

10.31653/smf47.2023.11-22

Богач В.М., Обертюр К.Л., Довиденко Ю.М.

Національний університет «Одеська морська академія»

ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОДАЧІ МАСТИЛА В ЦИЛІНДРИ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

Постановка проблеми в загальному вигляді. При аналізі ефективності роботи лубрикаторних систем суднових МОД рівень зношування в циліндрі, характеристики нагароутворень і витрати циліндрового масла тривалий час залишалися лише критеріями оцінки його експлуатаційних властивостей.

Дослідженнями [1] доведено, що значна частина мастила (при існуючих системах) неминуче надходить у циліндр у період руху поршня нижче мастильних отворів і потрапляє на бокову поверхню головки, а також його днище, де воно стає додатковим джерелом утворення нагару (рис.1), який, як відомо, погіршує стан і умови роботи циліндра.

Ця некерована подача масла на поверхні поршня температура яких досягає 500°C і більше, ставить масло в критичні (не заплановані при їх створенні) умови. У таких умовах із-за недосконалості лубрикаторних систем, відбувається не тільки пряме, невиправдане спалювання дефіцитних циліндрових масел, а й суттєве приховування проявів їх якості та справжньої ефективності.

Звідси випливає, що створення мастильних систем без уявлення про формовані ними процеси неприпустимо. Недосконалість маслоподаючих пристроїв не може і не повинно компенсуватися підвищенням вимог до якості мастил.

Зусилля по двох напрямках - створення масел і систем, історично ізолюваних один від одного, повинні бути об'єднані, що дозволить отримати резерви в підвищенні надійності та економічності дизелів, а також збільшити ефективність використання циліндрових мастил.

Виходячи з цієї перспективи виникає завдання аналізу факторів, що визначають рівень характеристик процесу подачі масла в циліндри МОД. Насамперед це стосується тих характеристик у зміні яких криється реальний техніко-економічний результат.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження [1,2] показали, що процес витікання масла в циліндр формується в передкамері і супроводжується загальним для всіх двигунів нерациональним

використанням мастил пов'язаним з концентрованими подачами їх на перших оборотах циклу, та недостатньою кількістю на останніх обертах.

Це, разом з різницею швидкостей подачі масла, а також особливостями, зумовленими приналежністю предкамери до конкретної конструкції двигуна, визначило напрямок пошуку факторів впливу на характеристики руху масла при виході його в циліндр. Їх можна поділити на дві групи.

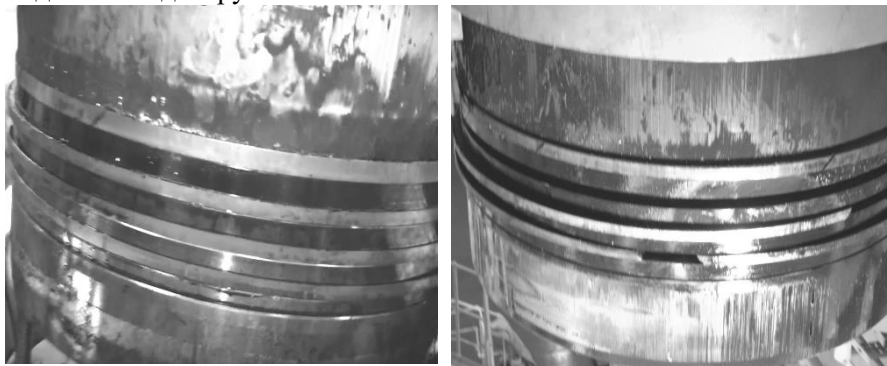


Рис.1. Відкладення на боковій поверхні головки поршня

У першу групу входять конструктивні фактори: об'єм предкамери; діаметр каналу в стінці втулки та його довжина; рівень розташування мастильних отворів по висоті циліндра; нахил каналу в стінці втулки [3].

Другу групу складають експлуатаційні фактори: величина порцій масла, що подаються в передкамеру; температура масла в передкамері; число оборотів двигуна та його навантаження; крен або диферент судна.

При почерговій оцінці впливу кожного з перерахованих факторів на процес подачі масла, вдалося виявити головні з них і визначити напрямок вдосконалення існуючих систем мащення.

Постановка завдання. Мета дослідження – полягає у розробці нових ефективних конструкцій маслоподаючих пристроїв, що являють собою заключну частину нагнітального тракту систем змащування циліндрів МОД.

Викладення матеріалу дослідження.

Розглядаючи характер руху масла по каналах системи встановлено [1, 2, 3], що основними умовами організації цього процесу є вільні поверхні масла в передкамері, деформація їх під дією ударних імпу-

льсів тиску газу зсередини циліндра з подальшим утворенням гребеня, який замикає канал, замикаючи газові порожнини з одночасним їх стисненням (рис.2), що відбувається до кінця підвищення тиску імпульсу.

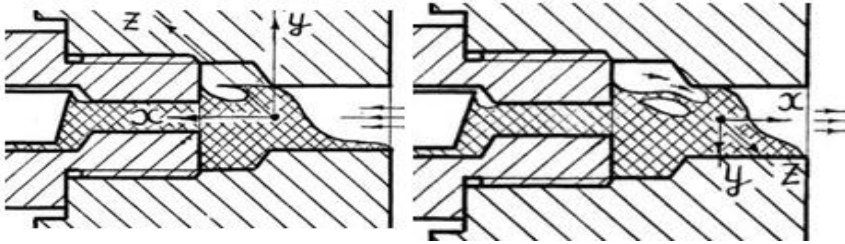


Рис.2. Характер руху масла по каналах ЦВ

Збільшення діаметра каналу призводить до зменшення нерівномірності порцій масла від оборту до оборту тому, що замикання його (тобто дотик гребеня з верхньої межі каналу) відбувається рідше. Крім того, зв'язок вершини гребеня з верхньою стінкою каналу стає, у міру збільшення діаметра, більш слабким і легше руйнується як при русі гребеня в глиб каналу, так і в період розширення в ньому газів.

Це приводить до більш швидкого зрівнювання тиску перед гребенем і після нього, до інтенсивного згасання інерції маси гребеня і, природно, до зниження кількості масла, що надходить в циліндр концентрованими порціями. Формування гребеня, здатного перекрити канал, вимагає певної його довжини. У короткому каналі, за час наростання імпульсу тиску, гребінь не встигає розвинутися до розмірів, що забезпечують перекриття перерізу і замикання газової порожнини.

Разом з геометрією заклапанної порожнини, характеристика руху масла визначається і низкою інших умов, наприклад, рівнем розташування мастильних отворів по висоті циліндра. Цей фактор зумовлює число імпульсів тиску, що діють у заклапаній порожнині за один оборот, їх величину, швидкість наростання та падіння тиску, проміжок часу між імпульсами і температуру масла в передкамері.

Зростання числа оборотів двигуна, за інших незмінних умов, супроводжується збільшенням частоти імпульсів і явища концентрованої подачі. Це відбувається за рахунок підвищення рівня масла та наближення його вільної поверхні до верхньої стінки каналу, що

сприяють більш ранньому замиканню газової порожнини гребенем. Підвищення рівня масла в каналі пояснюється скороченням часу між імпульсами та зменшенням можливостей витікання його з отворів у цей період.

Оскільки підвищення рівня масла в каналі веде до збільшення можливості концентрованої подачі, то більшим порціям, що подаються в передкамеру, має відповідати більша кількість масла, що надходить у циліндр концентровано.

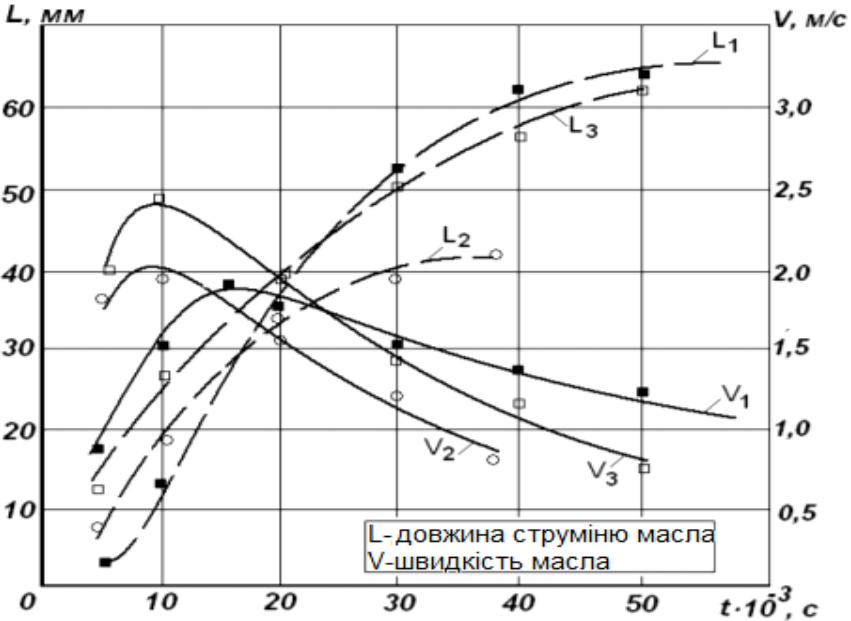


Рис.3. Характеристики руху мастила на виході в циліндр

Циклові подачі масла при експлуатації двигуна, особливо в періоди обкаток, змінюються в широкому діапазоні, тому отримана графічна залежність рис.3, що вказує на зміну характеристик надходження масла в циліндр за згаданих умов, має практичне значення, оскільки вона дає кількісну інформацію про ту частину масла, яка обумовлює інтенсифікацію нагаровідкладень. З графіків шляхом графічного диференціювання, визначено зміна швидкості переднього фронту частини масла, що здійснює вихід за межі зрізу масляного отвору.

На збільшення кількості масла (рис.4), що надходить в циліндр з відривом від стінки втулки при підвищенні числа обертів, рівня в

каналі, а отже і товщини його шару, ймовірно впливають резонансні явища коливань вільної поверхні масла і тиску газів над нею. Ці коливання, а також зворотно - поступальний рух масла в каналі під дією різкої зміни величин тиску та напрямів потоку газів, призводять до інтенсивного приготування в передкамері газомасляної суміші.

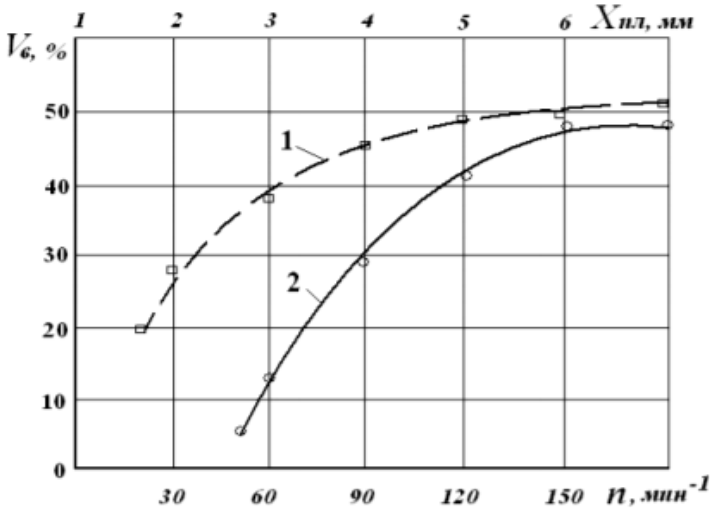


Рис.4. Обсяг струйного витікання масла (V_c) в залежності від: ходу плунжера $X_{пл} - 1$; обертів двигуна $n - 2$

Різні періоди поповнення каналів маслом, відповідні черги робочих ходів плунжерів лубрикаторів, зумовлюють лише різницю в умовній черговості пропуску надходження масла з отворів. Чергування форм концентрованої подачі, проміжки між ними та перерви в подачі масла з отворів свідчать про значне спустошення каналів.

Встановлено [3], що у зв'язку з спустошенням каналу та рухом масла від дзеркала до зворотного клапана в період наростання тиску газу у мастильного отвору, відбувається оголення стрижня, розміщеного в каналі штуцера. В результаті стрижень швидко прогрівається і стає акумулятором тепла, що прискорює розкладання масла (яке відбувається насамперед на поверхні самого стрижня) аж до загоряння каналу, як відомо, характерного для МОД, особливо при використанні циліндрових масел з низькою термо-окислювальною стабільністю.

Таким чином, складні некеровані взаємозв'язки, характерні для існуючих систем, значною мірою визначають хаотичність організації

змащування циліндрів і раптовість виникнення їх зносу. Складність цих обставин доповнюється відсутністю надійних методів прогнозування також оцінки поточного зміни умов роботи ЦПГ і труднощами (в цих умовах) вибору, а також правильного визначення придатності того чи іншого сорту масел для забезпечення надійної роботи циліндрів.

Тому, разом зі створенням нових сортів масел, в такій же мірі необхідно займатися вивченням роботи існуючих маслоподаючих пристроїв, вдосконалювати їх і створювати нові конструкції, більш ефективні і пристосовані до сучасної тенденції форсування дизелів, а також експлуатації їх на важких сортах палив, що все погіршуються.

З аналізу зміни кількості масла, що надходить у циліндр концентрованими порціями в залежності від конструктивних факторів, впливає, що головними геометричними характеристиками нагнітального тракту, що мають основний вплив на подачу масла в циліндр, є об'єм, довжина та неоднорідність передкамери, а також кут її нахилу.

Для ліквідації концентрованої подачі (або щонайменше граничного її зниження) можуть бути використані різні варіанти:

- перетворення передкамери в канал постійного обмеженого перерізу з капілярними властивостями, що забезпечують постійну заповненість його маслом;

- максимально можливе наближення безповоротного клапана до дзеркала циліндра;

- надання передкамері форм, що забезпечують газову подачу без концентрованої подачі та ін.

Ці результати, стали основою для вдосконалення існуючих систем, і вихідною позицією при створенні цілої групи нових маслопідвідних пристроїв, що мають властивості, які принципово відрізняються, та істотно підвищують ефективність лубрикаторних систем.

Використання мікропроцесорів при управлінні двигуном дозволило підвищити ефективність роботи лубрикаторної системи. У традиційній системі, де використовується механічний привід лубрикаторів, ряд фірм для зменшення подачі масла до циліндрів при зниженні навантаження двигуна пов'язували механізм подачі з положенням рейки паливних насосів. Але, на жаль, не змогли досягти синхронізації подачі з рухом поршня робочого циліндра, а це призводило до того, що частина масла, що надходить зі штуцерів, потрапляла в циліндр над поршнем, і при його русі вгору поршневыми кільцями перемішалося в напрямку камери згоряння де вигорало.

Інша частина масла виходила зі штуцерів циліндра під поршень і при його русі вниз кільцями закидалося в продувні та випускні вікна. Ідеальною вважається подача в момент, коли масло виходить зі штуцера в проміжок між першим і другим поршневыми кільцями. Тоді масло добре розноситься по поверхні циліндра і раніше зазначені втрати зменшуються.

Концепція нової системи мастила циліндрів з електронним керуванням представлена на рис.5. Масло з цистерни надходить у насосну станцію, де його тиск піднімається до 4,5 МПа і направляється в індивідуальні для кожного циліндра акумулятори і далі в лубрикатори. У станції знаходяться два робочі насоси і один, що автоматично включається в режимі stand-by. Кількість лубрикаторів (1 або 2) на кожному циліндрі залежить від розмірів циліндра (кількості штуцерів).

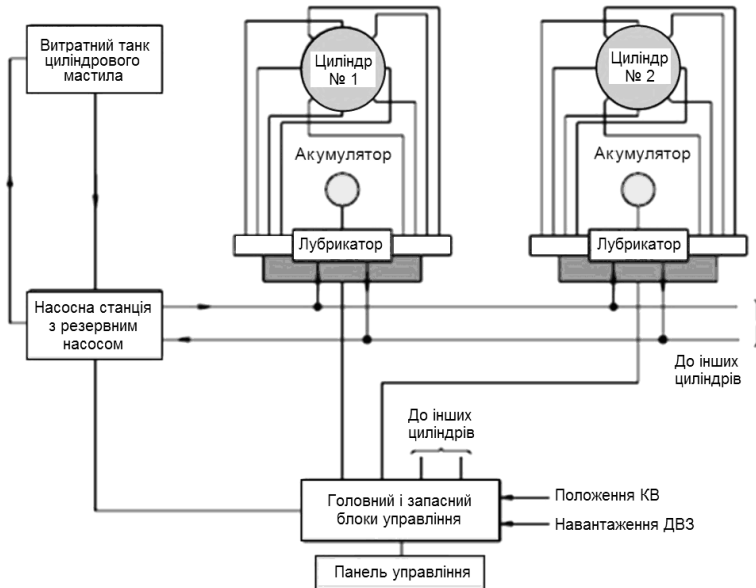


Рис.5. Система мащення циліндрів з електронним управлінням

Лубрикатор (рис.6) забезпечений поршнем гідропідсилювача, подача масла на який здійснюється через швидкодіючий двопозиційний клапан, керований мікропроцесором. Поршень надає руху розміщеним по колу плунжерам насосів високого тиску, що забезпечують подачу однакових кількостей масла по всіх точках мащення і, практично, в один момент часу.

Лубрикатор подає масло через кожні в 4...6 оборотів колінчастого валу в залежності від необхідної величини подачі. Збільшення подачі досягається збільшенням частоти подач, зменшення – навпаки. Час уприскування (момент подачі) задається мікропроцесором з великою точністю з тим, щоб надходження масла в штуцер відбувалося в період, коли поршень своїм комплектом кілець знаходиться в площині каналів на дзеркалі циліндра.

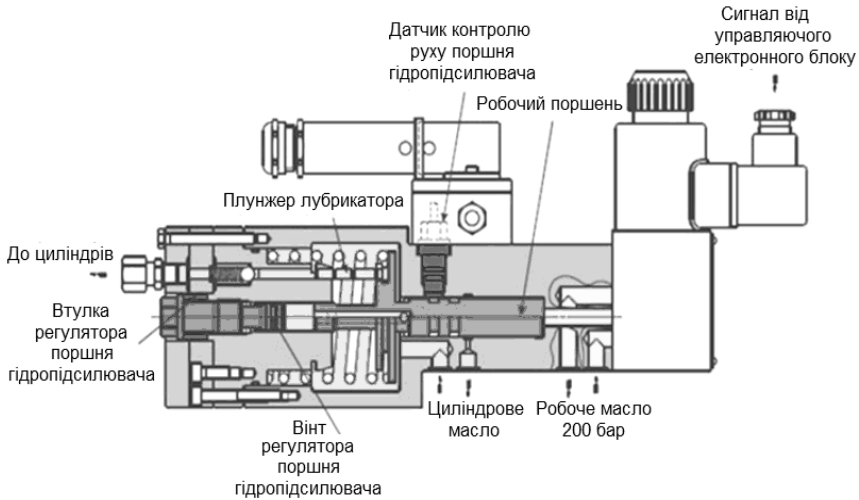


Рис. 6. Лубрикатор системи мащення з електронним управлінням

Канал повинен мати обмежений переріз і мати капілярні властивості, завдяки яким забезпечується постійна заповненість його маслом, що виключає утворення газових порожнин. Такий варіант, при довгих пристроях, спрощує технологію їх виготовлення. У той же час істотні відмінності у витратах і швидкостях зміни напору масла, а також у довжинах каналів, що залежать від конструктивних особливостей двигуна, зумовлюють необхідність відшукування методу оцінки правильності вибору розмірів маслопідвідних органів і величини кільцевої щілини, що забезпечують вихід мастила без відриву від дзеркала втулки.

Описана конструкція рекомендується для двигунів, у яких штуцера розташовані у верхній частині циліндра. Характерною рисою наведених конструкцій є розташування клапана поблизу дзеркала циліндра. Це гранично зменшує шкідливий об'єм і дозволяє наблизити-

ти вихід масла в циліндр до моменту подачі його лубрикатором. Остання обставина особливо важлива для дизелів з синхронізованим приводом насосів і розташуванням мастильних отворів в зоні відносно низького тиску.

Завдяки бічним отворах масло подається по дотичній до кола циліндра і отримує спрямований рух по обидва боки від точки змащування. Це покращує розподіл його по дзеркалу і запобігає подачі на головку поршня.

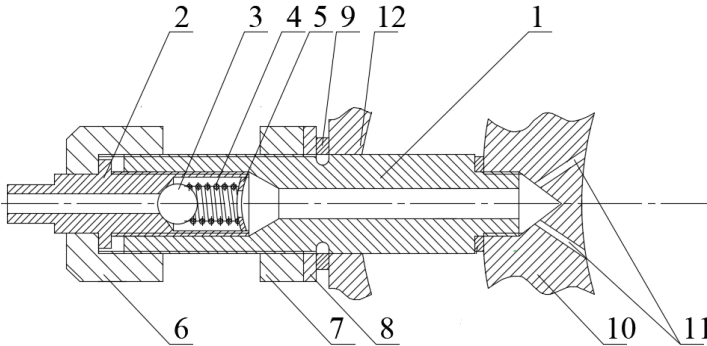


Рис.7. Вдосконалений вузол мащення циліндрової втулки:

1 – корпус штуцера; 2 – корпус незворотного клапану; 3 – кулька; 4 – пружина; 5 – біметалева мембрана; 6 – гайка накидна; 7 – гайка притискна; 8 – шайба; 9 – ущільнення; 10 – тіло циліндрового втулки; 11 – похилі отвори мащення 12 – тіло блоку циліндрів

Враховуючи існуючі недоліки лубрикаторних систем нами розроблено вдосконалений вузол мащення циліндрової втулки (рис.7), що складається зі штуцера з отвором для мастила, незворотного клапану, накидної та притискної гайок та ущільнень, та який відрізняється тим, що кулька незворотного клапану притискується пружиною, що спирається на біметалеву мембрану, а у тілі втулки канали для мащення виконані під кутом до осі штуцера.

Технічний ефект досягається завдяки тому, що комбінація отворів та пружних елементів забезпечує:

- зменшення вузлів концентрації механічних напруг та забруднення у циліндровій втулці;
- більш ефективне мащення дзеркала циліндрової втулки;
- організацію процесу мащення з урахуванням дійсної температури та в'язкості мастильних матеріалів;

- підвищення ресурсу циліндрового втулки;
- зниження експлуатаційних та ремонтних витрат;
- можливість швидкої імплементації у виробничий процес.

Розробка відноситься до пристроїв підведення мастильних матеріалів від лубрикаторів до дзеркала циліндрового втулки судових двигунів внутрішнього згорання.

Область застосування – системи мащення судових двигунів внутрішнього згорання [1,3].

Відомий вузол мащення циліндрового втулки, що складається зі штуцера з отвором для мастила, незворотного клапану, накидної та притискної гайок та ущільнень. Штуцер має один отвір, вісь якого збігається з віссю штуцера [4].

Недоліком даного вузла є:

- неефективне мащення дзеркала циліндрової втулки завдяки великому діаметру мастильного отвору;
- ніяким чином при організації процесу мащення не враховується температура та в'язкість мастильних матеріалів;
- відносно великий мастильний отвір, а особливо канавки на дзеркалі втулки певним чином негативно впливає на її міцність.

Найбільш близьким за технічною сутністю та результатом, що досягається, до розробки, що пропонується, є вузол мащення циліндрової втулки, що складається зі штуцера з отвором для мастила, незворотного клапану, накидної та притискної гайок та ущільнень. Для організації процесу мащення на дзеркалі циліндрової втулки виконані похилі поглиблення [2,5].

Недоліки застосування одного отвору для подачі мастильних матеріалів та поглиблень (канавок) на дзеркалі циліндрового втулки полягають у том, що:

- похилі поглиблення є джерелом концентрації механічних напруг та забруднення у циліндровій втулці;
- збільшуються витрати на технічне обслуговування двигуна;

Задачею розробки є створення вузла мащення, що забезпечить більш ефективну роботу лубрикаторної системи, відсутність вузлів концентрації механічних напруг та забруднення у циліндровій втулці, організацію процесу мащення з урахуванням дійсної температури та в'язкості мастильних матеріалів, підвищення ресурсу циліндрової втулки, можливість швидкої імплементації у виробничий процес. А також у знижені експлуатаційних витрат та одночасному збережені простоти технічних рішень вузлів мащення відомих типів.

Суть розробки пояснюється кресленням (рис.6), де зображено корпус штуцера 1, який містить незворотний клапан 2. У корпусі клапану містяться сталеві кульки 3, яка перекриває канал мащення. Кульку підтискує пружина 4, яка спирається на біметалеву мембрану 5. Корпус незворотного клапану фіксується у корпусі штуцера накидною гайкою 6. Штуцер фіксується у тілі циліндрового втулки 10 різьбовим з'єднанням. Мастило потрапляє до дзеркала втулки через отвори 11, які виконані під кутом до осі штуцера. Між штуцером та втулкою та між штуцером та тілом блоку циліндрів встановлені мідні ущільнення. До тіла блоку циліндрів ущільнення притискується гайкою притискною 7 через шайбу 8.

У розробці застосовано комбінацію отворів та пружних елементів. У статичному режимі (двигун вимкнено) кулька незворотного клапана, яка притискується пружиною та мембраною, замикає канал мащення.

У динамічному режимі (двигун працює) мастило під тиском надходить від лубрикатору до незворотного клапану. Коли тиск досягне номінального значення, струм мастила відтискує кульку і мастило через центральний отвір у штуцері та похилі отвори надходить до дзеркала циліндрового втулки. Завдяки похилим отворах мастило рівномірно розподіляється по дзеркалу, а самі отвори зменшеного діаметру не спричиняють появу точок концентрації напруги у тілі втулки.

Якщо відбувається зміна температури та в'язкості мастильного матеріалу біметалева пластинка підсилює або зменшує сумарний тиск на кульку незворотного клапану. Тим самим відбувається організація процесу мащення з урахуванням дійсної температури та в'язкості мастильних матеріалів

Висновки і перспективи подальших досліджень. Сутність описаних вище конструкцій мастильних пристроїв впливає з результатів попередніх досліджень і представляє собою канонічні в техніці рішення. В даному випадку вони істотно покращують процес маслоподачі і значно підвищують ефективність існуючих систем.

В цілому описані вище рішення забезпечують підведення всього масла безпосередньо до стика "кільце-втулка" і, тим самим, створюють умови для подальшого вдосконалення організації змазування циліндра.

За рахунок капілярних властивостей каналу, що забезпечують постійну заповненість його маслом, гранично обмежене проникнення

гарячих газів, яке, крім окисних процесів, супроводжувалося інтенсивним перемішуванням з маслом і приготуванням суміші, що інтенсифікує концентрованість порцій.

Розроблені нові та вдосконалені мастильні пристрої забезпечують виведення всього масла на дзеркало регулярними і рівномірними порціями.

Перелік використаних джерел

1. Богач В.М. Підвищення ефективності суднових дизелів шляхом удосконалення лубрикаторних систем: Монографія / В.М. Богач – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – 294 с.

2. Богач В.М. Аналіз умов подачі масла в циліндри дизелів морських суден / В.М. Богач, І.М. Слободянюк, А.М. Шебанов // Суднові енергетичні установки: наук-техн. зб. Вип. 41. - Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С. 20-28.

3. Богач В.М. Особливості роботи лубрикаторних систем суднових довгоходових двигунів / Богач В.М., Довіденко Ю.М., Дуранов О.П. // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вип. 44. - Одеса: НУ «ОМА», 2022. С. 53-63.

4. А. с. 303474 ССРСР, МПК F16n 7/38. Лубрикаторная система смазки ци-линдров / 303474 (ССРСР). – 1292233/24-6; заявл. 23.12.68; опубл. 13.05.71.

5. Двигуни внутрішнього згоряння / В. Г. Дяченко; за ред. А. П. Марченка. - Харків: НТУ "ХП", 2008. – 488 с.