

10.31653/smf44.2022. 53-63

Богач В.М., Довіденко Ю.М., Дуранов О.П.

Національний університет «Одеська морська академія»

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ЛУБРИКАТОРНИХ СИСТЕМ СУДНОВИХ ДОВГОХОДОВИХ ДВИГУНІВ

The abstract

The publication is devoted the decision of an actual problem increase efficiency operation of ship diesel engines by perfection processes greasing of cylinders.

The outcomes bench and service tests of existing systems of lubrication of barrels of ship long-stroke diesel engines are submitted. The main lacks of process of motion of oil in a system are established, and the characteristics of this process are determined.

Keywords: ship diesel engine, greasing system, greasing channel, greasing process, cylinder, piston, a piston ring.

Для забезпечення змащування циліндрів усі суднові малооборотні дизелі обладнуються лубрикаторними системами. За часом подачі масла по відношенню до положення поршня ці системи поділяються на два типи – синхронізовані та несинхронізовані.

Метою синхронізації є забезпечення подачі масла в період проходження поршневих кілець через пояс розташування мастильних отворів. Така подача вважається більш досконалою, проте до теперішнього часу у світовій практиці експлуатації ДВС ширше використовуються не синхронізовані системи, що пояснюється порівняно простішою їх конструкцією.

Як показують результати розкриттів циліндрів суднових двигунів і аналіз нагарів, у них присутні сліди зустрічі мастила з бічною поверхнею головки поршня і натири на дзеркалі циліндра, що свідчать про наявність забруднень які заповнюють зазори між головкою поршня і дзеркалом циліндра [1,4].

Слід зазначити зусилля двигунобудівних фірм спрямовані на видалення доріжок нагару шляхом встановлення у верхній частині втулки кільця-скребка рис.1, діаметром трохи меншим від внутрішнього діаметра циліндра.

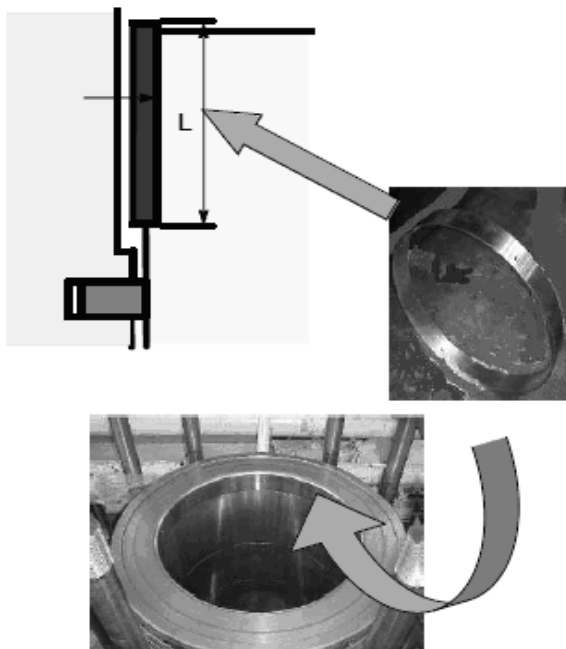


Рис. 1. Спеціальне кільце у двигунів RTA

Скребок призначений для видалення масла, що потрапив на ділянку головки вище першого компресійного кільця. Як показують експлуатаційні спостереження [2,5], дійсно кільце-скребок переміщає масло, що потрапляє на головку, і нагари, що утворюються там, нижче, в район 1-го компресійного кільця.

Однак це призводить до скупчення цих нагарів вище кільця рис.2 і попадання їх у зазор між ним і втулкою, що сприяє збільшенню абразивного зносу дзеркала і поршневих кілець.

Отже, поставлена мета виявилася не досягнутою, що може бути зрозуміло відсутністю досліджень впливу запропонованої геометрії каналу на процес виходу масла в циліндр, без яких ці зміни є звичайним інтуїтивним рішенням.

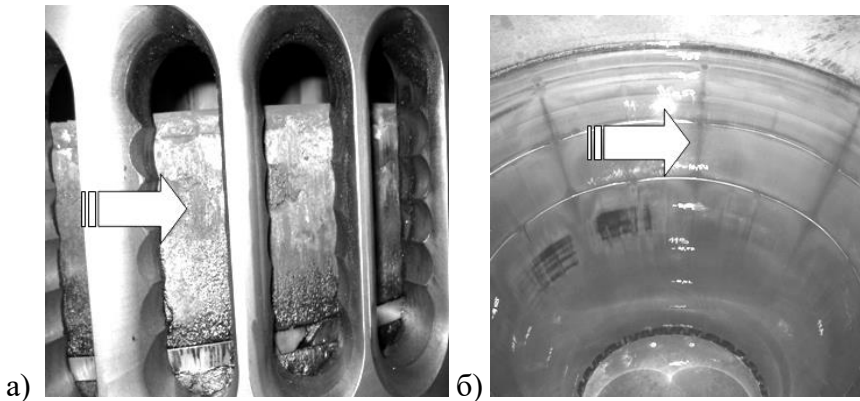


Рис.2. Характер нагароутворень на голівці поршня (а) та натирань на дзеркалі втулки (б) у довгоходових двигунів.

Дослідження системи змащування циліндрів довгоходових двигунів показали, що масло надходить у циліндр на кожному обороті невеликими порціями, причому його вихід на дзеркало втулки відбувається, міняючи маслорозподільні канавки, у вигляді вузької вертикальної смуги.

Витікання масла відбувається з відривом від дзеркала циліндра, зі швидкостями 0,4- 1,0 м/с, рис.3, і супроводжується формуванням короткого струменя, який виступає щодо площини зрізу вихідного отвору на 20-25 мм, а потім (одночасно зі втратою швидкості) поступово опускається вниз, не втрачаючи зв'язку з дзеркалом.

Струмене витікання масла приводить до надходження його на неробочі поверхні головки поршня, а отже і до неефективного використання масла в циліндрі.

На рис.4 наведено приклад осцилограми процесу маслоподачі через один з маслопідводних каналів. Осцилографування показало, що початок надходження мастила в циліндр припадає на 340° п.к.в.

На першому обороті циклу маслоподачі тривалість надходження мастила в циліндр становить 280° п.к.в. Зменшення величини ходу плунжера (циклової подачі мастила) призводить до зміщення початку подачі мастила в циліндр та зменшення тривалості подачі. Так, при ході плунжера лубрикатора рівному 3 мм масло надходить у циліндр (на 1-му обороті циклу) протягом 260° п.к.в., при цьому початок подачі зміщується до 300° п.к.в. за ВМТ.

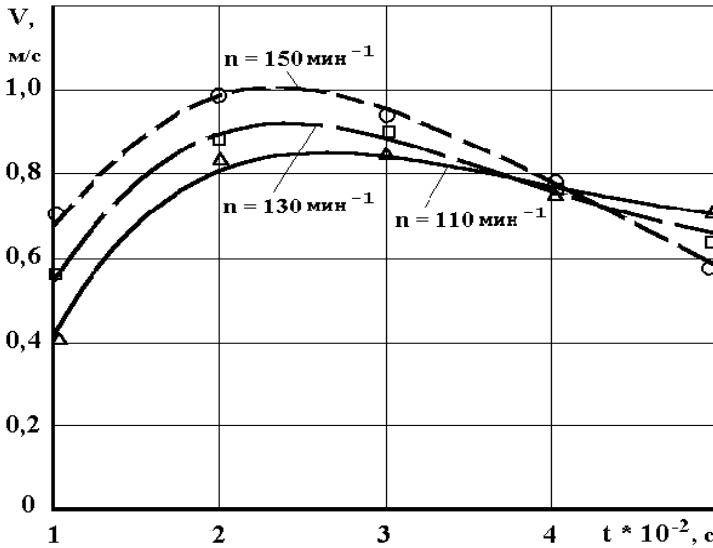


Рис.3. Швидкості руху мастила на виході до циліндру.

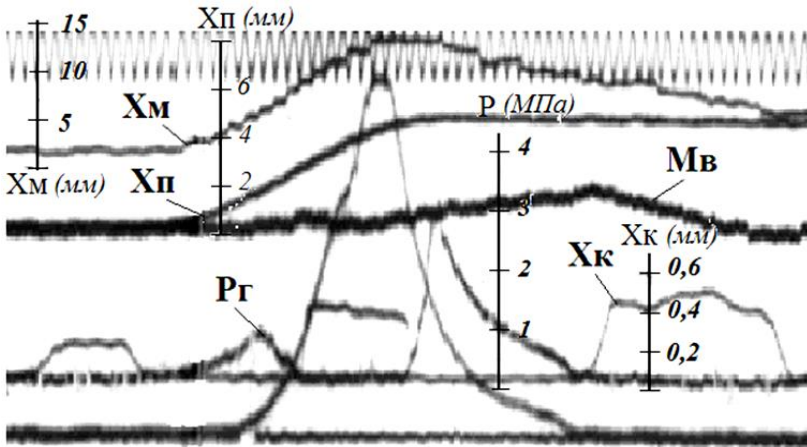


Рис.4. Осцилограма маслоподачі лубрикатором.

На другому обороті циклу початок надходження мастила з каналів припадає на 345° п.к.в., при цьому тривалість першої фази маслоподачі становить 45° п.к.в., а друга фаза починається з позначки 75° п.к.в. і закінчується на 130° п.к.в. після ВМТ.

Отже, загальна тривалість маслоподачі на другому обороті циклу менше, ніж на першому і становить 100°п.к.в. на другому (останньому) обороті циклу маслоподачі.

Привід синхронізованої системи забезпечує робочий хід плунжера лубрикатора через один оборот двигуна, надходження ж мастила в циліндр відбувається на кожному ході поршня. Регулярне витікання масла обумовлено приготуванням в каналі газомасильної суміші, яка в проміжках між імпульсами тиску газів розширюється і, тим самим забезпечує надходження масла на дзеркало невеликими порціями.

Обробка осцилограм дозволила встановити, що в усьому діапазоні зміни основних показників роботи системи в робочих умовах існує наступне кількісне співвідношення витрати масла по оборотах циклу маслоподачі: на першому обороті витрачається 55-65% масла від циклової подачі, а на другому – відповідно 45-35%.

Таким чином, встановлено, що у досліджуваних двигунів існує нерівномірність надходження масла за оборотами, яка в основному експлуатаційному режимі досягає 30%.

Суміщення осцилограми з рухом поршня, дозволяє визначити на які поверхні, і в які періоди відбувається дійсне витікання масла. Встановлено, що початок витікання масла в циліндр відбувається, коли 4-е поршневе кільце перетинає пояс розташування масляних отворів при русі поршня до ВМТ. Починаючи з цього моменту і протягом наступних 40°п.к.в., поки поршень продовжує рух вгору, масло, що надходить в циліндр, стікає вниз під отвір, не зустрічаючись з поршневими кільцями.

Подальший рух поршня у зворотному напрямку до НМТ призведе до зустрічі кілець з маслом, що стікає вниз, і переміщення його в нижню частину втулки. На другому обороті циклу маслоподачі, кількість масла, поданого у верхню частину втулки, зменшиться в порівнянні з першим оборотом через скорочення періоду маслоподачі, а також падіння тиску в нагнітальному трубопроводі, обумовленого частковим його розвантаженням від масла, що надходить у циліндр на 1-му обороті. Тривалість подачі мастила в нижню частину втулки залишається такою самою, як на 1-му обороті циклу.

На основному експлуатаційному режимі у верхню частину втулки поступає 40% мастила, а в нижню - 50%. При цьому нижня частина втулки становить 70% всієї робочої поверхні дзеркала циліндра, а верхня відповідно - 30%. Виходячи з умови рівномірного розподілу

масла по всій робочій поверхні циліндра, нижня частина втулки недоотримує 20% масла, а верхня - має надлишок його, в кількості 10%, що визначає винесення його з продувним повітрям.

Таким чином, досліджувана система має нерівномірність розподілу масла між верхньою і нижньою частинами циліндрової втулки.

Виконані дослідження системи змащування зі штатним лубрикаторм дозволили виявити основні недоліки системи, які полягають:

- у русі мастила по дзеркалі циліндра минаючи канавки;
- нерівномірному надходженні його за оборотами циклу маслоподачі;
- невідповідність між кількістю масла розподіленим по дзеркалу і площею робочої поверхні втулки, розташованої вище і нижче отворів.

Дослідження процесу маслоподачі системою "Альфа" через зміщені вгору канали здійснювалися в експлуатаційних умовах на довгоходових двигунах фірми MAN – B&W на різних режимах їх роботи. Експерименти супроводжувалися реєстрацією всіх необхідних параметрів роботи системи.

На рис.5 наведено приклад осцилограми із записом дійсних моментів витікання масла. Аналіз показує, що в експлуатаційних умовах струйний вихід масла (лінія Мв) може відбуватися в 1,2 і більше прийомів як після першого імпульсу, тобто на висхідному ході поршня, так і після другого, тобто на ході, що відповідає розширенню газів у циліндрі.

Однак, струйний вихід масла відбувається тільки при падінні тиску імпульсів, а отже, після першого - малого імпульсу масло частково подається в район останніх кілець і на тронк, а після другого - вище кілець, переважно на бічну поверхню і днище головки поршня, що і підтверджено експлуатаційними спостереженнями.

Важливо відзначити, що струйний вихід масла відбувається і при нерухомому плунжері лубрикатора (лінія Хп), а це означає, що витікання масла в циліндр не є результатом його ходу.

З осцилограми випливає, що у досліджуваної системи момент витоку масла з мастильного отвору визначається не ходом плунжера, а рівнем протитиску газу з боку циліндра [3,4].

Отже, при існуючих конструкціях нагнітального тракту систем змащування, витікання масла в циліндр відбувається тільки при

падінні імпульсів протитиску газів, що діють в область мастильних отворів.

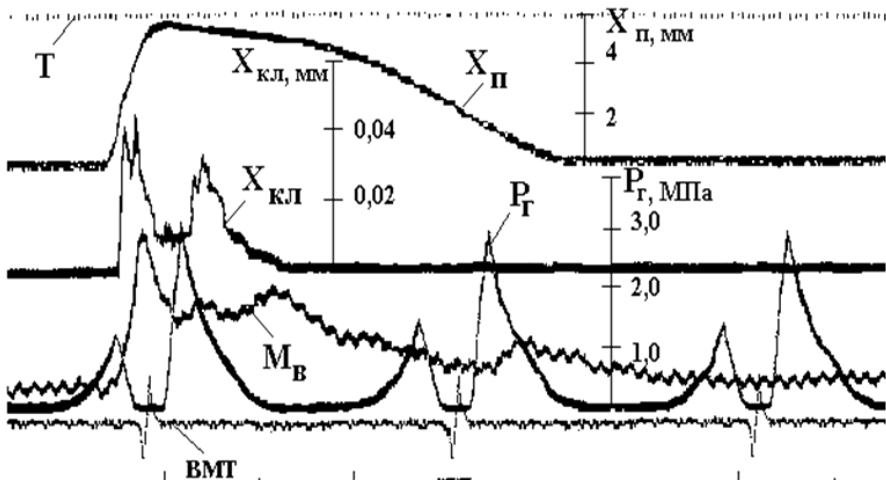


Рис.5 Осцилограма маслоподачі системою "Альфа".

Зіставляючи осцилограми процесів подачі масла, отримані на стенді, з осцилограмами дії газів отриманими безпосередньо на двигунах, з достатнім ступенем точності можна оцінити справжній момент виходу мастила в циліндр. В результаті такого зіставлення встановлено, що у дизелів з верхнім розташуванням мастильних отворів витікання на висхідному ході поршня (перша фаза) починається в діапазоні 330...350° п.к.в., а на низхідному (друга фаза) - в діапазоні 50...70° п.к.в.

У першій фазі частина мастила надходить у район кілець і на тронк, тому є підстави стверджувати, що подача в цій фазі в основному забезпечує змащування циліндра.

У другій фазі витікання відбувається, коли поршень починає йти під отвори або виявляється значно нижчим за них. У цьому та частина масла, що у аналізованій період надходить з відривом від дзеркала, попадає на головку поршня та її днище, і становить прямі втрати.

Слід зазначити, що у досліджуваних дизелів друга фаза подачі супроводжується більш енергійним струйним виходом масла, який відбувається при нерухомому плунжері лубрикатора і закритому клапані штуцера. Причому швидкість витікання масла в циліндр може досягати декількох метрів за секунду, рис.6. Це є доказом відсутності прямого зв'язку і безпосередньої участі конструкції лубрика-

торної системи, розташованої до штуцера у формуванні процесу витікання масла в циліндр, тобто цей процес не визначається параметрами в маслопроводі перед клапаном.

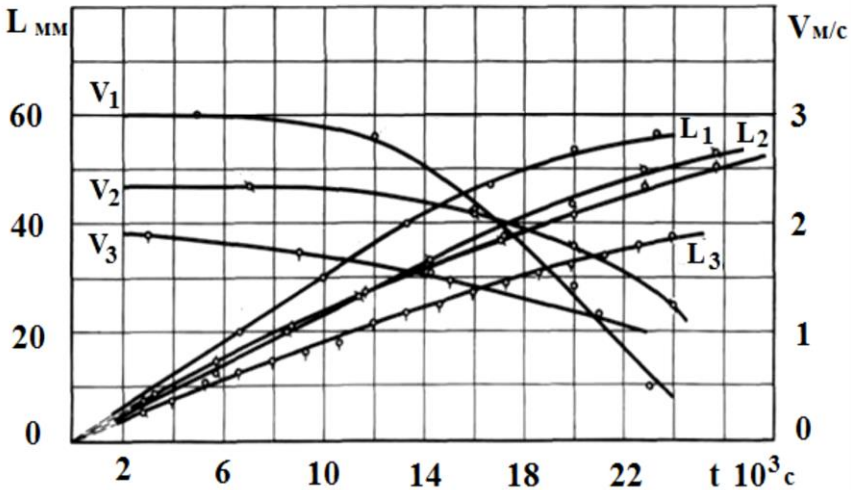


Рис.6. Характеристики руху мастила на виході в циліндр при подачі системою "Альфа"

Експериментально встановлено, що ні довжина маслопроводу, ні тиск перед безповоротним клапаном, не змінюють кількість масла, що надходить у циліндр з відривом від зрізу вихідного отвору.

Візуальні спостереження і кінокадри (рис.7), отримані безпосередньо на двигуні, підтверджують дані лабораторних досліджень і наочно показують, що під дією імпульсу тиску газів, що діє з робочого циліндра на вільній поверхні масла, що знаходиться у каналі, виникає хвильовий рух мастила.

При різкому падінні тиску у зрізу масляного каналу під дією енергії розширення замкнутих обсягів газу рух формується з каналу до циліндра і супроводжується струйним виходом частини масла зі значною швидкістю за межі зрізу каналу. Частина, що залишилася, стікає по стінці втулки. Аналіз результатів кінозйомки показує, що момент початку струйного виходу припадає на період руху першого кільця під пояс отворів під час руху його на розширенні в циліндрі.

Перерахунок часу фіксованого процесу по відношенню до положення поршня в циліндрі показує, що період зміни початку струйного виходу на розширенні коливається в межах від 90 до 1000 поворотів.

ту колінчастого валу двигуна. Головка поршня в цей період знаходиться на 400-800 мм нижче мастильних отворів.

Зіставлення цих результатів з отриманими різними методами, показує, що діапазон струйного виходу укладається в одні і ті ж градуси кута повороту колінчастого валу. Звідси випливає, що порція масла, що надійшла з відривом від дзеркала втулки в період, що розглядається, попадає в об'єм робочого циліндра з високою температурою газу (400-500°C) і використовується непродуктивно, збільшуючи нагароутворення на деталях ЦПГ і в випускному тракті. Кількісно ця порція становить 30-40% від усієї циклової подачі.

При русі поршня на стиск у період руху компресійних кілець вгору щодо маслоподводящих отворів тиск газу, що діє в область каналу, також падає і формується друга подача масла в циліндр, яка припадає частково в район нижніх поршневих кілець і в основному на трон поршня. На цю подачу припадає не більше 15-20% циклової порції.

Таким чином, подача масла на лінії розширення з відривом його від зрізу каналу при знаходженні поршня значно нижче пояса маслоподаючих отворів вказує на недосконалість конструкції нагнітального тракту системи і самого процесу подачі масла в циліндр, що містить в собі основний резерв підвищення економічності двигуна за витратою циліндрового мастила. Накладання кривої руху поршня на осцилограму процесу маслоподачі показує, що початок витікання масла (близько 10% від циклової подачі) на дзеркало (лінія Мв) відбувається в діапазоні 230-260о п.к.в., що обумовлений низьким тиском газів протидіючих руху масла.

В подальшому, з 335 по 355о п.к.в., протягом яких кільця знаходяться вище масляних отворів, в циліндр надходить близько 35% масла від усієї подачі. У проміжках між 355 і 15о п.к.в., подача масла в циліндр переривається великим імпульсом протитиску газів, який досягає 3 МПа. Частина масла, що залишилося, надходить на другому обороті, в ті ж проміжки, що і на першому, з кількісним співвідношенням 15 і 25%.

Це визначає скидання великої кількості мастила у продувні вікна, підпоршневі простір, а також винесення його з продувним повітрям. Надалі настають перерви (на 2-4 оборотах) у надходженні мастила на дзеркало, через спустошення каналу в результаті викиду. Слід зазначити, що рух плунжера і відкриття клапана забезпечують лише початок витікання масла в циліндр, проте основна його кіль-

кість надходить на дзеркало і при нерухомому плунжері, а також закритому клапані.

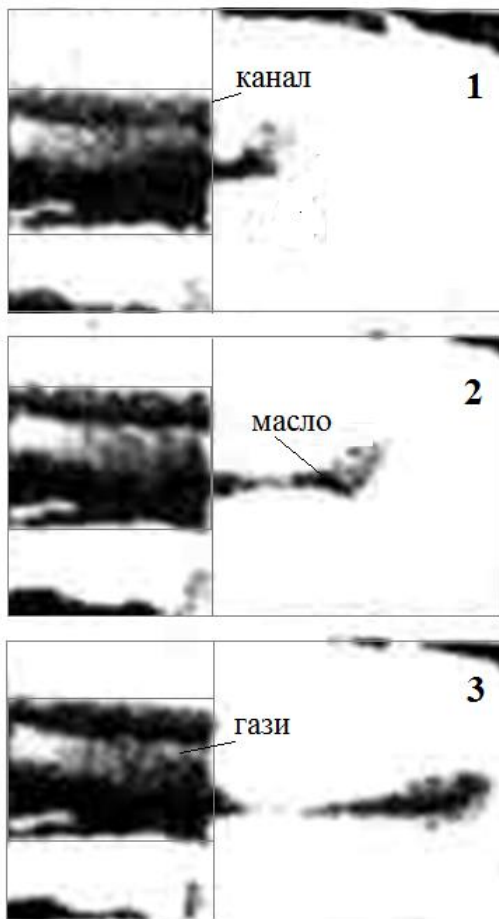


Рис.7. Кінокадри процесу маслоподачі системою "Альфа"

В результаті експериментальних досліджень встановлено:

1. Надходження масла в циліндр з каналу за клапаном штуцера здійснюється в результаті взаємодії газів з маслом в цьому каналі і супроводжується струйним виходом частини масла на неробочі поверхні деталей ЦПГ, що призводить до прямих його втрат;

2. Витікання масла з каналу на дзеркало відбувається в основному повз канавок, що не сприяє рівномірному його розподілу по циліндру і зумовлює скидання масла у вікна, підпоршневий простір і винесення з продувним повітрям;

3. Струйний вихід масла, що відбувається на лінії розширення, здійснюється в обсязі робочого циліндра при положенні поршня нижче каналів і становить основну частину масла, яке нераціонально використовується в циліндрі, збільшує відкладення нагару, погіршує стан циліндра і знижує техніко-економічні показники роботи двигуна;

4. Подача мастила при стисканні в циліндрі припадає частково на нижні кільця і в основному - на тронк поршня. При цьому має місце нерівномірна подача мастила по оборотах та непропорційний розподіл його між верхньою та нижньою частинами дзеркала.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Богач В.М. Характеристики процесу мащення циліндро-поршневої групи двигунів РТА / В.М. Богач, Ю.М. Довиденко // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вып. 38. - Одеса: НУ «ОМА», 2018. – С 26-39.
2. Богач В.М. Недоліки лубрикаторних систем судових двигунів MAN-B&W / В.М. Богач, Ю.М. Довиденко, І.М. Слободянюк // Суднові енергетичні установки: наук-техн. зб. Вып. 41. - Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С. 149-156.
3. Бузовський В.А. Тенденції розвитку лубрикаторних систем судових дизелів / В.А. Бузовський, В.М. Богач, М.В. Драгомир // Суднові енергетичні установки: наук-техн. зб. Вып. 42. - Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 25-34.
4. Шебанов А.Н. Исследование процесса мащення двухрядной лубрикаторной системой с аккумулярованием давления масла / А.Н. Шебанов, В.М. Богач // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2013.- Вып. 31 - Одесса: ОНМА. - С.122-132.
5. Bogach V. Performance efficiency lubricator systems of marine diesel engines / V. Bogach, A. Shebanov // European Applied Sciences, November, №11, 2016 - pp. 24-29.