

Сагін С.В., Бондар С.А., Столярик Т.О.

ОЦІНКА БЕЗВІДМОВНОСТІ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ ЗА ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ МОТОРНОГО МАСТИЛА ЦИРКУЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ МАЩЕННЯ

Наведені результати досліджень, щодо оцінка безвідмовності судових дизелів за технічним станом моторного мастила циркуляційних систем мащення. Дослідження виконувались на судових чотиритактних дизелях Volvo Penta TMDA 163A, що виконують функції допоміжних двигунів спеціалізованого морського судна дедвейтом 10850 тонн., в циркуляційних системах мащення яких використовувались моторні мастила з різними характеристиками. Доведено, що основними експлуатаційними показниками моторного мастила, які визначають та забезпечують безвідмовність роботи судових дизелів є загальне лужне число та швидкість його зменшення, а також вміст в моторному мастилі механічних домішок, що характеризують знос деталей дизеля та забруднення мастила. Експериментально встановлено, що моторні мастила, які характеризуються меншою швидкістю зменшення загального лужного числа забезпечують більш якісне мащення судових дизелів, що відображається в підвищенні гідравлічної щільності та змащувальної здатності мастила. Підтвердженням цього (під час порівняння моторного мастила швидкість падіння загального лужного числа якого менш з іншим мастилом) стає більш повільне зниження тиску наприкінці процесу стиснення (що характеризує менший знос в парах тертя дизеля) та зменшення температури випускних газів (що характеризує більшу гідравлічну щільність в сполученні поршневе кільце – втулка циліндру). Також встановлено, що під час інтенсивного зменшення загального лужного числа моторного мастила погіршується його технічний стан, що виявляється в збільшенні механічних домішок (які є результатом його окислення або зносу деталей дизеля), що потрапляють до його об'єму. З часом це зменшує змащувальну здатність моторного мастила та знижує надійність роботи дизелі. Отримані результати свідчать про можливість діагностування безвідмовності роботи судових дизелів через технічний стан моторного мастила, яке використовується в його системі циркуляційного мащення.

Ключові слова: безвідмовність, експлуатаційні показники, морські засоби транспорту, моторне мастило, надійність, система мащення, судовий дизель, технічне обслуговування, технічний стан

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Ефективність роботи морських засобів транспорту визначається не лише їх морехідними якостями, а й значною мірою технічним рівнем та надійністю роботи судової енергетичної установки (СЕУ), основними об'єктами якої є головні та допоміжні двигуни. Надійність будь-якого енергетичного об'єкта є комплексним поняттям та характеризує його безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збереженість. В той же час, надійність є найважливішим показником якості дизеля та характеризує його спроможність зберігати з часом у встановлених межах значення всіх параметрів, що визначають його здатність виконувати функції джерела енергії на судні в заданих режимах та умовах використання, технічного обслуговування та ремонту [1]. З метою забезпечення безпеки мореплавання Міжнародна морська організація планомірно здійснює посилення вимог до надійності всієї СЕУ та судових дизелів зокрема. В даний час вирішення

питань забезпечення безпеки під час експлуатації суднових технічних засобів є важливою позицією, що визначає перспективи розвитку морського транспорту. Підтвердженням сказаного є включення до Міжнародної конвенції з охорони людської життя на морі 1974 року (SOLAS) як окремого розділу «Міжнародного кодексу з управління безпечною експлуатацією суден та запобігання забруднення» (МКУБ). Основні цілі МКУБ полягають у забезпеченні безпеки на морі, запобіганні нещасним випадкам або загибелі людей, попередження нанесення шкоди довкіллю та майну. Односпрямоване з вимогами МКУБ формулюються політика якості будь-якої судноплавної компанії, що пов'язана з управлінням безпекою, яка повинна:

- забезпечувати безпечну практику експлуатації суден (корпусу, навігаційного та палубного обладнання, СЕУ) та безпечні для членів екіпажу судна умови виконання професійних обов'язків [2, 3];

- забезпечувати захист від усіх виявлених ризиків [4, 5];

- постійно покращувати навички персоналу, що стосуються управління безпекою, включаючи готовність до аварійних ситуацій, пов'язаних як з безпекою також із захистом довкілля [6, 7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Безвідмовність є основною складовою надійності, тому що саме вона забезпечує виконання будь-яким об'єктом своїх функцій. Стосовно суднових дизелів безвідмовність визначають стан його основних елементів (деталей циліндрової групи, колінчатого валу, паливної апаратури) та систем (паливної, мащення, охолодження), що забезпечують його функціонування. Забезпечення необхідного рівня безвідмовності та збільшення часу безаварійних режимів роботи суднових дизелів досягається різними способами. З метою підвищення надійності циліндрових втулок забезпечують оптимальне дозування мастила в системах лубрикаторного мащення [8, 9]. Зменшення втрат на тертя в елементах паливних насосів високого тиску, та пов'язано з цим збільшення ресурсу їх роботи, виконується шляхом нанесення на поверхні плунжерів спеціальних покриттів [10, 11]. Одним зі способів забезпечення режимів гідродинамічного мащення в підшипникових вузлах є додавання до мастила поверхнево-активних речовин [12, 13]. Гарантований строк експлуатації суднових технічних засобів досягається шляхом визначення оптимальних режимів їх роботи та забезпеченням їх технічного обслуговування та ремонту [14, 15]. Одночасно з цим залишаються не визначеними оптимальні режими експлуатації суднових систем, що забезпечують безвідмовність суднових дизелів, зокрема систем мащення та безпосередньо моторного мастила, яке є невід'ємною складовою цих систем.

Формулювання цілей статті. Ціллю статті є оцінка безвідмовності суднових дизелів за технічним станом моторного мастила циркуляційних систем мащення та визначення експлуатаційних показників моторного мастила, які впливають та забезпечують безвідмовність роботи дизелів морських суден.

Виклад основного матеріалу. До основних систем, що забезпечують безвідмовність роботи дизелів морських суден відносяться паливна, мащення та охолодження. Завдяки цим системам виконується:

- подача палива до паливних насосів високого тиску та подальше впорскування палива в циліндр дизеля [16];

- мащення багатьох вузлів дизеля (колінчатого та розподільного валів, газотурбонагнетача, циліндрової втулки та поршневих кілець, мотильового, рамового та головного підшипників) [17];

- охолодження циліндрової втулки, кришки циліндра та випускних клапанів [18].

Процеси мащення відіграють першорядну роль під час експлуатації та забезпечення безвідмовності суднових дизелів. Навіть короткочасне відсутність мастильного матеріалу між поверхнями тертя або відхилення в негативний бік процесу мащення від розрахункового та тому очікуваного або передбачуваного режиму мащення може привести до виникнення аварійних ситуацій та зниженню надійності роботи суднової енергетичної установки.

Якість процесу мащення суднових дизелів оцінюється за різними показниками, насамперед:

за аналізом моторного мастила, що взято з підпоршневого простору (лише для двотактних дизелів) або з картеру дизеля (для чотиритактних);

за показниками робочого циклу (за величиною тиску наприкінці процесу стиснення та за значенням температури випускних газів);

за механічними втратами, що виникають під час перетворення теплотворної здатності палива в корисну роботу.

Чотиритактні дизелі характеризуються загальною системою мащення, в якій моторне мастило забезпечує мащення та охолодження циліндрової групи та підшипників руху. Для чотиритактних дизелів одним з розповсюджених зі способів оцінки їх безвідмовності є аналіз моторного мастила, яке взято з картера дизеля. При цьому до основних показників, за якими здійснюється цей аналіз, є загальне лужне число (Total Base Number – TBN) та вміст в моторному мастилі механічних домішок. Зміна цих показників в негативний бік, а саме зниження TBN та підвищення кількості механічних домішок, що потрапляють в моторне мастило, свідчить про погіршення процесу мащення. Наслідком цього стає зменшення гідравлічної щільності в парах тертя вал-вкладиш підшипника та поршневе кільце-втулка циліндра, що, в свою чергу, призводить до витоків повітряної суміші з циліндру та зниження тиску наприкінці процесу стиснення. Ця величина є однією з тих, що контролюється під час роботи судових дизелів, її зниження негативно впливає на подальше samozapalювання палива та екологічність експлуатації морського судна [19, 20]. При цьому можливі випадки виникнення пропусків спалаху палива з циліндрах, де тиск та температура повітря наприкінці стиснення не забезпечують надійне samozapalювання палива. Одночасні з цим навантаження на інші циліндри стрибкоподібно збільшується, зростає нерівномірність обертання колінчатого валу та динамічна невідновленість дизеля. Перелічені фактори призводять до виникнення критичних, надкритичних та аварійних режимів роботи дизеля, що стає причиною зниження його безвідмовності.

Дослідження проводилися на судових допоміжних двигунах Volvo Penta TMDA 163A, які в кількості двох входили до складу допоміжної енергетичної установки спеціалізованого морського судна дедвейтом 10850 тонн. Принципова схема системи циркуляційного мащення дизелів надана на рис. 1.

Мащення підшипникових вузлів колінчатого валу та циліндрової групи дизелів №1 1 та №2 6 забезпечувалось моторним мастилом Castrol Vection 15W40 або Shell Rimula R4X 15W40, які знаходились в витратних цистернах циркуляційного мастила 4 та 5. Обидва мастила рекомендовані до використання в системі циркуляційного мащення дизелів Volvo Penta TMDA 163A. Кожен з дизелів був обладнаний автономною системою мащення, що дозволяло використовувати в них різні моторні мастила (для одного – Castrol Vection 15W40, для другого – Shell Rimula R4X 15W40). З цистерн 4 та 5 мастило самопливом потрапляло до картеру дизелів. Через перемикання клапанів (які на схемі не показані для її спрощення) робота будь-якого з дизелів могла здійснюватися з використання будь-якого мастила. З картеру дизеля мастило циркуляційним насосом 9 спрямовувалось до колінчатого валу та далі потрапляло до його підшипників. Продуктивність насоса визначалась через кількість мастила, що пройшло через витратомір 8. Мащення циліндрової групи забезпечувалось шляхом випаровування та розбризкування моторного мастила з картеру дизеля. Очищення моторного мастила виконувалось через його фільтрацію в мастильному фільтрі 10, а також через його сепарацію в мастильному сепараторі 7. Робота сепаратора 7 забезпечувалась окремо для кожного з дизелів, це попереджувало змішування мастила, яке знаходилося в системах мащення дизелів. Контроль показників роботи дизеля виконувався з використанням термометру 2 та манометру 3. Потужність дизелів визначалась ватметром, встановленим в центральному посту управління.

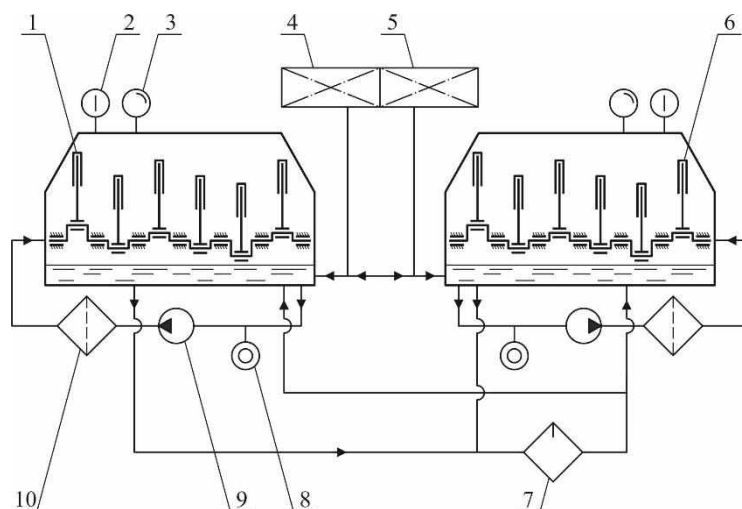


Рисунок 1 – Принципова схема системи циркуляційного мащення суднових дизелів Volvo Penta TMDA 163A:

1 – дизель № 1; 2 – термометр; 3 – манометр; 4, 5 – витратні цистерни циркуляційного мастила; 6 – дизель № 2; 7 – мастильний сепаратор; 8 – витратомір; 9 – циркуляційний насос; 10 – мастильний фільтр

Основні характеристики моторних мастил Castrol Vection 15W40 та Shell Rimula R4X 15W40, які використовувалися в системі циркуляційного мащення суднового дизеля Volvo Penta TMDA 163A, наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Основні характеристики моторних мастил

Параметр	Castrol Vection 15W40	Shell Rimula R4X 15W40
Клас SAE	15	15
Густина при 15 °C, кг/м ³	912	918
Кінематична в'язкість при 40°C, сСт	98	97
Кінематична в'язкість при 100°C, сСт	15,2	14,9
Температура спалаху, °C	217	212
Total Base Number, мгКОН/г	12,2	12,2

Дизелі перед початком експерименту мали сумірний період експлуатації, однаковий технічний стан основних контактних вузлів (колінчатого валу, вкладишів підшипників, паливної апаратури) та експлуатувалися на однакових навантаженнях (з неузгодженістю не більше $\pm 2,5\%$). Це дозволяло зробити висновок про їхню ідентичність один одному як перед початком експерименту, так і під час його проведення.

Показниками, за якими здійснювався контроль технічного стану та оцінка безвідмовності дизелів, були обрані:

загальне лужне число (TBN) моторного мастила, яке (відповідно до даних таблиці 1) для на початок проведення експерименту було однаковим для обох мастил;

тиск в циліндрі наприкінці процесу стиснення;

температура випускних газів.

Вимірювання TBN моторних мастил виконувалось за допомогою суднової лабораторії DIGI Used Oil TBN Analysis Kit. Результати вимірювань наведені в табл. 2. Далі, під час надання результатів дослідження моторні мастила довільно визначені як ММ № 1 та ММ № 2.

Таблиця 2 – Зміна загального лужного числа моторних мастил під час експлуатації

Час, t , год	ММ № 1		ММ № 2	
	TBN, мгКОН/г	V_{TBN} , (мгКОН/г)/год	TBN, мгКОН/г	V_{TBN} , (мгКОН/г)/год
1	12,20	—	12,30	—
200	12,00	0,10	11,95	0,175
400	11,75	0,125	11,55	0,20
600	11,35	0,20	11,10	0,225
800	10,95	0,20	10,60	0,25
1000	10,55	0,20	10,10	0,25

Як показник, що характеризує динаміку зміни TBN моторного мастила за певний проміжок часу, доцільно визначати швидкість зменшення його загального лужного числа

$$V_{\text{TBN}} = \frac{\text{TBN}_{n-1} - \text{TBN}_n}{t_n - t_{n-1}} \cdot 100;$$

де TBN_n , TBN_{n-1} , t_n , t_{n-1} – поточне та попереднє значення відповідних показників, співмножник 100 введено з метою кращої візуалізації значень швидкості зменшення TBN в зв'язку з їх невеликим абсолютним значеннями.

За результатами, що надані в табл. 2, побудовані діаграми, які відображають зміну TBN та V_{TBN} за часом (рис. 2).

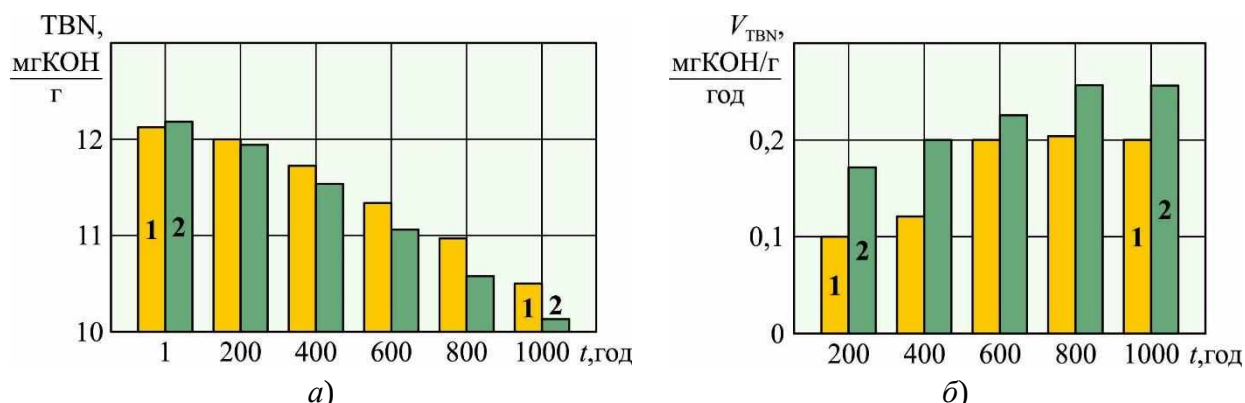


Рисунок 2 – Зміна характеристик моторного мастила під час експлуатації суднового дизеля Volvo Penta TMDA 163A:1 – ММ № 1; 2 – ММ № 1; а – TBN; б – V_{TBN}

Для якіснішого визначення зміни стану моторного мастила під час його експлуатації та оцінки його впливу на безвідмовність суднового дизеля, в береговій дослідницької лабораторії виконувався спектральний аналіз моторного мастила. При цьому визначалось кількість різних хімічних елементів, які потрапляють в мастило в результаті згоряння палива, зношування деталей дизеля, а також в результаті безпосереднього окислення самого мастила. Частину цих елементів (відповідно до їх функціональної дії, а саме – впливу на зносу деталей дизеля) відносять до категорії Wear Elements, частину (що впливає на забруднення мастила) – до категорії Contaminant Elements. Результати спектрографічного аналізу моторних мастил після 1000 годин експлуатації в циркуляційній системі дизеля Volvo Penta TMDA 163A наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Результати спектрографічного аналізу моторних мастил після 1000 годин експлуатації в циркуляційній системі дизеля Volvo Penta TMDA 163A

Wear Elements, мг/кг	ММ № 1	ММ № 2	Contaminant Elements, мг/кг	ММ № 1	ММ № 2
Al	0,5	2,0	B	14,0	11,5
Cr	0,5	1,0	Na	9,5	17,0
Cu	1,5	3,5	Si	6,0	7,0
Fe	4,0	9,5	V	22,0	55,5
Sn	0,5	0,5	Mo	2,0	3,5
Pb	1,0	1,5	Ni	3,5	16,5
Сума, Σ_w	8,0	18	Сума, Σ_c	57	111

За результатами таблиці 3 побудовані номограми, що наведені на рис. 3, 4.

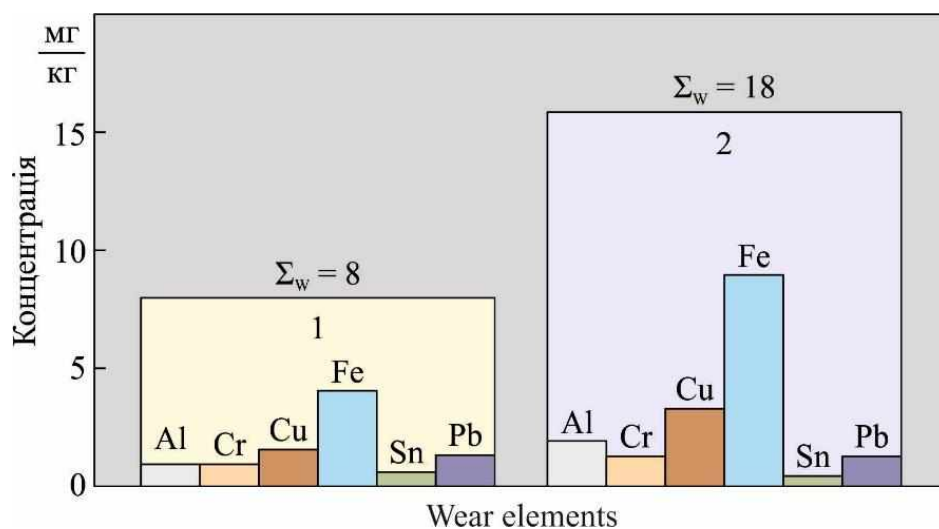


Рисунок 3 – Вміст механічних домішок в моторному мастилі після 1000 часів експлуатації в циркуляційній системі мащення суднового дизеля Volvo Penta TMDA 163A: 1 – ММ № 1; 2 – ММ № 2

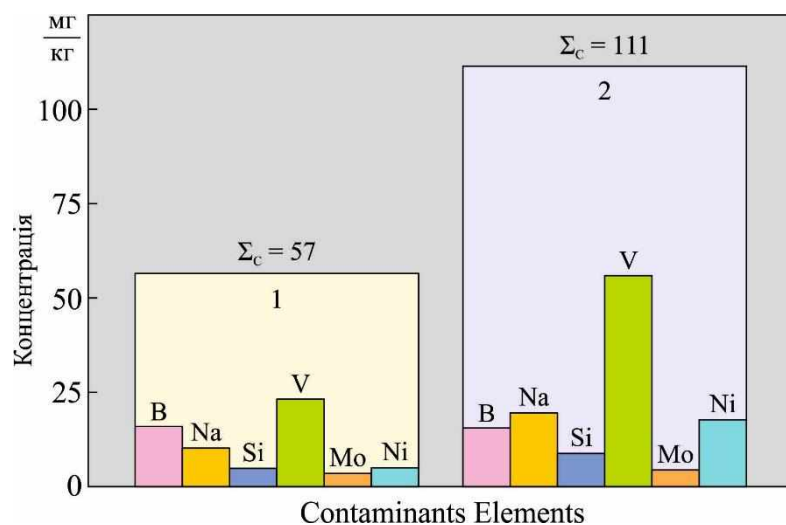


Рисунок 4 – Вміст забруднюючих домішок в моторному мастилі після 1000 часів експлуатації в циркуляційній системі мащення суднового дизеля

Volvo Penta TMDA 163A: 1 – ММ № 1; 2 – ММ № 2

Ще одним з показників, за допомогою якого можливо виконувати оцінку безвідмовності роботи суднових дизелів, є тиск наприкінці стиснення. Його зниження в окремих циліндрах дизеля свідчить про погіршення компресійних властивостей поршневих кілець, попадання металевих домішок на поверхню втулки циліндра та збільшення їх зносу. Зниження тиску стиснення по всіх циліндрах свідчить про погіршення процесу мащення та зниження рівня безвідмовності роботи дизеля. Під час експерименту значення тиску стиснення визначалося за допомогою суднової системи діагностики Doctor для кожного з циліндрів дизеля (за умови відключення подачі палива в даний циліндр). За отриманими значеннями розраховувалося середнє значення тиску стиснення по всіх циліндрах дизеля. Контроль тиску стиснення виконувався після 1-ї години роботи дизелів і далі через кожні 100 годин роботи. На тимчасових проміжках, у яких виконувався контроль тиску стискування (1, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 годин), дизелі працювали на різних, але однакових між собою навантаженнях (в діапазоні 120...280 кВт). Система діагностики Doctor дозволяє контролювати параметри робочого процесу дизеля з похибкою $\pm 1,0\%$. Отримані значення під час використання різних моторних мастил наведені в табл. 4.

Таблиця 4 – Зміна тиску стиснення суднового дизеля Volvo Penta TMDA 163A під час використання різних моторних мастил

Час, години	Тиск стиснення, МПа	
	ММ № 1	ММ № 2
1	9,05	9,05
200	8,98	8,94
400	8,96	8,91
600	8,93	8,82
800	8,92	8,71
1000	8,91	8,69

Примітка. Відповідно до інструкції з експлуатації номінальне значення тиску наприкінці процесу стиснення складає $p_{\text{сном}}=9,0$ МПа.

Для кращої візуалізації результати, що надані в табл. 4, узагальнені як номограма, що показана на рис. 5.

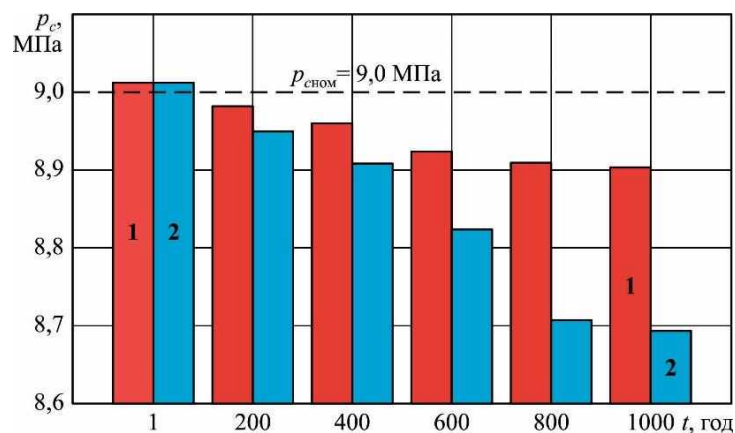


Рисунок 5 – Зміна тиску стиснення p_c суднового дизеля Volvo Penta TMDA 163A під час використання різних моторних мастил

Одним із параметрів роботи дизеля, що характеризує якість робочого процесу, є температура газів після циліндра t_r . Збільшення її значення за окремими циліндрами дизеля свідчить про погіршення процесу згоряння палива в циліндрі дизеля (у разі пізнього впорскування) або про підвищену кількість мастила, яка потрапляє на стінки циліндра та згоряє разом з паливом. Контроль температури газів після циліндра дизеля Volvo Penta TMDA 163A проводився за допомогою системи діагностики Doctor, що виконує вимірювання температури та виведення показань на комп'ютер центрального поста управління. Аналогічно вимірювання тиску наприкінці стиснення, вимірювання температури випускних газів проводилися в інтервалі 1...1000 годин роботи дизелів, при цьому дизелі експлуатувалися на різних, але рівних між собою навантаженнях. Протягом усього періоду проведення експерименту підтримувалися однаковими параметри в системах охолодження та змащування дизелів (температура мастила на вході в дизель, температура води на виході з дизеля, тиск мастила та води на вході в дизель). Значення t_r визначалися кожного циліндра дизеля. У таблиці 5 наведено середні значення s для всіх циліндрів. Додатково відзначимо, що під час експерименту відхилення значення температури випускних газів за окремими циліндрами від середнього значення за всіх циліндрів не перевищувало $\pm 10^\circ\text{C}$.

Таблиця 5 – Зміна температури випускних газів суднового дизеля Volvo Penta TMDA 163A під час використання різних моторних мастил

Час, години	Тиску стиснення, МПа	
	ММ № 1	ММ № 2
1	9,05	9,05
200	8,98	8,94
400	8,96	8,91
600	8,93	8,82
800	8,92	8,71
1000	8,91	8,69

Примітка: відповідно до інструкції з експлуатації максимальне значення температури випускних газів $t_{r\max} = 320^\circ\text{C}$.

Для кращої візуалізації результати, що надані в таблиці 5, узагальнені як номограма, що показана на рис. 6.

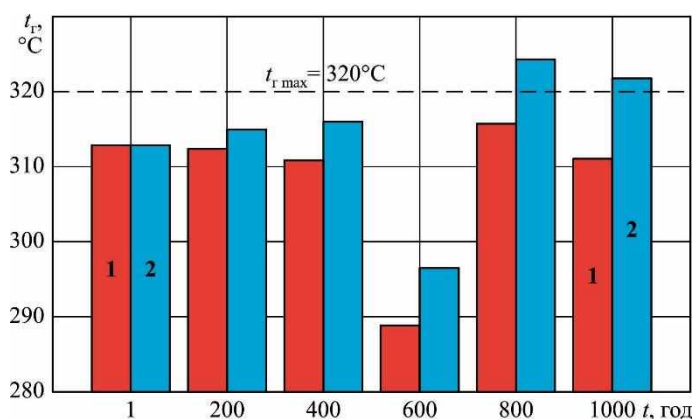


Рисунок 6 – Зміна температури випускних газів t_r суднового дизеля Volvo Penta TMDA 163A під час використання різних моторних мастил

Висновки. Як результат виконаних досліджень зробимо наступні висновки.

1. Безвідмовність роботи дизелів морських суден може бути оцінена технічним станом моторного мастила, що використовується в циркуляційній системі мащення.

2. Основними експлуатаційними показниками моторного мастила, які визначають та забезпечують безвідмовність роботи суднових дизелів є загальне лужне число та швидкість його зменшення, а також вміст в моторному мастилі механічних домішок, що характеризують знос деталей дизеля та забруднення мастила.

3. Моторні мастила, що характеризуються меншою швидкістю зменшення загального лужного числа забезпечують більш якісне мащення суднових дизелів, що відображається в підвищенні гідравлічної щільності та змащувальної здатності мастила. Підтвердженням цього (під час порівняння моторного мастила швидкість падіння загального лужного числа якого менш з іншим мастилом) стає більш повільне зниження тиску наприкінці процесу стиснення (що характеризує менший знос в парах тертя дизеля) та зменшення температури випускних газів (що характеризує більшу гідравлічну щільність в сполученні поршневе кільце – втулка циліндру).

4. Під час інтенсивного зменшення загального лужного числа моторного мастила погіршується його технічний стан, що виявляється в збільшенні механічних домішок (які є результатом його окислення або зносу деталей дизеля), що потрапляють до його об'єму. З часом це зменшує змащувальну здатність моторного мастила та знижує надійність роботи дизелів.

5. Особливу актуальність наведені результати мають для чотиритактних дизелів, мащення яких забезпечується загальною циркуляційною системою, в якій підшипники колінчатого валу та елементи циліндрової групи змащуються одним і тим же мастилом.

6. Наведені результати свідчать про можливість діагностування безвідмовності роботи суднових дизелів через технічний стан моторного мастила, яке використовується в його системі циркуляційного мащення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Голіков В.А., Голіков 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.

2. 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.

3. Бажак О.В. Удосконалення методу оцінки показників надійності обладнання засобів водного транспорту // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2021. – Вип. 3(34). – С. 148-159. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.17.

4. 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.

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. 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.

7. Дакі О.А., Якусевич Ю.Г., Ліганенко В.В., Тришин В.В. Модель системи кондиціювання та охолодження повітря на сучасних нафтоналивних судах і газовозах // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 1(35). – С. 121-127. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.15.

8. Sagin S.V., Semenov O.V. Motor Oil Viscosity Stratification in Friction Units of Marine Diesel Motors // American Journal of Applied Sciences. – 2016. – Vol. 13. – Iss. 2. – P. 200-208. DOI: 10.3844/ajassp.2016.200.208.
9. Sagin S.V., Semenov O.V. Marine Slow-Speed Diesel Engine Diagnosis with View to Cylinder Oil Specification // American Journal of Applied Sciences. – 2016. – Vol. 13. – Iss. 5. – P. 618-627. DOI: 10.3844/ajassp.2016.618.627.
10. 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.
11. 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.
12. 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>.
13. 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.
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 of Maritime Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10. – P. 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.
15. 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 Maritime Science and Engineering. – 2023. – Vol. 11(1). – P. 120. <https://doi.org/10.3390/jmse11010120>.
16. 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.
17. 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](https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.239698).
18. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Píštěk V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe // Journal of Maritime Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10. – P. 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331>.
19. 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 Maritime Science and Engineering. – 2023. – Vol. 11. – P. 120. <https://doi.org/10.3390/jmse11010120>.
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.

REFERENCES

1. 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.
2. 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.

3. Bazhak O.V. Method of increasing safety of shipping // *Water transport*. – 2021. – Vol. 3(34). – P. 148-159. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.17.
4. Bohomia V., Bazhak O. // *Water transport* – 2022. – Vol. 1(35). – P. 25-32. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.03.
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.
6. 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.
7. Daki O.A., Yakusevych Yu.H., Lihanenko V.V., Tryshyn V.V. Model of air conditioning and cooling system on modern oil-filling ships and gas carriers // *Water transport* – 2022. – Vol. 1(35). – P. 121-127. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.15.
8. Sagin S.V., Semenov O.V. Motor Oil Viscosity Stratification in Friction Units of Marine Diesel Motors // *American Journal of Applied Sciences*. – 2016. – Vol. 13. – Iss. 2. – P. 200-208. DOI: 10.3844/ajassp.2016.200.208.
9. Sagin S.V., Semenov O.V. Marine Slow-Speed Diesel Engine Diagnosis with View to Cylinder Oil Specification // *American Journal of Applied Sciences*. – 2016. – Vol. 13. – Iss. 5. – P. 618-627. DOI: 10.3844/ajassp.2016.618.627.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
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 of Maritime Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 10. – P. 1373. https://doi.org/10.3390/jmse10101373.
15. 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 Maritime Science and Engineering*. – 2023. – Vol. 11(1). – P. 120. https://doi.org/10.3390/jmse11010120.
16. 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.
17. 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.
18. 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 of Maritime Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 10. – P. 1331. https://doi.org/10.3390/jmse10091331.
19. 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 Maritime Science and Engineering*. – 2023. – Vol. 11. – P. 120. https://doi.org/10.3390/jmse11010120

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.

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

The results of research are given in relation to the assessment of failure-freeness of marine diesel engines based on the technical condition of the motor lubricant of circulating lubrication systems. The research was carried out on marine four-stroke Volvo Penta TMDA 163A diesel engines, which perform the functions of auxiliary engines of a specialized marine vessel with a deadweight of 10,850 tons, in the circulation lubrication systems of which motor lubricants with different characteristics were used. It has been proven that the main operating indicators of motor oil, which determine and ensure the trouble-free operation of marine diesel engines, are the total alkaline number and the rate of its reduction, as well as the content of mechanical impurities in the motor oil, which characterize the wear of diesel engine parts and contamination of the oil. It has been experimentally established that motor lubricants characterized by a lower rate of reduction of the total alkaline number provide better lubrication of marine diesel engines, which is reflected in an increase in the hydraulic density and lubricating capacity of the lubricant. Confirmation of this (when comparing motor oil, the rate of decrease of the total alkaline number of which is less with other oil) is a slower decrease in pressure at the end of the compression process (which characterizes less wear in the diesel friction pairs) and a decrease in the temperature of the exhaust gases (which characterizes a higher hydraulic density in the coupling piston ring - cylinder sleeve). It was also established that during an intensive decrease in the total alkalinity of motor oil, its technical condition deteriorates, which is manifested in an increase in mechanical impurities (which are the result of its oxidation or wear of diesel engine parts) entering its volume. Over time, this reduces the lubricating capacity of engine oil and reduces the reliability of diesel engines. The obtained results indicate the possibility of diagnosing the failure-free operation of marine diesel engines due to the technical condition of the motor lubricant used in its circulating lubrication system.

Keywords: reliability, performance indicators, marine means of transport, engine oil, reliability, lubrication system, marine diesel, maintenance, technical condition