

10.31653/smf44.2022. 142-156

Столярік Т.О.

Національний університет «Одеська морська академія»

## ПРОГНОЗУВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ВТРАТ В СУДНОВИХ ДИЗЕЛЯХ

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Двигуни внутрішнього згоряння морських суден (дизелі) є найпоширенішим типом енергетичних установок. Сьогодні дизелі використовуються на всіх типах суден, включаючи як вітрильні, так і судна з ядерною установкою. При цьому за своїм призначенням вони можуть бути головними (якщо їхня потужність передається на гребний гвинт) та допоміжними (коли їхня потужність використовується електричним генератором). Функціонування суднових дизелів забезпечується різними системами, однією з яких є система мащення. Головним компонентом цієї системи вважається моторне мастило, яке виконує функції як мащення, так і охолодження [1-3].

Робота моторного мастила у суднових дизелях супроводжується зміною його фізико-хімічного стану, у тому числі деформацією. Для моторного мастила, що знаходиться у зоні контакту, характерні основні ознаки деформації: наявність прикладеної зовні механічної сили та зміна структурної форми, що полягає у зміщенні частинок тіла (у даному випадку молекул мастила) одне до одного [4-6].

Мащення рамових і мотильових підшипників суднових дизелів супроводжується витоками мастила зі сполучення вкладиш-вал, у зв'язку з тим, що в даних точках контур мащення стає відкритим, а мастило піддається внутрішньої (від циркуляційного насоса) і зовнішньої (від тиску валу та шатуна) силової дії (рис. 1).

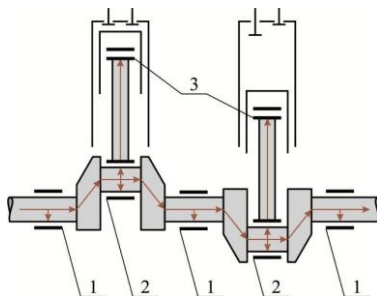


Рис. 1. Рух мастила в циркуляційній системі мащення (фрагмент):  
1 – рамовий підшипник; 2 – мотильовий підшипник; 3 – головний підшипник

Мастило, яке знаходиться у поєднанні вкладиш-вал, забезпечує гідравлічну щільність і запобігає безпосередньому контакту цієї пари тертя. Збільшенню гідравлічної щільності сприяють сили поверхневого натягу, що виникають на поверхні мастильної плівки при контакті з повітряною фазою. Величина цих сил пропорційна значенню крайових кутів змочування  $\theta$  (рис. 2).

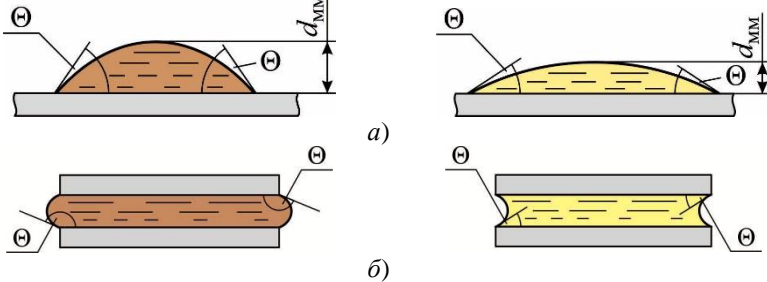


Рис. 2. Вплив крайових кутів змочування  $\theta$  на форму мастильного шару:  
 а – на поверхні ( $d_{MM}$  – товщина шару моторного мастила);  
 б – у трибосполученні

Збільшення крайових кутів змочування як на відкритій поверхні (на межі фаз метал-мастило-повітря), так і між поверхнями (на межі фаз метал-мастило-метал) сприяє підвищенню сили поверхневого натягу, зменшенню протікання мастила, підвищенню несучої здатності мастильного шару [7-9]. Підвищення витоків у поєднанні вкладиш-вал зменшує демпфуючі властивості мастила, що може призвести до підвищеного зносу вкладишів і збільшення витрати мастила на вигар. Крім того, при цьому (через збільшення сили тертя між поверхнями, що вступають у безпосередній контакт), збільшуються механічні втрати, а також знижується ефективна потужність дизеля [10, 11]. Таким чином, підвищення гідравлічної щільності трибосполучення вал-мастильний шар-вкладиш підшипника (яке може бути забезпечене за рахунок збільшення крайових кутів змочування мастильної плівки) сприяє зниженню механічних втрат, що виникають у судових дизелях під час отримання корисної роботи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Забезпечення надійної та безпечної роботи систем мащення тронкових дизелів суден морського транспорту можливе шляхом керуючого впливу або на металеві поверхні (циліндрову втулку, поршневі кільця, вкладиші підшипників) або на мастило. Керуючий вплив на металеві поверхні може здійснюватися:

1) шляхом їх виготовлення або нанесення на них покриттів із металів із високою твердістю – молібдену, хрому, міді, титану, ванадію [12-14];

2) нанесення на них регулярного мікрорельєфу [15-17];

3) зміною їхньої геометрії [18-20].

Дані методи забезпечують потрібний ефект, однак мають певні недоліки. У першому випадку підвищується твердість локальних ділянок деталей дизеля (верхньої частини циліндрової втулки, кромок поршневого кільця), що зменшує їх знос [21]. Однак, вартість металів, що наносяться на поверхню, суттєво перевищує вартість сталевих сплавів, з яких виготовляються деталі дизеля. Друга технологія знижує коефіцієнт тертя між поверхнями та збільшує інтенсивність руху мастила між ними. При цьому потрібне спеціальне обладнання, яке забезпечує постійну глибину та однаковий крок нанесення рельєфних смуг [3]. У третьому випадку виключаються сухий і граничний, та постійно забезпечується гідродинамічний режим змащування в тріаді метал-мастило-метал. Однак при цьому зміна геометрії деталей знижує їхню міцність [22]. У зв'язку з цим наведені технології мають поодинокий характер.

Керуюча дія на моторне мастило, що використовується в системах мащення тронкових дизелів суден морського транспорту, здійснюється шляхом розчинення в його обсязі спеціальних присадок. Це активує міжмолекулярні сили мастила та сприяє виникненню додаткового розклинюючого тиску в мастильному шарі. Використання даної технології вимагає попереднього визначення оптимальної концентрації присадок в мастилі, а також установки в системі мащення додаткового обладнання, яке забезпечує дозування присадки [23, 24].

Одним із способів керуючого впливу на тріаду метал-масло-метал є нанесення на металеву поверхню спеціальних рідких антифрикційних покриттів [25]. При цьому через посилення міжмолекулярних взаємодій змінюється структура мастильних плівок, що забезпечує надійну та безпечну роботу тронкових дизелів суден морського транспорту.

Наведені технології розроблялися та впроваджувалися для автомобільного та залізничного транспорту, а також для стаціонарної енергетики (дизелів та турбін теплових та електричних станцій). Ці технології не набули поширення для дизелів морських суден. Насамперед це пов'язано з автономністю роботи морських суден та їх енергетичних установок, а також з періодичними замінами суднового

екіпажу. Перше обмежує логістику (виникають проблеми з доставкою на судна необхідних матеріалів), друге змушує проводити тренінги для суднових інженерів з експлуатації спеціального обладнання [26].

Комплексні дослідження (які дозволяють встановити взаємозв'язок структурних характеристик моторних мастил з механічними втратами суднових дизелів, а також виконувати прогнозування механічних втрат у суднових дизелях через характеристики моторного мастила), мають поодинокий характер та не мають системного підходу до розв'язання цієї проблеми.

**Постановка завдання.** Завданням дослідження було встановлення взаємозв'язку між структурними характеристиками моторних мастил, що використовуються в суднових дизелях, з механічними втратами, що виникають під час передачі потужності від дизеля до споживачів енергії, та визначення показнику моторного мастила, за яким можливо виконувати прогнозування механічних втрат в суднових дизелях.

**Виклад основного матеріалу.** Дослідження виконувались у два етапи:

1) у науковій лабораторії вивчалися структурні характеристики різних моторних мастил – крайових кутів змочування  $\theta$ , а також товщини шару моторного мастила  $d_{\text{мм}}$ ;

2) на морському транспортному судні вивчався вплив моторних мастил із різними структурними характеристиками на механічні втрати суднового дизеля.

Визначення крайових кутів змочування  $\theta$ , а також товщини шару моторного мастила  $d_{\text{мм}}$  можливе еліпсометричним способом, шляхом аналізу світлових променів, що відбиваються від мастила та від поверхні. В даний час існують електронні еліпсометричні установки, що дозволяють виконувати вимірювання цих показників з високою точністю.

Дослідження виконувались для моторних мастил Total Lub Marime AURELIA TI 15/30 та LukLub Marime NAVIGO TPEO 15/30. Основні характеристики моторних мастил наведено у табл. 1.

Оптичним методом еліпсометрії було визначено значення крайових кутів змочування та товщини мастильного шару. Визначення кутів змочування та товщини мастильного шару виконувалося для об'єму мастила (рівного 2 мл), нанесеного на металеву поверхню,

відполіровану за високим класом точності. Ці величини наведені у табл. 2.

Таблиця 1. Основні характеристики моторних мастил\*

Показник	Total Lub Marime AURELIA TI 15/30	LukLub Marime NAV-IGO TPEO 15/30
Клас SAE	30	30
Густина при 15°C, кг/м <sup>3</sup>	910	898
В'язкість при 100 °C, сСт	14,1	11,5
Загальне лужне число (TBN)	14,2	14,2
Температура палаху, °C	230	230

Примітка: \* – далі моторні довільно визначені як моторне мастило 1 та моторне мастило 2

Таблиця 2. Структурні характеристики моторних масел

Показник	Моторне мастило 1	Моторне мастило 2
Крайової кут змочування, $\theta$ , град	20,4	17,5
Товщина мастильного шару, $d_{MM}$ , мм	3,9	2,6

Номограми, що відображають структурні характеристики моторних мастил, наведені на рис. 3.

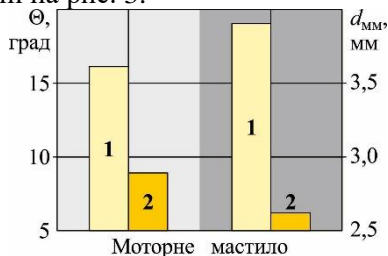


Рис. 3. Структурні характеристики моторних мастил

Другий етап досліджень виконувався на морському судні класу Multipurpose Vessel дедвейтом 27540 тонн, допоміжна енергетична установка якого складалася з трьох однотипних судових середньооборотних дизелів Yanmar 6EY18AL з наступними характеристиками:

- діаметр циліндра – 180 мм;
- хід поршня – 280 мм;
- частота обертання – 1000 об/хв;
- номінальна потужність – 800 кВт;
- питома витрата палива – 193 г/(кВт·год).

Експлуатація дизелів проводилася з використанням судових палив RME180 та DMAULS. Їхні основні характеристики наведені в табл. 3.

Таблиця 3. Основні характеристики суднових палив

Показник	RME180	DMAULS
Густина при 15°C, кг/м <sup>3</sup>	935	879
В'язкість при 50 °C, сСт	72,4	5,75
Вміст сірки, %	0,42	0,065
Нижча теплотворна здатність, кДж/кг	41750	42380

Експлуатація дизелів під час перебування судна у спеціальних екологічних районах (Sulphur emission control area – SECA) проводилася паливі DMAULS [27-29]. Під час роботи поза екологічними районами використовувалося паливо RME180 [30-32]. Потреби судна в електроенергії забезпечувалися одним (у разі навантаження до 500 кВт) або двома паралельно працюючими дизелями (у разі навантаження понад 500 кВт). Дослідження виконували на режимах роботи, коли використовувалися два дизелі. Паралельна робота дизелів забезпечувала рівний розподіл навантаження між ними. Третій дизель або перебував у стані stand-by, або експлуатувався на необхідному навантаженні (у разі, коли для забезпечення потужності споживачів було достатньо одного дизеля), при цьому перший та другий дизелі не експлуатувалися.

Забезпечення режимів мащення для дизелів подібного типу можливе за допомогою різних моторних мастил, які мають в'язкість 12...17 сСт, лужне число 14...17 мгОН/г і відносяться до класу SAE 30...40.

Дизелі мали загальну паливну систему (при якій усі три дизелі експлуатувалися на одному сорті палива) та автономні системи мащення. Це дозволяло для двох дизелів, на яких виконувались дослідження, використовувати різні моторні мастила. В системі одного з дизелів використовувалося моторне мастило Total Lub Marime AURELIA TI 15/30, в системі мащення другого – моторне мастило LukLub Marime NAVIGO TPEO 15/30. Обидві моторні мастила рекомендовані фірмами Wartsila, MAN-Diesel, Caterpillar MaK, Yanmar, Daihatsu, Himsen для використання в суднових тронкових дизелях.

Перед початком експериментів дизелі перебували у однаковому технічному стані. На дизелях були перевстановлені деталі циліндро-поршневої групи (втулки циліндрів, поршні, поршневі кільця) та кривошипно-шатунного механізму (шатуни та вкладиші мотилевих підшипників).

Дослідження виконувалися під час океанських переходів судна, тривалість яких становила 12...18 днів. При цьому (у зв'язку з відсут-

ністю маневрових та швартових режимів, а також вантажних операцій) експлуатація дизелів відбувалася без стрибкоподібної зміни навантаження [33, 34].

Стан паливної апаратури (паливних насосів високого тиску та форсунок), а також її регулювальні параметри (тиск нагнітання, кут початку подачі палива) всіх дизелів були ідентичні.

У системах мащення та охолодження дизелів підтримувалися однакові значення температури та тиску. Перед початком експериментів у циркуляційних системах мащення дизелів було повністю замінено мастило. Компенсація витрати мастила на вигар для кожного з дизелів виконувалася в обсязі 100 літрів через 100 годин експлуатації.

Для виконання завдання дослідження під час проведення експерименту визначався механічний коефіцієнт корисної дії (ККД) дизеля –  $\eta_m$ , а також фіксувалися значення TBN мастила у відповідні часові інтервали його роботи. Визначення механічного ККД здійснювалося методом постійної витрати палива, визначення TBN масла виконувалося в судновій технічній лабораторії фірми Cylinder Scrape-Down Oil Analysis відповідно до рекомендованих технологій та послідовності [35, 36].

Під час проведення експерименту контроль та діагностування технічного стану мастила виконувались шляхом триразового визначення BN з інтервалом відбору проб 1 год. Усереднені значення одержаних результатів експерименту наведено в табл. 4.

Таблиця 4. Зміна BN та  $\Delta$ BN моторних масел за різних умов експерименту

Час, год	Моторне мастило 1		Моторне мастило 2	
	BN	$\Delta$ BN, %	BN	$\Delta$ BN, %
100	14,1	-0,70	14,0	-1,41
200	13,7	-3,52	13,6	-4,23
300	13,1	-7,75	13,0	-8,45
400	12,8	-9,86	12,6	-11,27
500	12,6	-11,27	12,3	-13,38
600	12,3	-13,38	11,9	-16,20
700	12,0	-15,49	11,5	-19,01
800	11,8	-16,90	11,0	-22,54
900	11,5	-19,01	10,7	-24,65
1000	11,3	-20,42	10,4	-26,76

Для всіх інтервалів вимірювань (від 100 до 1000 годин) значення BN для моторного мастила 2 перевищувало аналогічне значення для моторного мастила 1. Порівняльну оцінку зміни BN моторних масел

можна виконати за відносною величиною  $\Delta BN$ , яка визначається за виразом

$$\Delta BN = \frac{BN_t - BN_{ном}}{BN_{ном}} \cdot 100\%,$$

де  $BN_t$ ,  $BN_{ном}$  – значення  $BN$  у певний проміжок часу та номінальне значення.

Значення  $\Delta BN$  наведені в табл. 4. За значеннями табл. 4 побудовані номограми, що відображають зміну  $BN$  та  $\Delta BN$  моторних масел – рис. 4, 5.

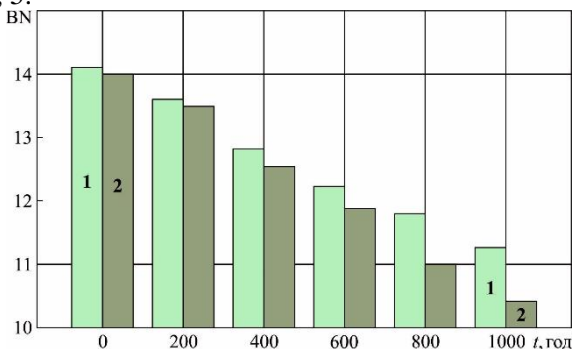


Рис. 4. Зміна  $BN$  суднових моторних масел:

1 – моторне мастило 1; 2 – моторне мастило 2

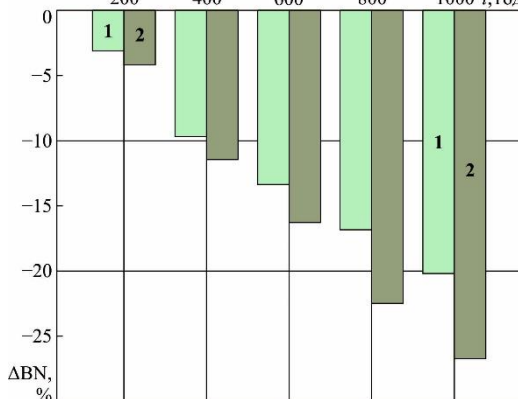


Рис. 5. Відносне зниження  $\Delta BN$  суднових моторних масел:

1 – моторне мастило 1; 2 – моторне мастило 2

Визначення механічного ККД виконувалося на різних, але рівних між собою навантаженнях суднових дизелів (в діапазоні 40...75 % від



номінального значення). Значення механічного ККД наведено у табл. 5.

Таблиця 5. Зміна механічного ККД  $\eta_m$ , %, суднового дизеля Yanmar 6EY18AL

за різних умов експерименту

Час, год	Навантаження на дизелі, %	Моторне мастило 1	Моторне мастило 2
100	55	87,7	84,5
200	50	86,3	83,0
300	40	83,8	80,1
400	45	84,1	80,7
500	60	87,7	84,8
600	60	87,6	84,8
700	75	88,6	86,3
800	70	88,3	85,8
900	75	88,7	86,3
1000	65	88,1	85,3

Відносне зниження механічного ККД  $\Delta\eta_m$  під час використання моторного мастила, структурні характеристики якого (крайовий кут змочування та товщина шару) мають менші значення, можна розрахувати за залежністю

$$\Delta\eta_m = \frac{\eta_{m1} - \eta_{m2}}{\eta_{m1}} \cdot 100\%,$$

де  $\eta_{m1}$ ,  $\eta_{m2}$  – механічний ККД при використанні моторних масел 1 і 2 в однаковий проміжок часу, %.

Значення  $\Delta\eta_m$  для різного часу експлуатації суднового дизеля Yanmar 6EY18AL наведено у таблиці 6.

Таблиця 6. Відносне зниження механічного ККД  $\Delta\eta_m$ , суднового дизеля

Час, год	$\Delta\eta_m$ , %	Час, год	$\Delta\eta_m$ , %
100	3,65	600	3,2
200	3,82	700	2,6
300	4,42	800	2,83
400	4,04	900	2,71
500	3,31	1000	3,18

За результатами таблиць 5 та 6 побудовано номограми, наведені на рис. 6.

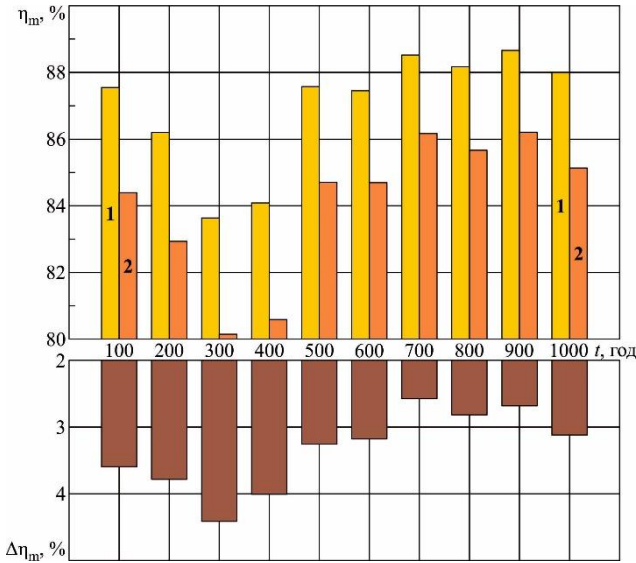


Рис. 6. Результати експерименту:  $\eta_m$  – механічний ККД, %;  $\Delta\eta_m$  – відносне зниження механічного ККД, %

Під час проведення досліджень експлуатація дизелів виконувалася відповідно до правил технічної експлуатації, без механічних та теплових перевантажень. Значення всіх контрольованих параметрів дизеля перебували у допустимому діапазоні.

### Висновки та перспективи подальших досліджень.

1. Моторні мастила, які використовуються в циркуляційних системах мащення суднових дизелів, повинні забезпечувати гідравлічну щільність у тріаді метал-мастило-метал. Цьому сприяють така структурна характеристика моторного мастила, як крайовий кут змочування  $\theta$ .

Оптичними дослідженнями встановлено, що підвищення крайових кутів змочування  $\theta$  сприяє збільшенню товщини мастильного шару  $d_{mm}$ , що утворюється на поверхні металу.

Для суднових моторних мастил (зокрема Total Lub Marime AURELIA TI 15/30 та LukLub Marime NAVIGO TPEO 15/30) структурні характеристики перебувають у таких межах:

- крайовий кут змочування  $\theta=17,5\dots20,4$  град;
- товщина мастильного шару  $d_{mm}=2,6\dots3,9$  мм.

2. Комплексними дослідженнями встановлено зв'язок структурних характеристик моторних мастил зі зміною їх експлуатаційних

характеристик та механічними втратами, що виникають під час передачі корисної потужності споживачам енергії. Як ці показники використовувалися залишкове лужне число масла BN і механічний ККД дизеля  $\eta_m$ .

Для моторного мастила, яке має наступні структурні характеристики: крайовий кут змочування  $\theta=20,4$  град, товщина масляного шару  $d_{mm}=3,9$  мм за 1000 годин експлуатації на різних режимах зниження залишкового лужного числа мастила становить  $\Delta BN=20,42$  %, зміна механічного ККД знаходиться в межах  $\eta_m=83,8... 88,7$  %.

Для моторного мастила, з характеристиками:  $\theta=17,5$  град,  $d_{mm}=2,6$  мм аналогічні параметри становлять:  $\Delta BN=26,76$  %,  $\eta_m=80,1...86,3$  %.

3. Наведені результати дозволяють зробити висновок про можливість діагностування механічних втрат судових дизелів за структурними характеристиками моторного мастила, яке використовується в його системі мащення, а також висунути наступну наукову гіпотезу – моторні мастила з більш вираженими структурними характеристиками забезпечують менші механічні втрати під час передачі корисної роботи споживачам енергії.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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

2. Зверьков Д.О., Сагін С.В. Зниження механічних втрат у судових дизелях // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 40. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 20 - 25. DOI : 10.31653/smf341.2020.20-25.

3. Zablotsky Yu.V., Sagin S.V. Maintaining Boundary and Hydrodynamic Lubrication Modes in Operating High-pressure Fuel Injection Pumps of Marine Diesel Engines // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9. – Iss. 20. – P. 208-216. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i20/94490.

4. Мацкевич Д.В., Заблоцкий Ю.В. Определение смазочной способности дизельных топлив // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2011. – № 28. – Одесса: ОНМА. – С.145 - 153.

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

6. Сагин 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.

7. 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.

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

9. Сагин С.В., Солодовников В.Г. Применение ультразвуковой обработки топлива для снижения сернистого износа двигателя // *Технические науки – от теории к практике*. Сб. ст. по материалам XXXV междунар. науч.-практ. конф. № 6 (31). – Новосибирск: «СибБАН», 2014. – С.42-48.

10. Марченко О.О., Сагін С.В. Вдосконалення процесу очищення судових важких палив // *Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник*. Вип. 41. – Одеса: НУ «ОМА». – 2020. – С. 10 - 14. DOI : 10.31653/smf341.2020.10-14.

11. 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>.

12. 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.

13. Ратайчук О.В., Сагін С.В. Підвищення ефективності процесу наддува судових дизелів // *Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник*. Вип. 41. – Одеса: НУ «ОМА». – 2020. – С. 15-19. DOI : 10.31653/smf341.2020.15-19.

14. 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>.

15. Сагин С.В. Реология моторных масел при режимах пуска и реверса судовых малооборотных дизелей // *Universum: Технические науки*. – 2018. – Вып. 3(48). – С. 67 - 71.

16. Сагін 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.

17. Сагин С.В. Оптимизация расхода высокощелочного цилиндрического масла судовых малооборотных дизелей // *Universum: Технические науки : электрон. научн. журн.* – 2016. – № 7 (28) . URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/3385>.

18. 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.

19. 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>.

20. 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.

21. Сагін С.В., Столярик Т.О. Аналіз експлуатаційних характеристик моторних мастил судових дизелів // *Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник*. Вип. 43. – Одеса: НУ «ОМА». – 2021. – С. 69 - 80. doi: 10.31653/smf343.2021.69-80.

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

23. Руснак Д.Ю., Сагін С.В. Забезпечення екологічних вимог при ультразвуковій десульфурізації вуглеводних палив // *Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб.* Вип. 40. – Одеса : НУ «ОМА». – 2020. – С. 49-54. DOI : 10.31653/smf340.2020.49-54.

24. Zablotsky Yu.V., Sagin S.V. Enhancing Fuel Efficiency and Environmental Specifications of a Marine Diesel When using Fuel Additives //

Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9. – Iss. 46. – P. 353-362. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i46/107516.

25. 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 (July – August). – P. 29-35. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-29-35>.

26. Lovska, A.; Fomin, O.; Pistek, V.; Kucera, P. Dynamic Load Modelling within Combined Transport Trains during Transportation on a Railway Ferry // Applied Science. – 2020, 10, 5710. <https://doi.org/10.3390/app10165710>

27. Kuropyatnyk O.A., Sagin S.V. Exhaust Gas Recirculation as a Major Technique Designed to Reduce NOx Emissions from Marine Diesel Engines // Naše more: International Journal of Maritime Science & Technology. – 2019. – Vol. 66. – Iss. 1. – P. 1 - 9. <https://doi.org/10.17818/NM/2019/1.1>.

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

29. Sagin S.V., Kuropyatnyk A.A. Application of the system of recirculation of exhaust gases for the reduction of the concentration of nitric oxides in the exhaust gases of the ship diesels // American Scientific Journal. – 2017. – № 15. – Iss. 2. – P. 67 - 71.

30. Сагін С.В., Куропятник А.А. Оптимизация режимов работы системы перепуска выпускных газов судовых среднеоборотных дизелей // Автоматизация судовых технических средств : науч. -техн. сб. – 2019. – Вып. 25. – Одесса : НУ «ОМА». – С. 79 - 89.

31. Побережний Р.В., Сагін С.В. Забезпечення екологічних показників дизелів суден річкового та морського транспорту // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. – 2020. – Вип. 41. – Одеса: НУ «ОМА».. – С. 5-9. DOI : 10.31653/smf340.2020.5-9.

32. Куропятник А.А., Сагін С.В. Управление выпускными газами судовых дизелей для обеспечения экологических показателей // Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сборник. – 2018. – Вып. 24. – С. 72 - 80.

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

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

34. 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, 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>

35. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A., Zablotskyi Yu.V., Gaichenia O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // *Nase More : International Journal of Maritime Science & Technology*. – 2022.– Vol. 69. – Iss.1. – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7.

36. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Pištěk V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe // *Journal Marine Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 10. – Iss. 9. – P. 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331>.