

10.31653/smf45.2022. 17-30

Сагін А.С., Заблоцький Ю.В.

Національний університет Одеська морська академія

РЕГЕНЕРАЦІЯ ЗМАЩУВАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОТОРНИХ ПАЛИВ І МАСТИЛ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

Постановка проблеми в загальному вигляді. Ефективна, економічна та безпечна експлуатація судових дизелів (як головних, так і допоміжних) неможлива без підтримки в необхідних межах їх показників: енергетичних (середнього індикаторного / ефективного тиску та ефективної потужності), динамічних (частоти обертання колінчатого валу), теплових (температури випускних газів, температура мастила та води) [1, 2]. Крім того, надійна експлуатація судових дизелів вимагає здійснення контролю якості та підтримки експлуатаційних характеристик моторних палив і масел. При цьому регламентуються значення показників, які в найбільшій мірі підтверджені змінам під час транспортування, бункеровці та зберігання, а також безпосередньо під час роботи судових дизелів:

під час нагнітання палива паливним насосом високого тиску (ПНВТ) [3, 4];

під час впорскування палива через розпилювач форсунки [5, 6];

під час руху мастила в парах тертя [7, 8].

Такими показниками, перш за все, є вміст у паливі та мастилі води та механічних домішок. Вода та механічні домішки, які потрапляють в паливо або мастило, надають деструктивну дію на тонкий шар плівки, що розділяє контактні поверхні: плунжер – втулка ПНВТ і голка – розпилювач форсунки (для палива); вкладиш підшипника – колінчатий вал і поршневе кільце – втулка циліндра (для мастила). Неодноразово вказувалося, що вуглеводні рідини (як паливо, також і мастило) володіють анізотропними властивостями, які найбільш характерно виявляються в області невеликої товщини. Їх величина відповідає граничному змащувальному шару (як мастила в сполученні вал-вкладиш, також і палива в сполученні плунжер-втулка). При цьому змінюються такі характеристики, як в'язкість, пружність, несуча здатність, протидія руховим зусиллям [9, 10]. Саме ці характеристики визначають змащувальні властивості вуглеводних рідин (як палива, також і мастила). Найменші значення мастильної та паливної плівки характерні для пар тертя вал-вкладиш і плунжер-втулка. На-

дійна експлуатація цих трибосполучень забезпечує тривалу та безаварійну роботу суднових дизелів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для підвищення змащувальних властивостей палива та мастила запропоновані різні технології. Умовно вони поділяються на дві групи: перші впливають на стан та характеристики металевій поверхні, другі – безпосередньо на показники рідини, що поділяє ці поверхні. До першої відносяться нанесення регулярного мікрорельєфу, плазмове нанесення на металеві поверхні додаткового шару з спеціальних хімічних елементів та з'єднань, використання фторорганічних покриттів [11, 12]. Найбільш поширені технології другої групи – додавання присадок, змащувальних та охолоджуючих рідин та поверхнево-активних речовин [13, 14]. Обидві технології спрямовані на підвищення внутрішньої самоорганізації молекул змащувального шару палива або мастила. Це сприяє підвищенню товщини змащувального шару, збільшенню його пружності та несучої здатності [15, 16]. Нажаль з перебігом часу всі вказані технології поступово втрачають ефективність, тому експлуатаційні характеристики палива або мастила вимагають поновлення або регенерації [17, 18].

Постановка завдання. Завданням дослідження було вивчення можливості регенерації змащувальних властивостей палива та мастила, що використовуються під час експлуатації суднових дизелів.

Виклад основного матеріалу. Судові моторні палива і мастила (у зв'язку зі своїм елементарним складом) є вуглеводними рідинами (ВВР). Вуглець і водень (вміст яких в паливі і мастилi досягає 80...85 % і 10...15 % відповідно), адсорбуються на металевій поверхні, утворюють граничний змащувальний шар і забезпечують змащувальну здатність ВВР. Потрапляння частинок води та механічних домішок в паливо або мастило знижує їх змащувальну здатність і призводить до підвищеного зносу паливної апаратури та вкладишів підшипників колінчатого вала. Таку поведінку ВВР можна пояснити руйнуванням його граничних змащувальних шарів, що примикають до робочих поверхонь пари тертя. Активні частини молекул ВВР (які мають ланцюгову побудову [19, 20]), захоплюються частками механічних домішок і води, викликаючи часткову або повну деструкцію граничного шару (рис. 1).

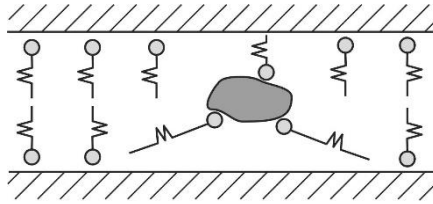


Рис. 1. Деструкція граничних шарів вуглеводних рідин під час попаданні до них води або механічних домішок

Видалення подібних домішок в суднових паливних системах та системах мащення проводиться за допомогою сепараторів і фільтрів. При цьому дані методи забезпечують необхідну якість палива або мастила лише на певних ділянках, а перенасичення німі суднових систем призводить до підвищення витрат енергії. У зв'язку з цим, ефективним є спосіб, що дозволяє регенерувати змащувальні властивості палива або мастила в гідродинамічному активаторі. Гідродинамічний активатор (рис. 2) складається з групи сопел Лавалю 1, проходячи через які ВВР (паливо або мастило) збільшує свою кінетичну енергію. Одночасно з цим збільшується кінетична енергія частинок механічних домішок і води, що знаходяться у ВВР. На виході з камери потік ВВР ударяється о металеву циліндричну поверхню 2. Енергія удару частково йде на розрив слабких зв'язків між молекулами ВВР і домішками, а також на руйнування самих твердих частинок і частково розсіюється в активаторі.

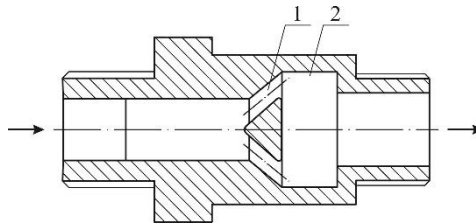


Рис. 2. Спрощена схема гідродинамічного активатора

Таким чином, встановивши енергію удару вище енергії зв'язку, можливо звільнити молекули палива або мастила від сторонніх адгезійних зв'язків. Це сприятиме регенерації структурованих граничних шарів ВВР на поверхні пари тертя плунжер-втулка ПНВТ або вал-вкладиш підшипника. З метою зниження енергетичних витрат на роботу гідродинамічного активатора та підвищення його ефективності процес удару потоку ВВР о внутрішню металеву поверхню здійс-

нюється під кутом, рівним 45° . Вибір цього значення визначається теорією пружності. Під час удару твердої частинки або глобули води, що знаходиться в ВВР о робочу поверхню активатора, дана частка відчуває складний тривісний або об'ємний напружений стан. На рис. 3 зображено елемент частинки, яка знаходиться в об'ємному напруженому стані та грані якої є головними майданчиками.

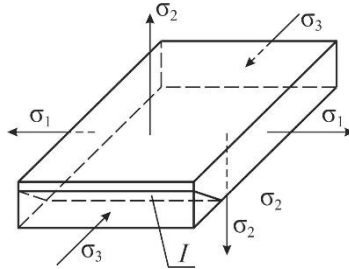


Рис. 3. Елементарний об'єм твердої частки домішки, що знаходиться в потоці ВВР

Розглянемо майданчики, паралельні одній з головних напруг, наприклад, довільний майданчик I , паралельний головній напрузі σ_1 . Напружений стан на таких майданчиках може бути визначений аналітично:

$$\sigma_\alpha = \sigma_1 \cos^2 \alpha_1 + \sigma_2 \cos^2 \alpha_2 + \sigma_3 \cos^2 \alpha_3, \quad (1)$$

$$\tau_\alpha = \sqrt{\sigma_1^2 \cos^2 \alpha_1 + \sigma_2^2 \cos^2 \alpha_2 + \sigma_3^2 \cos^2 \alpha_3}, \quad (2)$$

де σ_α , τ_α – відповідно нормальна та дотична напруга на майданчиках; α_1 , α_2 , α_3 – кути, які утворює нормаль до аналізованого майданчика з напругою σ_1 , σ_2 , σ_3 відповідно.

Легко встановити, на яких майданчиках діятиме найбільше дотичне напруження при тривісному напруженому стані, і знайти його величину. За будь-якого об'ємного напруженого стану найбільші дотичні напруги будуть:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}. \quad (3)$$

Вони діють на майданчику, паралельному головному напрузі та нахиленому під кутом 45° до головної напруги σ_1 та σ_3 . Далі, якщо розв'язувати завдання удару частки та визначити величину перепаду

тисків у гідродинамічному активаторі, при якій станеться руйнування, то вийде вираз

$$\Delta P = \frac{v_{\min}^2 \gamma}{2\varphi^2 g},$$

де P – перепад тисків рідини на гідродинамічному активаторі;

v_{\min} – мінімальна швидкість струменя, за якою в результаті удару відбудеться руйнування твердої частинки в паливі;

γ – питома маса палива;

$\varphi=0,92\dots0,94$ – коефіцієнт швидкості, що залежить від властивості сопла [21, 22].

Мінімальна швидкість частинки, що знаходиться в струмені, за якою під час удару відбудеться її руйнування, може бути визначена згідно з рівнянням Герца для контактної завдання за умовою пружної взаємодії тіл при пружно-гідродинамічному навантаженні

$$v_{\min} = \left(\frac{2,22 \cdot 10^3 \sigma_g^3 \left((1-\mu_1^2)E_1 + (1-\mu_2^2)E_2 \right)^{1,2}}{DE_1E_2} \right),$$

де μ_1, μ_2 – коефіцієнти Пуансона відповідно до матеріалу частки домішки та деталі;

E_1, E_2 – модулі пружності відповідно матеріалу частки домішки та деталі;

D – діаметр частки домішки;

σ_g – допустима напруга у матеріалі частки домішки [23, 24].

Руйнування частки домішки обумовлено дотичною напругою. Розмір дотичної напруги залежить від кута удару частки. Найбільше дотичне напруження в частинці, як видно з рівнянь 1-3, виникає за умовою удару під кутом 45° .

Дослідження виконувались у науковій лабораторії та на морському судні класу General Cargo дедвейтом 19700 тонн. Дослідження проводилися для різних сортів судового палива: малов'язкого DMA, середньов'язкого RMB30, важкого RMG380; та мастил Castrol TLX XTRA204, Castrol Cyltex40SX. Палива DMA та RMG380, а також циркуляційне мастило Castrol TLX XTRA204 використовувалися в судовому дизелі 6S50MC-C MAN-Diesel. Палива DMA та RMB30, а також циркуляційне мастило Castrol Cyltex40SX використовувалися в судовому дизелі 5L23/30 MAN-Diesel.

У науковій лабораторії визначалися:

за допомогою машини тертя – значення сили тертя в сполученні, що імітує пари тертя вал-вкладиш та плунжер-втулка ПНВТ [25, 26];

за допомогою ротаційного віскозиметра – значення в'язкості в граничному шарі ВВР [27, 28];

за допомогою оптичної установки, що реалізує принцип подвійного променезаломлення, – значення товщини граничного шару [29].

На морському судні визначався технічний стан пар тертя вал-вкладиш, плунжер-втулка ПНВТ, голка-розпилювач форсунки, а також вміст механічних домішок у моторному мастилі для двох умов експлуатації паливної системи та системи мащення: без використання та з використанням гідродинамічного активатора [30, 31]. Схема підключення гідродинамічного активатора до паливної системи та системи мащення відповідала фрагментам, показаним на рис. 4. Результати досліджень наведено у таблиці 1.

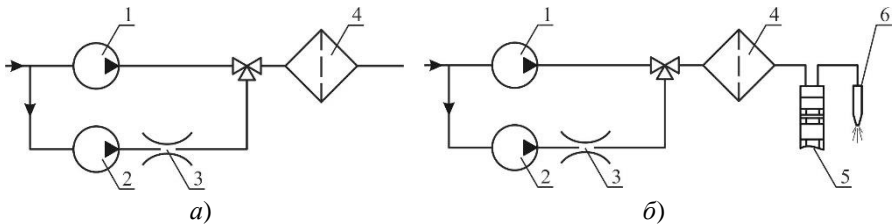


Рис. 4. Схема підключення гідродинамічного активатора в паливну систему (а) та систему мащення (б) суднового дизеля (фрагмент): 1 – основний насос, що підкачує паливо; 2 – резервний насос, що підкачує паливо; 3 – гідродинамічний активатор палива; 4 – сепаратор палива; 5 – ПНВТ; 6 – форсунка

Таблиця 1. Результати досліджень

| Марка моторного палива / моторного мастила | Товщина граничного шару, d_s , мкм | | В'язкість граничного шару, ν , $\text{мм}^2/\text{с}$ | | Сила тертя в сполученні вал-вкладиш (для моторних масел) або плунжер-втулка (для моторних палив), $F_{\text{тр}}$, Н | |
|--|--------------------------------------|------|---|------|---|------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| DMA | 9,2 | 9,7 | 6,1 | 6,4 | 1,18 | 0,88 |
| RMB30 | 7,8 | 8,2 | 30,3 | 31,8 | 1,34 | 1,12 |
| RMG380 | 7,3 | 7,7 | 382 | 394 | 1,71 | 1,42 |
| Castrol TLX XTRA204 | 10,4 | 11,2 | 127 | 139 | 0,72 | 0,62 |
| Castrol Cyrtex40SX | 11,8 | 12,7 | 142 | 156 | 0,56 | 0,46 |

Примітка: 1 – без обробки в гідродинамічному активаторі; 2 – з додатковою обробкою в гідродинамічному активаторі

Для кращої візуалізації результатів, наведених у таблиці 1, побудовані номограми – рис. 5, 6.

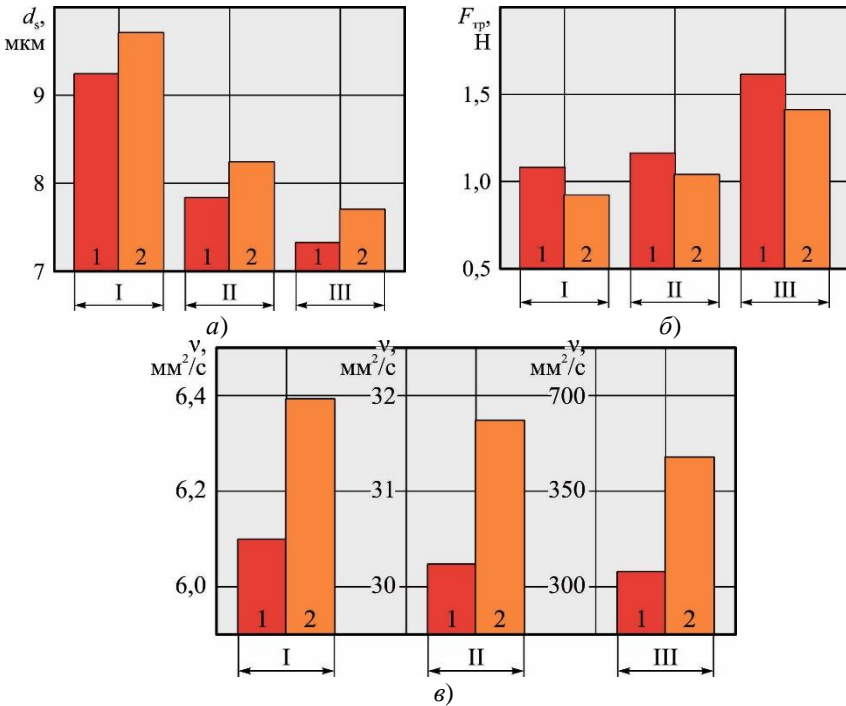


Рис. 5. Зміна товщини граничного шару (а), в'язкості граничного шару (б), сила тертя в сполученні плунжер-втулка ПНВТ (в):

1 – без обробки в гідродинамічному активаторі; 2 – з додатковою обробкою в гідродинамічному активаторі; I – DMA; II – RMB30; III – RMG380

На рис. 7. показані гістограми сил тертя $F_{тр}$ у сполучення вал-вкладиш, отримані в результаті лабораторних досліджень для моторного мастила Castrol Cylltex40SX (яке використовувалося в циркуляційній системі суднових дизелів 5L23/30 MAN-Diesel без та з додатковою обробкою в гідродинамічному активаторі). Наведені результати свідчать про те, що додаткова обробка моторного мастила в гідродинамічному активаторі сприяє зниженню сили тертя у зазначеному сполученні, зменшенню деструкуючої дії води та механічних домішок після гідродинамічної активації, підвищенню регенеративних характеристик моторного мастила.

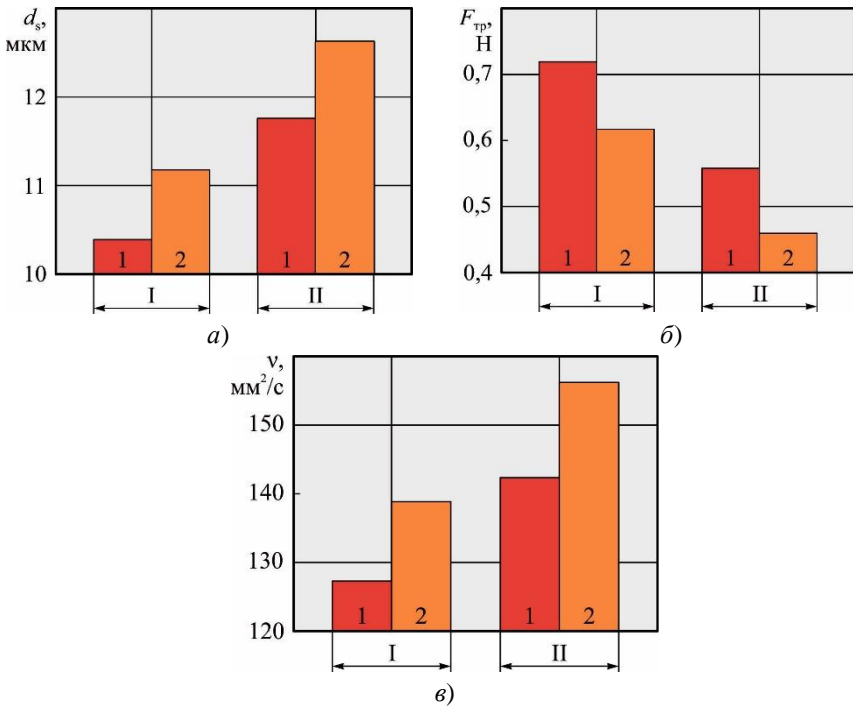


Рис. 6. Зміна товщини граничного шару (а), в'язкості граничного шару (б), сила тертя в сполученні вал-вкладиш (в):

1 – без обробки в гідродинамічному активаторі; 2 – з додатковою обробкою в гідродинамічному активаторі;

I – Castrol TLX XTRA204; II – Castrol Cyltexas40SX

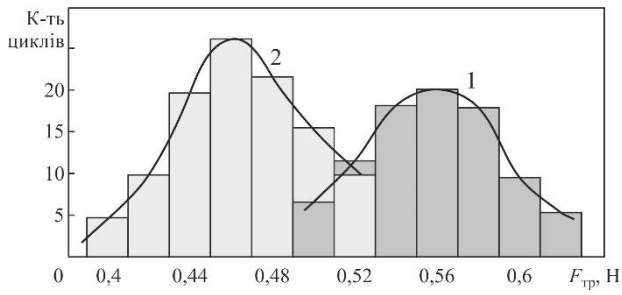


Рис. 7. Гістограма сил тертя в парі вал-вкладиш для моторного мастила Castrol Cyltexas40SX:

1 – без обробки в гідродинамічному активаторі; 2 – з додатковою обробкою в гідродинамічному активаторі

Для визначення динаміки зміни товщини граничного шару моторного мастила, його величина визначалася в інтервалі 0, 50, 100, 150 годин експлуатації мастила Castrol Cyltex40SX в циркуляційній системі дизелів 5L23/30 MAN-Diesel (в циркуляційній системі одного з дизелів відповідно до схеми, що надана на рис. 4, *a* виконувалася додаткова обробка моторного мастила за допомогою гідродинамічного активатора). На протязі цього періоду поповнення мастила в циркуляційній системі не проводилося, тому регенерація його експлуатаційних характеристик була можлива тільки за рахунок використання в системі гідродинамічного активатора. Результати досліджень наведено на рис. 8.

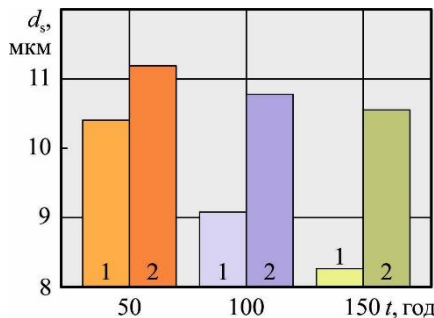


Рис. 8. Зміна товщини граничного шару моторного мастила Castrol Cyltex40SX:

1 – без обробки в гідродинамічному активаторі; 2 – з додатковою обробкою в гідродинамічному активаторі

З метою вивчення впливу гідродинамічної активації на процес мащення суднових дизелів виконувався спектральний аналіз моторного мастила Castrol Cyltex40SX, яке використовувалось в системі циркуляційного мащення суднових дизелів 5L23/30 MAN-Diesel. Моторне мастила одного з дизелів піддавалось гідродинамічній обробці відповідно до схеми, що наведена на рис. 4, *a*. Результати спектрографічного аналізу, за допомогою якого визнався вміст металевих домішок в мастилі, наведені в таблиці 2.

За результатами таблиці 2 побудовані діаграми, що надані на рис. 9.

Таблиця 2. Результати спектрографічного аналізу моторного мастила Castrol Cyltex40SX

| Компонент, мг/кг | 50 годин | | 100 годин | | 150 годин | |
|--------------------------------|----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Al | 2 | 1 | 4 | 2,5 | 6 | 3 |
| Cr | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 1,5 |
| Cu | 1 | 1 | 1,5 | 1,5 | 2 | 2 |
| Fe | 4 | 3 | 7 | 4,5 | 9 | 5 |
| Sn | 0,5 | 0,5 | 1 | 1 | 1,5 | 1 |
| Pb | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1 | 0,5 |
| Загальна кількість, Σ_M | 9 | 7 | 15 | 11 | 21 | 13 |

Примітка: 1 – без обробки в гідродинамічному активаторі; 2 – з додатковою обробкою в гідродинамічному активаторі

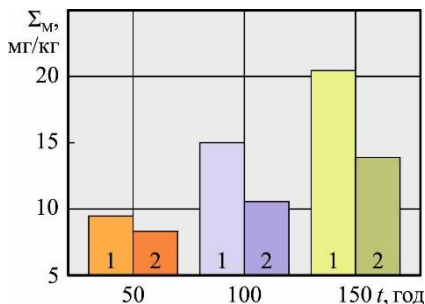


Рис. 9. Кількість механічних домішок Σ_M , мг/кг, що входять до моторного мастила Castrol Cyltex40SX:

1 – без обробки в гідродинамічному активаторі; 2 – з додатковою обробкою в гідродинамічному активаторі

Шляхом візуального обстеження було встановлено, що під час використанні палива, що пройшло обробку в гідродинамічному активаторі, зменшився знос у сполученнях плунжер-втулка ПНВТ і голка-розпилювач форсунки. Загальне збільшення ресурсу роботи елементів паливної апаратури високого тиску було оцінено такими значеннями: ПНВТ 20...22 %, розпилювач форсунки 10...12 %. Також виявлено, що гідродинамічна активації моторного мастила зменшує утворення нагару на поверхні вкладишів підшипників

Висновки і перспективи подальших досліджень.

1. Вуглеводневі рідини (паливо та мастило), що використовуються в суднових енергетичних установках, мають анізотропні властивості, які найбільш виражено виявляються у вузьких зазорах поблизу металевих поверхонь.

2. Вода та механічні домішки, що потрапляють до складу як палива, також і мастила, викликають деструкцію молекул в їх граничних шарах, що погіршує змащувальні властивості вуглеводневих рідин та призводить до зниження рівня надійності суднових енергетичних установок (зокрема суднових двигунів внутрішнього згоряння та обслуговуючих їх систем).

3. Одним з методів регенерації змащувальних властивостей суднових палив та мастил є використання гідродинамічних активаторів, що здійснюють силове навантаження на механічні домішки та воду, зменшуючи їх адгезійні зв'язки з вуглецем та воднем та поновлюючи ланцюгову побудову граничного змащувального шару палива або мастила.

4. Регенерація змащувальних властивостей моторних палив і мастил сприяє зменшенню втрат енергії на продавання сил тертя та підвищенню в'язкості змащувального шару палива або мастила, що виявляється в зниженні зносу в трибосполученнях вал-вкладиш підшипника та плунжер-втулка паливного насоса високого тиску.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В., Перунов Р.В. Технология использования и результаты испытаний присадок к топливам для судовых дизелей // Проблемы техники : наук.-виробн. журнал. – 2012. – № 3. – Одесса : ОНМУ. – С. 84-103.

2. Заблоцкий Ю.В., Сагин С.В. Исследование эксплуатационных характеристик судовых среднеоборотных дизелей при их работе на различных топливах // Судовые энергетические установки : науч.-техн. сб. – 2014. – № 34. – Одесса : ОНМА. – С. 80-86.

3. Заблоцкий Ю.В., Сагин А.С. Визначення динамічних навантажень під час зміни режимів мащення прецизійних пар паливної апаратури суднових дизелів // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2022. – Вип. 44. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 121-131. doi: 10.31653/smf44.2022.121-131.

4. Заблоцкий Ю.В. Определение механических нагрузок в парах трения топливной аппаратуры судовых дизелей // Проблемы техники : наук.-виробн. журнал. – 2014. – № 2. – Одесса : ОНМУ. – С. 57-64.

5. Sagin S.V. Decrease in mechanical losses in high-pressure fuel equipment of marine diesel engines. Materials of the International Confer-

ence “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”. Part 1. August 31. – 2019. – Beijing, PRC. – P. 139-145. DOI. 10.34660/INF.2019.15.36258.

6. Сагін С.В. Зниження енергетичних втрат в прецизійних парах паливної апаратури суднових дизелів // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 38. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 132-142.

7. Сагін С.В., Столярик Т.О. Динаміка суднових дизелів під час використанні моторних мастил з різними структурними характеристиками // Автоматизація суднових технічних засобів : наук. -техн. зб. – 2021. – Вип. 27. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 108-119. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-108-119.

8. Sagin S., Madey V., Sagin A. Stoliaryk T., Fomin O., Kučera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels // Journal Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10. – Iss. 10. – P. 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.

9. Sagin S.V., Stoliaryk T.O. Comparative assessment of marine diesel engine oils // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7-8. – P. 29-35. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-29-35>.

10. Сагін С.В., Столярик Т.О. Аналіз експлуатаційних характеристик моторних мастил суднових дизелів // Суднові енергетичні установки: наук. -техн. зб. – 2021. – Вип. 43. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 69-80. doi: 10.31653/smf343.2021.69-80.

11. Заблоцкий Ю. В. Использование регулярного микрорельефа для оптимизации работы топливной аппаратуры высокого давления судовых дизелей // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2015. – № 36. – Одесса : НУ «ОМА». – С. 65-73.

12. Заблоцкий Ю.В. Исследование влияния органических покрытий на работу элементов топливной аппаратуры высокого давления судовых дизелей // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2015. – № 35. – Одесса: НУ «ОМА». – С. 83-92.

13. Сагін С.В. Определение диапазона стратификации вязкости смазочного материала в трибологических системах судовых дизелей // Вісник Одеськ. нац. мор. ун-ту. Зб. наук. праць. – 2019. – Вип. 1(58). – С. 89 -100.

14. Сагін С.В., Столярик Т.О. Динаміка суднових дизелів під час використанні моторних мастил з різними структурними характеристиками // Автоматизація суднових технічних засобів : наук. -техн. зб.

– 2021. – Вип. 27. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 108-119. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-108-119.

15. Sagin S.V., Stoliaryk T.O. Comparative assessment of marine diesel engine oils // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. – 2021. – Vol. 7-8. P. 29-35. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-29-35>.

16. Поповский Ю.М., Сагин С.В., Ханмамедов С.А., Гребенюк М.Н., Терегеря В.В. Влияние анизотропных жидкостей на работу узлов трения // Вестник машиностроения. – 1996. – № 6. – С. 7-11.

17. Мацкевич Д.В., Сагин С.В., Ханмамедов С.А. Изменение реологических характеристик смазочных материалов в циркуляционной масляной системе в процессе эксплуатации среднеоборотного двигателя // Судовые энергетические установки : науч.-техн. сб. – 2010. – Вып. 25. – Одесса : ОНМА. – С.109-118.

18. Поповский А.Ю., Сагин С.В. Комплексная оценка эксплуатационных характеристик смазочных углеводородных жидкостей // Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сборник. – 2014. – Вып. 20. – С. 74-83.

19. Сагин С.В., Семенов А.В. Оценка вязкости масла при обеспечении режимов смазывания цилиндровой группы судовых дизелей // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2015. – № 36. – Одесса : НУ «ОМА». – С. 104-114.

20. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В. Влияние анизотропных жидкостей на работу узлов трения судовых дизелей // Проблемы техники : наук.-ви́робн. журнал. – 2012. – № 4. – Одесса : ОНМУ. – С. 68-81.

21. Сагин С.В., Кривий М.О. Розрахунок контактної тиску та зони контакту в парах ковзання судових дизелів // Автоматизація судових технічних засобів : наук. -техн. зб. – 2021. – Вип. 27. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 84-92. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-84-92.

22. Sagin S.V. Determination of the optimal recovery time of the rheological characteristics of marine diesel engine lubricating oils // Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments”. Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4. – P. 195-202. DOI: 10.34660/INF.2020.4.52991.

23. Мацкевич Д.В., Сагин С.В., Ханмамедов С.А. Изменение реологических характеристик смазочных материалов в циркуляционной масляной системе в процессе эксплуатации среднеоборотного двигателя // Судовые энергетические установки : науч.-техн. сб. – 2010. – Вып. 25. – Одесса : ОНМА. – С. 109-118.

24. Sagin S., Madey V., Stoliaryk T. Analysis of mechanical energy losses in marine diesels // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2021. – № 5 (2(61)). – P. 26-32. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.239698>.

25. Зверьков Д.О., Сагін С.В. Зниження механічних втрат у суднових дизелях // *Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб.* – 2020. – Вип. 40. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 20-25. DOI : [10.31653/smf341.2020.20-25](https://doi.org/10.31653/smf341.2020.20-25).

26. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В. Определение триботехнических характеристик поверхностей по степени упорядоченности пристенных слоев углеводородных жидкостей // *Проблемы техники : науч.-виробн. журнал.* – 2011. – № 3. – Одесса : ОНМУ. – С. 78-88.

27. Кириян С.В., Алтоиз Б.А. Эпитропные жидкокристаллические слои синтетических масел и их влияние на сдвиговое течение // *Физика аэродисперсных систем.* – 2008. – № 45. – С. 72-77.

28. Сагин С.В. Исследование корреляционной взаимосвязи жидкокристаллических свойств граничных смазочных слоев и реологических характеристик моторных масел судовых дизелей // *Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб.* – 2014. – № 33. – Одесса : ОНМА. – С. 67-76.

29. Сагин С.В., Мацкевич Д.В. Оптические характеристики граничных смазочных слоев масел, применяемых в циркуляционных системах судовых дизелей // *Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб.* – 2011. – № 26. – Одесса : ОНМА. – С. 116-125.

30. Столярик Т.О. Прогнозування механічних втрат в суднових дизелях // *Суднові енергетичні установки : наук. -техн. зб.* – 2022. – Вип. 44. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 142-156. doi: [10.31653/smf44.2022.142-156](https://doi.org/10.31653/smf44.2022.142-156).

31. Sagin S.V. Improving the performance parameters of systems fluids // *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, Vienna-2018.* – № 7-8. – P. 55-59. doi.org/10.29013/AJT-18-7.8-55-59.