

УДК 621.248

Солодовніков В.Г.

Національний університет «Одеська морська академія»

ВИКОРИСТАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ОБРОБКИ В МОДУЛЬНИХ СХЕМАХ ПОБУДОВИ СУДНОВИХ СИСТЕМ ПАЛИВОПІДГОТОВКИ

The processes of ultrasonic treatment and hydrodynamic activation of the fuel are considered. The task of the study was to develop a version of the modular configuration of the fuel system of a ship diesel engine, taking into account the possibility of using ultrasonic fuel processing, as well as studying the effect of ultrasonic fuel processing on sulfur corrosion of parts of a cylinder-piston group of a diesel engine.

The studies were carried out in the fuel system of the ship's medium-speed diesel engine S6A2 by Mitsubishi, arranged in a modular fashion. The first module (purification system) provides the required structural composition of the fuel and is used both in combination with other modules of system preparation and for autonomous operation. The second module (preparation system) provides final preparation of the fuel before it is directly fed into the cylinder of a diesel engine. The third module (supply system) provides fuel to the cylinder of a diesel engine.

As a result of the research, it was proposed to repackaging the fuel preparation modules. In this case, the option of using ultrasonic fuel processing with the possible rejection of the fuel separation process, which not only relates to one of the most energy-intensive, but also reduces the calorific value of the fuel (due to the loss of combustible components), is considered. A modular scheme was proposed in which there is no fuel separation unit in the cleaning system, and the preparation system is additionally equipped with ultrasonic processing and hydrodynamic activation units. It is shown that additional ultrasonic treatment of fuel primarily improves the dispersed qualities of the fuel, and the cavitation phenomenon accompanying this process leads to additional activation of its hydrocarbon components, cleavage of C–S bonds and provides the process of fuel desulfurization.

The effect of ultrasonic fuel processing on the sulfur corrosion of the cylinder-piston group of the ship's diesel engine S6A2 by Mitsubishi is analyzed. In this case, the linear wear of the cylinder bushing and the mass

wear of the upper piston ring were determined. As a result of research, it has been established that additional cavitation treatment of fuel contributes to a reduction of sulfuric acid wear by 3.2...4.7 times of piston rings and cylinder liners of a diesel engine. In this case, the largest decrease in this parameter is observed for piston rings, which is especially important given the importance of this unit in ensuring both the quality of the processes of compression, combustion and expansion, and the reliability of the piston-cylinder sleeve interface.

Ключевые слова: судовой дизель, система подготовки топлива, ультразвуковая обработка топлива, десульфуризация топлива, сернистый износ цилиндропоршневой группы

Ключові слова: судновий дизель, система підготовки палива, ультразвукова обробка палива, десульфуризація палива, сірчистий знос циліндропоршневої групи

Keywords: marine diesel, fuel preparation system, ultrasonic fuel treatment, fuel desulphurization, sulfur-wear of cylinder-piston group

Постановка проблеми в загальному вигляді. Робота суднових двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) забезпечується різними системами, самої енергоозброєною, розгалуженої та насиченої з яких є паливна система. В даний час існує тенденція виготовлення суднових систем у вигляді модулів, при цьому кожен модуль цієї системи відрізняється за своїм цільовим призначенням, за способом перетворення енергії, за складом і виконує строго певні функції. Для забезпечення якісної паливopідготовки і подальшого ефективного використання палива, новоспоруджувані судна комплектуються спеціальними системами підготовки і подачі палива, а паливні системи дизелів діючих суден переобладнуються з урахуванням можливості застосування середньо- і високов'язкого палива.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвиток сучасної технічної науки сприяє появі різних механізмів і установок, функціонування яких в складі паливних систем забезпечує поліпшення експлуатаційних характеристик палива. Одночасно при цьому удосконалюються способи підготовки суднових палив, до яких насамперед належать використання гомогенізації [1], застосування водо-паливних емульсій [2], використання присадок до палива [3]. При цьому слід зазначити, що дані способи підготовки палива в даний час

застосовується в основному з метою забезпечення екологічних параметрів роботи дизеля [4].

Постановка завдання. Таким чином, незважаючи на велику кількість досліджень, виконаних як окремими вченими, так і науковими організаціями, переважна більшість з них стосується оптимізації стандартних способів паливопідготовки. З огляду на викладене, завдання дослідження полягало в розробці варіанту перекомплектації модульної схеми паливної системи суднового дизеля з урахуванням можливості використання ультразвукової обробки палива, а також вивчення впливу ультразвукової обробки палива на сірчисту корозію деталей циліндропоршневої групи дизеля.

Виклад основного матеріалу дослідження. Проведені дослідження виконувалися в паливній системі суднового середньооборотного дизеля (СОД) S6A2 фірми «Mitsubishi», що скомпонована за модульним принципом (рис. 1, а).

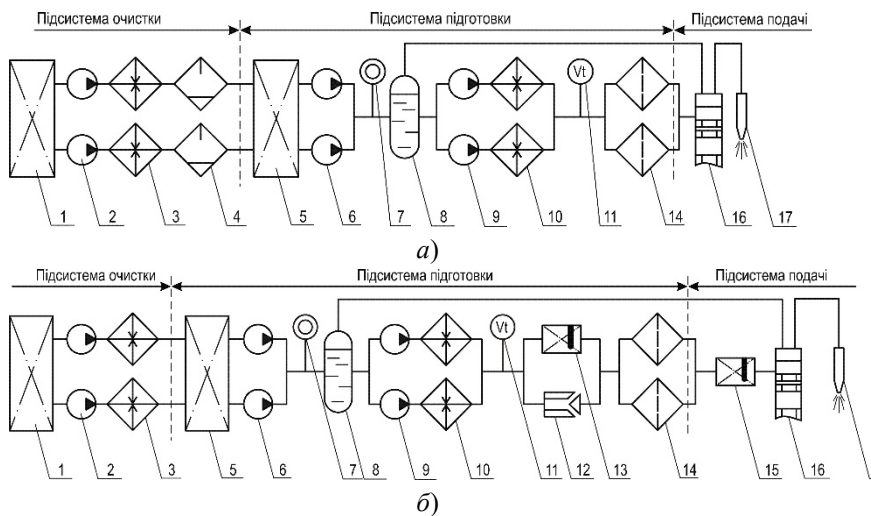


Рис. 1. Модульна схема побудови паливної системи суднового дизеля: а) стандартна; б) при використанні ультразвукової обробки і гідродинамічної активації палива:

- 1 – відстійно-витратні цистерни; 2 – насоси, що перекачують паливо;
3 – підігрівачі палива 1-го ступеня; 4 – сепаратори палива; 5 – витратна цистерна; 6 – насоси, що підкачують паливо; 7 – витратомір; 8 – деаератор;

9 – циркуляційні насоси; 10 – підігрівачі палива 2-го ступеня; 11 – датчик в'язкості; 12 – гідродинамічний активатор палива; 13 – ультразвукова установка 1-го ступеня; 14 – автоматичний фільтр; 15 – ультразвукова установка 2-го ступеня; 16 – ПНВТ; 17 – форсунка

Перший модуль (система очищення) забезпечує необхідний структурний склад палива і використовується як в комплексі з іншими модулями підготовки системи, так і для автономного режиму роботи. В останньому випадку відбувається «внутрішня» циркуляція палива, в результаті якої досягається необхідна якість його очищення. Даний модуль підготовки палива є самим енергоємним, оскільки включає до свого складу такі елементи, як відстійно-витратні-видаткові цистерни, насоси, що перекачують паливо, паливні підігрівачі і паливні сепаратори [5].

Другий модуль (система підготовки) забезпечує остаточну підготовку палива перед його безпосередньою подачею в циліндр дизеля. Основними складовими даного модуля є насоси, що підкачують паливо і циркуляційні насоси, підігрівачі палива 2-го ступеня, фільтраційні установки, автоматичні пристрої, що забезпечують контроль суцільності потоку і регулювання в'язкості палива. В даний модуль також входить бустерна установка, за допомогою якої підтримується необхідний тиск в системі, а також деаератор, який очищає паливо від повітряних і газових домішок. Паливо в цей модуль надходить в попередньо підігрітому стані, що знижує витрати енергії на його підготовку.

Третій модуль (система подачі) уявляє собою паливну систему високого тиску і забезпечує подачу палива в циліндр дизеля. Енергія в даному модулі виробляється самим дизелем і передається до палива через кінематичну схему колінчастий вал – розподільний вал – штовахач паливного насоса високого тиску (ПНВТ). Енергоємність даного процесу відноситься до механічних втрат дизеля і може досягати 5...7% його потужності. В кінцевому рахунку, в даному модулі завдяки хімічної реакції окислення палива киснем повітря потенційна енергія палива перетворюється в теплову енергію газів і, в наслідок, в корисну роботу поршня дизеля.

В результаті проведених в досліджень пропонується перекомплектації модулів підготовки палива. При цьому основний акцент спря-

мовується на використання ультразвукової обробки палива з можливою відмовою від процесу сепарації палива, який не тільки відноситься до одного з найбільш енергоємних, а й знижує теплотворну здатність палива (за рахунок відведення в шлам горючих складових палива). Змінена система паливопідготовки показана на рис. 1, б, при цьому в даній схемі відсутній вузол сепарації палива в системі очищення, а система підготовки додатково укомплектована блоками ультразвукової підготовки 1-го та 2-го ступеню. Крім того, блок ультразвукової підготовки 1-го ступеню передбачає як безпосередньо використання процесу ультразвукової кавітації, що здійснюється за допомогою генератора 13, так і гідродинамічну активацію, яку виконують в активаторі 12.

Подібні питання розглядалися, вивчалися і виконувалися для двигунів відносно невисокою потужності, що використовуються в автомобільному і залізничному транспорті, а також для палив з масовим вмістом сірки до 1 %. Аналогічні дослідження для суднової енергетики, яка характеризується високою агрегатної потужністю, широким спектром використовуються палив і автономністю роботи суднової енергетичної установки практично відсутні. Крім того, при визначенні актуальності подібних розробок для систем паливопідготовки ДВЗ морських суден необхідно враховувати рівень ризиків можливих відмов і складність виконання технологічних робіт у разі порушення працездатного стану вузла або елемента двигуна. Якщо доставка запасних частин і їх заміна при аварії стаціонарних двигунів може бути виконана протягом декількох годин, то для двигунів, що використовуються на морських судах, подібні заходи з урахуванням дальності і автономності плавання судна можуть досягати декількох десятків днів. Статистика позаштатних ситуацій, пов'язаних з аваріями паливних систем і їх елементів, має в своєму розпорядженні дані про використання морських буксирів для транспортування аварійного судна в найближчий порт. Таким чином, впровадження позитивного досвіду експлуатації систем додаткової ультразвукової обробки палива може сприяти не тільки підвищенню економічності роботи судових дизелів, а й надійності роботи всього судового пропульсивного комплексу.

Додаткова ультразвукова обробка палива, перш за все, сприяє поліпшенню дисперсних якостей палива, а явище кавітації, що супроводжує цей процес, призводить до додаткової активації його вуглеводневих складових і розщепленню С-С і С-S зв'язків.

На практиці класифікують три діапазону ультразвукового поля: високі частоти (2...10 МГц); середні частоти (300...100 кГц) і традиційний низькочастотний діапазон (<300 кГц). Високочастотні діапазони викликають кавітацію, нагрівання, створюють турбулентність, стискають-розряджають рідину, руйнують молекули, змінюють структуру рідини. Високочастотна ультразвукова обробка палива застосовується для обробки великих обсягів палива, вміст сірчистих домішок в яких перевищує 4%. Її використання характерно для початкової переробки нафтопродуктів. Низькочастотний діапазон також викликає кавітацію в рідині, створює напруження розтягу, при цьому ставиться до слабко енергетичного впливу, що викликає в основному зміну властивостей структурної рідини. Саме цей діапазон ультразвукових хвиль найбільш повно підходить для обробки палива в судових умовах.

Як зазначалося раніше, дослідження впливу ультразвукової кавітаційної обробки палива на сірчистий знос циліндропоршневої групи (ЦПГ) судового СОД виконувалося для дизеля S6A2 фірми «Mitsubishi» з наступними характеристиками: діаметр циліндра – 0,15 м; хід поршня – 0,19 м; номінальна потужність – 360 кВт; частота обертання колінчастого вала 1000 об/хв.

Названі дизелі в кількості трьох штук входили до складу судової допоміжної енергетичної установки. Дизелі мали кожен свою автономну систему подачі палива, що давало можливість проводити дослідження для окремого дизеля з паливом, які пройшли різні етапи підготовки. Паливна система одного з двигунів не підлягала перекомплектації і експлуатувалася в «штатному» стані, при цьому 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 (див. позиції 12, 13, 15 на рис. 1, а).

Ультразвукова установка 13, 15 експлуатувалася в режимі $I=0,4$ А с застосуванням магнітострикційного випромінювача в діапазоні

20...30 кг/ц. Дані величини були визначені як оптимальні при попередніх лабораторних дослідженнях і забезпечували максимальну десульфурізацію палива. У паливній цистерні, в якій відбувалася ультразвукова обробка палива, додатково встановлювався лопатковий змішувач, що забезпечувало однорідність палива в повному обсязі. Під час проведення експерименту дизелі експлуатувалися на паливі HFO380 [6].

Визначення зносу циліндрових втулок вироблялося в районі верхнього поршневого кільця, як місця, яке найбільш піддається сірчистому зносу і сірчистої корозії, а також ще в двох довільних перетинах по довжині втулки. Для підвищення точності і достовірності вимірювань, визначення зносу циліндрових втулок виконувалось методом штучних баз і методом обміру індикатором (з точністю 0,01 мм). Відхилення у визначенні зносу даними методами не перевищувало 7 %, що підтверджувало правильність вимірювань.

Визначення зносу поршневих кілець виконувалася за допомогою зважування на електронних вагах моделі PS3500/C/1, що мають такі основні характеристики: найменша границя зважування – 0,5 г; найбільша границя зважування – 3500 г; дискретність – 0,01 г.

Вплив кавітаційної обробки палива на сірчисту корозію ЦПП може бути проаналізовано на прикладі визначення зносу циліндрової втулки і верхнього поршневого кільця суднового СОД S6A2 фірми «Mitsubishi». Результати вимірювання лінійного зносу циліндрових втулок I_h і масового зносу поршневих кілець I_m наведені в табл. 1 і на рис. 2 і 3. При цьому в табл. 1 і на рис. 2 і 3 під умовами експлуатації 1, 2, 3 розуміється: 1 – паливо без додаткової обробки (при експлуатації системи паливопідготовки дизеля в «штатному» режимі); 2 – паливо, що пройшло додаткову кавітаційну обробку (при додатковому використанні в системі паливопідготовки тільки ультразвукового кавітатора); 3 – паливо, що пройшло додаткову кавітаційну обробку (при використанні ультразвукового кавітатора і додаткової подачі повітря в зону кавітації).

Табл. 1. Результати досліджень по визначенню зносу деталей суднового СОД S6A2 при різних умовах експлуатації

	Умови експлуатації	Час експлуатації, години				
		180	390	590	810	1030
Знос циліндрової втулки, I_h , мкм	1	32	39	41	50	57
	2	18	22	26	27	28
	3	10	13	14	18	19
Знос верхнього поршневого кільця, I_m , г	1	0,95	1,43	1,58	1,73	1,86
	2	0,63	0,72	0,81	0,87	0,96
	3	0,41	0,44	0,48	0,50	0,53

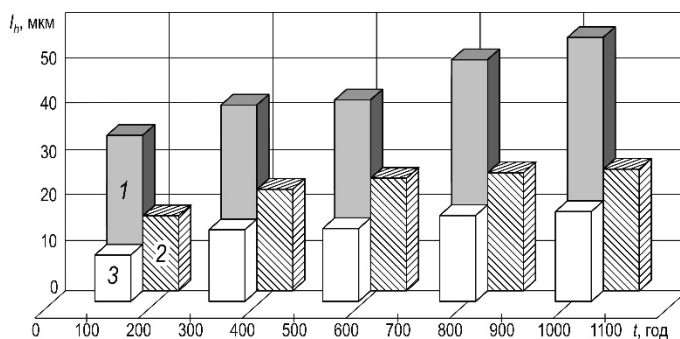


Рис. 2. Корозійний знос циліндрових втулок суднового СОД S6A2 фірми «Mitsubishi» при різних умовах експлуатації

За отриманими даними побудовані номограми (рис. 4 і 5), що характеризують зниження зносу розглянутих деталей при використанні додаткової ультразвукової кавітаційної обробки палива.

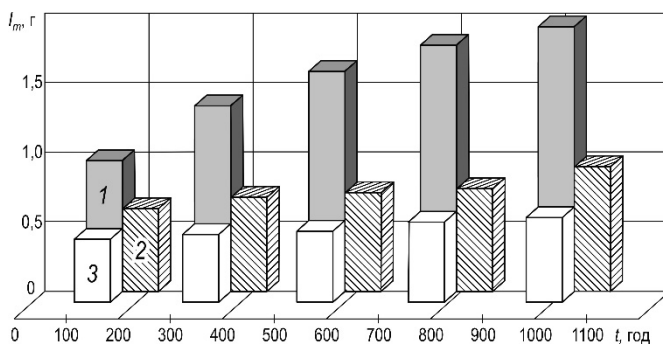


Рис. 3. Корозійний знос поршневих кілець суднового СОД S6A2 фірми «Mitsubishi» при різних умовах експлуатації

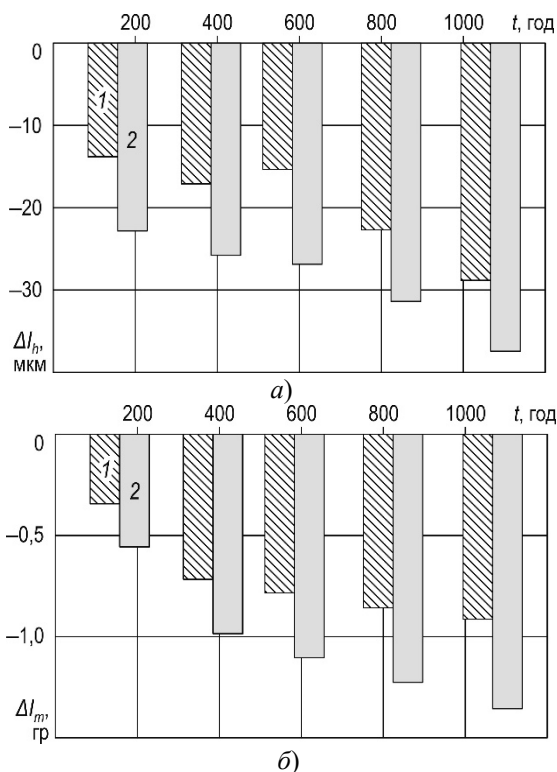


Рис. 4. Зниження корозійного зносу циліндрових втулок (а) і поршневих кілець (б) суднового дизеля S6A2 фірми «Mitsubishi» при різних умовах експлуатації

Висновки і перспективи подальших досліджень. Сучасні схеми побудови паливних систем суднових дизелів в модульному варіанті дозволяють проводити модернізацію і перекомплетацію окремих модулів. При цьому найбільшу ефективність приносить перекомплетація модуля (системи) підготовки. Додаткове включення в цей модуль вузлів ультразвукової обробки і гідродинамічної активації палива забезпечує десульфурізацію палива, що призводить до зниження сірчистого зносу циліндропоршневої групи дизеля.

Проведені експериментальні дослідження свідчать про те, що додаткова ультразвукова обробка і гідродинамічна активація високов'язкого палива (які можливо проводити як в паралельному, так і в

послідовному варіанті) сприяють зниженню в 3,2...4,7 рази сірчистого зносу поршневих кілець і циліндрових втулок дизеля. При цьому найбільше зниження цього параметра спостерігається для поршневих кілець, що особливо актуально, враховуючи важливість даного вузла в забезпеченні не лише якісного протікання процесів стиснення, згоряння і розширення, але і також надійності роботи трибо-сполучення поршень-втулка циліндра.

Використання ультразвукової обробки як альтернативного способу підготовки палива відповідає сучасній теорії і практики технічної експлуатації морського і річкового флоту [7].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.

2. Солодовников В. Г. Обеспечение требований энергетической эффективности при подготовке тяжелых топлив для судовых двигателей внутреннего сгорания / В. Г. Солодовников // Austria-science. – 2017. – № 7. – С. 33-37 / publishing «Austria-science»© 2017.

3. Zablotsky Yu. V. Enhancing Fuel Efficiency and Environmental Specifications of a Marine Diesel When using Fuel Additives / Yu. V. Zablotsky, S. V. Sagin // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9. – Iss. 46. – P. 353-362. DOI: [10.17485/ijst/2016/v9i46/107516](https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i46/107516).

4. Sagin S. V. The Use of Exhaust Gas Recirculation for Ensuring the Environmental Performance of Marine Diesel Engines / S. V. Sagin; O. A. Kuropyatnyk // [OUR SEA : International Journal of Maritime Science & Technology](https://doi.org/10.17818/NM/2018/2.3). – June 2018. – Vol. 65. – № 2. – P. 78-86. doi.org/10.17818/NM/2018/2.3.

5. 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.

6. Sagin S. V. Cavitation Treatment of High-Viscosity Marine Fuels for Medium-Speed Diesel Engines / S. V. Sagin, Solodovnikov V. G. // Modern Applied Science; Published by Canadian Center of Science and Education, Vol. 9, № 5. – 2015. – P. 269-278. DOI:10.5539/mas.v9n5p269

7. Голіков В. А. Розвиток сучасної теорії і практики технічної експлуатації морського і річкового флоту: концепції, методи, технології / В. А. Голіков, О. А. Онищенко // Судовые энергетические установки : науч.-техн. сб. – 2017. – № 37. – Одесса: НУ «ОМА». – С. 13-27.