

10.31653/smf343.2021.207-222

Парменова Д.Г., Побережний Р.В., Співак Б.А.
Національний університет «Одеська морська академія»

ВДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ СУДНОВОЇ СИСТЕМИ ПІДГОТОВКИ ПАЛИВА ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ПРОЦЕСУ ЙОГО ГІДРОМЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

За винятком суден, що працюють на ядерному паливі та на нетрадиційних джерелах енергії (сонячних, вітрових та ін.), всі судна водного транспорту використовують під час роботи своїх суднових енергетичних установок (СЕУ) дизельне органічне паливо. Не зважаючи на конструктивне виконання, практично кожне судно містить контур підготовки палива. Треба особливо відзначити, що до сьогоденішнього часу суднове паливо не буває однорідним і завжди містить багато домішок. Такими домішками є: вода, важкі фракції нафтопродуктів (бітуми, асфальтени та ін.), механічні складові (пил, іржа та ін.). По концентрації складових на першому кількісному місці знаходяться водяні домішки.

Присутність домішок води в паливі в більшості випадків уникнути неможливо. Природні процеси конденсації вологи з навколишнього середовища, технічні несправності в вузлах герметизації та ущільнення паливних і баластних танків та ін., призводять до потрапляння водної компоненти в паливо.

Питання згоряння палива із домішками розглядаються у багатьох літературних джерелах та на наукових інтернет-порталах та сайтах. Однак треба відзначити, що у більшості випадків результати наукових досліджень, що описані в таких джерелах, застосувати до практичної роботи суден занадто важко, а іноді й неможливо. У більшості випадків це пов'язано з високою вартістю або складністю технологій, що пропонуються для обробки, розпилу або згоряння палива.

До теперішнього часу відсутні достовірні результати досліджень, що однозначно відображають негативний вплив домішок нафтопродуктів в паливі на показники процесу його згоряння. При цьому можливо відзначити, що в ході згоряння палива на різних часових етапах можливо отримати довірливі проміжні хімічні сполуки. Саме ці хімічні елементи на деяких стадіях згоряння можуть дати підвищення якості загального процесу згоряння дизельного палива [1]. До головних чинників, які можуть призвести до поліпшення процесу згоряння дизельного палива можна віднести наступні:

- підвищення ступеня диспергування палива в форсунках високого тиску;
- зменшення показників викидання в атмосферу нагару та токсичних оксидів азоту або сірки;
- зменшення температури чадних газів.

До сьогодні можливо констатувати, що відсутня проста та надійна суднова технологія підготовки та згоряння палива, яка характеризується змінним ступенем однорідності або диспергування. З точки зору нових розробок для суднових систем, що використовують неоднорідне паливо, багато питань залишаються не розкритими і вимагають свого подальшого вирішення.

Значний інтерес з точки зору експлуатації судна представляє собою отримання обґрунтованих та достовірних результатів, які є пов'язаними з розробкою надійної та простої з конструктивної точки зору суднової технології механічної підготовки палива. Також для такої суднової технології необхідно визначити яким чином змінюються головні показники експлуатації судна під час використання палива з домішками нафтопродуктів. В кінцевому підсумку таких досліджень мають бути сформульовані головні показники ступеня впливу концентрації домішок нафтопродуктів в паливі на робочі процеси в СЕУ.

На підставі визначеного вище була сформульована мета досліджень. Вона полягає у підвищенні ефективності роботи і підвищенні експлуатаційних характеристик паливної системи шляхом розробки нового вузла механічного змішування домішок води, а також легкого та важкого палив в суднових технологічних паливно-витратних танках.

Під час вирішення такої мети роботи в якості об'єкту дослідження виступає процес механічної обробки суміші палива, води і домішок важких нафтопродуктів під час роботи суден, а в якості предмету дослідження виступає судновий технологічний контур підготовки палива.

На теперішній час поліпшення якості палива досягається його очищенням на різних механічних фільтрах перед поданням до паливних насосів високого тиску. Також це роблять з використанням додаткового підігріву до певної температури. З цієї причини безперервно ведуться роботи по вдосконаленню паливних систем.

Одним з характерних прикладів типової схеми підготовки палива є рисунок 1, на якому показана схема, яка використовується на судні

AHTS (Anchor-handlingTug/Supply) «Mermaid Sound», судновласник – MMA Offshore, Australia. На практиці це судно являє собою багатофункціональне судно обслуговування і підтримки.

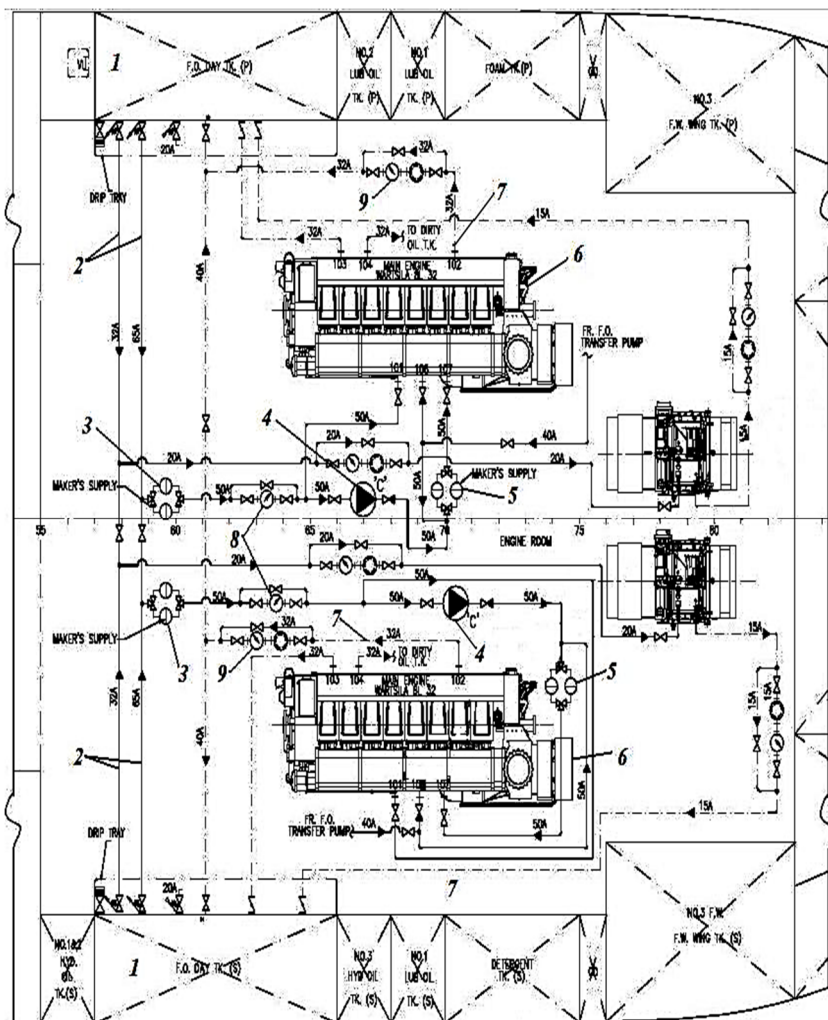


Рисунок 1 - Схема контуру підготовки палива на судні AHTS (Anchor-handlingTug/Supply) «Mermaid Sound», судновласник - MMA Offshore, Australia

Наведена на рисунку 1 схема підготовки палива є універсальною і використовується практично на всіх суднах класу АНТS. Незначні відхилення в технологічному компонуванні її елементів можуть полегати в продуктивності нагнітального або вимірювального обладнання, що використовується під час роботи судна.

При бункеруванні судна в порту дизельне паливо, спочатку закачується в суднові танки зберігання. Під час його транспортування з основним потоком в різних обсягах або концентраціях в суднові паливні танки потрапляють довільні механічні суспензії, домішки і різні залишки рідких середовищ від попередніх операцій бункерування. В основному до них відносяться – конденсати вологи з навколишнього середовища, різні види рідких паливно–мастильних матеріалів, частинки іржі, окалини і важких високоорганічних складових нафтопродуктів, наприклад, асфальтени або бітуми.

Оскільки під час бункерування технологічні операції фільтрації практично ніколи не використовуються, то спочатку в суднові танки зберігання паливо надходить забрудненим. У середині танків зберігання на суднах класу АНТS також відсутні технологічні вузли або пристосування, які призначені для проведення якісного процесу фільтрації дизельного палива.

Єдиним способом попереднього очищення дизельного палива в танках зберігання є природна флоатація. В цьому випадку в разі спокою рідкого об'єму дизельного палива може спостерігатися випадання природного осаду на дно танка в кількості від 30 до 60 % від загального обсягу забруднень. Під час реальної роботи судна в танках зберігання природна флоатація не використовується. Це визвано тим, що в цих танках відсутні такі необхідні елементи флоатаційних установок як технологічні отвори і лінія відведення для зливу осаду.

Згідно з нормативами робота з очищення внутрішніх поверхонь танків зберігання палива проводиться в ручному режимі членами екіпажу судна при проведенні регламентних робіт [2]. Зазвичай за вимогами, термін обов'язкового очищення становить один раз на рік. Більш частий інтервал її проведення може визначатися тільки при контролі стану осадів на донній поверхні танка [3-4].

Дуже важливою складовою в судновій паливній системі є лінія зворотного (відсічного) палива. Фактично ця частина надмірно відібраного і незгорілого палива з витратних танків 1 (див. рис. 1) з'являється при роботі СЕУ за рахунок дублювання ліній подачі палива в

насоси високого тиску. При роботі насосів високого тиску вони відбирають паливо в кількості, яка постійно регулюється паливною рейкою для безпосередньої подачі в циліндри двигуна.

Палива, що застосовуються в суднових дизельних головних двигунах (ГД), розподіляються на два класи - дистилатні і важкі. При аналізі характеристик палива хорошим індикатором гідратної вологи є зольність палива. Чим вона вища, тим більше внутрішньої вологи міститься в початковому обсязі суднового палива. До колоїдної вологи також відноситься гідратна волога. Це та частина води, яка є хімічно пов'язаною з мінеральними домішками палива. Зазвичай до них відносять сірчаноокислий кальцій і алюмосилікат [6].

При всьому різноманітті методів, що призначені для відділення домішок від палива, реальне практичне застосування на судах морського флоту отримали тільки три з них. До них відносяться: метод гравітаційного поділу, метод відцентрової сепарації і метод фільтрування. Кожен з цих методів має низку своїх переваг і недоліків.

Основою методу гравітаційного поділу є поділ за щільністю складових компонент палива під дією сили тяжіння і сили Архімеда. В залежності від того, яка сила вибирається визначальною під час робочого процесу в подальшому для фільтрації обирається технічний пристрій. Цей пристрій обирається з урахуванням того факту, що на швидкість відділення домішок можуть впливати тиск і температура палива, що оброблюється. Всі робочі характеристики методу гравітаційного поділу залежать від величини поверхневого натягу на межі поділу між паливом і домішками. Чим вона вище, тим швидше йде відділення домішок від палива.

Метод відцентрової сепарації передбачає поділ домішок і палива за рахунок швидкого обертання потоку. У цьому випадку за рахунок виникаючих відцентрових сил загальна суміш домішок і палива починає, в залежності від щільності складових компонент, розділятися на окремі компоненти.

Метод фільтрування є обов'язковим до застосування на всіх судах водного транспорту і в основному він використовується на декількох (не менше двох) стадіях обробки палива. В його основі лежить використання сіток з різними розмірами прохідних осередків. У загальному випадку в реалізації методу фільтрування можуть використовуватися три технологічні стадії: проціджування, коли на попередньому етапі з рухомого потоку відбираються великі механічні суспензії і бруд; відстоювання, коли в нерухомому потоці відбувається

поділ складових компонент, що знаходяться в постійному дисбалансі; фільтрація, коли рухомий потік проходить через набір осередків малого перетину.

Метод фільтрування не дозволяє відокремлювати від палива зв'язану (колоїдну або гідратну) воду. З цієї причини, а також в силу невисокого ступеня відділення незв'язної води від палива, він не може розглядатися як основний метод фільтрації.

На підставі аналізу недоліків перерахованих вище технологій по очищенню палива від домішок було зроблено висновок, що доцільним є застосування технологій по механічному емульгуванню палива з домішками води і нафтопродуктів. При їх правильному застосуванні можуть бути досягнуті структурні зміни молекулярного складу в порівнянні з початковою структурою побудови вуглеводнів. За рахунок підвищення ступеня дисперсності асфальтенів, карбенів, карбоїдів молекулярні ланцюги, що одержуються будуть перетворюватися в легкі вуглеводневі радикали газових і дистилатів паливних фракцій [5-8].

На підставі обробки великого числа судових сертифікатів якості палива, що поставляється на судна класу АНТS, була складена таблиця 1 з загальними властивостями судового палива. В цій таблиці наведені найбільш поширені марки легких палив та їх головні показники. Саме приведені марки судового легкого палива найчастіше зустрічаються на суднах класу АНТS. В більшості випадків вони поставляються на судна основними світовими фірмами виробниками. До таких фірм зазвичай відносять наступні компанії: Shell Eastern Petroleum, Petronas Penapisan, Central Star Marine Supplies, IntertekLtd., Total.

Як видно з наведених в таблиці 1 даних, велика частина значень основних показників палива показує відсутність єдиних нормативних величин у всіх виробників, хоча відхилення, що спостерігаються, різняться в незначних межах. З точки зору наявності в воді палива особливе значення має показник температури спалаху – температури, що визначає весь робочий процес в ГД судна. Як видно ця величина змінюється в широких межах від 61 до 78,5°C. Цей діапазон значень дуже сильно підвищує вимоги до правильної організації процесу підготовки паливної емульсії й до її подальшого спалювання всередині робочих циліндрів ГД.

Таблиця 1. Основні характеристики легкого дизельного палива

	Марка легкого дизельного палива				
	Marine diesel oil	Diesel euro2M	Gas Oil	Marine Gas Oil	ENEOS Diesel Gas Oil
Сірка, мг/кг	0,82	0,359	0,46	0,487	0,05
Оксиди вуглецю, % від маси	0,01	0,127	0,04	0,15	0,01
Вода с опадами, % від об'єму	0,05	0,05	0,05	0,025–0,05	0,05
Температура спалаху, °С	71	92	61	62–64	78,5
Щільність, кг/л при температурі 15°С	0,8545	0,838	0,8386	0,8315	0,8281
В'язкість, сСтоск при температурі 40°С	3,876	3,573	2,73	2,658	3,866
Цетанове число	–	58,2	–		60,6

У таблиці 1 видно, що практично у всіх виробників і постачальників суднового палива існує єдиний вихідний показник за кількістю об'ємної концентрації води з грязьовими домішками в паливі. Ця величина дорівнює 0,05% від одиниці об'єму палива. Саме цей параметр викликає найбільшу дискусію під час реальної експлуатації суден морського транспорту.

У ряді районів плавання планети в судновому паливі, незалежно від його виробника внаслідок недобросовісного бункерування дуже часто є присутнім надмірний вміст водяної компоненти, який не відповідає даним сертифікатів якості, що поставляються разом з ним. У практиці експлуатації морських суден реальна присутність в паливі водної компоненти може доходити до 15%, що є неприпустимим для експлуатації ГД і вимагає проведення ряду операцій по зниженню цього показника.

Таким чином, проаналізувавши суднові палива, був зроблений висновок, що в своєму первісному стані вони є не досконалими і для того щоб приготувати паливну емульсію не нашкодивши енергетичній установці судна потрібно чітко знати характеристики палив та усунути з їх складу довільні домішки, які звичайними методами сепарації не можуть бути видалені.

У зв'язку з тим, що при бункеруванні судна паливо надходить в витратно-відстійні танки без проведення будь якого процесу фільтрації, то в подальшому є висока ймовірність випадку осадів з забрудненням. Як це показано на схематичному рисунку 2, ці танки знаходяться по обох бортах судна (вони позначені як 1). В витратно-відстійних танках присутні технологічні дренажні отвори, які працюють за допомогою відкриття, що знаходиться на дні танка. Через дренажні отвори осадки скидаються в танк збору брудного палива. Танк брудного палива знаходиться в донній області судна. Видалення залишків з цього танку в міру його повного заповнення є обов'язковим і проводиться тільки в порту.

Під час збору бруду такі компоненти важкого палива як частинки високомолекулярних сполучень можуть залишатися у паливі і бути присутніми по всій його висоті, тобто в середніх та у його верхніх шарах. Вони можуть подаватися з паливом на форсунки високого тиску на подальше спалювання у ГД, але на попередній стадії їх необхідно якісно подрібнити. Саме з цією метою було запропоновано використання відцентрового нагнітача. Всередині робочого колеса відцентрового насоса при високих швидкостях руху за рахунок перетворення кінетичної енергії можливо механічним шляхом досягти зміни у структурі і властивостях суміші палива з частинками нафтопродуктів.

Механічне перемішування на високих швидкостях руху може призвести до отримання на виході з насоса паливної емульсії, що буде характеризуватися рівномірно розподіленою структурою і високою стійкістю до розшарування. Характеристики горіння в судовому ГД такого обробленого палива будуть набагато перевищувати аналогічні величини, що взяті для звичайного дизельного палива.

Під час досліджень був зроблений висновок про можливість використання в якості емульгатора конструктивним чином видозміненого тихохідного відцентрового насоса з коефіцієнтом швидкохідності, що дорівнює $n_s=50\div 90$. Для можливості отримання високого ступеня диспергування палива достатньо всередині робочих каналів між лопатями насоса створити високу ступінь турбулентності та організувати механічне перемішування по всій довжині каналу. Таке перемішування можливо отримати за рахунок перетікання між корпусом і робочим каналом насоса через отвори, які виконані за рахунок свердління по всій довжині каналів між лопатями робочого колеса.

Для проведення досліджень в робочому колесі був просвердлений набір отворів по всій довжині робочих каналів. За рахунок високої швидкості обертання в насосі частково починалася кавітація.

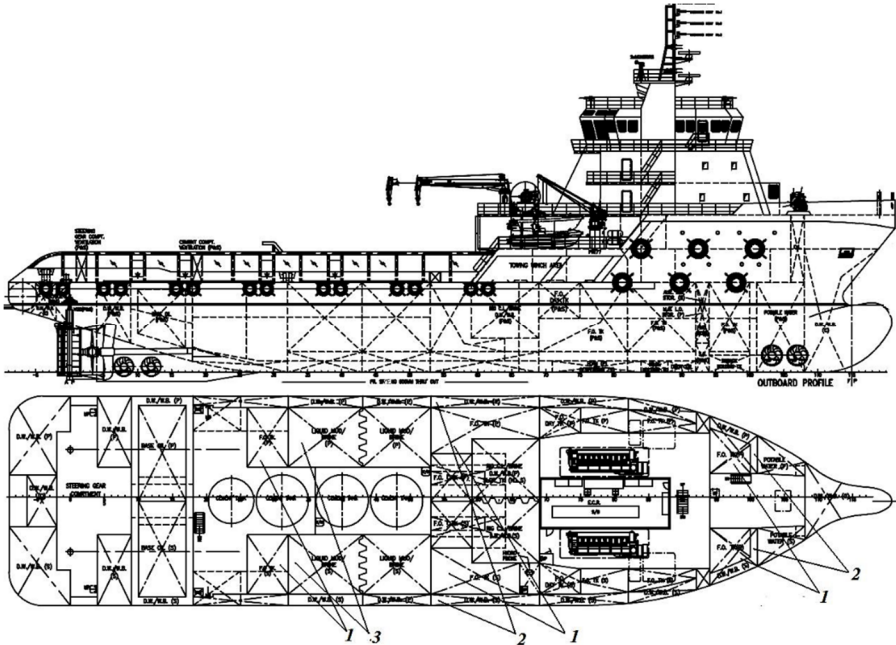


Рисунок 2 – Схема розташування танків судна класу АНТС «Mermaid Sound».

Танк: 1 – паливний; 2 –баластної води; 3 –для технологічних продуктів

За рахунок руйнування парових бульбашок, що виникали в рухомому потоці, кавітація також сприяла інтенсифікації процесу перемішування.

При механічній обробці палива з використанням насоса був задіяний замкнений кільцевий гідравлічний контур, в який паливо подавалося з двох танків. Рух палива всередині трубопроводу 1, замкненого за допомогою повністю закритого автоматичного клапана, здійснювалося за рахунок роботи відцентрового насоса. Діаметр трубопроводу становив 50 мм, а одноступеневий насос, призначений для перекачування суднових лляльних вод, мав наступні характеристики:

– продуктивність по витраті $10 \text{ м}^3/\text{год}$;

– максимальний напір: 10 м вод. ст.

Необхідний обсяг палива подавався в гідравлічний контур з паливного танка, який потім перекиривався за допомогою автоматичного клапана. Після повного заповнення паливом робочого обсягу контуру включався в роботу насос. Через 40-60 хвилин його роботи зазвичай досягалося повне подрібнення високоорганічних сполучень нафтопродуктів з паливом і насос вимикався. Отримана паливна емульсія могла вже подаватися через форсунки високого тиску на ГД судна на подальше спалювання.

Величина концентрації домішок води і нафтопродуктів в паливі є головним фактором, що впливає на процес його спалювання в робочій камері ГД судна. В результаті дослідження цього впливу на судні були отримані результати, які показали перспективність запропонованого методу обробки палива в умовах роботи судна.

До найголовніших характеристик, що були отримані, можна віднести наступні:

– витрати на паливо, що безпосередньо визначаються його масовою витратою і саме вона в результаті використання отриманих даних може бути знижена;

– збільшення терміну проведення регламентних робіт по обслуговуванню паливної апаратури судна.

В ході проведення експериментальних досліджень на судні класу АНТS «Mermaid Sound» було встановлено яким чином наявність домішок в дизельному паливі впливає на два основних експлуатаційних показника судна – витрату палива і температуру димових газів. Виміри проводилися під час переходу судна, коли три робочих режими навантаження суднового ГД при незмінному числі його обертів відповідно становили: 80 %, 50 % і 30 %.

Вимірювання відбувалось наступним чином: обидва суднові паливні танки були заповнені повністю очищеним паливом. Потім, до попередньо визначеного обсягу забункерованого палива додавались домішки у діапазоні концентрацій від 0,1 до 1,5 % від його загального обсягу. Паливо з домішками води і важких нафтопродуктів оброблялося і в наступному витрачалось при експлуатації судна. Отримані результати порівнювались з аналогічними вимірюваннями при роботі судна в звичайному режимі.

Чисельні результати вимірювання величини витрати паливної суміші із домішками нафтопродуктів зведені в таблицю 2. За наведеними результатами видно, що додавання домішок води і нафтопро-

дуктів приводило до незначного скорочення витрати палива на всіх режимах навантаження на ГД судна.

Найкращий ефект в економії палива при використанні паливної емульсії був досягнутий при значенні навантаження на судновий ГД, що дорівнює 80 %. В цьому випадку при концентрації домішок високоорганічних нафтопродуктів, яка дорівнювала 1,5 %, зміна у витраті палива в порівнянні з їх концентрацією, що дорівнює 0,1 %, склала 0,656 %. Іншими словами, при ході судна на режимі навантаження на ГД, що дорівнює 80 %, можливе отримання економії палива 0,005 м³/год.

При навантаженні на ГД судна відповідно 50 і 30 % економія палива знижується відповідно на 0,527 і 0,25 %. Треба відзначити, що досягнута економія палива на всіх трьох режимах навантаження судна вказує на покращення режиму експлуатації СЕУ та поліпшення якості процесу згоряння палива в ГД судна.

Таблиця 2. Зміна витрати паливної емульсії в ГД судна

Концентрація домішок, С, %	Витрата при навантаженні на ГД судна		
	80 % Q, м ³ /год	50 % Q, м ³ /год	30 % Q, м ³ /год
0,1	0,762	0,569	0,399
0,2	0,761	0,569	0,399
0,3	0,761	0,569	0,399
0,4	0,761	0,569	0,399
0,5	0,76	0,568	0,399
0,6	0,76	0,568	0,399
0,7	0,76	0,568	0,399
0,8	0,76	0,567	0,399
0,9	0,759	0,567	0,399
1	0,759	0,567	0,399
1,1	0,759	0,567	0,399
1,2	0,759	0,566	0,399
1,3	0,757	0,566	0,398
1,4	0,757	0,566	0,398
1,5	0,757	0,566	0,398
Зміна витрати, %	0,656	0,527	0,25

Зміна температури і складу димових газів в залежності від концентрації домішок в паливі була експериментально досліджена на

режимі навантаження суднового ГД, що складав величину 80 %. Виміри проводилися за допомогою універсального цифрового аналізатора димових газів 717R Flue Gas Analyser (США). Його основні характеристики показані в таблиці 3.

Таблиця 3. Робочі характеристики цифрового аналізатора димових газів 717RFlueGasAnalyser

	Температура	Оксид вуглецю CO	Кисень O ₂	Діоксид вуглецю CO ₂
Діапазон	від – 40° до 800°С	від 0 до 10000 ppm	від 0 до 25 %	від 0 до 25 %
Крок шкали	1°	1 ppm	0,1 %	0,1 %
Похибка	±0,3% 1°С	<20 ppm: ± 0,3 ppm > 100 ppm: ± 5 %	± 0,3 %	Розрахункова

Установка його вимірювального зонда, який містить термопару, та каналу для відбору мікропроб димових газів була здійснена всередині димоходу. Відстань між місцем установки і вихідним перетином згідно з даними технічної монтажної специфікації виробника, становила 300 мм.

Результати вимірювань температури показані на рисунку 3. Як видно на графіку, обробка палива призводила до його більш якісного згоряння і давала зниження температури суднових димових газів у порівнянні зі звичайним стандартним режимом експлуатації судна.

За аналогією з економічним ефектом від скорочення рівня споживання палива на режимі ходу судна з навантаженням на судновий ГД в 80 %, був досягнутий позитивний ефект температурного балансу. Механічна обробка палива призвела до отримання менших значень температури димових газів на виході з димоходу, що вказує на підвищення якості згоряння палива і дорівнює: 143-139=4°С.

Отримане зменшення температури димових газів є позитивним показником. Воно показує перспективність подальшого використання запропонованої обробки палива в умовах роботи багатофункціональних суден підтримки класу АНТS.

Наступним показником, що відображає якість згоряння паливної суміші, є склад димових газів на виході з ГД судна. Під час досліджень на судні були проведені вимірювання його двох головних складових – оксиду вуглецю CO і діоксиду вуглецю CO₂. Експериментальні чисельні результати вимірювань, що відображають зміну

концентрації цих двох компонент димових газів, наведені в графічному вигляді на рисунку 4.

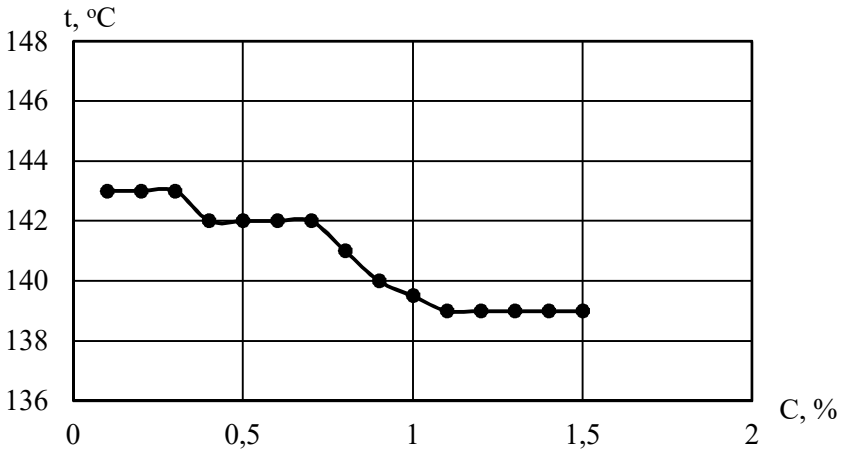


Рисунок 3 – Зміна температури димових газів при навантаженні на ГД судна 80 %

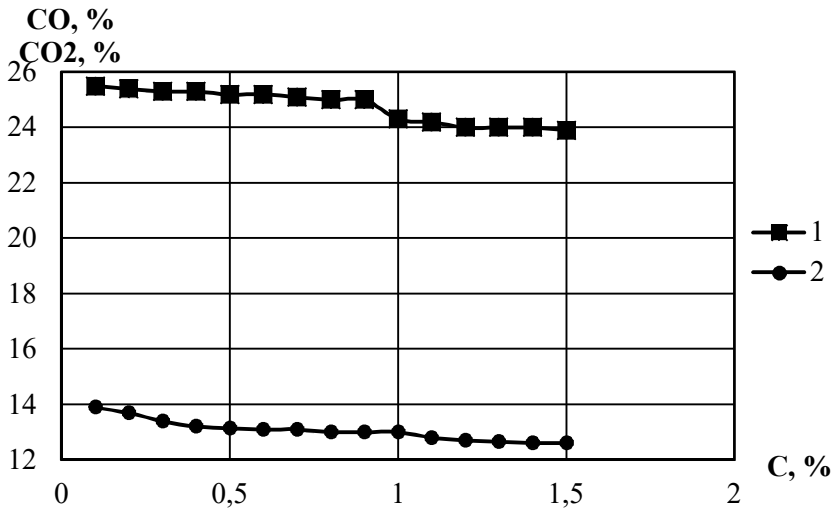


Рисунок 4 – Зміна концентрації в димових газах оксиду вуглецю CO і діоксиду вуглецю CO₂:
1 – оксид вуглецю CO; 2 – діоксид вуглецю CO₂

Розгляд відображених чисельних значень також вказує на отримання позитивного ефекту під час використання обробленого механічним шляхом палива. В екологічних показниках експлуатації судна досягнутий значний ефект. Як це можливо побачити з графіка, у порівнянні зі звичайним режимом роботи судна концентрація оксиду вуглецю зменшилась на 6,4 %, а діоксиду вуглецю CO_2 на 9,3 %. Така зміна у концентрації викидів вказує на значне поліпшення процесу згоряння палива в ГД судна та зменшення навантажень на його паливну апаратуру.

Результати проведених вимірів повністю підтверджують початково прийняту гіпотезу про те, що якість використання суміші палива з домішками важких нафтопродуктів безпосередньо може бути змінена механічною обробкою. За рахунок впровадження вузла обробки палива на судні було досягнуто підвищення якості експлуатації всього судна в цілому.

Висновки

1. Доцільним є застосування на суднах технологій по механічному емульгуванню палива з домішками води і нафтопродуктів. При їх правильному використанні можуть бути досягнуті структурні зміни молекулярного складу в порівнянні з початковою структурою побудови вуглеводнів. За рахунок підвищення ступеня дисперсності асфальтенів, карбенів, карбодів молекулярні ланцюги, що одержуються, будуть перетворюватися в легкі вуглеводневі радикали газових і дистилатів паливних фракцій.

2. В своєму первісному стані суднові палива є недосконалыми і, для того щоб приготувати паливну емульсію не нашкодивши енергетичній установці судна, потрібно чітко знати характеристики палив та усунути з їх складу довільні домішки, які звичайними методами сепарації не можуть бути видалені.

3. В ході проведення експериментальних досліджень на судні класу АНТS «Mermaid Sound» було встановлено яким чином наявність домішок води в дизельному паливі впливає на два основних експлуатаційних показники судна – витрату палива і температуру димових газів. Виміри проводилися під час переходу судна, коли три робочих режими навантаження суднового ГД при незмінному числі його обертів відповідно становили: 80 %, 50 % і 30 %.

4. Найкращий ефект в економії палива при використанні паливної емульсії був досягнутий при значенні навантаження на судновий ГД, що дорівнює 80 %. В цьому випадку при концентрації домішок високоорганічних нафтопродуктів, яка дорівнювала 1,5 %, зміна у витраті палива в порівнянні з їх концентрацією, що дорівнює 0,1 %, склала 0,656 %. Фактично при ході судна на режимі навантаження на ГД, що дорівнює 80 % можливе отримання економії палива 0,005 м³/год.

5. За аналогією з економічним ефектом від скорочення рівня споживання палива на режимі ходу судна з навантаженням на судновий ГД в 80 %, був досягнутий позитивний ефект температурного балансу. Механічна обробка палива призвела до отримання менших на 4°C значень температури димових газів на виході з димоходу. Це вказує на підвищення якості згоряння палива.

6. В екологічних показниках експлуатації судна досягнутий значний ефект. У порівнянні зі звичайним режимом роботи судна концентрація оксиду вуглецю зменшилась на 6,4 %, а діоксиду вуглецю СО₂ на 9,3 %. Така зміна в концентрації викидів вказує на значне поліпшення процесу згоряння палива в ГД судна та зменшення навантажень на його паливну апаратуру.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Возницький І. В. Практика использования морских топлив на судах. – С.–Пб.: ГМА, 2005. – 124 с.
2. Камкин С. В., Возницький І. В., Большаков В. Ф. Эксплуатация судовых дизельных энергетических установок. – М.: Транспорт, 1996. – 432 с.
3. Міжнародна Конвенція про підготовку і дипломування моряків та несення вахти 1978 року (консолідований текст з манільськими поправками): українською та англійською мовами, 2012. – 567 с.
4. Міжнародна конвенція по запобіганню забрудненню з суден 1973 року змінена Протоколом 1978, International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 relating thereto (MARPOL) з поправками.
5. Ерофеев В.І. Использование перспективных топлив в судовых энергетических установках. Л.: Судостроение, 1989. – 80 с.

6. Воржев Ю. И., Гимбутис К. К. Об использовании водотопливных эмульсий в судовых дизельных установках // Судостроение, 1985, № 7. – С. 18–22.
7. Иванов В.М. Топливные эмульсии. М.: Издательство АН, 1962. – 246 с.
8. Lawson A., Last A.Y. Modified fuels for diesel engines by application of unstabilised emulsions. SAE Technical Paper Series. 1979. № 790925 – 16 p.