczii [Determination of nitrogen oxide emissions of sea ferry

- engines under operating conditions] / A. Gedgaudas, V. Smajlis, R. Strazdauskene // Dvigatelsestroenie. 2005. #4. S.33-38.
9. Golub Ye.S., Madorskij Ye.Z., Rozenberg G.Sh. Diagnostuvannya sudnovikh tekhnichnikh zasobiv: dovidnik [Diagnosis of ship technical means: reference book]. K.: Transport, 1993. 150 s.
  10. Golubyev I. R. Navkolishnye seredovishhe i transport: Navchalnij posibnik [Environment and transport: Textbook] / I.R. Golubyev, Yu.V. Novikov. K.: Transport, 2009. 96 s.

**Мельник А.В., Сорока В.В., Гаталяк М.Я.**

### **МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТОКСИЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ СУДОВЫМ ДИЗЕЛЯМ**

*В статье проведен анализ методов снижения токсичных компонентов отработавших газов судовых дизелей и сформирована обобщенная таблица.*

*Определено, что защита окружающей среды в последнее время является глобальной проблемой человечества. Постоянное увеличение потребления углеводородных топлив и выбросов в атмосферу вредных веществ от их использования вызывает нарушение естественного процесса самоочищения биосферы и является угрозой жизни человека. Для остановки данного процесса, подписанные международные соглашения, принятые государственные постановления и программы защиты окружающей среды от вредных выбросов.*

*Наиболее опасными компонентами отработавших газов судовых дизельных двигателей специалисты большинства стран и сотрудники Комитета по защите морской среды ИМО считаются оксиды азота NOx и оксиды серы SOx. Учитывая специфику судовых дизельных двигателей большинством стран нормируются только выбросы оксидов азота, которые находятся в составе отработавших газов, а так же накладывается ограничение на содержание серы в судовых топливах, в результате чего происходит рост цен на топливо и увеличиваются эксплуатационные расходы.*

*Сделан вывод, что разработка мероприятий по уменьшению токсичности отработавших газов может проводиться по следующим направлениям: совершенствование конструкции двигателя, учета эксплуатационных факторов с корректировкой регулировочных параметров дизельного двигателя, применение альтернативных видов топлива. Идентифицировано, что наиболее перспективные решения в области минимизации выбросов судовых дизельных двигателей можно отобразить следующим направлениям научных исследований и технологических разработок: адаптация конструкции двигателя; оптимизация работы топливной аппаратуры; использование катализаторов избирательной нейтрализации; использование водотопливных эмульсий.*

*Доказано, что наиболее приемлемыми методами является усовершенствование рабочего процесса дизеля (в его пользу свидетельствуют следующие показатели: низкие первоначальные затраты, связанные в основной своей массе с модернизацией отдельных компонентов двигателя, практически неизменными эксплуатационными затратами и низкий уровень технического риска) и использования водотопливных эмульсий.*

**Ключевые слова:** *отработанные газы, водный транспорт, водотопливных эмульсия, экологичность, конструкция, судобный дизель.*

**Melnik A.V., Soroka V.V., Gatalyak M.Y.**

**METHODS FOR REDUCING THE CONTENT OF TOXIC COMPONENTS IN WASTE GASES MARINE DIESEL**

*The article analyzes the methods of reducing the toxic components of the exhaust gases of marine diesels and generates a summary table.*

*It has been determined that the protection of the environment has recently become a global problem of mankind. The constant increase in the consumption of carbohydrate fuels and emissions of harmful substances from their use causes a violation of the natural process of self-purification of the biosphere and is a threat to human life. To stop this process, international agreements have been signed, state resolutions and programs to protect the environment from harmful emissions have been adopted.*

*The most dangerous components of the exhaust gases of marine diesel engines are considered to be NO<sub>x</sub> nitrogen oxides and SO<sub>x</sub> sulfur oxides. Given the specifics of marine diesel engines, most countries regulate only the emissions of nitrogen oxides contained in the exhaust gases, as well as restrictions on the sulfur content in marine fuels, resulting in rising fuel prices and increased operating costs.*

*It is concluded that the development of measures to reduce the toxicity of exhaust gases can be carried out in the following areas: improving the design of the engine, taking into account operational factors with adjusting the control parameters of the diesel engine, the use of alternative fuels. It is identified that the most promising solutions in the field of minimizing emissions of marine diesel engines can be reflected in the following areas of research and technological development: adaptation of engine design; optimization of fuel equipment; use of catalysts for selective neutralization; use of water-fuel emulsions.*

*It is proved that the most acceptable methods are to improve the working process of the diesel engine (in its favor the following indicators: low initial costs associated mainly with the modernization of individual engine components, virtually constant operating costs and low technical risk) and the use of water fuel emulsions.*

**Key words:** *exhaust gases, water transport, water fuel emulsion, environmental friendliness, construction, marine diesel.*