

Міністерство освіти і науки України
(МОН України)

Одеська національна морська академія

На правах рукопису

Солодовніков Валерій Григорович



УДК 621.436

**УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПАЛИВОПІДГОТОВКИ СУДНОВИХ
СЕРЕДНЬООБЕРТОВИХ ДИЗЕЛІВ ШЛЯХОМ ЗНИЖЕННЯ
КОНЦЕНТРАЦІЇ КОМПОНЕНТІВ, ЩО МІСТЯТЬ СІРКУ**

05.05.03 – двигуни та енергетичні установки

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській національній морській академії МОН України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Сагін Сергій Вікторович
Одеська національна морська академія МОН України,
доцент кафедри суднових енергетичних установок

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Сербін Сергій Іванович,
Національний університет кораблебудування ім. адм.
Макарова МОН України, директор машинобудівного
інституту, професор кафедри турбін;

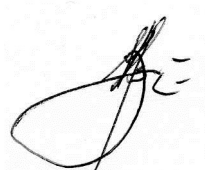
доктор технічних наук, професор
Івановський Валерій Георгійович,
Одеський національний морський університет МОН
України, професор кафедри суднових енергетичних
установок і технічної експлуатації

Захист відбудеться 3 лютого 2016 р. о 13.00 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01 в Одеській національній морській академії за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корп. 1, зала засідань вченої ради.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Одеської національної морської академії: м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корп. 2.

Автореферат розісланий 30 грудня 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
д.т.н., професор



В. В. Нікольський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Основним джерелом, що забезпечує роботу суднових енергетичних установок (СЕУ), у тому числі двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ), є паливо.

Важливість вирішення завдань щодо забезпечення необхідної якості палива визначається вимогами Додатка VI конвенції MARPOL, а також резолюціями Міжнародної морської організації МЕРС.203 (62) і МЕРС.213 (63) де, зокрема, як один із способів підвищення конструктивної енергетичної ефективності судна розглядається вдосконалення паливопідготовки.

Одним із способів виконання даних вимог є використання в СЕУ палив з вмістом сірки 0,01...0,1 %. Однак, на сьогоднішній момент нафтопереробні заводи не здатні забезпечити споживачів паливом подібної якості в повному обсязі, а судноплавні компанії не завжди можуть піти на підвищені фінансові витрати, пов'язані з купівлею подібних палив. Це, а також необхідність поповнення запасів палива у різних морських портах (у деяких з них можливо постачання суден лише важким паливом), призводить до того, що для забезпечення роботи суднових середньообертових дизелів (СОД) застосовуються палива з вмістом сірки 2,5...3,5 %, використання яких призводить до підвищеного корозійного зносу циліндро-поршневої групи (ЦПГ) і тому вимагає додаткової паливопідготовки в суднових умовах.

При цьому питання поліпшення якості високосірчистих палив шляхом удосконалення системи паливопідготовки суднових двигунів потребує дослідження та вирішення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації пов'язана з програмою економічних реформ, що проводяться в Україні, Транспортною стратегією України на період до 2020 р. (розп. КМУ від 20.10.10 р. № 2174-р) і планами виконання науково-дослідних робіт Одеської національної морської академії, зокрема за темою «Розвиток сучасної теорії і практики технічної експлуатації морського і річкового флоту: концепції, методи, технології» № ДР 0114U000346, в якій автор дисертації підготував окремі розділи.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення екологічної ефективності і збереження працездатності суднового СОД шляхом зниження вмісту сірки високов'язкого палива.

Наукова гіпотеза полягає в тому, що десульфуризація високов'язкого палива в умовах судна досягається шляхом впливу на його сірковмісні молекули.

Головне завдання дисертаційного дослідження полягає в розробці способу, засобів і ефективного режиму десульфуризації високов'язкого палива системою паливопідготовки суднового СОД.

Для виконання головного завдання дисертаційного дослідження вирішені допоміжні завдання:

- 1) аналіз процесів паливопідготовки високов'язких палив, що використовуються для роботи суднових дизелів;
- 2) визначення способів і засобів контролю вмісту сірки в паливі після його десульфуризації;
- 3) встановлення діапазону оптимальних характеристик дії ультразвукового генератора на видалення сірки з палива;
- 4) аналіз зміни корозійного стану ЦПГ суднового СОД через вміст сірки високов'язкого палива.

Об'єкт дослідження – судновий СОД, що працює на високосірчистому паливі.

Предмет дослідження – процеси паливопідготовки суднового СОД.

Методи дослідження:

- дедукції (при здійсненні інформаційного пошуку);
- системного аналізу (при визначенні мети і завдань дослідження, а також при розробці технологічної карти дослідження);
- математичного і фізичного моделювання (при розробці моделі об'єкта дослідження та при визначенні впливу параметрів ультразвукової обробки на структурний склад палива, а також при визначенні впливу характеристик палива на показники суднового СОД);
- статистичної обробки даних (при обробці результатів експериментів).

Наукова новизна роботи – полягає у тому, що зниження вмісту сірки в високов'язкому паливі в 1,15...1,35 рази забезпечується ультразвуковою дією на малорухоме, попереднє очищене від води і механічних домішок паливне середовище, збагачене бульбашками повітря, що здійснюється генератором ультразвукових імпульсів, якій встановлюється у верхній частині витратної цистерни з одночасною подачею стиснутого повітря у її нижню частину через спеціальний розподілювач повітря. При цьому співвідношення потужності ультразвукового генератора $N_{узг}$ до об'єму палива в витратній цистерні $V_{вит}$ складає 0,5...3,0 кВт/м³, а відношення витрати повітря $G_{пов}$ до об'єму палива у витратній цистерні $V_{вит}$ знаходиться у межах 0,04...0,05 (м³/год)/м³.

У результаті дослідження вперше встановлено:

досліджений ефект ультразвукової десульфуризації здійснюється у малорухливому об'ємі палива, попередньо очищеного від води і механічних домішок, що характерно для витратної цистерни системи паливопідготовки;

залежність об'ємної концентрації сульфідів водню (що виникає під час обробки палива та виділяється з його відкритої поверхні) від частоти ультразвукового генератора має нелінійний вигляд і характеризується наявністю максимуму, який відповідає оптимальній частоті ультразвукового генератора;

оптимальна десульфуризація високосірчистих палив при ультразвуковій обробці здійснюється в діапазоні частоти ультразвукового сигналу 22...26 кГц при амплітуді ультразвукової хвилі 0,36...0,68 мкм;

більш ніж трикратне зниження корозійного зносу деталей суднового СОД та 1,15...1,35 разове зниження концентрації сірковмісних компонентів палива

досягається при відношенні потужності ультразвукового генератора $N_{узг}$ до об'єму витратної цистерни $V_{вит}$ в межах $N_{узг}/V_{вит}=0,55...2,78$ кВт/м³ зі спільною інтенсифікацією процесу ультразвукової обробки шляхом примусової подачі повітря в об'єм палива, що обробляється.

Удосконалено методику визначення структурного складу палива, що відрізняється від існуючих можливістю оцінки залишкового вмісту сірки в паливі за об'ємною концентрацією сульфїду водню, який утворюється над вільною поверхнею палива при його ультразвуковій обробці.

Отримала подальший розвиток методика визначення концентрації сірчистих домішок в паливі на основі аналізу лінійчатих спектрів горіння палива.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

- встановлений взаємозв'язок між частотою ультразвукового сигналу і зниженням вмісту сірчистих домішок в паливі дозволяє визначити оптимальний час ультразвукової обробки палива, що забезпечує мінімальні енерговитрати на її проведення;

- технологію ультразвукової кавітаційної обробки високосірчистого палива доцільно використовувати при розробці гідродинамічних активаторів, а рекомендації щодо визначення оптимальних частот ультразвукового сигналу і часу ультразвукової обробки палива – при проектуванні систем паливопідготовки суднових СОД.

Реалізація результатів досліджень на групі суднових СОД в діапазоні їхньої потужності 180...4600 кВт забезпечує зниження витрати палива на 70...520 кг на добу, що в цінах 2015 року складає 40...350 доларів США на добу.

Результати дисертаційного дослідження впроваджені:

- система ультразвукової обробки і гідродинамічної активації важкого палива, а також двоступінчастий модуль ультразвукової підготовки палива – на суднах, що обслуговується виробничою фірмою «Судноремонт» (акт впровадження від 12.05.2015 р.);

- додаткова система ультразвукової підготовки палива – на т/х «SOCOL-6» Товариства з обмеженою відповідальністю «Каалбай Шиппінг Україна» (акт впровадження від 05.08.2015 р.);

- блок ультразвукової підготовки палива – на т/х «Ocean Voyager» Товариства з обмеженою відповідальністю «Каалбай Шиппінг Україна» (акт впровадження від 03.09.2015 р.);

- теоретичне обґрунтування методу ультразвукової кавітаційної обробки палива, а також особливості експлуатації системи паливопідготовки суднових СОД, що використовує ефект кавітації палива впроваджені в навчальний процес Одеської національної морської академії при вивченні дисциплін «Технологія використання робочих речовин», «Технічне обслуговування и ремонт суднових технічних засобів», «Оптимізація режимів роботи суднових енергетичних установок» (акт впровадження від 23.06.2015 р.).

Особистий внесок здобувача полягає в наступному: проведення інформаційного пошуку; розробка математичної моделі процесу ультразвукової

кавітаційної обробки високосірчистого палива, що використовується в системах паливopідготовки суднових СОД; проведення експериментальних досліджень (у лабораторних і суднових умовах) з визначення оптимальних частоти і часу ультразвукової кавітаційної обробки, що забезпечують максимальне зниження сірчистих домішок в паливі при мінімальних витратах енергії; обробка та аналіз експериментальних даних; розробка рекомендацій щодо вдосконалення технічної експлуатації систем паливopідготовки суднових СОД.

Роботи [4, 5, 6, 7, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 18] виконані автором самостійно. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать такі результати: [1] – переобладнання штатної суднової системи паливopідготовки і проведення експериментальних досліджень; [2] – розробка технології підготовки елементів паливної системи до експериментальних досліджень, комплектація суднової паливної системи, проведення експерименту та обробка його результатів; [3] – проведення інформаційного пошуку, складання математичної моделі та перевірка її адекватності; [8] – проведення експериментальних досліджень, модернізація суднової системи паливopідготовки, проведення експерименту в науковій лабораторії і суднових умовах, обробка результатів експерименту; [11] – проведення експериментальних досліджень, аналіз і обробка отриманих результатів; [12] – проведення експериментальних досліджень та обробка отриманих результатів; [17] – розробка алгоритму підготовки паливної системи суднового СОД при використанні додаткової ультразвукової кавітаційної обробки палива.

Апробація результатів роботи. Основні положення, окремі розділи і наукові результати доповідались, обговорювались і були схвалені на таких науково-технічних конференціях: на науково-технічній конференції «Енергетика судна: експлуатація та ремонт», 26.03.2014-28.03.2014, Одеса, Одеська національна морська академія; VI Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті – MINTT-2014», 27-29 травня 2014 р., Херсон, Херсонська державна морська академія; XXXV Международной научно-практической конференции «Технические науки – от теории к практике», Новосибирск, СибАК, 2014 г.; XXVI Міжнародній науковій конференції «Дисперсні системи» 22-26 вересня 2014 р., Одеса, Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова; XXXVIII Международной научно-практической конференции «Технические науки – от теории к практике», Новосибирск, СибАК, 2014 г.; III Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасний стан та проблеми двігунобудування», 19-21 листопада 2014 р., м. Миколаїв, Національний університет кораблебудування; IV міжнародній науково-практичній конференції «Техніка і технології: роль у розвитку сучасного суспільства», 27 січня 2015 року, Краснодар, 2015 р.; Міжнародній науково-технічній конференції «Енергетика судна: експлуатація та ремонт», 26.03.2015-28.03.2015, Одеса, Одеська національна морська академія; XV Международной научно-практической конференции «Научное обозрение физико-математических и технических наук в XXI веке», Москва, 27-28 марта 2015 г.;

VII Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті – MINTT-2015», 26-28 травня 2015 р., Херсон, Херсонська державна морська академія.

Публікації. Основні результати дисертаційного дослідження викладені в 18 публікаціях. З них: одне авторське свідоцтво; одна в міжнародному журналі Modern Applied Science, Published by Canadian Center of Science and Education, що входить до фонду SCOPUS; 6 опубліковано у наукових журналах, що входять до переліку наукових фахових видань України, рекомендованих Міністерством освіти і науки України для публікації результатів дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (з них 4 без співавторства); 10 публікацій у збірниках матеріалів наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, трьох додатків, списку використаних джерел з 158 найменувань. Загальний обсяг – 201 сторінка, зокрема: основний текст 173 стор., додатки – 12 стор., список використаних джерел – 16 стор., включає 36 рисунків і 9 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** визначено актуальність теми дисертації, сформульовані мета і завдання дослідження, відображена наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача, наведено дані про апробацію роботи та публікації результатів дослідження.

У **першому розділі** виконаний інформаційний пошук за такими напрямками: особливості схем паливопідготовки для суднових СОД, зміна експлуатаційних властивостей палив при їх підготовці, вплив експлуатаційних властивостей палива на технічні характеристики суднового дизеля, методи підготовки палива до його використання.

За результатами інформаційного пошуку встановлено, що суднова система паливопідготовки є системою, експлуатація якої в пряму впливає на економічність роботи суднового СОД і енергетичну ефективність всієї СЕУ. Управління процесами, що відбуваються в системі паливопідготовки, приводить до зміни структурних складових палива і сприяє поліпшенню експлуатаційних характеристик ДВЗ. Широке застосування важких палив в суднових СОД вимагає створення спеціальних систем і технологій їхнього очищення від сірковмісних компонентів і підготовки до спалювання в циліндрі дизеля.

Аналіз досліджень в області паливопідготовки показав, що їх розвиток останнім часом було направлено на використання різних присадок, підвищення якості фільтрації, застосування гідродинамічної обробки палива, підвищення експлуатаційної надійності паливної системи. Питанням збереження енергетичної ефективності суднових систем паливопідготовки присвячені дослідження В. В. Добровольського та С. А. Ханмамедова, проте їхній позитивний досвід застосовується тільки до суднових малооборотових дизелів, в

яких нейтралізація шкідливих домішок сірки, що знаходяться в паливі, можлива за допомогою лужного мастила циліндрової змащувальної системи. У роботах В. Ф. Большакова, І. В. Возницького, С. В. Камкіна запропоновані варіанти оптимізації експлуатаційних характеристик паливної системи, проте вони, як і дослідження Ю. А. Пахомова, можуть бути ефективно використані при початковому проектуванні таких систем, а для систем, що знаходяться в експлуатації, вимагають значного переобладнання і тому втрачають свою актуальність. Поліпшенню дисперсних характеристик палив присвячені роботи Ф. А. Васькевича, однак основна область цих досліджень спрямована на елементи паливної системи високого тиску. Таким чином, при різноманітності досліджень, в жодному одному з них не розглядаються технологічні аспекти підготовки важких сортів палива для суднових СОД шляхом зниження або нейтралізації сірчистих сполук на стадії його обробки в системі паливopідготовки.

На основі проведеного аналізу обґрунтована актуальність науково-прикладної задачі вдосконалення системи паливopідготовки суднових СОД.

У **другому розділі** методом експертних оцінок можливих варіантів збереження енергетичної ефективності системи паливopідготовки суднових СОД здійснено вибір напрямку дослідження за такими критеріями: актуальність, наукова новизна, економічна ефективність, можливість застосування в умовах морського судна, відповідність основним напрямкам наукової спеціальності.

За результатами експертних оцінок найбільш оптимальним і доцільним був визнаний спосіб вдосконалення системи паливopідготовки шляхом зниження концентрації сірковмісних компонентів, у зв'язку з цим саме на його розвиток спрямовано наукове дослідження і тема дисертації.

Застосування системного підходу дозволило сформулювати мету, висунути гіпотезу і поставити головне завдання наукового дослідження, яке полягає в розробці способу зниження корозійного зносу ЦПГ та зниження викидів окислів сірки суднового СОД при його роботі на високосірчистих паливах.

У комплексних системах паливopідготовки питанням ультразвукової підготовки не приділяється належної уваги насамперед через відсутність досліджень щодо визначення оптимальних частот ультразвукового сигналу, що сприяють максимальній ефективності процесу підготовки палива при мінімальних витратах енергії на його проведення, а також досліджень, що стосуються інтенсифікації процесу ультразвукової обробки за рахунок створення додаткових зон кавітації шляхом примусової подачі повітря в оброблюване паливо. Для виконання головного завдання дисертаційного дослідження були вирішені допоміжні завдання.

Першим допоміжним завданням дисертаційного дослідження передбачається визначення оптимальної ділянки системи паливopідготовки, в межах якої найбільш доцільно проводити додаткову ультразвукову обробку палива.

Друге допоміжне завдання спрямоване на визначення показників, що характеризують процес десульфуризації палива при його ультразвуковій обробці.

Третє допоміжне завдання пов'язане з експериментальними дослідженнями по визначенню діапазону оптимальних частот ультразвукового сигналу, що забезпечує максимальне зниження концентрації сірчистих сполук в паливі при мінімальних витратах енергії.

Четверте допоміжне завдання пов'язане з визначенням впливу ультразвукової обробки палива на корозійний знос циліндрових втулок і поршневих кілець суднового СОД.

Вирішення головного завдання дисертаційного дослідження виконано шляхом синтезу наукових результатів розв'язання допоміжних завдань. Описаний замкнений цикл наукового дослідження системно представлений у вигляді технологічної карти дослідження.

У третьому розділі виконано дослідження впливу сірчистих домішок в паливі на роботу суднових дизелів.

Для вирішення першого допоміжного завдання на основі аналізу способів підготовки палива, що застосовуються (тонка фільтрація, гідроочищення, змішування палива з єднальними реагентами з подальшим відстоюванням, фільтрацією або сепарацією осаду, чи окисне відновлення) було встановлено, що найбільш оптимальним для суднових умов експлуатації методом зниження вмісту сірчистих домішок в паливі є його ультразвукова обробка. Причому для проведення ультразвукової обробки найбільш сприятливим є малорухомий стан палива, а як ділянку системи паливопідготовки найбільш доцільно використовувати витратну паливну цистерну.

Для вирішення другого допоміжного завдання був виконаний комплекс лабораторних досліджень, що полягав у наступному (рис. 1). Порція палива розміщувалася в скляну ємність 5 і піддавалася ультразвуковій обробці за допомогою ультразвукового генератора 1 з магнітострикційним випромінювачем 6. У ємності з паливом знаходився температурний датчик 4, який дозволяв

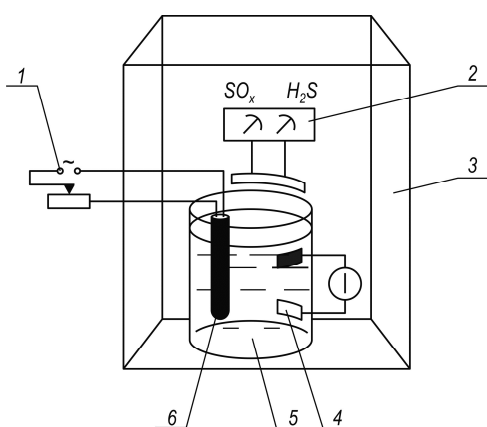


Рис. 1. Схема установки для визначення структурної зміни палива при ультразвуковій обробці

контролювати рівень температури, що, згодом, дозволяло оцінити енергію, поглинену паливом при ультразвуковій обробці, а також уникати перегріву палива до температур, близьких до температури самозаймання його парів. Експериментальна установка розташовувалася в автономній хімічній шафі 3, при цьому протягом усього експерименту циркуляція повітряних потоків в ній не проводилася. Безпосередньо над ємністю з паливом розміщувався портативний газоаналізатор 2, що дозволяє визначати концентрацію сульфідів водню H_2S і оксидів сірки SO_x в газах, що виділяються з палива. При цьому максимальна величина

об'ємної концентрації H_2S була критерієм вибору оптимальної частоти генерованих імпульсів. Після проведення ультразвукової обробки в пробі палива провадилось визначення вмісту сірчистих домішок. З цією метою виконувався аналіз спектрів горіння палива. За допомогою плазмової спектрофотометрії визначалися лінійчаті спектри поглинання сірки, як однієї зі складових палива. Знаючи початковий вміст сірчистих сполук у паливі, за інтенсивністю даних спектрів можливо визначити зміну їх кількості в паливі після його ультразвукової обробки.

Для вирішення третього допоміжного завдання, в результаті синтезу теоретичних і експериментальних досліджень, виконаних Б. А. Агранатом, В. В. Рождественським, Л. Д. Розенбергом, М. А. Промтовим була розроблена модель ультразвукового впливу на паливо та його структурні складові з урахуванням примусової подачі в об'єм оброблюваного палива бульбашок повітря. При цьому, з урахуванням перебування в паливі газових складових, рівняння їхньої статичної рівноваги відповідно до теорії Л. Бергмана записано у вигляді

$$P_r = P_\infty + P_n + \frac{2\sigma}{R},$$

де P_r , P_∞ , P_n – тиск у газовій фазі палива, статичний тиск в рідкій фазі палива, тиск насичених парів палива, відповідно; σ – поверхневий натяг рідини, R – радіус бульбашки кавітації.

При нанесенні на паливо ультразвукових гармонійних коливань рівняння рівноваги перетвориться до виду

$$P_0 - P_a = \left(P_\infty + P_n + \frac{2\sigma}{R_0} \right) \left(\frac{R_0}{R} \right)^3 - \frac{2\sigma}{R_0} + P_n,$$

де P_0 – початковий тиск в бульбашці при накладенні ультразвукової кавітаційної хвилі, Па; P_a – акустичний тиск, створюваний при ультразвуковій кавітації, Па; R_0 – початковий радіус бульбашки кавітації, м.

Нелінійне диференціальне рівняння, що описує просту модель сферично-симетричної пульсації газової порожнини радіусом $r=R(t)$ у полі плоскої звукової хвилі, має вигляд:

$$R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 + \frac{1}{\rho} (P_\infty - P(R)) = 0,$$

де ρ – густина палива, кг/м^3 .

Аналітичне рішення цього рівняння, отримано Релеєм при найпростіших умовах: $P_\infty = P_a$; $P(R) = 0$. У цьому випадку воно має вигляд:

$$\left(\frac{dR}{dt} \right)^2 = \frac{2}{3} \frac{P_\infty}{\rho} \left(\frac{R_{\max}^3}{R^3} - 1 \right).$$

Рівняння, що описує зміни радіуса кавітаційної порожнини в полі ультразвукової хвилі відоме як рівняння Нолтінга-Неппайреса:

$$R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 + \frac{1}{\rho} \left[P_{\infty} - P_{\Pi} - P_a \sin \omega t + \frac{2\sigma}{R} - \left(P_{\infty} + \frac{2\sigma}{R_0} \right) \left(\frac{R_0}{R} \right)^{3\gamma} \right] = 0.$$

Потужність ультразвукового сигналу $N_{уз}$ згідно з виразом для вектора Умова-Пойтінга, дозволяє оцінити величину амплітуди ультразвукової хвилі

$$a = \frac{1}{\pi v_{уз}} \sqrt{\frac{N_{уз}}{2\rho v}},$$

де $v_{уз}$ – частота ультразвукового сигналу; v – швидкість поширення ультразвукової хвилі, м/с.

При проведенні досліджень як ультразвуковий генератор використовувався модульний генератор УЗГ-5-М з фазовою корекцією і магнітострикційним випромінювачем, що забезпечує потужність в діапазоні 20...5000 Вт, а також вихідну частоту ультразвукового сигналу в діапазоні 7...30 кГц з точністю завдання частоти до 1 Гц. При проведенні експерименту потужність ультразвукового генератора змінювалася в межах 1...5 кВт, частота в межах 20...30 кГц, при цьому амплітуда коливань становила $a=0,26...0,88$ мкм, що забезпечувало розрив міжмолекулярних зв'язків в комплексах палива, що містять сірку.

Зміна вмісту сірчистих домішок S в різних паливах в залежності від частоти ультразвукового сигналу $v_{уз}$ представлена масивом кривих на рис. 2, а.

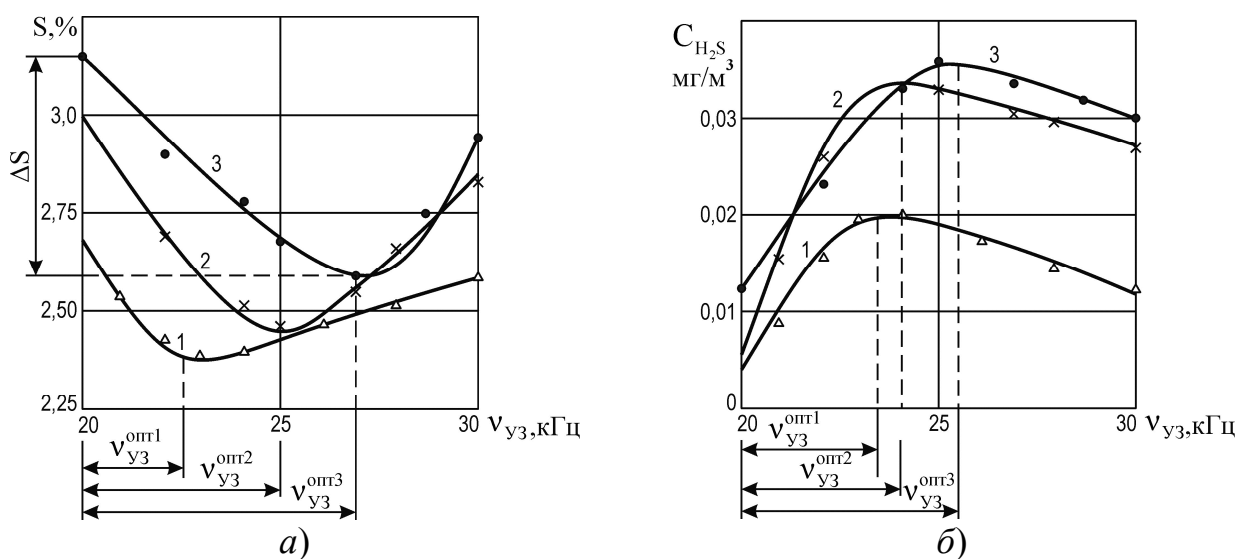


Рис. 2. Зміна вмісту сірчистих домішок S (а) і концентрації сульфїду водню C_{H_2S} в парах (б) різних палив в залежності від частоти ультразвукового сигналу $v_{уз}$ при початковому вмісту сірки в паливі: 1 – $S = 2,7$ %; 2 – $S = 3,0$ %; 3 – $S = 3,3$ %

Залежність вмісту сульфідів водню H_2S в парах різних палив над його поверхнею як функції від частоти генерованого звуку показана на рис. 2, б. Обидві залежності мають яскраво виражений екстремум, що відповідає певній частоті звукового сигналу. При цьому частота ультразвукового сигналу лежить у діапазоні 22...26 кГц, що при потужності ультразвукового генератора 4 кВт забезпечує амплітуду ультразвукової хвилі 0,36...0,68 мкм. Відзначимо, що максимальне зниження концентрації сірки спостерігається для палив з більшим початковим вмістом сірки.

Суміщення даних залежностей на одній координатній сітці дозволяє визначити діапазон частот, що забезпечують максимальне зниження сірчистих домішок у паливі та максимальну кількість сірководню в парах палива, рис. 3.

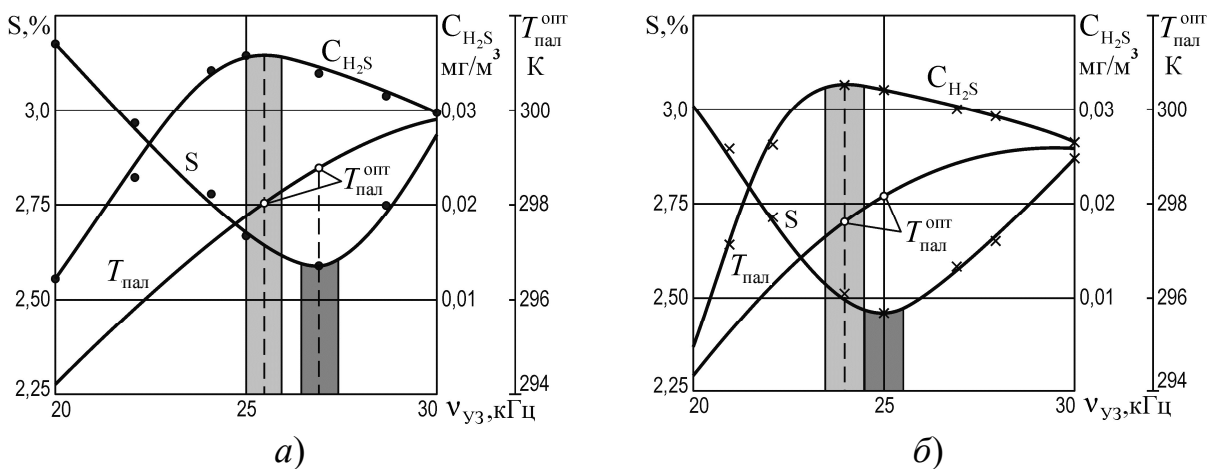


Рис. 3. Зміна вмісту сірчистих домішок S і концентрації сульфідів водню $C_{\text{H}_2\text{S}}$ в парах різних палив залежно від частоти ультразвукового сигналу $\nu_{\text{уз}}$: а) паливо НФО380; б) паливо НФО180

Ще одним критерієм вибору оптимальної частоти ультразвукового сигналу є температура палива, яке зазнає опромінення. Для мінімізації енергетичних витрат вибір частоти ультразвукового сигналу повинен забезпечувати температуру палива $T_{\text{пал}}^{\text{опт}}$ максимально наближену до найближчого екстремуму кривих $S = f(\nu_{\text{уз}})$ і $C_{\text{H}_2\text{S}} = f(\nu_{\text{уз}})$ (рис. 3). Проведені дослідження підтвердили наявність оптимальних частот ультразвукової обробки палива і з'ясували механізм їх визначення.

У **четвертому розділі** для вирішення четвертого допоміжного завдання виконувались експериментальні дослідження в системах паливopідготовки суднових СОД: S6A2 фірми «Mitsubishi», 6NVD18 фірми SKL, 6Г74 фірми «Російський дизель». При цьому штатна система паливopідготовки доукомплектовувалась блоком ультразвукової обробки і мала вигляд, показаний на рис. 4. Дизелі мали кожен свою автономну систему паливopодачі, що давало можливість проводити дослідження для окремого дизеля з паливом, яке пройшло різні етапи підготовки. Паливна система одного з двигунів не піддавалася перекомплектації і експлуатувалася в «штатному» стані, при цьому

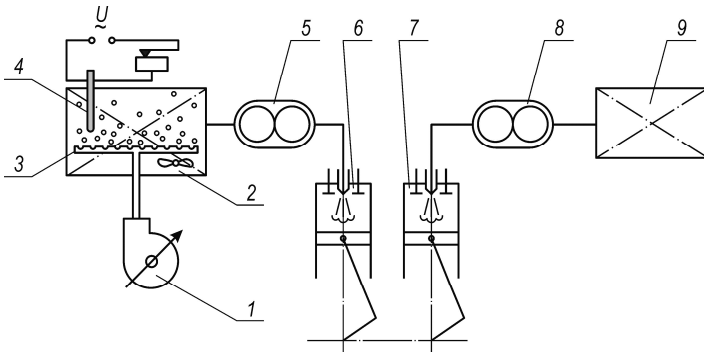


Рис. 4. Схема обладнання системи подачі палива до двигуна (фрагмент)

даний дизель приймався за «контрольний». Паливо до двох інших дизелів подавалося після додаткової кавітаційної обробки, для чого паливна система цих дизелів була доукомплектована модулем ультразвукової кавітаційної обробки. Двигун 7 був контрольним і експлуатувався в «штатному» режимі, при цьому

паливо, пройшовши стандартну процедуру підготовки, подавалося до нього насосом 8 з цистерни 9. Двигуни 6 були «експериментальні». Паливо до них подавалося насосом 5 з цистерни 2, де воно піддавалося ультразвуковій обробці за допомогою ультразвукового генератора УЗГ-5-М. При цьому для посилення кавітаційних явищ у нижній частині однієї з цистерн була прокладена додаткова повітряна магістраль 3, нагнітання повітря в яку здійснювалося повітряним компресором 1. Генеровані бульбашки повітря, що потрапляли в об'єм палива, були додатковими джерелами кавітаційних зон. У цистерні 2 додатково встановлювався лопатковий змішувач, що забезпечувало однорідність палива у всьому об'ємі. Під час проведення експерименту дизелі експлуатувалися на паливі IFO380. Для забезпечення ідентичності експерименту для всіх дизелів проводилася їх попередня підготовка до випробувань, яка дозволила проводити експеримент в однакових умовах. Вплив кавітаційної обробки палива на сірчисту корозію ЦПГ може бути проаналізовано на прикладі визначення зносу циліндрової втулки і верхнього поршневого кільця, результати якого показані на рис. 5.

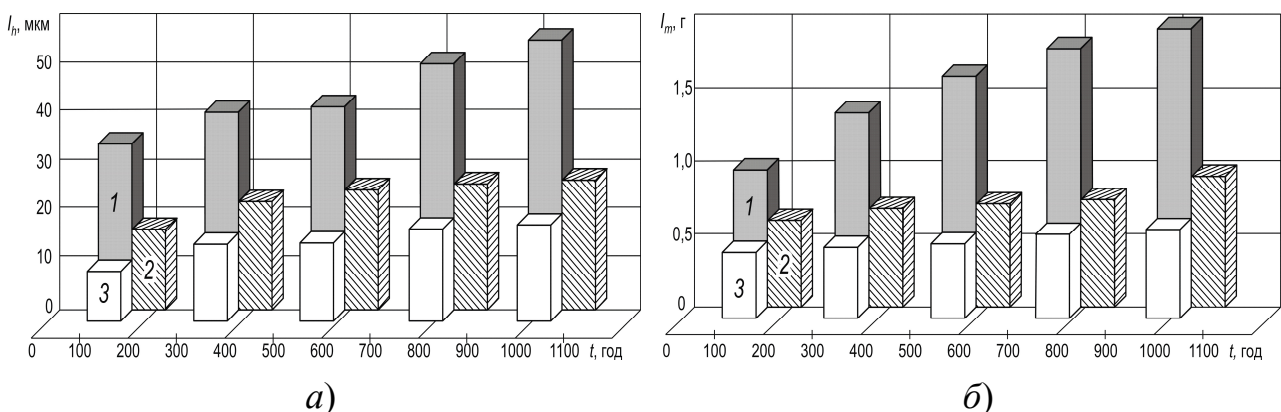


Рис. 5. Знос ЦПГ при різних умовах експерименту: а) лінійний знос циліндрової втулки; б) масовий знос верхнього поршневого кільця; 1 – паливо без додаткової обробки («штатна» системи паливопідготовки); 2 – використання в системі паливопідготовки тільки ультразвукового кавітатора; 3 – використання ультразвукового кавітатора і додаткової подачі повітря в зону кавітації

Крім того, під час експерименту проводилося визначення максимального тиску згоряння і температури випускних газів, що характеризують можливу неузгодженість навантаження по циліндрах дизеля, і концентрації SO_x у випускних газах.

Узагальнені результати досліджень наведені в таблиці 1. При цьому в ній систематизовані дизелі і режими їхньої експлуатації, що характеризуються максимальним відхиленням контрольованих параметрів.

Таблиця 1

Результати досліджень

Найменування контрольованого параметра	Тип системи паливопідготовки		
	1	2	3
Зниження зносу, %: циліндрової втулки поршневого кільця	— —	37,6 54,3	67,3 72,9
Загальне відхилення максимального тиску циклу по циліндрах дизеля від його середнього значення, %	5,47	3,42	3,13
Загальне відхилення температури випускних газів по циліндрах дизеля від його середнього значення, %	5,45	4,17	3,89
Питома ефективна витрата палива, г/(кВт·год)	206±1,8	200±1,8	198±1,8
Концентрація SO_x у випускних газах, г/(кВт·год)	31,3±0,12	16,3±0,18	13,6±0,12

У таблиці 1 мається на увазі: 1 – використання «штатної» системи паливопідготовки; 2 – використання в системі паливопідготовки тільки ультразвукового кавітатора; 3 – використання ультразвукового кавітатора і додаткової подачі повітря в зону кавітації

П'ятий розділ присвячений вирішенню головного завдання дослідження – на основі синтезу наукових результатів розв'язання допоміжних завдань та узагальнення досвіду експлуатації ДВЗ морських суден створити систему паливопідготовки суднових СОД, що сприяє максимальній десульфуризації палива при мінімально неминучих витратах енергії.

Як варіант такої системи запропонована система паливопідготовки, що показана на рис. 6. У запропонованій схемі одночасно вирішені дві задачі: поліпшення якості попередньої підготовки палива за рахунок впливу на нього ультразвуковими коливаннями та зниження енергетичних витрат у системі за рахунок заміни енергоємного методу відцентрової сепарації на ультразвукову обробку. У системі ультразвукова обробка палива виконувалася двічі, причому другий раз – безпосередньо перед впорскуванням палива в циліндр дизеля. Розташування фільтра тонкого очищення 14 після ультразвукового генератора першого ступеню сприяло відсіванню механічних домішок з паливного потоку. Додаткова обробка палива на другому ступені ультразвукового генератора безпосередньо перед паливною апаратурою високого тиску дизеля сприяла

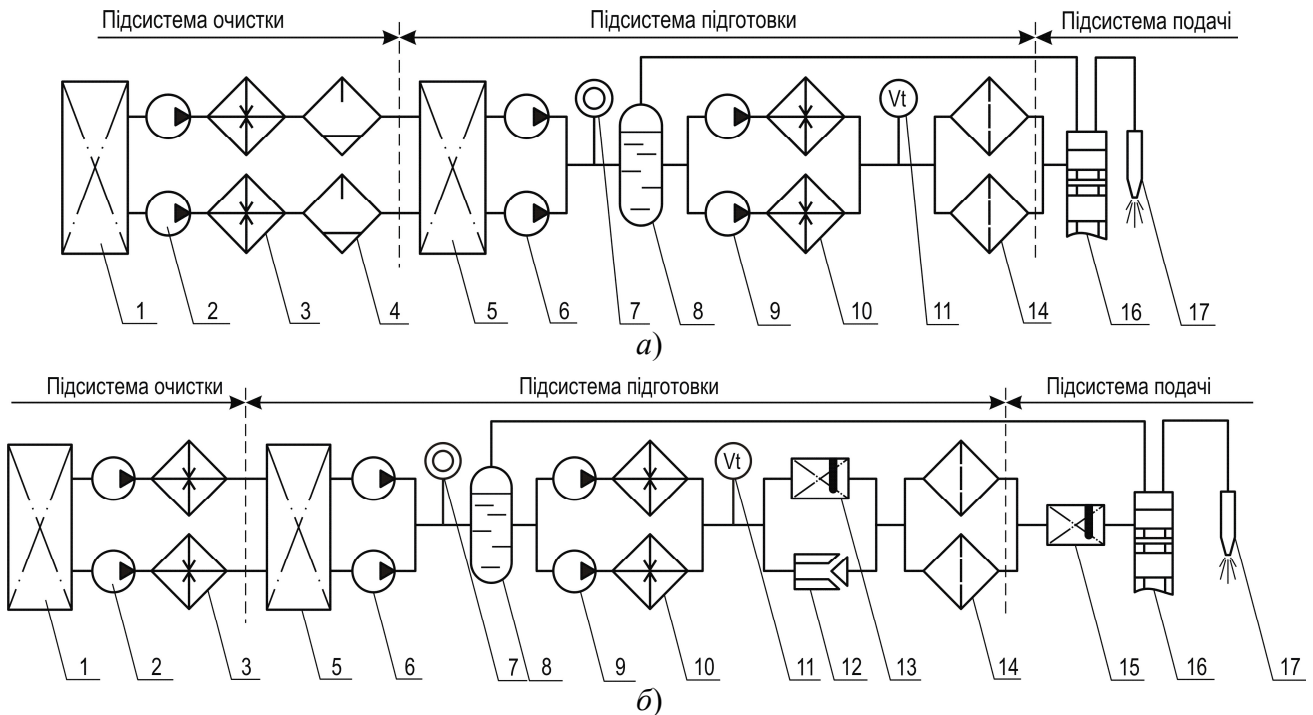


Рис. 6. Схема переобладнання паливної системи: а) стандартна; б) при використанні додаткової ультразвукової обробки і гідродинамічної активації палива: 1 – відстійно-витратна цистерна; 2 – насоси, що перекачують паливо; 3, 10 – підігрівач палива; 4 – паливний сепаратор; 5 – витратна цистерна; 6 – насоси, що підкачують паливо; 7 – витратомір; 8 – деаераційний резервуар; 9 – циркуляційні насоси; 11 – датчик в'язкості; 12 – гідродинамічний активатор палива; 13 – ультразвукова установка 1-ого ступеню; 14 – автоматичний фільтр; 15 – ультразвукова установка 2-ого ступеню; 16 – паливний насос високого тиску; 17 – форсунка

максимальному використанню ефекту роздроблення молекулярних ланцюжків палива. Перевага запропонованої системи паливопідготовки в порівнянні зі штатною системою полягає в практичній відсутності втрати горючих складових палива, яке відбувається у відцентровому сепараторі. Крім того, поєднання фільтра тонкого очищення з генераторами кавітації забезпечують роботу системи паливопідготовки не тільки майже без втрат палива, але і з дуже високою ефективністю ультразвукової обробки, при цьому підвищується інтенсифікація процесу горіння палива і тим самим забезпечується зниження його питомої витрати. У розглянутій схемі паливопідготовки ультразвуковий генератор першого ступеню не тільки сприяє розриву молекулярних ланцюжків палива, а й приводить до дроблення механічних домішок. Таким чином збільшується кількість кавітаційних зон для ультразвукового генератора другого ступеню. Це сприяє підвищенню ефективності процесу паливопідготовки з одночасним зниженням енергетичних витрат на її проведення. У розробленій системі паливопідготовки також передбачена можливість використання гідродинамічної активації палива (у гідродинамічному активаторі палива 12). На останній спосіб було отримано авторське свідоцтво.

Підтвердженням ефективності такої схеми є зниження питомої ефективної витрати палива та зменшення концентрації SO_x у випускних газах при роботі дизеля 6VDS18 на паливі, що пройшло двоступеневу ультразвукову обробку (рис. 7).

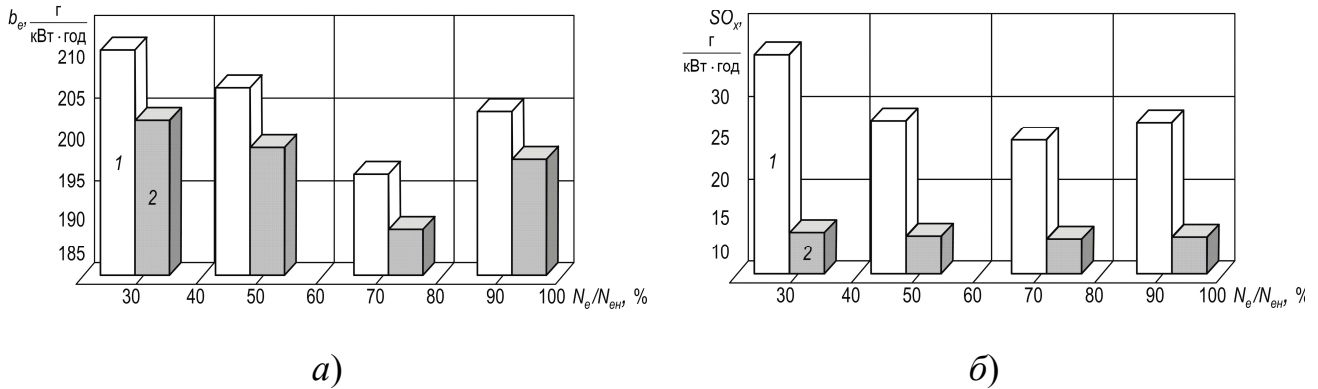


Рис. 7. Зміна питомої витрати палива (а) та концентрації SO_x у випускних газах (б) при роботі дизеля 6VDS18 на «чистому» паливі (1) і на паливі, що пройшло двоступеневу ультразвукову обробку (2)

Визначимо як суттєве зниження концентрації SO_x так і практичне однакові її значення на всіх режимах роботи дизеля, що особливо актуально для СОД, які тривалий час працюють на режимах часткового навантаження. Також визначимо покращення технічного стану ЦПГ та газовипускної системи дизеля (зокрема зменшення кількості незгорілих вуглеводнів, що осаджуються на цих поверхнях; зменшення площі корозійного ушкодження верхньої частини втулки та кромки поршневих кілець; покращення руху кільця у поршневої канавці).

ВИСНОВКИ

Дисертаційне дослідження спрямоване на вирішення науково-прикладної задачі - підвищенню екологічної ефективності і збереженню працездатності судових середньообертових дизелів шляхом удосконалення їхньої систем паливopідготовки.

Середньообертові дизелі входять до складу всіх СЕУ. Важливу роль у комплексі перетворення потенційної енергії палива в ефективну потужність дизеля виконує система паливopідготовки, ефективність роботи якої визначається зміною структурних характеристик і експлуатаційних властивостей палива до і після процесу його обробки. Найбільші енергетичні витрати в системі паливopідготовки пов'язані з видаленням з палива різних домішок, у тому числі сірчистих. Одним із способів підвищення екологічної ефективності СЕУ в цілому і системи паливopідготовки зокрема є ефективна десульфуризація палива, яку пропонується виконувати за допомогою ультразвукової обробки палива. Використання ультразвуку в судових системах паливopідготовки застосовувалося, як правило, для створення

паливних сумішей і водопаливних емульсій, а поодинокі роботи з дослідження ультразвукового впливу на структурні компоненти палива не визначали оптимальних з точки зору енергетичних витрат і видалення сірчистих домішок частот і режимів роботи такого обладнання.

Головним науковим результатом дисертаційної роботи є розробка способу десульфуризації палива в суднових умовах, що забезпечує зниження корозійного зносу ЦПГ та зменшення концентрації SO_x у випускних газах суднового СОД при його роботі на високосірчистих паливах.

Основні наукові та практичні результати дисертаційного дослідження.

1. Показником, що комплексно характеризує експлуатаційні характеристики палива і впливає на енергетичні параметри і технічні характеристики суднового СОД, є вміст сірчистих домішок в паливі.

2. Визначено, що оптимальним способом десульфуризації палива в умовах морського судна є його ультразвукова обробка, проведення якої необхідно виконувати в малорухливому об'ємі палива для чого найбільш підходить витратна паливна цистерна.

3. Експериментально встановлено, що процес десульфуризації палива за допомогою ультразвукової обробки супроводжується виділенням сульфідів водню H_2S у складі газової фази, що утворюється над поверхнею палива. Концентрація H_2S у складі газової фази для палива з вмістом сірчистих домішок до 3,5% не перевищує $0,04 \text{ мг/м}^3$, що дозволяє застосовувати блок ультразвукової обробки палива у складі суднових систем паливопідготовки.

4. Забезпечення енергетичної ефективності ультразвукової обробки палива досягається на частотах ультразвукового сигналу $\nu_{\text{уз}}$ відповідних екстремуму кривих $S = f(\nu_{\text{уз}})$ і $C_{\text{H}_2\text{S}} = f(\nu_{\text{уз}})$, де S – концентрація сірчистих домішок в паливі, $C_{\text{H}_2\text{S}}$ – концентрація сульфідів водню над поверхнею палива. Значення цієї частоти при обробці палив з в'язкістю до $380 \text{ мм}^2/\text{с}$ і вмістом сірчистих домішок до 3,5% лежить у межах 22...26 кГц при амплітуді ультразвукової хвилі 0,36...0,68 мкм і визначається експериментально.

5. При відношенні потужності ультразвукового генератора $N_{\text{узГ}}$ до об'єму видаткової цистерни $V_{\text{вит}}$ в межах $N_{\text{узГ}}/V_{\text{вит}} = 0,55...2,78 \text{ кВт/м}^3$ відбувається зниження концентрації сірковмісних компонентів палива в 1,15...1,35 рази, що спільно з інтенсифікацією процесу ультразвукової обробки шляхом примусової подачі повітря в середовище оброблюваного палива приводить до 3,2...3,5 кратного зниження корозійного зносу деталей суднового СОД та до 2,2...2,8 кратного зменшення концентрації SO_x у випускних газах.

6. Удосконалений метод ультразвукової обробки палива дозволяє визначити оптимальний час цього процесу як синергетичне розв'язання залежностей $S = f(t) \cap C_{\text{H}_2\text{S}} = f(t)$.

7. Розроблено систему паливопідготовки суднових СОД дизелів, що додатково включає до свого складу вузли ультразвукової дії і гідродинамічної активації палива, які можуть проводити як одно-, так і двоступеневу обробку

палива, що до 3,9% знижує питому витрату палива і в 2,7 рази знижує концентрацію SO_x у випускних газах.

8. Наведені в дисертації теоретично обґрунтовані і експериментально підтверджені наукові результати мають істотне практичне значення. Дообладнання системи підготовки палива додатковим блоком, що виконує його ультразвукову обробку (на т/х «Ocean Voyager»), використання у судновій паливній системі низького тиску додаткової системи ультразвукової підготовки палива (на т/х «SOCOL-6»), впровадження системи ультразвукової обробки і гідродинамічної активації важкого палива, а також двоступінчастого модуля ультразвукової підготовки палива (на суднах, що обслуговується виробничою фірмою «Судноремонт») сприяють зниженню сірчистого зносу поршневих кілець і циліндрових втулок дизеля до 2,3...3,7 разів, в 2,3 ... 2,7 рази знижують вміст оксидів сірки у випускних газах дизеля, а також приводять до поліпшення на 3,5...4,8 % економічних і 7,3...9,6 % енергетичних показників роботи суднових СОД в широкому діапазоні експлуатаційних режимів, сприяють поліпшенню технічного стану циліндропоршневої групи дизеля і його газовипускної системи та на 35...40 % знижують трудомісткість робіт на проведення моточистки дизеля.

Розроблений метод вдосконалення систем паливopідготовки суднових СОД є прикладом впровадження сучасних технологій в судновій енергетиці, а можливість його використання підтверджена авторським свідоцтвом.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. А. с. 1815397 СССР, МКИ F 02 М 29/00. Способ улучшения противоизносных свойств тяжелых топлив / Ханмамедов С. А., Солодовников В. Г., Заблоцкий Ю. В., Почтаренко В. В. – № 4865089/06 ; заявл. 11.09.90 ; опубл. 15.05.93, Бюл. № 18.
2. Заблоцкий Ю. В. Снижение энергетических потерь в топливной аппаратуре судовых дизелей / Ю. В. Заблоцкий, В. Г. Солодовников // Проблемы техники: науково-виробничий журнал. – 2013. – № 3. – С. 46-56.
3. Добровольский В. В. Энергетическая эффективность топливных систем современных транспортных судов, работающих на высоковязких сортах тяжелых топлив вязкостью $380 \text{ мм}^2/\text{с}$ и выше / В. В. Добровольский, В. Г. Солодовников // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2013. – № 32. – Одесса: ОНМА. – С. 101-112.
4. Солодовников В. Г. Использование топлив с повышенным содержанием серы при эксплуатации судовых среднеоборотных дизелей / В. Г. Солодовников // Проблемы техники: науково-виробничий журнал. – 2014. – № 2. – С. 65-71.
5. Солодовников В. Г. Использование в судовых дизелях топлив различного фракционного и структурного состава / В. Г. Солодовников // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2014. – № 33. – Одесса: ОНМА. – С. 110-117.

6. Солодовников В. Г. Применение двухступенчатой обработки топлива для улучшения рабочих параметров и эксплуатационных характеристик судового дизеля / В. Г. Солодовников // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2014. – № 34. – Одесса: ОНМА. – С. 130-137.

7. Солодовников В. Г. Ультразвуковая обработка топлива для снижения сернистой коррозии в судовых среднеоборотных дизелях / В. Г. Солодовников // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сборник. – 2015. – Вып. 20. – С. 84-91.

8. Sagin S. V. Cavitation Treatment of High-Viscosity Marine Fuels for Medium-Speed Diesel Engines / Sagin S. V., Solodovnikov V. G. // Modern Applied Science; Published by Canadian Center of Science and Education, Vol. 9, № 5. – 2015. – P. 269-278.

9. Солодовников В. Г. Общая характеристика способов защиты деталей дизеля при работе на сернистых топливах / В. Г. Солодовников // Зб. мат. науково-технічної конференції «Енергетика судна: експлуатація та ремонт», (26.03.14–28.03.14, м. Одеса). Частина II. – Одеса : ОНМА, 2014. – С. 26-27.

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

11. Сагин С. В. Применение ультразвуковой обработки топлива для снижения сернистого износа деталей двигателя / С. В. Сагин, В. Г. Солодовников // Сб. ст. по материалам XXXV междунар. науч.-практ. конф. «Технические науки – от теории к практике», № 6 (31). Новосибирск: СибАК, 2014. – С. 42-49.

12. Бутенко А. Ф. Ориентационное упорядочение системы углеродных нанотрубок в матрице эпитропных жидких кристаллов / А. Ф. Бутенко, А. Ю. Поповский, В. Г. Солодовников // Сб. мат. XXVI міжнародної наукової конференції «Дисперсні системи», 22-26 вересня 2014 р., м. Одеса. – Одеса : ОНУ ім. І. І. Мечникова. – С.33-34.

13. Солодовников В. Г. Влияние сернистых топлив на коррозионный износ цилиндропоршневой группы и экологические параметры работы судовых дизелей / В. Г. Солодовников // Сб. ст. по материалам XXXVIII междунар. науч.-практ. конф. № 9 (34). Новосибирск: СибАК, 2014. – С. 42-49.

14. Солодовников В. Г. Влияние сернистых соединений топлива на рабочий процесс судовых дизелей / В. Г. Солодовников // Сб.матер. III Міжнар. наук.-техніч. конфер. Сучасний стан та проблеми двигунобудування, 19-21 листопада 2014 р. – Миколаїв, НУК, 2014. – С.191-194.

15. Солодовников В. Г. Повышение эффективности процесса топливоподготовки в судовых дизелях за счет использования дополнительной кавитационной обработки топлива / В. Г. Солодовников // Сб. научных трудов. IV межд. научн.-практ. конф. «Техника и технологии: роль в развитии современного общества», 27 января 2015 г., г. Краснодар. – Краснодар : науч.-изд. центр Априори, 2015. – С. 121-128.

16. Solodovnikov V. G. Cavitation treatment of fuels for Marine internal combustion engines / V. G. Solodovnikov // Збірка матеріалів наук.-техн. конфер. «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 24.03.2015–26.03.2015. Частина 2. – Одеса : ОНМА, 2015. – С. 11-16.

17. Солодовников В. Г. Совершенствование системы топливоподготовки судовых среднеоборотных дизелей / В. Г. Солодовников, С. В. Сагин // Сб. научных трудов. XV Межд. научн.-практ. конф. «Научное обозрение физико-математических и технических наук в XXI веке», г. Москва, 27-28 марта 2015 г. – М.: Prospero, № 3 (15), 2015. – С. 55-58.

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

АНОТАЦІЯ

Солодовников В. Г. Удосконалення системи паливопідготовки суднових середньооборотних дизелів шляхом зниження концентрації компонентів, що містять сірку. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук. Спеціальність 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки. Одеська національна морська академія, Одеса, 2016.

Дисертація присвячена вирішенню важливої науково-прикладної задачі - підвищення енергетичної ефективності суднових середньооборотних дизелів за рахунок вдосконалення системи підготовки палива шляхом зміни структурного складу палива за допомогою ультразвукової кавітаційної дії.

Розроблено систему паливопідготовки суднових середньооборотних дизелів, що додатково включає до свого складу вузли ультразвукової обробки і гідродинамічної активації палива і забезпечує максимальну десульфуризацію палива при мінімальних витратах енергії.

Реалізація результатів дисертаційного дослідження в системах паливопідготовки суднових СОД сприяє зниженню в 3,2...3,9 разів сірчистого зносу поршневих кілець і циліндрових втулок дизеля; поліпшення технічного стану ЦПП дизеля і його газовипускної системи; знижує трудомісткість робіт з моточистки дизеля на до 2,7 раз.

Впровадження результатів дисертаційного дослідження на морських суднах свідчить про підвищення на 3,5...4,8 % економічних і 7,3...9,6 % енергетичних показників роботи суднових середньооборотних дизелів.

Ключові слова: судновий середньооборотний дизель, суднове моторне паливо, система підготовки палива, десульфуризація палива, ультразвукова обробка палива, сірчистий знос, енергетичні та економічні показники роботи дизеля.

АННОТАЦИЯ

Солодовников В. Г. Совершенствование системы топливоподготовки судовых среднеоборотных дизелей путем снижения концентрации серосодержащих компонентов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность 05.05.03 – двигатели и энергетические установки. Одесская национальная морская академия, Одесса, 2016.

Диссертация посвящена решению важной научно-прикладной задачи – повышению энергетической эффективности судовых среднеоборотных дизелей за счет совершенствования системы топливоподготовки путем изменения структурного состава топлива ультразвуковым кавитационным воздействием.

Разработана система топливоподготовки судовых среднеоборотных дизелей, дополнительно включающая в свой состав узлы ультразвуковой обработки и гидродинамической активации топлива и обеспечивающая максимальную десульфуризацию топлива при минимальных затратах энергии.

Разработана математическая модель процесса ультразвуковой обработки топлива, позволяющая определить оптимальную частоту ультразвукового сигнала, способствующего резонансному изменению давления в зоне кавитации и максимальному коэффициенту кавитационного использования акустической энергии.

Экспериментально установлено, что процесс десульфуризации топлива с помощью ультразвуковой обработки сопровождается выделением сульфида водорода H_2S в составе газовой фазы, образующейся над поверхностью топлива. Концентрация H_2S в составе газовой фазы для топлива с исходным содержанием сернистых примесей до 3,5 % не превышает $0,04 \text{ мг/м}^3$, что позволяет применять блок ультразвуковой обработки топлива в составе судовых систем топливоподготовки.

Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что обеспечение энергетической эффективности ультразвуковой обработки топлива достигается на частотах ультразвукового сигнала $\nu_{уз}$ соответствующих экстремуму кривых $S = f(\nu_{уз})$ и $C_{H_2S} = f(\nu_{уз})$, где S – концентрация сернистых примесей в топливе, C_{H_2S} – концентрация сульфида водорода над поверхностью топлива.

Экспериментально определено, что для судовых моторных топлив с вязкостью до $380 \text{ мм}^2/\text{с}$ и содержанием сернистых примесей до 3,5 % диапазон оптимальных частот ультразвуковой обработки, обеспечивающих максимальное удаление сернистых примесей из топлива, лежит в пределах $22...26 \text{ кГц}$ при амплитуде ультразвуковой волны $0,36...0,68 \text{ мкм}$. Данный диапазон способствует разрыву C-S связей в топливе и выделению сернистых примесей в составе газовой фазы, образующейся над поверхностью топлива.

Рассмотрена возможность использования двухступенчатой ультразвуковой обработки топлива. При этом ультразвуковой генератор 1-ой ступени способствует как разрыву C-S связей топлива, так и дроблению механических примесей, увеличивая, таким образом, количество кавитационных зон для ультразвукового генератора 2-ой ступени, оказывающего свое воздействие непосредственно перед впрыском топлива в цилиндр дизеля. Подобная схема способствует повышению эффективности процесса топливоподготовки с одновременным снижением энергетических затрат на ее проведение.

Реализация результатов диссертационного исследования в системах топливоподготовки судовых СОД способствуют снижению в 3,2...3,9 раз сернистого износа поршневых колец и цилиндровых втулок дизеля; улучшению технического состояния ЦПГ дизеля и его газовыпускной системы; снижает трудоемкость работ по моточистке дизеля; до 2,7 раз снижает концентрацию SO_x в выпускных газах дизеля.

Внедрение результатов диссертационного исследования на морских судах свидетельствует о повышении на 3,5...4,8 % экономических и 7,3...9,6 % энергетических показателей работы судовых среднеоборотных дизелей.

Ключевые слова: судовой среднеоборотный дизель, судовое моторное топливо, система топливоподготовки, десульфуризация топлива, ультразвуковая обработка топлива, сернистый износ, энергетические и экономические показатели работы дизеля.

THE SUMMARY

Solodovnikov B. G. Marine medium-speed diesel engines sulphur containing fuel treatment system uprating by means of particle number reduction. – Manuscript.

Thesis for the scientific degree of candidate of technical sciences. Specialty 05.05.03 – Engines and power plants. Odesa National Maritime Academy, Odesa, 2016.

Thesis is devoted to the solution of an important scientific and applied problem – increasing of energy efficiency of marine medium-speed diesel engines through improved fuel treatment system by changing the structural composition of the fuel by ultrasonic cavitation.

A system of fuel treatment of the ship medium-speed diesel engines has been developed it comprises in its structure nodes sonication and hydrodynamic activation of fuel for maximum desulphurization with minimum energy consumption.

Implementation of the results of the research on marine vessels indicates an increase of 3.5...4.8 % economic and 7.3...9.6 % of the energy performance of the marine medium-speed diesel plants.

Keywords: ship medium-diesel plant, marine motor fuel, fuel treatment system, fuel desulphurization, fuel sonication, sulfur depreciation, power and economic characteristics of the diesel plant performance.

Підп. до друку 29.12.2015. Формат 60х84/16. Папір офсет.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,16.
Тираж 100 пр. Зам. № И15-12-55

Одеська національна морська академія
65029, м. Одеса, Дідріхсона, 8.
Тел./факс (0482) 34-14-12
publish-r@onma.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 1292 від 20.03.2003