

10.31653/smf45.2022. 31-42

Сагін С.В., Побережний Р.В.

Національний університет «Одеська морська академія», Одеса

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ В СУДНОВИХ ДИЗЕЛЯХ ПАЛИВ РІЗНОГО ФРАКЦІЙНОГО ТА СТРУКТУРНОГО СКЛАДУ

Постановка проблеми в загальному вигляді. Суднові дизелі відносяться до найпоширенішого типу енергетичних установок, які використовуються на судах морського та внутрішнього водного транспорту. У порівнянні з паротурбінними та газотурбінними установками суднові дизелі характеризуються мінімальними витратами палива не лише на одиницю потужності (кг/кВт·год), але і на одиницю пройденого судном шляху (кг/миля). Це є головною причиною, по якій вони в найбільшій кількості (до 95...97 % у порівнянні з іншими типами теплових двигунів) встановлюються як головні та допоміжні двигуни на судах морського та внутрішнього водного транспорту [1-3].

Двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ) суден морського та внутрішнього водного транспорту є найбільшими споживачами рідкого палива. Потужність головних та допоміжних двигунів судових енергетичних установок (СЕУ) лежить у діапазоні від кількох сотень до десятків тисяч кіловат. Сучасні судна класу Container Ship комплектуються головними двигунами (ГД) з потужністю до 90000...95000 кВт та допоміжними двигунами (ДД) з потужністю до 4000...4500 кВт. За середньої питомої ефективної витратою палива 180...185 г/(кВт·год) добова витрата палива ГД може становити 400...420 тонн/добу, а ДД, кількість яких на сучасних судах до 4-х, а кількість паралельно працюючих до 3-х, 40...50 тонн/добу [4-6].

В зв'язку з цим під час експлуатації ДВЗ постійно ставиться завдання зменшення витрат на паливо, одним зі шляхів розв'язання якого є використання в СЕУ палив погіршеного стану. При цьому необхідно забезпечити надійну роботу дизелів під час будь-яких навантажень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відповідно до стандарту на паливо DIS DP-8217, розробленого міжнародною організацією по стандартизації ISO, в судових ДВЗ використовуються два сорти дистильованого палива – чисте дизельне паливо DMB і змішане паливо DMC, а також очищене паливо RM [7, 8]. Діапазон в'язкості

палив класу DMB і DMC при 100°C лежить в межах 5...10 сСт, а їх густина за 15°C становить 820...850 кг/м³. В зв'язку з цим дані сорти палива називають легкими. Палива класу RM (RMG, RMH, RMK) мають в'язкість за 100°C 35...55 сСт і густину за 15°C 990...1010 кг/м³ і називаються важкими. Важкі сорти мають більш низьку вартість в порівнянні з легкими, що визначає їх використання в суднових дизелях для скорочення фінансових витрат на придбання палива [9-11]. Також необхідно відзначити, що для сучасних суднових дизелів (як головних, також і допоміжних) важкі сорти палив застосовуються для забезпечення всіх режимів роботи, в тому числі режимів пуску та реверсування [12, 13].

Постановка завдання. Завданням дослідження було визначення ефективності використання в суднових дизелях палив різного фракційного та структурного складу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дизельна енергетична установка сучасних СЕУ комплектується мало- та середньооборотними дизелями (МОД та СОД). МОД, які працюють за двотактним циклом, використовуються як ГД і передають потужність на гвинт. Цю ж функцію можуть виконувати СОД, які працюють за чотиритактним циклом. Однак найбільше застосування вони отримали як ВД для приводу електрогенераторів суден [14, 15]. Традиційно експлуатація суднових МОД на режимах роботи, що встановилися, проводиться на важких сортах палива. Температура повітряного заряду в циліндрі дизеля в момент впорскування палива, а також тривалий період часу, що припадає на його займання, дозволяє надійно використовувати в цих типах дизелів паливо погіршеного структурного та фракційного складу. Час експлуатації МОД на легкому паливі, а також на суміші легкого та важкого палива визначається їхньою роботою на пускових режимах та залежить від призначення судна. У разі роботи в прибережних районах та частих портах заходу, коли експлуатація ГД відбувається на режимах пуску та реверсу, час роботи дизеля на легкому паливі підвищується, при цьому також підвищується його витрата. Під час тривалих переходів експлуатація ГД відбувається лише на важких сортах палива, причому час такої роботи може досягати кількох десятків діб, що суттєво знижує загальні витрати легкого палива. Експлуатаційні режими роботи суднових СОД забезпечуються важкими та легкими сортами палива. Використання малов'язкого палива обумовлено необхідністю забезпечення його

надійного самозаймання протягом більш короткого (порівняно з МОД) періоду впорскування, тривалість якого оцінюється за виразом

$$\tau = \frac{\varphi_d}{6n}, \text{ сек,}$$

де n – частота обертання колінчастого валу дизеля, об/хв;

$\varphi_d = 15 \dots 35^\circ$ пкв – дійсна тривалість подачі палива до циліндра в градусах повороту колінчастого валу (пкв).

Частота обертання колінчастого валу сучасних суднових МОД із підвищеним відношенням ходу поршня до діаметра циліндра знижено до 70...75 об/хв. Мінімальне значення цього параметра для СОД – 450...500 об/мин. Це призводить до того, що навіть за умовою підвищеної для СОД порівняно з МОД тривалістю подачі палива в циліндр, час впорскування палива і, відповідно, час його окислення, займання та згоряння скорочується в 3...4 рази. Ще однією причиною використання в СОД легких сортів палива є їхня часта робота на режимах пуску та часткового навантаження. При цьому частина теплової енергії, підведеної в процесі стиснення, втрачається через погано прогріті поверхні деталей циліндрової групи, що суттєво знижує температуру в циліндрі в момент впорскування палива та змушує використовувати палива з меншою температурою самозаймання.

Фракційний склад палива визначається кількістю тих чи інших нафтових фракцій, що википають за певних температурних межах. Фракційний склад палив є одним з найважливіших показників його якості, який дає можливість оцінювати випаровування його парів і виражає залежність між температурою та кількістю палива, що перетворюються з одного стану в інший за цією температурою. Фракційний склад (від якого залежить займистість палива на пускових режимах, особливо в умовах екстреного пуску) важливий під час використання палива в суднових СОД, в яких згоряння відбувається за менший проміжок часу [16, 17].

Палива для суднових дизелів є складними сполуками горючих елементів, мінеральних домішок і вологи, молекулярна будова яких постійно вивчається. Елементарний хімічний аналіз цих палив не розкриває хімічної природи сполук, що входять до них, і тому не може дати достатньо повного уявлення про їх властивості, але дозволяє розрахувати тепловий і матеріальний баланс процесу горіння палива. Елементарний хімічний склад суднових моторних палив виражається залежністю

$$C^p + H^p + O^p + N^p + S^p + A^p + W^p = 100\%$$

і складається з горючих речовин: вуглецю С, водню Н, сірки S, а також кисню О та азоту N, що знаходяться в складних високомолекулярних сполуках. Крім того, паливо містить негорючі мінеральні домішки, що перетворюються при спалюванні палива на золу А та вологу W.

Основною горючою складовою палива є вуглець, горіння якого зумовлює виділення основної кількості тепла. Вміст вуглецю у паливі становить 85...88 %. Другим за значенням елементом в горючій масі палива є водень, його вміст у рідких паливах коливається в діапазоні 10...13 %. Кисень і азот у паливі є органічним баластом, тому що їх наявність зменшує вміст горючих елементів у паливі. Азот під час спалювання палива в атмосфері повітря не окислюється та перетворюється на продукти згорання у вільному вигляді. Сірка у паливі перебуває у складі неорганічних сполук. Вміст сірки в паливі може досягати 3,5 %, при цьому використання палива з вмістом сірки більше 0,5 % допускається лише за умови додаткового очищення випускних газів у скруберах та підтримання необхідного відношення SO_2/CO_2 [18]. Сірчисті сполуки, що входять до складу палива, прийнято поділяти на активні та неактивні. Активні сірчисті сполуки (вільна сірка, сірководень, меркаптани) під час контакту з металом викликають корозію. Неактивні сірчисті сполуки (сульфіди, дисульфід та ін.) за звичайних умов не викликають корозії металів. Однак, дія активних, а також неактивних сірчистих з'єднань в умовах перебігу робочого процесу в камері згорання ДВЗ змінюється. Обидві категорії домішок переходять до розряду активних компонентів. Це відбувається внаслідок того, що під час згорання сірки утворюється сірчистий газ SO_2 і сірчаний ангідрид SO_3 , які, вступаючи в реакцію з водою, що сконденсувалася, утворюють сірчисту H_2SO_3 та сірчану H_2SO_4 кислоти. Ці кислоти викликають сильну корозію деталей циліндрової групи дизеля та газовипускного тракту. Крім цього, внаслідок низької теплоти згорання присутність сірки зменшує теплоту згорання палива. Тому сірка є шкідливою та небажаною домішкою палива. Крім того, використання сірчистих палив безпосередньо пов'язане з виконанням екологічних вимог, що висуваються до суднових ДВЗ. Відповідно до Додатку IV міжнародної конвенції МАРПОЛ визначені спеціальні райони, де можливе використання лише палива, що містить не більше 0,1 % сірки. Експлуатація суднових ДВЗ (як головних, і допоміжних) у таких районах можлива лише з дистилят-

них паливах, наприклад DMX, DMA, DMB [19-21]. Крім сірки в паливах найбільш поширені вуглеводневі домішки, вода та механічні домішки. Вуглеводневі домішки – це переважно гетероорганічні сполуки, що входять до складу вихідної сировини. Це найбільш характерно для дизельного палива, внаслідок їх високої молярної маси та високих температур кипіння. Насамперед це сірчисті сполуки, вуглеводневі кислоти та смолисто-асфальтові речовини. Вода потрапляє в паливо під час транспортування, зберігання та перекачування палива та прискорює корозію металевих деталей двигуна. Механічні домішки погіршують прокачування палива по системі паливоподачі, є підставою для утворення смолистих відкладень, збільшують механічне зношування та корозію металу [22-24]. Особливо велику шкоду механічні домішки завдають системі високого тиску дизеля, викликаючи підвищений знос прецизійних деталей. Основним джерелом механічних домішок є атмосферний пил. Структурний склад палива визначає одну з основних характеристик – нижчу теплоту згоряння Q_n , чисельне значення якої може бути визначено за виразом

$$Q_n = 339,15C^p + 1256H^p - 108,86(O^p - S^p) - 25,12(9H^p + W^p)$$

Від нижчої теплоти згоряння палива Q_n залежить його питома ефективна витрата

$$b_e = \frac{3600}{\eta_e \cdot Q_n},$$

де η_e – ефективний коефіцієнт корисної дії (ККД) дизеля.

За умовою фіксованого значення ефективного ККД $\eta_e=0,45$ зміна структурного складу палива призводить до наступних змін нижчої теплоти згоряння та питомої ефективної витрати палива (таблиця 1).

Таблиця 1. Вплив структурного складу палива на його нижчу теплоту згоряння та питома ефективна витрата

Зміна структурного складу палива					Q_n , кДж/кг	b_e , кг/(кВт·год)
C^p	H^p	S^p	O^p	W^p		
87,0	11,3	1,0	0,4	0,3	41203	0,194
87,5	11,1	1,0	0,4	0,3	41870	0,191
87,2	12,6	0,1	0,05	0,05	42556	0,188

Вартість палива коливається в залежності від зазначених характеристик. Станом на 01.12.2022 р. ціни на паливо у різних світових портах (за даними Internet ресурсу Ship & Bunker – Shipping News and Bunker Price Indications [25]) наведено у таблиці 2.

Таблиця 2. Вартість морського палива, \$USA/тонна

Порт бункеровки	Тип палива		
	MGO	VLSFO	IFO380
Сінгапур	948	685	425
Роттердам	935	596	407
Хьюстон	1015	633	421
Фуджейра	1185	670	406
Гонконг	1006	669	461

Враховуючи зазначені вище витрати на забезпечення експлуатаційної потужності дизелів, витрати на паливо для потужних СЕУ досягають 250...300 тис. \$USA/доба, а СЕУ середньої потужності 50...70 тис. \$USA/доба. Наведені дані пояснюють прагнення судновласників до зменшення витрат на паливо через придбання палива погіршеного фракційного та структурного складу, а також використання подібних палив під час експлуатації суднових дизелів (двох та чотиритактних) на будь яких навантаженнях [26].

Дослідження виконувались на судні класу General Cargo, що здійснювало постійні морські перевезення тривалістю 7...10 днів між двома портами. Як ГД на судні використовувався МОД MAN-Diesel&Turbo 5S60 MEC8.1-Tier II. До складу допоміжної установки судна входили три суднових СОД MAN-Diesel&Turbo 5L23/30H з номінальною потужністю 565 кВт. Під час експлуатації дизелів використовувались моторні палива DMA, RME180, RMG380, основні характеристики яких наведені в таблиці 3.

Таблиця 3. Характеристики моторних палив

Характеристика	Марка палива		
	DMA	RME180	RMG380
Густина при 20°C, кг/м ³	892	924	942
В'язкість при 40°C, мм ² /с	6,3	182	376
Вміст сірки, %	0,067	0,26	0,4
Нижча теплотворна здатність, кДж/кг	43280	40630	39070

В циркуляційній системі мащення всіх дизелів використовувалось моторне мастило Shell Melina S30, що відноситься до

класу мастил SAE30, має остаточне лужне число (Total Base Number – TBN) 30 мгКОН/г та рекомендовано під час використання вказаних палив.

Дослідження виконувались на суднових ДД MAN-Diesel&Turbo 5L23/30H, який до початку випробувань мали однаковий технічний стан. Програма досліджень була розроблена таким чином, що експлуатаційний період та навантаження на дизелі під час випробувань були однаковими. Дизелі експлуатувалися виключно на одному сорті палива (що було можливо за рахунок їх підключення до паливних танків, в яких зберігалось різне паливо): перший – на моторному паливі DMA, другий – на RME180, третій – на RMG380. Принципова об'єднана схема систем циркуляційного мащення, сепарації мастила та подачі палива дизелів наведена на рис. 1.

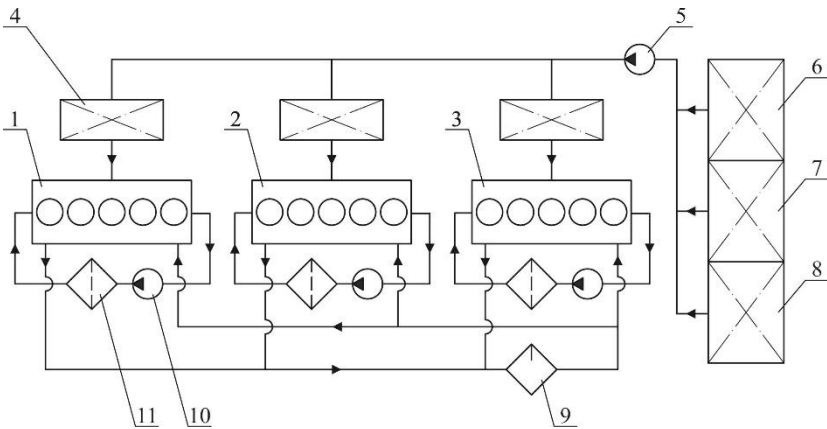


Рис. 1. Принципова об'єднана схема систем циркуляційного мащення, сепарації мастила та подачі палива дизелів MAN-Diesel&Turbo 5L23/30H: 1, 2, 3 – ДД № 1, ДД № 2, ДД № 3; 4 – витратна цистерна, 5 – насос, що підкачує паливо; 6, 7, 8 – танки з моторним паливом DMA, RME180, RMG380; 9 – сепаратор мастила; 10 – циркуляційний мастильний насос; 11 – мастильний фільтр

З урахуванням завдання дослідження для кожного допоміжного дизеля (ДД № 1, ДД № 2, ДД № 3) визначались температура випускних газів (при цьому в цей часовий період дизелі

експлуатувались на рівному навантаженні) та виконувався аналіз циркуляційного мастила на вміст механічних домішок.

Результати випробувань наведені в таблицях 4, 5.

Таблиця 4. Результати досліджень

Час, t , години	Потужність,		Температура випускних газів, $t_{вг}$, °C		
	кВт	% від $N_{еном}$	ДД № 1	ДД № 2	ДД № 3
50	350	62	272	283	288
100	420	74	288	303	309
150	385	68	277	292	296
200	460	81	293	308	312
250	340	60	272	281	285
300	410	73	284	301	307

Таблиця 5. Результати аналізу моторного мастила на вміст механічних домішок Shell Melina S30

Компонент, мг/кг	100 годин			200 годин			300 годин		
	ДД № 1	ДД № 2	ДД № 3	ДД № 1	ДД № 2	ДД № 3	ДД № 1	ДД № 2	ДД № 3
Al	0,5	1	1	1	1,5	1,5	1	1,5	2
Cr	–	0,5	1	0,5	1	1,5	1	1	1,5
Cu	0,5	1	1	1	2	2,5	1,5	3	3,5
Fe	2	3	4	3	5	7	4	6,5	9
Sn	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Pb	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1,5	1,5
Сума, Σ_M	5	6,5	8	7	11	14	9	14	18

За результатами, що наведені в табл. 4, 5 побудовані номограми зміни експлуатаційних показників суднового дизеля – рис. 2, 3.

Під час проведення досліджень контролювались та підтримувались в необхідних значеннях всі показники, що забезпечують надійну та безаварійну роботу дизелів та СЕУ. Всі дослідження були погоджені з департаментом, що виконує технічний менеджмент судна.

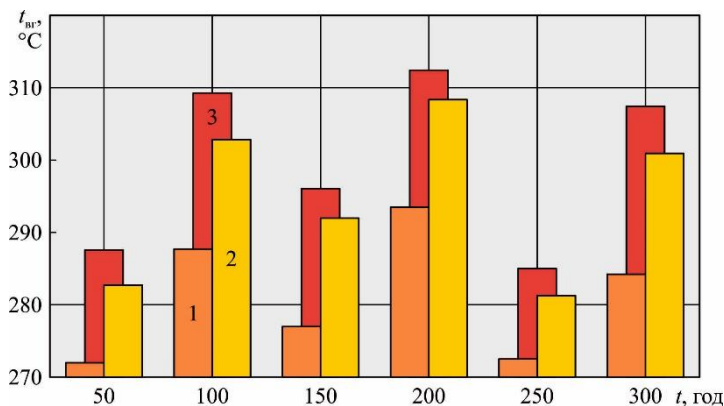


Рис. 2. Зміна температури випускних газів під час експлуатації суднових дизелів MAN-Diesel&Turbo 5L23/30H на різних паливах: 1 – DMA; 2 – RME180; 3 – RMG380

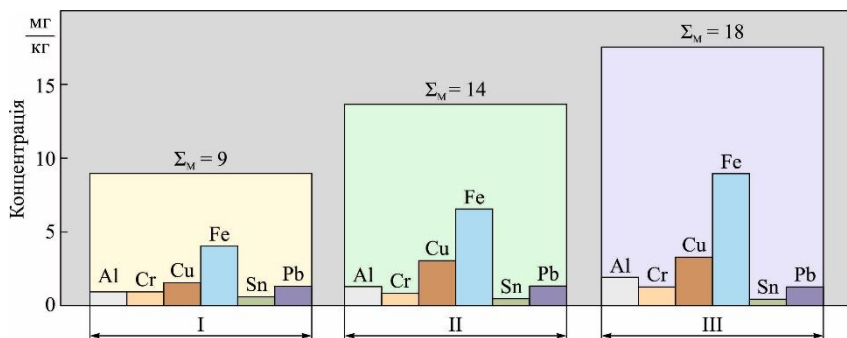


Рис. 3. Вміст механічних домішок в моторному мастилі Shell Melina S30 під час експлуатації суднових дизелів MAN-Diesel&Turbo 5L23/30H на різних паливах: I – DMA; II – RME180; III – RMG380

Висновки та перспективи подальших досліджень. Експериментальними дослідженнями, які були проведені на суднових СОД MAN-Diesel&Turbo 5L23/30H, встановлено, що для суднових моторних палив DMA, RME180, RMG380 (які вказані в порядку погіршення структурного та фракційного складу) характерно:

- 4...8 % підвищення температури випускних газів (для діапазону навантажень в межах 60...80 % від номінального значення);
- 1,6...2-х кратне збільшення продуктів зносу в моторному мастилі, яке використовується в системі циркуляційного мащення.

Моторні палива погіршеного структурного та фракційного складу (через їх меншу вартість) сприяють зниженню експлуатаційних

витрат на судову енергетичну установку, але при цьому збільшується температурне навантаження та підвищують контактні напруження в парах тертя судових дизелів. Тому під час розробці рекомендацій по використанню подібних палив необхідно виконувати комплексну оцінку: економічну – яка сприятиме визначенню фінансових витрат та експлуатацію дизелів суден морського та внутрішнього водного транспорту, та теплоенергетичну – за допомогою якої визначається зміна технічного стану та попереджається критична та надкритична експлуатація дизелів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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>.

2. Мадей В. В. Використання альтернативного палива в судових середньообертових дизелях // Суднові енергетичні установки: наук. - техн. зб. – 2021. – Вип. 43. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 45-53. doi: 10.31653/smf343.2021.41-53.

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

4. 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.

5. 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.

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

7. 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.

8. 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>.

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

10. 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. – Вип. 25. – Одесса : ОНМА. – С. 109-118.

11. Сагін 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.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. Мадей В.В. Використання в судових 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.

17. 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.

18. 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.

19. 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.

20. 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.

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

22. 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.

23. 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.

24. 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.

25. <https://shipandbunker.com/prices> (дата звернення 01.12.2022 р.)

26. Парменова Д.Г., Побережний Р.В., Співак Б.А. Вдосконалення роботи суднової системи підготовки палива за рахунок використання процесу його гідромеханічної обробки // Суднові енергетичні установки : наук. -техн. зб. – 2021. – Вип. 43. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 207-222. doi: 10.31653/smf343.2021.207-222.