

6. Згуровський М.З. Основи системного аналізу / М.З. Згуровський Н.Д. Панкратова. – К. Вид. група BHV, 2007. – 546 с.

7. Гнеденко Б.В., Колмогоров А.Н. Предельные распределения для сумм независимых случайных величин.- М.: ГИТТЛ, 1949.-264 с.

**Zazirnyi A.A.**

### **DETERMINATION AND CONTROL OF THE LOCATION OF THE VESSEL USING Fuzzy LOGIC**

*The purpose of this study is to study the possibilities of increasing the safety elements of the ship's navigation with insufficient navigational information using fuzzy logic systems. For this, it is necessary to research the methods of controlling the location of the ship based on fuzzy logic, the development of a new approach to determining the parameters of the state vector of the ship, controlling the location using the methods of fuzzy set theory; in the estimation of the parameters of the ship's state vector, which are included in the system from various sources. The paper proposes a method of estimation using fuzzy numbers. The mentioned method allows to simultaneously evaluate several parameters of the ship's state vector, as well as to visualize dangerous and safe parameters. The obtained data can be applied in the decision support system, which will later become the most important aspect of choosing the trajectory of the ship's movement, that is, the safe management of the ship.*

**Key words.** *maritime transport, transport system, freight traffic, safety, navigation equipment, shipmasters, shipping companies, navigation accidents, compressed water areas, pre-laying of the path, global navigation satellite systems, information environment, coordinate accuracy, automation, navigation safety*

УДК 629.5

[doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.18](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.18)

**Сагін С.В., Заблоцький Ю.В.**

### **ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ**

*Розглянути питання щодо діагностування технічного стану енергетичної установки засобів водного транспорту. Виконаний аналіз проектування та експлуатації енергетичних установок засобів водного транспорту визначив їх вдосконалення доцільно вести за наступними напрямками: підвищення стійкості роботи деталей кривошипно-шатунного механізму і підшипників руху; зниження втрат енергії за рахунок підвищення пружнодемпфуючих властивостей мастильного матеріалу, що забезпечує процеси мащення та охолодження вузлів дизеля валу та лінії валопроводу; мінімізації гідравлічних втрат і контактних навантажень у паливній апаратурі високого тиску; розвитку методів діагностики технічного стану вузлів і деталей дизеля, а також функціональних характеристик робочих рідин, що забезпечують отримання корисної роботи. Підтвердженням цього стали результати випробувань, що виконувались на суднових дизелях 6EY22AW та полягали в вимірюванні механічного коефіцієнта корисної дії на різних режимах роботи (що відповідають 35-ти, 50-ти, 65-ти і 80-ти %-ому навантаженню) за різної інтенсивності поповнення системи мащення (через кожні 100 годин роботи, через кожні 25 годин роботи та через кожні 10 годин роботи) та за різних варіантах додавання*

поверхнево активних речовин до моторного мастила. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що зниження механічних втрат дизеля пропорційне зростанню його механічного коефіцієнту корисної дії. Цей параметр під час роботи дизеля 6EY22AW фірми Yanmar з рекомендованою фірмою-виробником інтенсивністю доливання моторного мастила в циркуляційну систему мащення та без додаткового додавання поверхнево-активних речовин до об'єму моторного мастила в діапазоні навантаження 35...80 % від номінального навантаження знаходиться в межах 0,722...0,842. Вибір оптимального режиму поповнення циркуляційної системи, а також додавання в загальний обсяг циркуляційної системи поверхнево-активної речовини з оптимальною концентрацією сприяє 9,62...14,62 %-ому збільшенню механічного коефіцієнту корисної дії дизеля та відповідному зменшенню його механічних втрат. Одночасно з цим були виконані дослідження з визначення вмісту металевих домішок, що потрапляють в моторне мастило циркуляційної системи мащення та загального лужного числа мастила на протязі 1000-ти годинної експлуатації дизелів. При цьому було визначено, що експлуатаційним умовам, під час яких спостерігається найбільші значення механічного коефіцієнту корисної дії відповідають випадки найменшого вмісту в мастилі металевих домішок та найбільших значень остаточного лужного числа мастила.

**Ключові слова:** аналіз, діагностування, загальне лужне число, засоби водного транспорту, коефіцієнт корисної дії, контроль технічного стану, методи контролю, моторне мастило, система мащення, суднова енергетична установка, технічний стан

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** Енергетичні установки засобів водного транспорту є багатокомпонентними структурними об'єктами, при цьому:

- їх функціонування починається з прийому на борт судна робочих рідин (палива, мастила, води) [1, 2];
- їх основним експлуатаційним завданням є перетворення потенційної енергії робочих рідин на корисну роботу, що забезпечує або рух судна, або вироблення теплової та електричної енергії [3, 4];
- завершальним етапом їх виробничого циклу є видалення відпрацьованих газів і охолоджувальних рідин у довкілля [5, 6].

При цьому необхідно забезпечувати не тільки вимоги щодо отримання ефективної потужності і підтримки екологічних параметрів, але й мінімальний рівень втрат енергії під час перетворення вхідної енергії на корисну роботу [7, 8]. Системами, які сприяють цьому, є системи мащення, які за своїм призначенням та функціонуванням поділяють на циркуляційні та циліндрові [9, 10].

Енергетичні установки засобів водного транспорту виконують функції головних (в разі використання їх потужності для забезпечення руху судна) та допоміжних (в випадку, коли їх потужність споживається електродвигунами суднового обладнання [11, 12].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Конструкційні та технологічні заходи, що забезпечують зниження втрат енергії під час забезпечення процесів мащення судових двигунів внутрішнього згорання, розглядалися в різних роботах. При цьому увага приділялася модифікації поверхонь циліндро-поршневої групи [13, 14], забезпеченню мінімальної витрати палива [15, 16] і властивостей робочих поверхонь основних елементів дизеля [17, 18].

Аналіз досвіду проектування та експлуатації судових пропульсивних комплексів, що забезпечують мінімальний рівень необертних втрат, показує, що їх вдосконалення доцільно вести за наступними напрямками:

- підвищення стійкості роботи деталей кривошипно-шатунного механізму (КШМ) і підшипників руху [19, 20];
- зниження втрат енергії за рахунок підвищення пружнодемпфуючих властивостей мастильного матеріалу, що забезпечує процеси мащення та охолодження КШМ і підшипників ковзання, а також працездатний стан колінчатого валу [21, 22];

- мінімізації гідравлічних втрат і контактних навантажень у паливній апаратурі високого тиску [23, 24];

- розвитку методів діагностики технічного стану вузлів і деталей дизеля, а також функціональних характеристик робочих рідин, що забезпечують отримання корисної роботи [25, 26].

Найбільшим доступним в умовах експлуатації вже існуючого енергетичного обладнання є оптимізація роботи циркуляційних систем мащення.

**Формулювання цілей статті.** Ціллю статті була розробка методу діагностування технічного стану елементів головної енергетичної установки засобів водного транспорту.

**Виклад основного матеріалу.** Технічний стан та експлуатаційні показники роботи судових енергетичних установок визначаються ефективністю роботи систем мащення, які забезпечують мінімальний рівень втрат енергії під час її передачі до споживачів. Підвищення ефективності роботи систем мащення досягається різними шляхами [27, 28]. З цілого ряду методів, що є найбільш прийнятними для енергетичних установок засобів водного транспорту умов (з технологічної та фінансової точки зору), є використання оптимального доливання мастила в систему та застосування поверхнево активних речовин (ПАР) [29, 30].

Вплив інтенсивності доливання моторного мастила в загальний об’єм циркуляційної системи мащення на механічні втрати енергії можливо оцінити за зміною механічного коефіцієнту корисної дії (ККД) дизеля для різних умов експлуатації (різних умов поповнення системи мащення свіжим мастилом). Для цього виконувалось вимірювання механічного ККД на різних режимах роботи дизелів 6EY22AW (що відповідають 35-ти, 50-ти, 65-ти і 80-ти %-ому навантаженню) за різної інтенсивності поповнення системи мащення:

- 1-ий дизель – через кожні 100 годин роботи;
- 2-ий – через кожні 25 годин роботи №
- 3-ий – через кожні 10 годин роботи.

На кожному з досліджуваних режимів ( $0,35N_{enom}$ ,  $0,5N_{enom}$ ,  $0,65N_{enom}$ ,  $0,8N_{enom}$ , де  $N_{enom}$  – номінальне навантаження) дизелі експлуатувалися рівний проміжок часу, який залежно від навантаження судової електростанції становив 1,5...2,5 години. Зміна навантаження на двигуни за цей час не перевищувало  $\pm 2,5\%$ , а отриманий масив значень механічного ККД дозволяв із високою точністю визначити його середнє значення [31].

У результаті були отримані значення, узагальнені у вигляді таблиці 1, за результатами якої побудована діаграма, що наведена на рис. 1.

Таблиця 1 – Механічний ККД та відносне збільшення механічного ККД, %, судових дизелів 6EY22AW фірми Yanmar за різних умов експлуатації

Умови експлуатації	Навантаження на двигун			
	$0,35N_{enom}$	$0,5N_{enom}$	$0,65N_{enom}$	$0,8N_{enom}$
Двигун № 1 (поповнення через 100 годин)	$\frac{0,722}{-}$	$\frac{0,776}{-}$	$\frac{0,793}{-}$	$\frac{0,842}{-}$
Двигун № 2 (поповнення через 25 годин)	$\frac{0,786}{8,86}$	$\frac{0,812}{4,64}$	$\frac{0,828}{4,41}$	$\frac{0,868}{3,09}$
Двигун № 3 (поповнення через 10 годин)	$\frac{0,803}{11,22}$	$\frac{0,831}{7,09}$	$\frac{0,842}{6,18}$	$\frac{0,874}{3,80}$

Відносне збільшення механічного ККД, значення якого наведені в табл. 1, визначалось за виразами  $\Delta\eta = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta} \cdot 100\%$  – для двигуна № 2 та  $\Delta\eta = \frac{\eta_3 - \eta_1}{\eta} \cdot 100\%$  – для двигуна № 3, де  $\eta_1, \eta_2, \eta_3$  – механічний ККД відповідних дизелів.

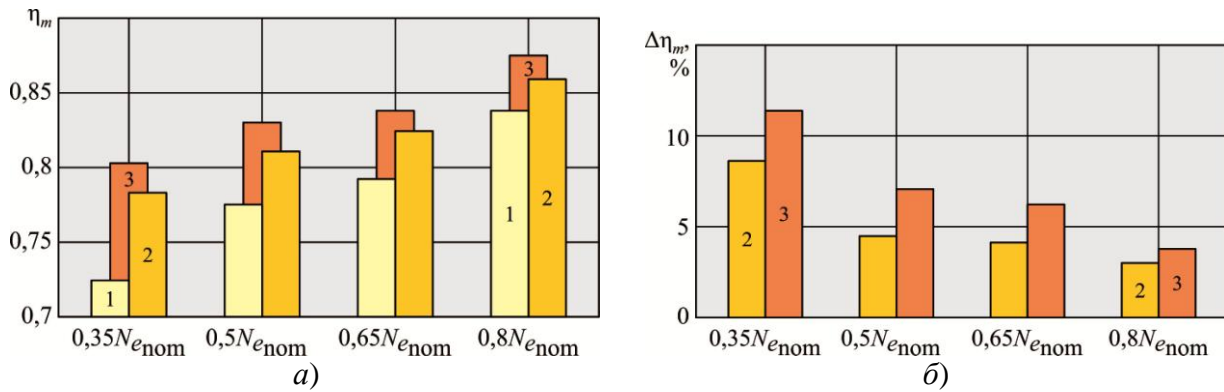


Рисунок 1 – Зміна механічного ККД (а) та відносне збільшення механічного ККД (б) суднових дизеля 6EY22AW фірми Yanmar за різної інтенсивності доливання мастила: 1 – через 100 годин; 2 – через 25 годин; 3 – через 10 годин

Наведені в таблиці 1 і на рис. 1 результати підтверджують зниження втрат енергії під час скорочення часу між доливанням мастила в обсяг циркуляційної системи.

Для визначення впливу ПАР на втрати енергії суднових середньообертових дизелів експерименти отримали наступне продовження [32, 33]. Як і в попередній серії експериментів, дизелі експлуатувалися на рівновеликому навантаженні  $(250...750) \pm (15...45)$  кВт, однакову кількість часу 12...15 годин/добу.

Технологічна послідовність проведення експериментів полягала в наступному. Перший дизель був «контрольним», і після заміни мастила в його системі мащення інших технічних заходів з ним не проводилося, і відповідно до вимог заводу-виробника його експлуатація здійснювалася протягом 100 годин роботи без проміжного поповнення мастила в системі. За цей період експлуатації кількість мастила в циркуляційній системі дизеля не знижувалась нижче гранично допустимого значення. При цьому в циркуляційній системі з точністю  $\pm(2,5...3)\%$  підтримувалися постійний тиск і температура мастила. Система мащення другого дизеля поповнювалася свіжим мастилом через кожні 10 годин роботи до верхнього рекомендованого в картері дизеля, що відповідало максимально можливого обсягу мастила в системі. Даний період поповнення було визначено в якості оптимального під час проведення попередніх експериментів. Система мащення третього дизеля спочатку заповнювалася мастилом з ПАР, що містить у своєму складі солі міді. Оптимальна концентрація ПАР становила 0,1 % від обсягу мастила в системі мащення і була встановлена за допомогою попередніх оптичних і триботехнічних досліджень [34, 35]. Крім того, через кожні 10 годин роботи здійснювалося поповнення циркуляційної системи мащення даного дизеля мастилом з такою ж концентрацією ПАР [36, 37].

Аналогічно попередній серії експериментів, для кожного дизеля в діапазоні навантажень  $(0,35...0,8)N_{enom}$  виконувалося визначення механічного ККД. Результати цих експериментів наведені в табл. 2 та надані на рис. 2.

Таблиця 2 – Механічний ККД та відносне збільшення механічного ККД, %, суднових дизелів 6EY22AW фірми Yanmar за різних умов експлуатації

Умови експлуатації	Навантаження на двигун			
	$0,35N_{enom}$	$0,5N_{enom}$	$0,65N_{enom}$	$0,8N_{enom}$
Поповнення через 100 годин	<u>0,726</u> –	<u>0,771</u> –	<u>0,789</u> –	<u>0,832</u> –
Поповнення через 10 годин	<u>0,808</u> 11,29	<u>0,841</u> 9,08	<u>0,847</u> 7,35	<u>0,872</u> 4,81
Поповнення через 10 годин та додавання ПАР	<u>0,834</u> 14,88	<u>0,871</u> 12,97	<u>0,881</u> 11,66	<u>0,912</u> 9,62

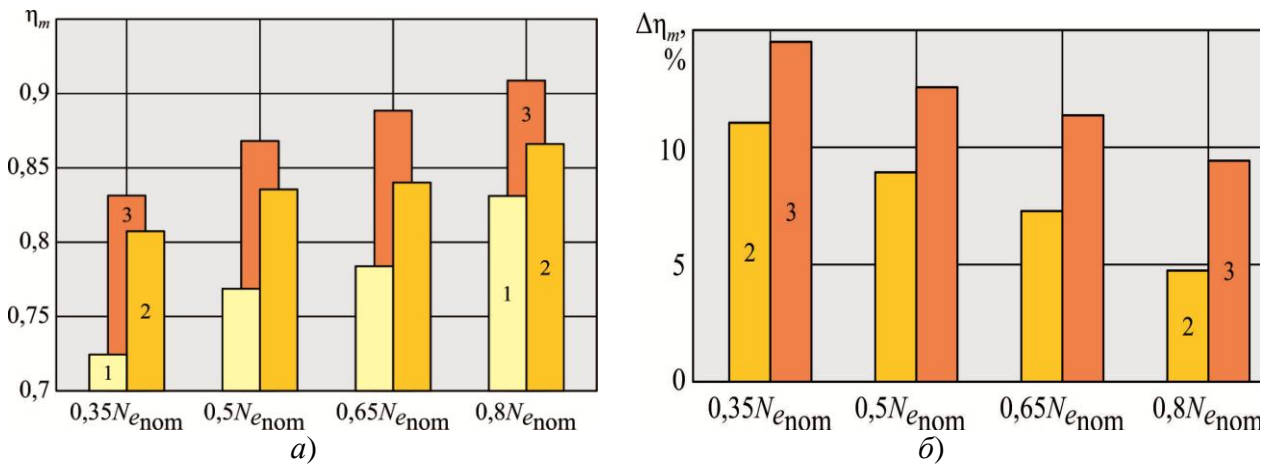


Рисунок 2 – Зміна механічного ККД (а) та відносьне збільшення механічного ККД (б) суднових дизеля 6EY22AW фірми Yanmar за різної інтенсивності доливання мастила: 1 – робота системи мащення в штатному режимі; 2 – поповнення системи мащення через 10 годин роботи; 3 – поповнення системи мащення через 10 годин роботи і додавання ПАР

З метою діагностування технічного стану дизеля виконувався аналіз моторного мастила, яке використовувалось в системі циркуляційного мащення дизелів. При цьому в судновій лабораторії фірми Unitor визначались значення вмісту в мастилі металевих домішок, Fe, ppm, та залишкового лужного числа, BN, мгКОН/г. За вмістом металевих домішок Fe, ppm, у мастилі, що відпрацювало, можливо оцінити рівень втрат енергії під час поступального руху в парах тертя поршневе кільце – циліндрова втулка та вкладиш підшипника – колінчатий вал. Чим вище значення Fe у відпрацьованому мастилі, тим більше знос цих пар тертя, а отже більше як контактні взаємодії, так і втрати енергії.

Значення залишкового лужного числа BN, мгКОН/г, характеризує (зокрема) гідравлічну щільність трибологічної системи поршневе кільце – мастильний шар – циліндрова втулка. Чим вище цей показник, тим менша частина газів, що утворюються в циліндрі під час згоряння палива, проходить по дзеркалу втулки циліндрової через можливі нещільності між поршневими кільцями та циліндровою втулкою. Таким чином, у циліндрі разом з паливом згоряє менша частина мастила, що знаходиться лише над верхнім / верхніми поршневими кільцями.

Результати виконаних досліджень наведено в табл. 3 та на рис. 3. Визначення значень вмісту в мастилі металевих домішок та залишкового лужного числа виконувалось для різних навантажень суднових дизелів, що відповідали 0,35N<sub>enom</sub>, 0,5N<sub>enom</sub>, 0,65N<sub>enom</sub>, 0,8N<sub>enom</sub>. При цьому в зв'язку зі збігом цих значень в табл. 3 та на рис. 3 наведені результати випробувань, що відповідають експлуатаційному режиму 0,8N<sub>enom</sub>.

Таблиця 3 – Результати експерименту

Показник	Час експлуатації, години														
	200			400			600			800			1000		
	1	2	3	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Вміст металевих домішок у відпрацьованому мастилі, Fe, ppm	52	43	28	53	36	29	48	39	26	52	42	29	49	44	28
Залишкове лужне число, BN, мгКОН/г мастила	46	41	34	47	42	33	44	38	32	43	36	31	44	41	33

*Примітка:* 1 – робота системи мащення в штатному режимі; 2 – поповнення системи мащення через 10 годин роботи; 3 – поповнення системи мащення через 10 годин роботи і додавання ПАР

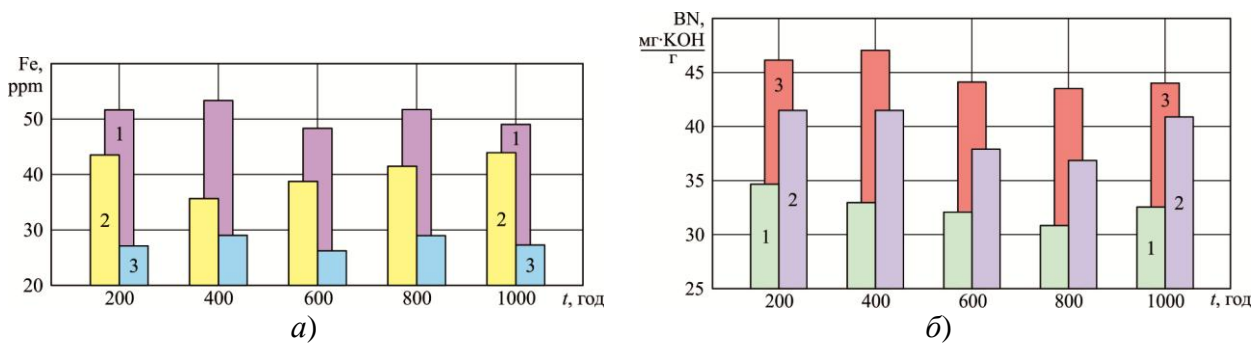


Рис. 3. Зміна вмісту металевих домішок (а) та залишкового лужного числа (б) відпрацьованому мастилі судових дизеля 6EY22AW фірми Yanmar за різної інтенсивності доливання мастила:

- 1 – робота системи мащення в штатному режимі;
- 2 – поповнення системи мащення через 10 годин роботи;
- 3 – поповнення системи мащення через 10 годин роботи і додавання ПАР

Зіставлення результатів, що наведені в табл. 1-3, свідчать, що випадкам найбільшого значення механічного ККД відповідають випадку найменшого вмісту в мастилі металевих домішок та найбільших значень остаточного лужного числа мастила.

**Висновки.** На підставі виконаних досліджень визначимо наступне.

1. Із цілого ряду методів зниження механічних втрат у судових середньообертових дизелях найбільш прийнятними для судових умов (з технологічної та фінансової точки зору) є використання оптимального доливання мастила в систему циркуляційного мащення та використання поверхнево активних речовин. Перший (доливання мастила) рекомендовано заводом-виробником, але, як правило, розроблено для номінального режиму роботи дизеля за умови його експлуатації за стандартних умов. Другий (використання поверхнево активних речовин) не має широкого розповсюдження через необхідність додаткових досліджень та розробки спеціальних рекомендацій, що враховують особливості експлуатації дизелів на різних експлуатаційних режимах, а також у випадках зміни одного сорту палива на інший.

2. Діагностування зниження механічних втрат в судових дизелях можливо за оцінкою його механічного ККД. Цей параметр під час роботи дизеля 6EY22AW фірми Yanmar з рекомендованою фірмою-виробником інтенсивністю доливання моторного мастила в циркуляційну систему мащення та без додаткового додавання ПАР до об'єму моторного мастила в діапазоні навантаження  $(0,35...0,8)N_{\text{ном}}$  знаходиться в межах  $0,722...0,842$ . Вибір оптимального режиму поповнення циркуляційної системи, а також додавання в загальний обсяг циркуляційної системи ПАР з оптимальною концентрацією (визначення якої здійснюється попередніми лабораторними дослідженнями), сприяє збільшенню механічного ККД дизеля до рівня  $0,834...0,912$  та відповідному зниженню механічних втрат та збільшенню ефективної потужності. При оптимальному поповненні циркуляційної системи (яке відповідно до експериментальних досліджень складає 10 годин) та додаванням до обсягу циркуляційної системи мащення ПАР (з оптимальною концентрацією 0,1 % за загальним обсягом системи) можливо досягнення  $9,62...14,62$  %-е збільшення механічного ККД дизеля та відповідне зменшення його механічних втрат.

3. Діагностування втрати енергії, що виникають при зворотно-поступальному русі у вузлах тертя судових двигунів внутрішнього згорання (зокрема при переміщенні поршня в циліндрі), та обертального руху колінчатого валу в мотильових та рамових підшипниках може бути виконано за характеристиками відпрацьованого мастила, взятого з його картеру. При

цьому як критерій доцільно використовувати вміст металевих домішок у відпрацьованому мастилі та його залишкове лужне число. Збільшення вмісту механічних домішок свідчить про підвищення рівня контактних взаємодій у парі тертя поршневі кільця – втулка циліндра та колінчатий вал – вкладиш підшипника та зростання втрат енергії. Значення залишкового лужного числа мастила, що використовується для змащування циліндропоршневої групи дизеля, може характеризувати гідравлічну щільність трибологічної системи поршневе кільце – мастильний шар – циліндрова втулка. При цьому великим значенням залишкового лужного числа мастила відповідає більша гідравлічна щільність і менші значення мінімально неминучих втрат енергії.

4. Експериментально встановлено взаємозв'язок між механічним ККД дизеля та характеристиками мастила, що використовується в його системі циркуляційного мащення. Експлуатаційним умовам, під час яких спостерігається найбільші значення механічного ККД відповідають випадки найменшого вмісту в мастилі металевих домішок та найбільших значень остаточного лужного числа мастила.

5. Визначення механічного ККД суднових дизелів потребує значно меншого часу на виконання в порівнянні з методами діагностування технічного стану під час яких виконується аналіз моторного мастила. Тому саме метод визначення механічного ККД рекомендується для діагностування технічного стану енергетичних установок засобів водного транспорту.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Дакі О.А., Пліта Л.Л., Трофименко І.В., Федунів В.М. Особливості та вимоги щодо навігаційного забезпечення безпеки судноводіння на внутрішніх судноплавних шляхах // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 184-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.15.

2. 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.

3. Мельник О.М., Онищенко О.А., Парменова Д.Г. Методика організації самооцінки ефективності системи управління безпекою судноплавної компанії // Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – 2023. – Вип. 1(37). – С. 154-160. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.17.

4. 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.

5. Тимошук О.М., Боріна М.В. Дослідження методів підвищення екологічності суднових енергетичних установок у водному середовищі // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 240-252. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21.

6. 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 and Technology. – 2022.– Vol. 69(1). – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7.

7. Sagin S., Karianskyi S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Tkachenko I. Impact of Biofuel on the Environmental and Economic Performance of Marine Diesel Engines // Journal of Marine Science and Engineering. – 2023. – Vol. 11(1). – 120. https://doi.org/10.3390/jmse11010120.

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 of Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10(10). – 1373. https://doi.org/10.3390/jmse10101373.

9. Сагін С. В. Зниження механічних втрат у суднових середньооберткових дизелях за рахунок оптимізації роботи циркуляційних систем мащення // Вісник Одеського національного морського університету : Зб. наук. праць. – 2020. – Вип. 1(61). – С. 87-96. doi.org 10.47049/2226-1893-2020-1-87-96.

10. Сагін С.В., Бондар С.А., Столярик Т.О. Оцінка безвідмовності судових дизелів за технічним станом моторного мастила циркуляційних систем мащення // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – № 1(37). – 59-70. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.06.
11. Майданевич С.Б., Тимошук О.М. Суб'єкти та принципи міжнародного морського права // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2021. – Вип. 3(34). – С. 39-47. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.05.
12. Сагин 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. – С. 79-89.
13. Тимошук О.М., Мельник О.В. Дослідження безпеки бункерування на водному транспорті // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2020. – Вип. 1(29). – С. 5-13. doi.org/10.33298/2226-8553/2020.1.29.01.
14. 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.
15. Богом'я В.І., Бажак О.В. Методика планування випробувань зразків обладнання засобів водного транспорту на безвідмовність // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 1(35). – С. 25-32. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.03.
16. Sagin S., Sagin A. Development of method for managing risk factors for emergency situations when using low-sulfur content fuel in marine diesel engines // Technology Audit and Production Reserves. – 2023. – № 5 (1(73)). – P. 37–43. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.290198>.
17. Зверьков Д.О., Сагін С.В. Зниження механічних втрат у судових дизелях // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 40. – С. 20-25. DOI : 10.31653/smf341.2020.20-25.
18. 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.
19. Кривий М.О., Сагін С.В. Визначення впливу властивостей моторних мастил на розподіл тиску в парах ковзання судових дизелів // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2021. – Вип. 43. – С. 18-24. doi:10.31653/smf343.2021.18-24
20. 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>.
21. 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>.
22. Сагін С.В., Столярик Т.О. Аналіз експлуатаційних характеристик моторних мастил судових дизелів // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2021. – Вип. 43. – С. 69 - 80. doi: 10.31653/smf343.2021.69-80.
23. 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. – С. 108-119. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-108-119.
24. Сагін С.В. Зниження механічних втрат у судових середньооборотних дизелях // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 40. – С. 5-11. DOI : 10.31653/smf340.2020.5-11.
25. 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.

26. Сагін С.В., Сагін А.С. Контроль та діагностування надійності та економічності дизелів морських та річкових засобів транспорту // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2023. – Вип. 46. – С. 118-131. doi: 10.31653/smf46.2023.118-131.

27. 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. – С.109-118.

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

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

30. Сагін С.В. Повышение надежности работы прецизионных пар топливной аппаратуры судовых дизелей за счет использования органических покрытий // Вісник Одеськ. нац. мор. ун-ту. – 2018. – Вип. 4(57). – С. 109-120.

31. Поповский А.Ю., Сагін С.В. Оценка эксплуатационных свойств смазочно-охлаждающих жидкостей судовых технических средств // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сборник. – 2016. – Вып. 22. – С. 66-74.

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

33. 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. – С.116-125.

34. Сагін С.В. Зниження енергетичних втрат в прецизійних парах паливної апаратури судових дизелів // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 38. – С. 132-142.

35. 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.

36. Голиков В.А., Голиков В.В., Онищенко О.А. Використання технологій методології науки у дослідженнях морського та внутрішнього водного транспорту // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 1(35). – С. 5-14. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.01.

37. 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.

## REFERENCES

1. Daki O.A., Plita L.L., Trofymenko I.V., Fedunov V.M. Feature and requirements for navigational safety of navigation on inland waterways // Water transport. – 2022. – Vol. 2(36). – P. 184-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.15.

2. 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.

3. Melnyk O.M., Onishchenko O.A., Parmenova D.G. Management techniques for self-assessment of shipboard safety management system efficiency // Water transport. – 2023. – Vol. 1(37). – С. 154-160. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.17.

4. 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>.
5. Tymoshchuk O., Borina M. Research of methods of enhancing the environmental facility of ship power plants in the aquatic environment // *Water transport.* – 2022. – Vol. 2(36). – P. 240-252. [doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21).
6. 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 and Technology.* – 2022.– Vol. 69(1). – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7.
7. Sagin S., Karianskyi S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Tkachenko I. Impact of Biofuel on the Environmental and Economic Performance of Marine Diesel Engines // *Journal of Marine Science and Engineering.* – 2023. – Vol. 11(1). – 120. <https://doi.org/10.3390/jmse11010120>.
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 of Marine Science and Engineering.* – 2022. – Vol. 10(10). – 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.
9. Sagin S.V. Reduction of mechanical losses in marine medium-speed diesel engines due to optimization of lubrication circulation systems // *Herald of the Odessa National Maritime University.* – 2020. – Vol. 1(61). – P. 87 -96. [doi.org 10.47049/2226-1893-2020-1-87-96](https://doi.org/10.47049/2226-1893-2020-1-87-96).
10. Sagin S.V., Bondar S.A., Stoliaryk T.O. Assessment of the reliability of marine diesel engines according to the technical condition of engine oil of circulating lubrication systems // *Water transport.* – 2023. – Vol 1(37). – 59-70. [doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.06](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.06).
11. Maydanevich S.B., Tymoshchuk O. Subjects and principles of the international maritime law // *Water transport.* – 2021. – Vol. 3(34). – P. 39-47. [doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.05](https://doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.05).
12. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. Optimization of operating modes of the exhaust gas bypass system of marine medium-speed diesel engines // *Automation of ship technical facilities.* – 2019. – Vol. 25. – P. 79-89.
13. Timoshchuk O.M., Melnik O.V. Research of safety of bunking on maritime transport // *Water transport.* – 2020. – Vol. 1(29). – P. 5-13. [doi.org/10.33298/2226-8553/2020.1.29.01](https://doi.org/10.33298/2226-8553/2020.1.29.01).
14. 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.
15. Bohomia V., Bazhak O. // *Water transport* – 2022. – Vol. 1(35). – P. 25-32. [doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.03](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.03).
16. Sagin S., Sagin A. Development of method for managing risk factors for emergency situations when using low-sulfur content fuel in marine diesel engines // *Technology Audit and Production Reserves.* – 2023. – № 5 (1(73)). – P. 37–43. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.290198>.
17. Zverkov D.O., Sagin S.V. Reduction of mechanical losses in marine diesel engines. – 2020. – Vol. 40. – P. 20-25. DOI : 10.31653/smf341.2020.20-25.
18. 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.
19. Kryvyi M. O., Sagin S. V. Determination of the influence of properties of engine oils on pressure distribution in friction pairs of marine diesel engines// *Ship power plants.* – 2021. – Vol. 43. – P. 18-24. doi:10.31653/smf343.2021.18-24.
20. 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>.

21. 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>.
22. Sagin S.V., Stoliaryk T.O. Analysis of operational characteristics of motor oils of marine diesels // *Ship power plants*. – 2021. – Vol. 43. – P. 69-80. doi: 10.31653/smf343.2021.69-80.
23. Sagin S.V., Stoliaryk T.O. Dynamics of marine diesel engines using lube oils with different structural characteristics // *Automation of ship technical facilities*. – 2021. – Vol. 27. – P. 108-119. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-108-119.
24. Sagin S.V. Reduction of mechanical losses in marine medium-speed diesel engines // *Ship power plants*. – 2020. – Vol. 40. – P. 5-11. DOI : 10.31653/smf340.2020.5-11.
25. Kuropyatnyk O.A., Sagin S.V. Marine diesel exhaust gas management to ensure environmental performance // *Automation of ship technical facilities*. – 2018. – Vol. 24. – P. 72-80.
26. Sagin S.V., Sagin A.S. Control and diagnosis of reliability and economy of diesel engines of sea and river means of transport // *Ship power plants*. – 2023. – Vol. 46. – P. 118-131. doi: 10.31653/smf46.2023.118-131.
27. Matskevych D.V., Sagin S.V., Hanmamedov S.A. Changes in the rheological characteristics of lubricants in the circulating oil system during operation of a medium-speed engine // *Ship power plants*. – 2010. – Vol. 25. – P. 109-118.
28. Sagin S.V. Determination of the range of lubricant viscosity stratification in tribological systems of marine diesel engines // *Herald of the Odessa National Maritime University*. – 2019. – Vol. 1(58). – P. 89-100.
29. Popovskii A.Y., Sagin S.V. Complex assessment of operational characteristics of lubricating hydrocarbon liquids // *Automation of ship technical facilities*. – 2014. – Vol. 20. – P. 74-83.
30. Sagin S.V. Increasing the reliability of precision pairs of marine diesel fuel equipment through the use of organic coatings // *Herald of the Odessa National Maritime University*. – 2018. – Vol. 4(57). – P. 109-120.
31. Popovskii A.Y., Sagin S.V. Evaluation of operational properties of lubricating and cooling liquids of marine technical equipment // *Automation of ship technical facilities*. – 2016. – Vol. 22. – P. 66-74.
32. Sagin S.V., Zablotsky Yu.V., Perunov R.V. Technology of use and test results of fuel additives for marine diesel engines // *Problems of technical*. – 2012. – Vol. 3. – P. 84-103.
33. Sagin S.V., Matskevych D.V. Optical characteristics of boundary lubricating layers of oils used in circulation systems of marine diesel engines // *Ship power plants*. – 2011. – Vol. 26. – P. 116-125.
34. Sagin S.V. Reduction of energy losses in precision steam fuel equipment of marine diesel engines // *Ship power plants*. – 2018. – Vol. 38. – P. 132-142.
35. Sagin S.V., Zablotsky Yu.V. Determination of tribological characteristics of surfaces based on the degree of ordering of wall layers of hydrocarbon liquids // *Problems of technical*. – 2011. – Vol. 3. – P. 78-88.
36. Golikov V.A., Golikov V.V., Onishchenko O.A. Use of scientific and methodological technologies in maritime and inland waterway transport // *Water transport*. – 2022. – Vol. 1(35). – P. 5-14. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.01.
37. 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.

*Sagin S.V., Zablotskyi Yu.V.*

## **DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DIAGNOSING THE TECHNICAL CONDITION OF ELEMENTS OF THE MAIN POWER PLANT OF WATER TRANSPORT**

*Consider the issue of diagnosing the technical condition of the power plant of water transport. The performed analysis of the design and operation of power plants of water transport means determined that their improvement should be carried out in the following directions: increasing the stability of the work of the parts of the crank-connecting mechanism and the motion bearings; reduction of energy losses due to the increase of elastic damping properties of the lubricant, which ensures lubrication and cooling of the diesel components of the shaft and the shaft line; minimization of hydraulic losses and contact loads in high-pressure fuel equipment; development of methods for diagnosing the technical condition of diesel engine components and parts, as well as the functional characteristics of working fluids that ensure useful work. This was confirmed by the results of tests performed on 6EY22AW marine diesel engines, which consisted in measuring the mechanical efficiency coefficient at different operating modes (corresponding to 35, 50, 65 and 80% load) at different intensities replenishment of the lubrication system (after every 100 hours of operation, after every 25 hours of operation and after every 10 hours of operation) and according to various options of adding surface-active substances to engine oil. As a result of experimental studies, it was established that the reduction of mechanical losses of a diesel engine is proportional to the increase of its mechanical efficiency. This parameter during the operation of the Yanmar 6EY22AW diesel engine with the intensity of adding motor oil to the circulation lubrication system recommended by the manufacturer and without additional addition of surfactants to the volume of motor oil in the load range of 35...80% of the nominal load is within 0.722 ...0.842. The choice of the optimal mode of replenishment of the circulation system, as well as the addition of a surfactant with an optimal concentration to the total volume of the circulation system contributes to a 9.62-14.62% increase in the mechanical efficiency of the diesel engine and a corresponding reduction in its mechanical losses. At the same time, studies were carried out to determine the content of metal impurities entering the engine oil of the circulating lubrication system and the total alkalinity of the oil during 1,000 hours of diesel engine operation. At the same time, it was determined that the operating conditions, during which the highest values of the mechanical coefficient of useful action are observed, correspond to the cases of the lowest content of metal impurities in the lubricant and the highest values of the final alkaline number of the lubricant.*

**Key words:** *analysis, diagnosis, total alkalinity, water transport means, efficiency factor, technical condition control, control methods, engine oil, lubrication system, ship power plant, technical condition*

УДК 629.5

[doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.19](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.19)

*Sagin S.V., Bondar S.A.*

## **РОЗРОБКА МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ ГОЛОВНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ**

*Розглянути питання щодо розробки методу діагностування технічного стану елементів головної енергетичної установки засобів водного транспорту. Визначено, що експлуатація пропульсивних комплексів засобів водного транспорту пов'язана з забезпеченням надійності, безвідмовності та належного технічного стану всіх його складових – корпусу судна, головного*