

current velocity in the Florida Strait reaches 60 cm/s and slowly decreases with depth. So, in the central part of the section, at a depth of 400 m, the current velocity is 20 cm/s. Actual current speeds, both on the surface and in the deep part of the channel, can be higher and reach 190 cm/s (3.7 knots). Since the calculations were carried out over a multi-year period based on averaged data, the results obtained are somewhat lower, but still significant. The influence of wind and currents on the maneuvering characteristics of the ship is considered. Areas characterized by a large amount of data on shipwrecks have been identified. The effect of the transverse current on the vessel in the Florida Strait, where the current velocities reach maximum values, is calculated. An assessment of the load created by the transverse current on the ship was carried out at a maximum current speed of 190 cm/s. The results of the calculations indicate that on an empty ship with an average draft of 27 feet (the ship's waterline length is 994 feet) at a sea depth three times greater than the draft, a current of 3.7 knots develops a load of 551 tons, and 12- the nodal wind creates a load of 9 ts, which in total is a transverse force equal to 560 ts. The obtained results of calculations of current velocities and the force of the transverse current on the ship can be used in the management of ships in the waters of Florida to ensure safe maneuvering.

Keywords: Florida Strait, current speed, water salinity, water temperature, direction, cut, load.

УДК 629.5.036

doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.06

Маннапова О.В., Урум Н.С., Шевченко А.П., Лісовський С.В.

НИЗЬКОСІРЧИСТІ СУДНОВІ ДИЗЕЛЬНІ ПАЛИВА ТА ЇХ ПРОТИЗНОСНІ ВЛАСТИВОСТІ: СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ

Метою роботи є дослідження способів регулювання протизносних властивостей дизельних палив, їх негативний та позитивний вплив на надійність роботи паливної апаратури судових дизелів. Поставлена мета досягається шляхом з'ясування змісту основних способів щодо регулювання протизносних властивостей дизельних палив. Розглянуто спосіб додавання протизносних присадок до низькосірчистих дизельних палив. Встановлено, що концентрація присадок у малосірчистому дистилатному паливі у розмірі $0,015=0,02\%$ маси, значно покращує протизносні властивості судових ДП. Підкреслено, що дослідження впливу додавання мінеральної олії до дизельного палива, у результаті чого покращується змащувальна здатність палива, ще не завершені. Доведено, що додавання олії рослинного походження до дизельного палива покращує його протизносні властивості. Показано, що суміш рослинних олій у будь-яких пропорціях з нафтопродуктами дозволяє синтезувати моторні палива із наперед заданими фізико-хімічними властивостями. Підкреслено, що у результаті проведених досліджень протизносних властивостей сумішей традиційного ДП і 1, 2, 5, 10 і 20% метилових ефірів пальмової олії виявлено, що найсильніше сила тертя знижується при зростанні концентрації біодизеля від 1% до 5%, досягаючи мінімуму при 10% вмісті біодизеля. Найбільш суттєвим результатом дослідження є критичний аналіз основних способів регулювання протизносних властивостей дизельних палив шляхом додавання протизносних присадки, різних видів рослинних олій, біопалива, мінеральної олії у певних пропорціях у дизельне пальне. Подальшим напрямом роботи є проведення досліджень щодо виявлення впливу різних типів дизельних палив на швидкість зношування прецизійних пар паливної апаратури судових дизелів для вироблення

обґрунтованих рекомендацій, спрямованих на підвищення надійності їх роботи.

Ключові слова: *протизносні властивості, дизельне паливо, малосірчисте дистилатне паливо, олія рослинного походження, мінеральна олія, біопаливо.*

Постановка проблеми. Суднові дизельні палива за своєю структурою та фізико-хімічним складом використовуються не тільки як паливо у двигунах, але й як мастильний матеріал для рухомих деталей паливної апаратури (ПА). Але змащувальні можливості судових дистилатних палив (СДП) дуже сильно залежать від вмісту в них сірки. Так, за одними джерелами [1 - 3] низький вміст сірки у СДП значно знижує надійність роботи дизельної ПА. Але є і протилежні дані, які не так однозначно оцінюють вплив характеристик судових палив, таких як в'язкість, фракційний склад, вміст сірки, на інтенсивність зношування плунжерних пар паливного насосу високого тиску (ПНВТ). Але найпотужніші виробники судових дизелів впевнені, що необхідно обмежити застосування низькосірчистих СДП у судових енергетичних установках (СЕУ) через зниження змащувальної здатності та в'язкості палива на вході у двигун, що може негативно відбитися на надійності роботи ПА [4].

Тому для покращення протизносних властивостей дизельних палив пропонуються певні методи та способи, які відповідають доволі жорстким сучасним вимогам, у тому числі екологічним. Основним способом, як відомо, є застосування різноманітних спеціальних протизносних присадок. Кроком вперед, вважають фахівці, є додавання рапсової, соєвої, соняшникової, пальмової та інших видів рослинних олій, біопалива або мінеральної олії у певних пропорціях у дизельне паливо для покращення триботехнічних характеристик палив.

Тому дослідження способів регулювання протизносних властивостей дизельних палив є актуальним науковим завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дизельний двигун відноситься до двигунів внутрішнього згорання із запалюванням палива в камері згорання при високій температурі. Робота дизельних двигунів здійснюється протягом 4 циклів: всмоктування-стиснення-запалювання-вихлоп.

У дизельному двигуні в камеру згорання спочатку подається тільки повітря, яке стискається з коефіцієнтом стиснення від 15:1 до 23:1, що викликає підвищення температури повітря. Приблизно у верхній точці такту стиснення паливо через паливну форсунку впорскується безпосередньо в стиснене повітря в камері згорання, забезпечуючи розбивання палива на дрібні краплі та його рівномірний розподіл. Тепло стисненого повітря випаровує паливо з поверхні крапель. Потім пара запалюється від тепла стисненого повітря в камері згорання, краплі продовжують випаровуватися з їх поверхні і горіти, зменшуючись в розмірах, поки все паливо в краплях не згорить. Горіння відбувається при практично постійному тиску протягом початкової частини такту потужності. Після згорання його продукти розширюються при подальшому опусканні поршня, а високий тиск в циліндрі штовхає поршень вниз, подаючи потужність на колінчастий вал.

Високий ступінь стиснення повітря сприяє згорянню палива без застосування окремої системи запалювання і значно підвищує ефективність двигуна. Разом з тим, як і для двигунів з іскровим запалюванням, у дизелях гострою залишається проблема утилізації вихлопних газів.

Держави-члени ІМО визнають серйозною проблемою низьку якість важкого мазуту, що використовується на судах, має високий вміст сірки і призводить до утворення вихлопних газів, наприклад SO_x . Для зменшення впливу на оточуюче середовище вдосконалюються системи очищення вихлопних газів (використання скрубєрів), контролюється скидання стічних вод з таких систем очищення, а також здійснюється перехід з мазуту з високим вмістом сірки на низькосірчисте паливо.

Вміст сірки в судовому паливі залежить від сирової нафтової сировини і процесу переробки. При згорянні палива з сіркою в двигуні вона змішується з оксидом і перетворюється на оксиди сірки, які є корозійними для поршневої гільзи двигуна і повинні нейтралізуватися циліндровим мастилом. При використанні правильного мастила вміст сірки в судовому паливі технічно не є важливим, але оксиди сірки мають вплив на навколишнє середовище.

ІМО встановлює обмеження щодо вмісту сірки в будь-якому мазуті, що використовується на борту суден. Однак мазут з низьким вмістом сірки може мати негативний вплив на різні властивості палива в залежності від типу палива. У таблиці 1 показано зв'язок між властивостями палива та його типами.

Таблиця 1 – Зв'язок між властивостями палива та його типами

Властивості палива	Типи палива
Низька в'язкість	MDO
Мастильна здатність	MGO/MDO
Кислотність	MGO/MDO/HFO
Температура спалаху	HGO/MDO/HFO
Якість запалювання та згоряння	HFO
Підвищена каталітична дрібнота	HFO

До типів суднового палива, що використовуються на судах щодо ліміту мазуту з низьким вмістом сірки, входять судновий газойль (MGO марок DMA, DMX та DMZ) і суднове дизельне паливо (MDO марки DMB). Крім того, останнім часом з'явився новий тип мазуту з наднизьким (не більше 0,10% (м/м)) вмістом сірки (ULSFO). Це не традиційні дистилати, а змішані продукти з потоків нафтопереробки, які раніше широко не використовувалися для виробництва суднових мазутів [5]. Основні властивості вищезгаданих палив наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Основні властивості мазуту, визначені в ISO 8217 (2010) [6].

Сорт	MGO			MDO	ULSFO
	DMX	DMA	DMZ	DMB	
Вміст сірки % (м/м)	max. 1.00	max. 1.50	max. 1.50	max. 2.00	max. 0.10
В'язкість при 40°C (сСт)	min. 1.40	min. 1.50	min. 3.00	max. 11.0	min. 40
	max. 5.50	max. 6.00	max. 6.00		max. 75
Температура спалаху (°C)	min. 43	min. 60	min. 60	min. 60	min. 70

Характеристики мазуту з наднизьким вмістом сірки (ULSFO) повністю відрізняються у порівнянні з типами палива MGO та MDO [7] й однозначно свідчать про можливість і необхідність його використання на судах. Насправді, витрати на паливо є домінуючою часткою рейсових витрат, що становить 47%, тоді як рейсові витрати складають приблизно 40% від загальних експлуатаційних витрат [8]. Отже, витрати на паливо є найважливішим фактором у рейсових витратах, який слід підтримувати на якомога нижчому рівні.

З цієї точки зору використання мазуту представляється найефективнішим заходом, але воно тягне за собою ряд недоліків у судноплаванні. Так, в'язкість мазуту вимагає перед його впорскуванням у камеру згоряння двигуна підігріву до температури близько 140°C. Також необхідно обладнати шламонакопичувачі для розміщення осаду мазуту, який не може бути спалений в процесі згоряння в двигуні, і його подальшого вивозу на берег для передачі до приймальних пунктів або спалювання в сміттєспалювальній установці на судні. Як результат, вихлопні гази, що виділяються в процесі згоряння з використанням важкого мазуту (HFO) в дизельних двигунах, є набагато шкідливими для навколишнього середовища.

До поточного часу суднові низькообертові двигуни та їх мастила були оптимізовані для роботи на HFO з високим вмістом сірки S, яка під час перетворюється на триоксид сірки (SO₃). У поєднанні з водою, що утворюється при згорянні, і повітрям, що відсмоктується, SO₃ утворює сірчану кислоту (H₂SO₄). Коли температура гільзи падає нижче точки роси сірчаної кислоти і води, на стінці гільзи утворюється корозія. Високолужні мастила (оливи з високим BN) нейтралізують кислоту і запобігають корозії поршневих кілець і поверхонь гільз циліндрів.

По-друге, при роботі на паливі з вмістом сірки менше 0,10%, такому як дистилати, мазут ULSFO, скраплений природний газ (СПГ), метанол, етан і зріджений газ тощо, в камері згоряння утворюється лише невелика кількість сірчаної кислоти. Присадки до циліндрового мастила не використовуються за призначенням і мають тенденцію до накопичення у вигляді відкладень, які можуть порушувати мастильну плівку і перешкоджати руху поршневих кілець. Крім того, для двигунів, що безперервно працюють на паливі з вмістом сірки менше 0,10%, характерні утворення відкладень і повна відсутність корозії, що збільшують ризик полірування отворів і також може призвести до підвищеного зносу і задирів.

Таким чином, зменшення змащувальної здатності мазуту з низьким вмістом сірки становитиме ризик для судового двигуна і потребує подальших досліджень для зменшення його надмірного зносу і передчасного виходу з ладу.

Метою роботи є дослідити способів регулювання протизносних властивостей дизельних палив, їх негативний та позитивний вплив на надійність роботи паливної апаратури судових дизелів.

Викладення основного матеріалу дослідження. Розглянемо зміст основних способів щодо регулювання протизносних властивостей дизельних палив.

Додавання протизносних присадок до низькосірчистих дизельних палив

У всіх дизельних паливах присутні поверхнево активні речовини (ПАР), які серйозно впливають на протизносні властивості механічних деталей обладнання. Так, сульфіди та бензотіофени, які відносяться до сірчистих сполук і які містяться в СДП, мають високі протизносні властивості [9]. Однак низькосірчисті судові дизельні палива (вміст сірки в паливі нижче 0,1%) не можуть забезпечити потрібну змащувальну здатність, що вимагає застосування спеціальних присадок для цієї мети.

В основі переважної більшості протизносних присадок (Dodilube-4940, Kerokort LA99C, Міксент-2030, АДН, Lubrisol 539 та ін.) лежать карбонові кислоти, технічні алкілсаліцилові кислоти (ТАСК).

Протизносні присадки діють так. Під їх впливом на поверхні, яка підлягає захисту, утворюється міцна плівка. Вона складається з продуктів механіко-хімічних перетворень присадки на поверхні металу, коли спосіб її формування залежить від рідинного або граничного режиму тертя. При рідинному режимі тертя фізична адсорбція або хемосорбція присадки покращує змащувальні властивості палива. А ось режим граничного тертя є більш складним та небезпечним для поверхонь, що труться.

Шар змащувальної рідини, що знаходиться між парами, що постійно труться, порушується. І у такому разі виникає загроза мікросхоплювання поверхонь, які труться. На оголеній (ювенільній) поверхні з високою каталітичною активністю змащувальний матеріал хімічно суттєво змінюється. Фактично на цій поверхні виникає шар нової речовини, основу якої складають продукти перетворення палива, присадки та металу пари тертя. Даний шар, у силу свого нового хімічного складу, принципово відрізняється за своїми властивостями від речовин, що його утворили. Він відрізняється високою механічною стійкістю і спроможністю постійно відновлюватися при стиранні.

Доведена висока ефективність присадок, що містять активні полярні групи [10]. Концентрація присадок, що вводяться в малосірчисте дистилатне паливо у розмірі 0,015÷0,02% маси, значно покращує протизносні властивості судових ДП. Однак усі протизносні присадки характеризуються високою ціною.

Додавання мінеральної олії до дизельного палива

Покращити триботехнічні властивості ДП можна шляхом додавання мінеральних мастильних матеріалів, у результаті чого покращується змащувальна здатність палива.

Так, один з видів олії МС-20 відноситься до олій селективного очищення без присадок, що виробляється з малосірчистих парафінових та безпарафінових нафт, і відрізняється високою в'язкістю, відмінною адгезією, гарною змащувальною властивістю та температурою спалаху не нижче 265°C. Однак дослідження впливу цієї мінеральної олії на змащувальну здатність ДП ще не завершені, що затримує вихід офіційних рекомендацій виробників дизелів та нафтових

компаній відносно її застосування на морських та річкових суднах.

Додавання олій рослинного походження до дизельного палива

Можливість рослинних олій змішуватись у будь-яких пропорціях з нафтопродуктами дозволяє синтезувати моторні палива із наперед заданими фізико-хімічними властивостями [11].

Основним компонентом рослинних мас є жирні кислоти, які за хімічною структурою подібні на вуглеводні зі складу дизельного нафтового палива. Крім того, структурні формули метилових ефірів жирних кислот та самих жирних кислот також досить близькі до них [3]. Подібність структурних формул жирних кислот рослинних олій та вуглеводнів дистильного палива підтверджує, що їх можна застосовувати як моторне паливо.

Використання рослинних олій у вигляді моторного палива можливо у різних варіантах: а) у чистому вигляді; б) у суміші з ДП та іншими нафтовими паливами; в) у суміші з газовими конденсатами, спиртами, ефірами та іншими нетрадиційними паливами.

Взаємодія ПАР з поверхнею тертя змінює деформаційні характеристики матеріалів трибосистеми, зменшуючи надмірну вільну енергію поверхні тертя та швидкість зношування та втрати на тертя [3]. Тому ріпакова олія широко застосовується для підвищення змащувальної здатності палива [12].

Додавання біодизелю в дизельне паливо з низьким вмістом сірки

Для виробництва біодизельного палива застосовується етерифікація ріпакової, соєвої, арахісової, пальмової, рицинової та ін. рослинних олій і продуктів їх переробки. Результатом реакції є метилові ефіри, що мають властивості пального матеріалу і застосовуються як альтернативні дизельні палива (Rape Methyl Ester, Soybean Methyl Ester, Fatty Acid Methyl Esters) та добавки до традиційних нафтових палив [13].

Біодизель відрізняється від звичайного ДП екологічною чистотою і, не дивлячись на значно менший вміст сірки, має непогані мастильні властивості, що продовжує термін життя двигуна [14]. Це пояснюється тим, що вміст вільних жирних кислот (<0,4% мас.) та дигліцеридів (<0,4% мас.) помірно впливає на змащувальну здатність біодизелю. Навпаки кисневі фрагменти в біодизелі у поєднанні з жирними кислотами забезпечують кращу змащувальну здатність палива [2, 3].

Біодизель у порівнянні з нафтовим дизельним паливом має значно кращі протизносні властивості, тому додавання биодизеля до традиційного дизельного палива надає новому продукту нових властивостей, тобто збільшення змащувальної здатності [1]. Навіть при вмісті біодизеля менше 1% протизносні властивості палива збільшуються на 30%.

Ефіри рослинних масел добре змішуються з нафтовими дизельними паливами і не розшаровуються навіть за наявності розчиненої води.

Дослідження протизносних властивостей сумішей традиційного ДП і 1, 2, 5, 10 і 20% метилових ефірів пальмової олії показало, що найсильніше сила тертя знижується при зростанні концентрації біодизеля від 1% до 5%, досягаючи мінімуму при 10% вмісті біодизеля (рис. 1) [15]. Проти застосування біодизеля є лише одне – його висока ціна, яка у 2-3 рази вище вартості традиційного дизельного палива. Застосування біодизелю значно збільшує вартість палива, що призводить до збільшення витрат на експлуатацію суден.

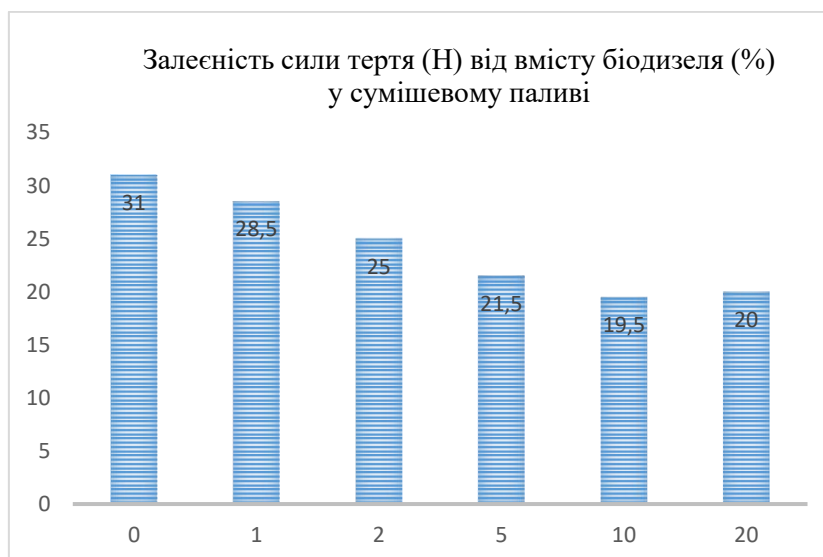


Рисунок 1 – Залежність сили тертя від вмісту біодизеля у сумішевому паливі

Висновки. Розглянуті основні способи регулювання протизносних властивостей дизельних палив шляхом додавання протизносних присадки, різних видів рослинних олій, біопалива, мінеральної олії у певних пропорціях у дизельне пальне.

Дослідження підтвердили, що біодизель має значно кращі протизносні властивості порівняно з нафтовим дизельним паливом. Найкращі змащувальні якості паливо набуває при додаванні 10% біодизеля до традиційного дизельного палива. Для підвищення довговічності ПНВТ та форсунок судових дизелів необхідно провести глибокі дослідження впливу різних типів дизельних палив, включаючи спеціальні протизносні присадки, додавання різних видів рослинних олій, біопалива або мінеральної олії у певних пропорціях у дизельне пальне, на швидкість зношування прецизійних пар паливної апаратури судових дизелів з метою вироблення науково обґрунтованих рекомендацій, спрямованих на збільшення надійності їх роботи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Study on the lubrication properties of biodiesel as fuel lubricity enhancers / Hu J. et al. *Fuel*. 2005. Vol. 84, Issues 12-13. P. 1601–1606.
2. Ian Crutchley. Low sulphur diesel can lead to extensive wear. *Ship & Offshore*. 2010. № 4. P. 14–17.
3. Ian Crutchley, Michael Green. Lubricity characteristics of Marine Distillate fuels. *MTZ Industrial Special Edition MTZ*. 2012. P. 58–63.
4. Guideline for the Operation of Marine Engines on Low Sulphur Distillate Diesel. The International Council on Combustion Engines. 2013. 23 p.
5. Operation on Low-Sulphur Fuels: MAN B&W Two-stroke Engines. Denmark: MAN; 2014. 24 p.
6. Guidelines for Operation on Fuels with less than 0.1% Sulphur. Denmark: MAN; 2014. P. 1-24.
7. Lubricity improvement of the ultra-low sulphur diesel fuel with the biodiesel / M.A. Hazrat et al. *Energy Procedia*. 2015. Vol. 75. P. 111–117.
8. Stopford M. *Maritime Economics*. 3rd ed. New York: Routledge; 2009.
9. Sørheim K.R, Daling P.S. Characterization of Low Sulfur Marine Fuel Oils (LSFO) – A new generation of marine fuel oils. SINTEF. 2020. 17 p.
10. Занько О.Н., Калугин В.Н., Логишев И. В. Технология использования рабочих веществ в судовых энергетических установках. Одесса : Фенікс, 2005. 508 с.

11. Corrosion on disc stacks and bowl parts. *GEA Mechanical Equipment, Technical Bulletin № 115*. 2015. 5 p.
12. Zabloysky Yu.V., Sagin S.V. Enhancing Fuel Efficiency and Environmental Specifications of Marine Diesel When using Fuel Additives. *Indian Journal of Science and Technology*. 2016. Vol 9(46). P. 353–362. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i46/107516.
13. Oxidative desulfurization of diesel fuels with hydrogen peroxide in the presence of activated carbon and formic acid / Guoxian Yu et. al. *Energy&Fuels*. 2005. Vol. 19. P. 447–452.
14. Corrosion attacks on marine centrifuges used in fuel operation. *Alfa Laval, Bulletin № 32390*, 2016. 3 p.
15. Galbraith R., Hertz P. The ROCLE test for diesel and biodiesel fuel lubricity. *SAE Technical Paper 972862*. 1997. P. 61–66.

REFERENCES

1. Hu, J. et al. (2005). *Study on the lubrication properties of biodiesel as fuel lubricity enhancers*. Fuel, 84(12-13), 1601–1606.
2. Crutchley, I. (2010). *Low sulphur diesel can lead to extensive wear*. Ship & Offshore, 4, 14–17.
3. Crutchley, I., & Green, M. (2012). *Lubricity characteristics of Marine Distillate fuels*. MTZ Industrial Special Edition MTZ, 58–63.
4. The International Council on Combustion Engines. (2013). *Guideline for the Operation of Marine Engines on Low Sulphur Distillate Diesel*. 23 p.
5. MAN. (2014). *Operation on Low-Sulphur Fuels: MAN B&W Two-stroke Engines*. Denmark: MAN. 24 p.
6. MAN. (2014). *Guidelines for Operation on Fuels with less than 0.1% Sulphur* (pp. 1-24). Denmark: MAN.
7. Hazrat, M.A. et al. (2015). *Lubricity improvement of the ultra-low sulphur diesel fuel with the biodiesel*. Energy Procedia, 75, 111–117.
8. Stopford, M. (2009). *Maritime Economics* (3rd ed.). New York: Routledge.
9. Sørheim, K. R., & Daling, P. S. (2020). Characterization of Low Sulfur Marine Fuel Oils (LSFO) – A new generation of marine fuel oils. SINTEF.
10. Zan'ko, O.N., Kalugin, V.N., & Logishev, I.V. (2005). *Tekhnologiya ispol'zovaniya rabochikh veshchestv v sudovykh energeticheskikh ustanovkakh* [Technology of using working fluids in ship power plants]. Odessa: Feniks. (in Russian).
11. GEA Mechanical Equipment. (2015). *Corrosion on disc stacks and bowl parts. Technical Bulletin No. 115*. 5 p.
12. Zabloysky, Yu.V., & Sagin, S.V. (2016). *Enhancing Fuel Efficiency and Environmental Specifications of Marine Diesel When using Fuel Additives*. Indian Journal of Science and Technology, 9(46), 353–362. <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i46/107516>
13. Yu, G. et al. (2005). *Oxidative desulfurization of diesel fuels with hydrogen peroxide in the presence of activated carbon and formic acid*. Energy&Fuels, 19, 447–452.
14. Alfa Laval. (2016). *Corrosion attacks on marine centrifuges used in fuel operation. Bulletin No. 32390*. 3 p.
15. Galbraith, R., & Hertz, P. (1997). *The ROCLE test for diesel and biodiesel fuel lubricity*. SAE Technical Paper 972862, 61–66.

Mannarova O.V., Urum N.S., Shevchenko A.P., Lisovskyi S.V.

LOW-SULPHUR MARINE DIESEL FUELS AND THEIR ANTI-WEAR PROPERTIES: STATE AND PROSPECTS OF THEIR USE

The aim of the work is to study the methods of regulating the anti-wear properties of diesel fuels, their negative and positive impact on the reliability of marine diesel fuel equipment. This goal is achieved by clarifying the content of the main methods for regulating the anti-wear properties of diesel fuels. The method of adding anti-wear additives to low-sulphur diesel fuels is considered. It is established that the concentration of additives in low-sulphur distillate fuel in the amount of 0.015÷0.02% by weight significantly improves the anti-wear properties of marine diesel fuels. It is emphasised that studies of the impact of adding mineral oil to diesel fuel, which improves the lubricity of the fuel, have not yet been completed. It is proved that the addition of vegetable oil to diesel fuel improves its anti-wear properties. It has been shown that a mixture of vegetable oils in any proportion with petroleum products allows the synthesis of motor fuels with predetermined physical and chemical properties. It is emphasised that the study of the anti-wear properties of blends of traditional diesel fuel and 1, 2, 5, 10 and 20% palm oil methyl esters revealed that the friction force decreases most strongly with an increase in the concentration of biodiesel from 1% to 5%, reaching a minimum at 10% biodiesel content. The most significant result of the study is a critical analysis of the main ways to regulate the anti-wear properties of diesel fuels by adding anti-wear additives, various types of vegetable oils, biofuels, and mineral oil in certain proportions to diesel fuel. Further work is to conduct studies to identify the impact of different types of diesel fuels on the wear rate of precision pairs of fuel equipment of marine diesel engines to develop reasonable recommendations aimed at improving their reliability.

Keywords: *anti-wear properties, diesel fuel, low-sulphur distillate fuel, vegetable oil, mineral oil, biofuel.*

УДК 629.5

doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.07

Сагін С.С., Ворохобін І.І.

МІНІМІЗАЦІЯ РИЗИКУ ВИНИКНЕННЯ НЕБЕЗПЕКИ МОРСЬКИХ ПОДІЙ ПІД ЧАС НАВІГАЦІЙНИХ ПЕРЕХОДІВ СУДЕН МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Розглянуті методи контролю та управління ризиками під час навігаційного переходу суден морського транспорту з використанням штучного інтелекту. Процес аналізу ризику морських подій становить фундаментальну основу для розроблення профілактичних стратегій, які включають методики мінімізації ризику виникнення небезпеки та контроль за ними, що є критично важливими для уникнення подій, які можуть призвести до суттєвих втрат або пошкоджень. Необхідність системного підходу до аналізу ризиків пов'язаних з використанням штучного інтелекту для суден морського транспорту включає ідентифікацію, оцінку та мінімізацію потенційних загроз.

Аналітичний підхід для оцінювання ймовірностей і частоти виникнення морських подій дозволяє не лише детально оцінити можливі ризики, але також класифікувати їх згідно з встановленими критеріями для кращого управління та запобігання. Такий підхід сприяє підвищенню точності в оцінці ризиків та розробці ефективних стратегій їх мінімізації, що є