

10.31653/smf45.2022. 57-69

Столярик Т.О.

Національний університет Одеська морська академія

ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ МАЩЕННЯ ДИЗЕЛІВ СУДЕН МОРСЬКОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

Постановка проблеми в загальному вигляді. Основними генераторами енергії на судах морського та внутрішнього водного транспорту є двигуни внутрішнього згоряння (дизелі). Однієї з систем, що забезпечують їх функціонування, є система мащення. Двотактні суднові дизелі використовують дві системи мащення – лубрикаторну (за допомогою якої мастило подається на стінки циліндрової втулки) та циркуляційну (мастило в якій спрямовується до підшипників колінчатого валу). Чотиритактні (середньообертові) дизелі комплектуються лише циркуляційною системою мащення, в якій мастило потрапляє до всіх контактних вузлів дизеля, основними з яких є пари тертя поршневе кільце – втулка циліндра та вкладиш підшипника – колінчатий вал [1-3].

Високі температури, вібрація, мінімізація проміжків у парах тертя та інші фактори призводять до того, що переважним режимом мащення суднових середньообертових дизелів стає режим граничного тертя. Саме в цьому режимі відбувається основний знос поверхонь, що труться, причому знос деталей залежить від поверхневої активності моторного мастила (його здатності створювати граничний мастильний шар). У цьому проявляється змащувальна здатність (маслянистість) моторного мастила [4-6]. Активація та підвищення змащувальної здатності моторного мастила сприяє зменшенню зносу в парах тертя та призводить до мінімізації втрат механічної енергії дизеля під час її трансформації в корисну роботу [7-9].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зменшення контактних напружень в парах тертя підвищує експлуатаційну надійність дизелів суден морського та внутрішнього водного транспорту, тому визначенню способів підвищення змащувальної здатності моторного мастила присвячена велика кількість наукових досліджень. При цьому науковцями пропонувались різні, іноді взаємовиключні, технології за допомогою яких можливо розв'язання вказаного завдання. Деякі рішення, наприклад використання ефектів радіоактивного опромінювання, небезпечно для екіпажів суден морського та внутрішнього водного транспорту. Деякі інші, такі як використання магнітних,

електричних та акустичних полів, втрачають ефективність в умовах суднових енергетичних установках, в яких магнітні, електричні та акустичні хвилі генеруються мимовільно, тому утворюють випадкові перешкоди.

Для умов експлуатації систем мащення суднових середньообертових найбільш доцільно використання ультразвукової обробки, додавання до мастила поверхнево-активних речовин, модифікація поверхонь тертя структурованими покриттями. Вказані способи сприяють зміні структурних складових моторних мастил – підвищують довжину молекулярного ланцюга, забезпечують односпрямовану орієнтацію молекул в граничному мастильному шарі, підвищують його адсорбційну товщину [10-13].

Постановка завдання. Завданням дослідження було визначення впливу структурних характеристик адсорбційного шару моторного мастила (крайових кутів змочування та товщини) на експлуатаційні показники судового дизеля, в системі циркуляційного мащення якого воно використовується.

Виклад основного матеріалу. Експериментально підтверджено, що змащувальна здатність безпосередньо залежить від коефіцієнта поверхневого натягу рідких мастил. Показник поверхневого натягу нерозривно пов'язаний з явищем адгезії та з крайовим кутом змочування поверхні мастилом [14-16].

Для визначення впливу крайових кутів змочування на якість перебігу процесу мащення виконувались комплексні дослідження, які полягали в визначенні структурних характеристик моторних мастил (крайового кута змочування та товщини адгезійного шару мастила), а також експлуатаційних показників моторного мастила (лужного числа та вмісту механічних домішок) та експлуатаційних показників судового дизеля (механічного коефіцієнту корисної дії, тиску стиснення та температури випускних газів), мащення якого забезпечується цими мастилами. Дослідження виконувались на суднових середньообертових дизелях 6L16/24 MAN Diesel, які входили до складу допоміжної енергетичної установки судна типу General Cargo дедвейтом 15600 тонн. В циркуляційній системі мащення дизелів використовувалось моторне мастило Mobilgard ADL30 фірми Mobil, основні характеристики якого надані в табл. 1.

Таблиця 1. Основні характеристики моторного мастила
Mobilgard ADL30 фірми Mobil

Показник	Значення
Клас SAE	30
Густина при 15°C, кг/м ³	894
В'язкість кінематична при 100 °C, сСт	5,21
В'язкість кінематична при 40 °C, сСт	143
Загальне лужне число (TBN)	14,4
Температура спалаху, °C	255

Принципова схема система циркуляційного мащення дизелів на- дана на рис. 1.

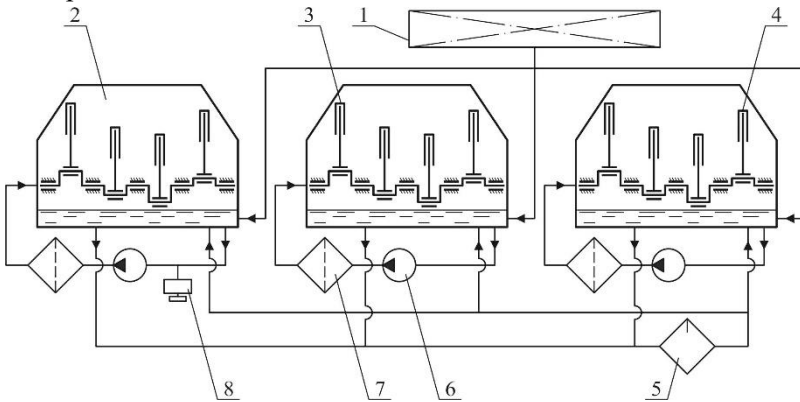


Рис. 1. Схема суднової системи циркуляційного мащення під час проведення експериментальних досліджень:

- 1 – цистерна циркуляційного мастила; 2 – дизель № 1; 3 – дизель № 2;
4 – дизель № 3; 5 – сепаратор мастила; 6 – циркуляційний мастильний насос; 7 – мастильний фільтр; 8 – дозерний пристрій

Подача мастила до мащення колінчатого валу та підшипників дизелів 2, 3, 4 забезпечувалась циркуляційним насосом 6 (окремо для кожного з дизелів). Очищення мастила виконувалось за допомогою фільтра 7 (також окремо для кожного дизелю) та сепаратора 5 (який послідовно підключається до систем мащення кожного з дизелів). Поповнення обсягу мастила в картері дизелів здійснювалось з цистерни 1.

Дослідження виконувались на двох дизелях, що на початок випробувань мали однаковий ресурс (позиції 2, 3 на рис. 1). Під час випробувань дизелі експлуатувались на рівних між собою навантаженнях. У випадку, коли потужності двох дизелів (на яких проводи-

лись дослідження) було недостатньо для забезпечення судових потреб в електричній енергії, використовувався третій дизель (позиція 4 на рис. 1). Також лише цей дизель використовувався у випадку, коли для забезпечення потрібності судна в електричній енергії вистачало потужності одного дизелю.

Як спосіб, що забезпечує підвищення структурних характеристик моторного мастила (а саме крайових кутів змочування), було обрано додавання поверхнево-активних речовин (ПАР). В науково-дослідницькій лабораторії було визначена оптимальна концентрація ПАР в об'ємі моторного мастила, при якій забезпечуються максимальні кути змочування [17, 18].

До системи мащення одного з дизелів (позиція 1 на рис. 1) за допомогою дозерного пристрою (позиція 8 на рис. 1) додавалась ПАР. Час введення ПАР до загального обсягу який забезпечував підтримання її оптимальної концентрації був визначений в попередній дослідженнях та контролювався шляхом вимірювання остаточного лужного числа (Total Base Number – TBN) моторного мастила.

Дослідження виконувалися під час океанських переходів судна, тривалість яких становила 12...18 днів. При цьому (у зв'язку з відсутністю маневрових та швартових режимів, а також вантажних операцій) експлуатація дизелів відбувалася без стрибкоподібної зміни навантаження [19, 20]. Стан паливної апаратури (паливних насосів високого тиску та форсунок), а також її регульовальні параметри (тиск нагнітання, кут початку подачі палива) всіх дизелів були ідентичні [21, 22]. 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 [23-25].

Для виконання завдання дослідження під час проведення експерименту визначався механічний коефіцієнт корисної дії (ККД) дизеля – η_m , тиск стисненн – p_c , температура випускних газів $t_{вг}$, а також фіксувалися значення TBN мастила у відповідні часові інтервали його роботи. Визначення механічного ККД здійснювалося методом постійної витрати палива, визначення тиску стиснення та температури випускних газів – за допомогою системи діагностування показників робочого циклу судового дизеля Doctor, визначення TBN масла виконувалося в судовій технічній лабораторії фірми Cylinder

Scrape-Down Oil Analysis відповідно до рекомендованих технологій та послідовності [26-29].

Зміна структурних характеристики моторного мастила контролювалась шляхом визначення крайових кутів змочування θ та товщини його адсорбційного шару $d_{ш}$ шляхом вимірювання цих показників в проміжки часу, що відповідають визначенню показників роботи дизелів.

Результати вимірювання цих показників для дизеля № 1 (до масливної системи якого додавалась ПАР) та для дизеля № 2 (експлуатація якого виконувалась без додавання ПАР до мастила) наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Результати експерименту

Час, години	Навантаження, %	Показник							
		TBN ₁	TBN ₂	η_{m1} , %	η_{m2} , %	p_{c1} , МПа	p_{c2} , МПа	$t_{вг1}$, °C	$t_{вг2}$, °C
1	70	14,4	14,4	88,3	88,3	10,2	10,2	281	281
100	75	14,3	14,2	88,4	88,3	10,3	10,2	283	285
200	70	14,3	14,1	88,1	87,8	10,1	10,0	283	288
300	45	14,1	13,7	84,2	83,7	9,4	9,2	253	259
400	50	14,1	13,4	85,2	84,2	9,6	9,4	259	268
500	55	14,0	13,0	85,5	84,7	9,7	9,4	266	276
600	70	13,8	12,1	87,7	86,3	9,9	9,5	278	288
700	65	13,6	11,6	85,3	84,1	9,8	9,4	273	283
800	40	13,5	11,4	83,7	82,1	9,4	9,0	255	265
900	45	13,5	11,2	84,6	83,0	9,5	9,0	259	272
1000	50	13,4	10,9	85,1	83,2	9,7	9,1	262	276

Примітка: TBN₁, η_{m1} , p_{c1} , $t_{вг1}$ – для дизеля № 1; TBN₂, η_{m2} , p_{c2} , $t_{вг2}$ – для дизеля № 2

В табл. 3 наведені структурні показники моторних мастил (№ 1 до складу якого додавалась ПАР та № 2) залежно від час їх експлуатації в дизелі.

За результатами, що надані в таблицях 2, 3 побудовані номограми (рис. 2, 3), які відображають зміну експлуатаційних показників дизеля 6L16/24 MAN Diesel та структурних характеристик моторного мастила Mobilgard ADL30 фірми Mobil.

Таблиця 3. Результати експерименту

Час, години	Показник			
	θ_1 , град	θ_2 , град	$d_{ш1}$, мм	$d_{ш2}$, мм
1	18,3	18,3	3,8	3,8
100	18,3	18,0	3,7	3,5
200	18,2	17,6	3,6	3,2
300	18,2	15,3	3,6	2,8
400	18,0	13,6	3,5	2,6
500	17,8	12,3	3,5	2,4
600	17,8	11,2	3,3	2,3
700	17,9	10,2	3,4	2,0
800	17,7	9,5	3,3	1,9
900	17,6	9,3	3,4	1,9
1000	17,5	9,1	3,3	1,7

Примітка: θ_1 , $d_{ш1}$ – для дизеля № 1; θ_2 , $d_{ш2}$ – для дизеля № 2

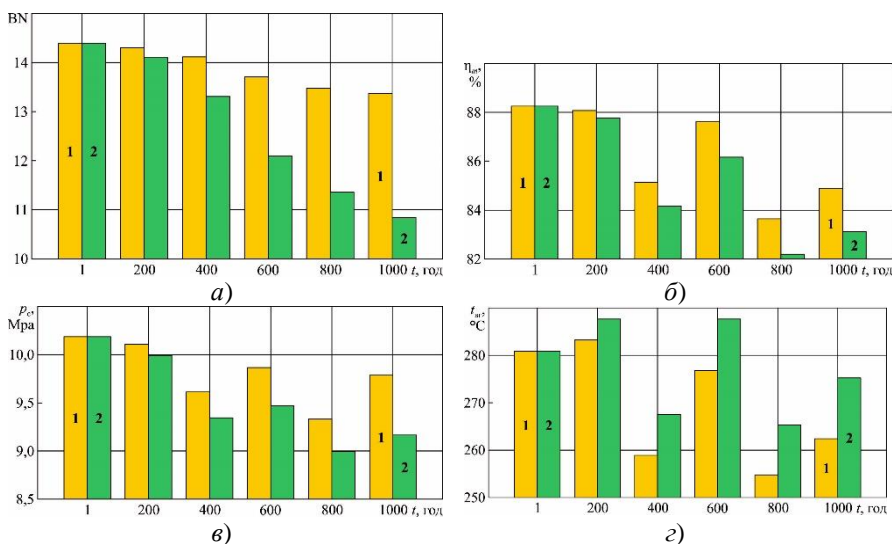


Рис. 2. Зміна експлуатаційних показників суднового дизеля 6L16/24 MAN Diesel та моторного мастила Mobilgard ADL30 фірми Mobil:
 а – загальне лужне число; б – механічний ККД; в – тиск стиснення;
 з – температура випускних газів; 1 – дизель № 1; 2 – дизель № 2

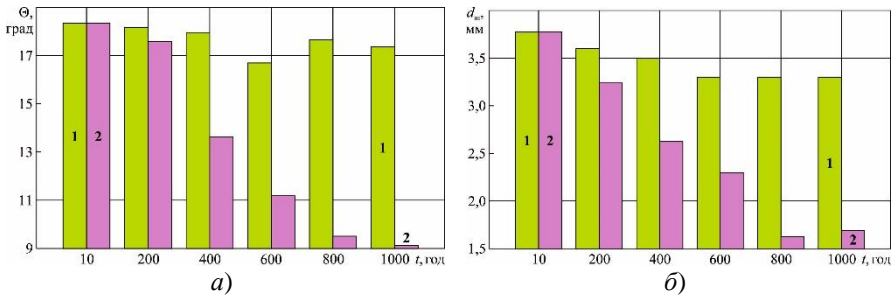


Рис. 3. Зміна структурних показників моторного мастила Mobilgard ADL30 фірми Mobil:

a – крайовий кут змочування; *б* – товщина адсорбційного шару;
1 – дизель № 1; 2 – дизель № 2

Відносна зміна показників, що визначались під час дослідження, розраховувалась за виразами:

відносне збільшення тиску стиснення [30]

$$\Delta p_c = \frac{P_{c1} - P_{c2}}{P_{c1}} \cdot 100\%; \quad (1)$$

відносне збільшення механічного ККД [31]

$$\Delta \eta_m = \frac{\eta_{m1} - \eta_{m2}}{\eta_{m1}} \cdot 100\%; \quad (2)$$

відносне зменшення температури випускних газів [32]

$$\Delta t_{вг} = \frac{t_{вг2} - t_{вг1}}{t_{вг2}} \cdot 100\%; \quad (3)$$

відносне збільшення загального лужного числа [33, 34]

$$\Delta TBN = \frac{TBN_1 - TBN_2}{TBN_1} \cdot 100\%. \quad (4)$$

Результати розрахунків за виразами (1)-(4) з урахуванням часу вимірювань наведені в таблиці 4.

За результатами табл. 4 побудована комплексна діаграма, що відображає зміну показників в залежності від часу експлуатації дизеля – рис. 4.

Таблиця 4. Результати розрахунку відносних відхилень показників

Час, години	Показник			
	$\Delta p_c, \%$	$\Delta \eta_m, \%$	$\Delta t_{вг}, \%$	$\Delta TBN, \%$
100	0,97	0,11	0,7	0,69
200	0,99	0,34	1,77	1,39
300	2,13	0,59	2,37	2,84
400	2,08	1,17	3,47	4,96
500	3,09	0,94	3,76	7,14
600	4,04	1,60	2,92	12,32
700	4,08	1,41	3,66	14,71
800	4,26	1,91	3,92	15,56
900	5,26	1,89	5,02	17,04
1000	6,19	2,23	5,34	18,66

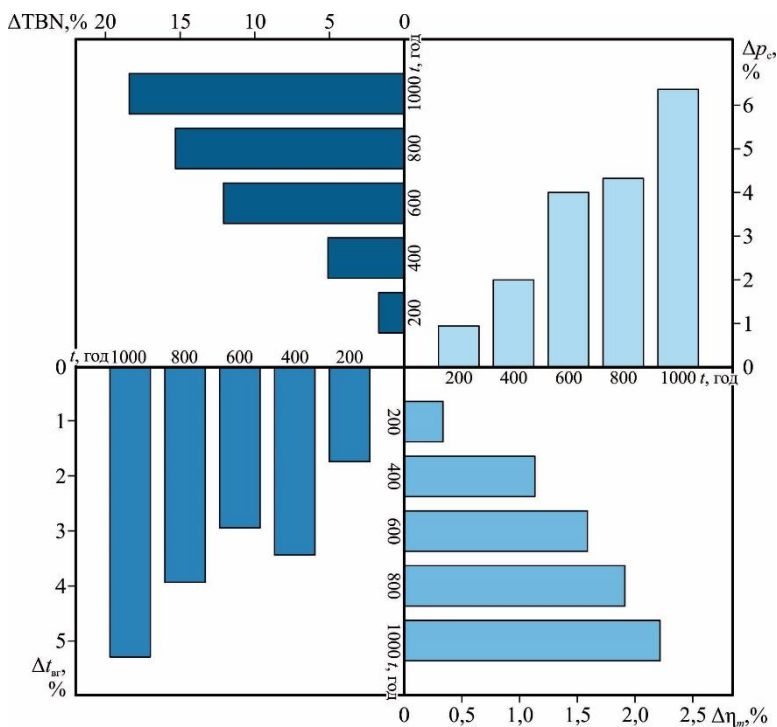


Рис. 4. Комплексна діаграма зміни контрольованих параметрів:
 Δp_c – відносне збільшення тиску стиснення; $\Delta \eta_m$ – відносне збільшення механічного ККД; $\Delta t_{вг}$ – відносне зменшення температури випускних газів;
 ΔTBN – відносне збільшення загального лужного числа

Висновки і перспективи подальших досліджень. Проведеними дослідженнями встановлено взаємозв'язок структурних показників моторних мастил (зокрема крайового кута змочування та товщини адсорбційного шару) та експлуатаційних показників судових дизелів (зокрема тиску стиснення, механічного ККД, температури випускних газів). Збільшення значень вказаних структурних показників моторного мастила (яке досягається шляхом додавання до моторного мастила поверхнево активних речовин) забезпечує зменшення механічних втрат під час отримання корисної роботи. Встановлений факт пояснюється підвищенням гідравлічної щільності в парах тертя судового дизеля та збільшенням пружнодемпфуючих властивостей моторного мастила.

Для моторного мастила Mobilgard ADL30 фірми Mobil встановлено, що додавання в його об'єм поверхнево активних речовин з оптимальною концентрацією (значення якої визначається додатковими дослідженнями) та підтримання цієї концентрації під час експлуатації судового дизеля забезпечує сталість в значеннях крайового кута змочування та товщина адсорбційного мастильного шару.

Порівняння експлуатаційних характеристик судового дизелю 6L16/24 MAN Diesel свідчить, що використання моторного мастила з більш вираженими структурними показниками на протязі 1000 годинної роботи забезпечує:

- відносне збільшення тиску стиснення в діапазоні 0,97...6,19 %;
- відносне збільшення механічного ККД в діапазоні 0,11...2,23 %;
- відносне зменшення температури випускних газів в діапазоні 0,7...5,34 %;
- відносне збільшення загального лужного числа в діапазоні 0,69...18,66 %.

Викладене підтверджує можливість вдосконалення процесів мащення дизелів суден морського та внутрішнього водного транспорту шляхом керованого впливу на структурні характеристики моторного мастила, яке використовується його в системі циркуляційного мащення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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.

2. 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>.

3. Ратайчук О.В., Сагін С.В. Підвищення ефективності процесу наддува суднових дизелів // Суднові енергетичні установки: наук. - техн. зб. – 2020. – Вип. 41. – Одеса: НУ «ОМА». – С. 15-19. DOI : 10.31653/smf341.2020.15-19.

4. Сагін 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.

5. Сагін 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.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. Мацкевич Д.В., Сагін 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.

10. Stoliaryk T. Analysis of the operation of marine diesel engines when using engine oils with different structural characteristics // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2022. – Vol. 5(1(67)). – P. 22-32. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.265868>.

11. Мадей В.В. Використання в суднових дизелях паливних сумішей до складу яких входить паливо біологічного походження // *Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб.* – 2022. – Вип. 44. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 93-110. doi: 10.31653/smf44.2022.93-110.

12. Заблоцький Ю.В., Сагін 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. 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.

17. Сагін С.В., Заблоцький Ю.В., Перунов Р.В. Технология использования и результаты испытаний присадок к топливам для судовых дизелей // *Проблеми техніки: наук.-виробн. журнал.* – 2012. – № 3. – Одеса: ОНМУ. – С. 84-103.

18. Сагін С.В., Кривий М.О. Розрахунок контактного тиску та зони контакту в парах ковзання судових дизелів // *Автоматизація суднових технічних засобів : наук.-техн. зб.* – 2021. – Вип. 27. – Оде-

са : НУ «ОМА». – С. 84-92. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-84-92.

19. 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>.

20. Sagin S.V., Kuropyatnik 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.

21. 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.

22. 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>.

23. Марченко О.О., Сагін С.В. Вдосконалення процесу очищення суднових важких палив // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 41. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 10-14. DOI : 10.31653/smf341.2020.10-14.

24. Сагін С.В., Побережний Р.В. Аналіз основних способів зниження емісії оксидів азоту дизелів суден морського та внутрішнього водного транспорту // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2022. – Вип. 44. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 132-141. doi: 10.31653/smf44.2022.132-141.

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

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

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

28. 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.

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

30. 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>.

31. 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>.

32. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. Using exhaust gas bypass for achieving the environmental performance of marine diesel engines // *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*. – 2021. – Vol. 7-8. – P. 36-43. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-36-43>.

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

34. 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>.