

УДК 621.431.74

Богач В.М., Довиденко Ю.М.

Національний університет «Одеська морська академія»

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕСУ МАЩЕННЯ ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ ДВИГУНІВ RTA**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 analysis a condition of a question on an investigated problem is made and lacks systems greasing of diesel engines RTA are defined.

Experimental researches on studying processes greasing of cylinders of ship engines that has allowed to receive representation about an overall performance these systems are spent. Modern methods researches, such as oscillograms and high-speed filming are thus used.

By these researches it is defined, that greasing process is accompanied by "emission" a part oil in the cylinder cavity, gases extending in the channel that causes a real loss of cylinder oils and occurrence an additional source deposits.

Characteristics process greasing, and their interrelation with a design of greasing devices are defined. Influence geometrical parametres of channels system greasing on characteristics process the expiration of oil in the cylinder and finally on efficiency its use in the engine is experimentally confirmed.

The executed experimental researches system greasing have allowed to establish its basic lacks which concern:

- Considerable (to 50 %) non-uniformity the expense oil on turns on constant power setting;
- The jet expiration oil in the cylinder on transitive modes at decrease in capacity the engine;
- Breaks in oil giving on a cylinder mirror at increase capacity the engine;
- Unsatisfactory distribution greasing on a circle the cylinder plug, owing to giving by flutes.

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

Вступ. Широке використання альтернативних енергетичних ресурсів і низькоякісних сортів палив нафтового походження, поряд з підвищенням економічності, вимагає значного збільшення надійності ДВЗ, що являється важливим напрямком поліпшення використання флоту й судноремонтних підприємств.

Одночасно з освоєнням дизелів нових поколінь, особливу значимість здобуває підвищення техніко-економічних показників численного парку судових двигунів шляхом збільшення ефективності систем, які забезпечують їх роботу.

Відомо, що ці показники й витрати на обслуговування дизелів у першу чергу залежать від працездатності циліндропоршневої групи (ЦПГ), тобто вузла, який є найбільш навантаженим і визначає техніко-економічні показники роботи ДВЗ [1]. Тому, створення нових поколінь або модернізація існуючих дизелів, збільшення їх потужності й підвищення економічності супроводжується необхідністю постійного пошуку можливостей зниження зносів деталей ЦПГ, в першу чергу шляхом вдосконалення процесу мащення.

Одним з перспективних шляхів підвищення ефективності організації процесу мащення деталей ЦПГ є застосування нових систем з електронним регулюванням подачі мастила й керуванням роботою системи за допомогою персональних комп'ютерів. Однак створення й широке використання таких систем обмежується малою вивченістю їх ефективності й суперечливістю існуючих даних про їхню експлуатаційну надійність.

Експлуатаційними випробуваннями підтверджено, що вдосконалення процесів і систем дозованої подачі мастила є ефективним напрямком підвищення економічних показників роботи судових ДВЗ.

Аналіз публікацій по темі дослідження. Здійснення безперервної заміни мастила, що відпрацювало, свіжою порцією, і підтримка властивостей масляної плівки на дзеркалі циліндра можливо при регулярній, рівномірній і одночасній подачі мастила через мастильні отвори [2,3].

У відомих лубрикаторних системах подача відміряної плунжером порції мастила в штуцери одного циліндра відбувається в різні періоди часу і її величина становить усього лише кілька кубічних міліметрів. Крім того, період між двома нагнітальними ходами плунжера лубрикатора, залежно від конструкції його привода (типу двигуна),

становить від двох до восьми обертів колінчастого вала. Організувати в даних умовах процес регулярного, а тим більше рівномірного виходу мастила в циліндр двигуна існуючими мастильними пристроями досить складно [4].

Розглядаючи систему в цілому, слід зазначити відмінності конструктивного виконання не тільки лубрикаторів, але й інших її елементів. Наприклад, на двигунах, що перебувають в експлуатації, можна зустріти безліч варіантів комбінації штуцерів і каналів у стінці втулки циліндра, що відрізняються основними геометричними характеристиками в десятки разів [5].

У результаті проведених випробувань [6,7] було встановлено, що удосконалені системи мащення поліпшують стан циліндро-поршневої групи й мають можливість підвищення економічних показників роботи двигунів по витраті дорогих мастил. Однак, як показала експлуатація двигунів, застосування модернізованих систем не вичерпало всі можливості поліпшення розподілу й ефективності використання мастил.

Для найбільш форсованих дизелів (особливо останніх випусків), у яких питомі витрати циліндрових мастил лежать у межах 1-1,5 г/кВт·г., розкриття циліндрів проводиться через 10-15 тис. годин, причому часто із заміною всього комплекту кілець через їх зноси й поломки [8].

При сучасних габаритах дизелів ємність нагнітального мастилопроводу в сотні раз перевищує обсяг мастила подаваного за один хід плунжера. Але й ця порція в 10 - 30 раз більше тієї, яку (при розповсюджених питомих витратах) потрібно було б подавати на кожному ході поршня. Природно, що в таких умовах подача мастила на перемичку між першим і другим кільцями, із зазначеною регулярністю, здійсненої бути не може.

Однак все зростаючі циліндрові потужності і використання в сучасних дизелях високов'язких сірчистих палив значно погіршують умови мащення третьової пари кільце-втулка. У цьому зв'язку особливе значення набувають питання організації якісного мащення ЦПГ, що є одним з основних критеріїв, які визначають надійність і довговічність МОД. Надійність і довговічність роботи ЦПГ не визначається тільки оптимальним вибором сорту мастила і його дозування для конкретного сорту палива, суттєво важливо знати ефективність

використання поданого в циліндр мастила, вивчити динаміку явищ, що відбуваються в каналах системи, які впливають на дійсний момент витікання його у циліндр і ефективність розподілу по поверхні циліндрової втулки.

В сучасних ДВЗ має місце нерівномірність процесу подачі мастила до робочої поверхні циліндрової втулки, яка виникає з причин імпульсної подачі мастила при нагнітанні його лубрикатором. Це призводить до завищеної кількості мастила на початку циклу мастилоподачі і недостатній його кількості в кінці цього циклу, що підвищує вірогідність завищених зносів деталей ЦПП і раптових зупинок двигуна [9,10]. Таким чином, актуальним є завдання встановлення впливу параметрів роботи системи мащення на довговічність роботи деталей ЦПП суднового двигуна.

Метою дослідження є визначення гідравлічних характеристик процесу мащення деталей ЦПП суднових ДВЗ та вивчення характеру руху робочої рідини в лубрикаторній системі.

Результати досліджень. З моменту введення в експлуатацію двигунів RTA на них застосовувалася система мащення циліндрів, багато в чому аналогічна тій, яка використовувалась на двигунах RND. Підведення мастила до штуцерів в таких системах здійснюється за допомогою лубрикаторів, що мають механічний привід.

Ці системи мають невеликі відмінності від попередніх, однак не завжди позитивні. Наприклад, клапан 13 переміщено на максимальне віддалення від дзеркала циліндра, що як правило погіршує процес мастилоподачі. Крім того, як показують дослідження [4] акумулятор у такому виконанні далекий від досконалості. Такі конструктивні особливості даної системи безсумнівно впливають на процес мастилоподачі й вимагають уважного вивчення.

Як показує аналіз систем мащення циліндрів двигунів RTA, що перебувають в експлуатації, розвиток їх з початку випуску й дотепер містив в собі кілька етапів. Перший етап - система мащення (рис.1), нагнітальна частина якої складається з лубрикатора з механічним приводом, коротких штуцерів зі стрижнями (клапан на вході в штуцер), акумуляторів тиску й похилих вихідних каналів у стінці циліндрової втулки, причому розташування вихідних каналів і мастилорозподільних канавок на дзеркалі втулки однорядне (однорядна лубрикаторна система з акумулюванням тиску мастила).

Авторами проведені дослідження системи мащення циліндрів стосовно до двигунів РГА в умовах, що відповідають її роботі на двигуні із частотою обертання колінчатого вала 60 - 200 хв-1. Величина імпульсу тиску при стисканні задавалася в межах 0,8 – 1,5 МПа, а на розширенні - 2,5-3,0 МПа. Хід плунжера лубрикатора змінювався від 3 до 10 мм. Вплив температури мастила в лубрикаторі вивчався для діапазону 20-40°С, а в штуцері - 60-120°С.

Випробування цієї системи, які включали візуальні спостереження, показали, що на постійному режимі роботи двигуна весь мастилопідводящий канал практично постійно заповнений мастилом. Дана обставина пояснюється акумулюванням порції мастила й виходом її в штуцер протягом усього періоду між нагнітальними ходами плунжера лубрикатора, а також геометрією заклапанної порожнини.

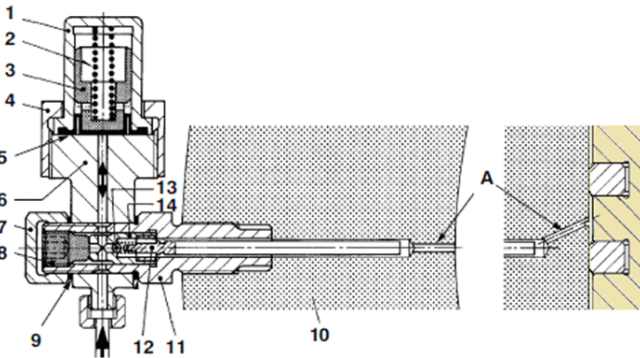


Рис.1. Складові лубрикаторної системи двигунів РГА: 1-кришка акумулятора; 2-пружина; 3-поршень; 4-накидна гайка; 5-мембрана; 6-корпус акумулятора; 7-гайка штуцера; 8-заглушка; 9-прокладка; 10-циліндрова втулка; 11-корпус штуцера; 12-стрижень; 13-кульковий клапан; 14-пружина клапана.

На постійному режимі роботи двигуна в результаті заповнення всього каналу мастилом вихід його за зріз отвору відзначався без струминного витікання в порожнину циліндра з відривом від дзеркала. Вихід мастила на дзеркало циліндра відбувається регулярно, мінаючи мастилорозподільні канавки, двічі на кожному оберті двигуна. Однак протягом перших 3-х обертів, що слідують за нагніталь-

ним ходом плунжера лубрикатора, подача мастила здійснюється відносно великими порціями, що піднімаються над дзеркалом циліндра на відстань до 5 мм (рис.2).

На наступних обертах до чергового робочого ходу плунжера лубрикатора величина порції й висота масляного валика суттєво зменшується. Осцилографування процесу акумуляторної мастилоподачі супроводжувалося реєстрацією ходу плунжера лубрикатора ($X_{п}$), ходу клапана штуцера ($X_{к}$), тиску газів ($P_{г}$), моменту виходу мастила на дзеркало ($M_{в}$), оцінки часу (T), відмітки верхньої мертвої точки (BMT), ходу мембрани акумулятора ($X_{м}$).

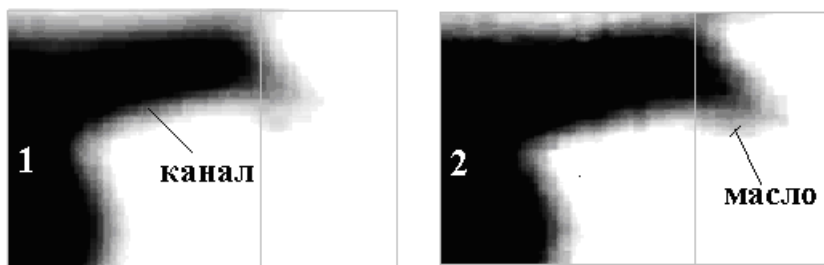


Рис.2. Кінокадри мастилоподачі

Приклад осцилограми цього процесу на постійному режимі роботи двигуна, при частоті обертання колінчатого вала 105 хв^{-1} , ході плунжера 7 мм, температурі мастила в штуцері 80°C наведений на рис.3. З осцилограми випливає, що заповнення акумулюючої порожнини відбувається одночасно з нагнітальним ходом плунжера лубрикатора ($X_{п}$), а розвантаження акумулятора здійснюється протягом усього періоду часу до чергового робочого ходу плунжера.

Періоди виходу мастила на дзеркало циліндра ($M_{в}$) збігаються з періодами відкриття зворотного клапана штуцера ($X_{к}$), що пояснюється досконалою конструкцією заклапанної порожнини. Витікання мастила з акумулятора в штуцер і вихід його на дзеркало циліндра відбувається регулярно, двічі на кожному оберті двигуна.

Суміщення осцилограми з рухом поршня дозволяє визначити у які періоди й на які поверхні відбувається подача мастила. У першій фазі витікання здійснюється, коли нижнє поршневе кільце перебуває

вище мастильних отворів, приблизно з 310^0 п.к.в. до 40^0 п.к.в., а в другій фазі - коли поршень перебуває нижче лінії розташування мастильних отворів з 85^0 п.к.в. до 270^0 п.к.в. Даний процес повторюється на всіх обертах двигуна між двома нагнітальними ходами плунжера лубрикатора, за рахунок постійного розвантаження акумулятора (Хм).

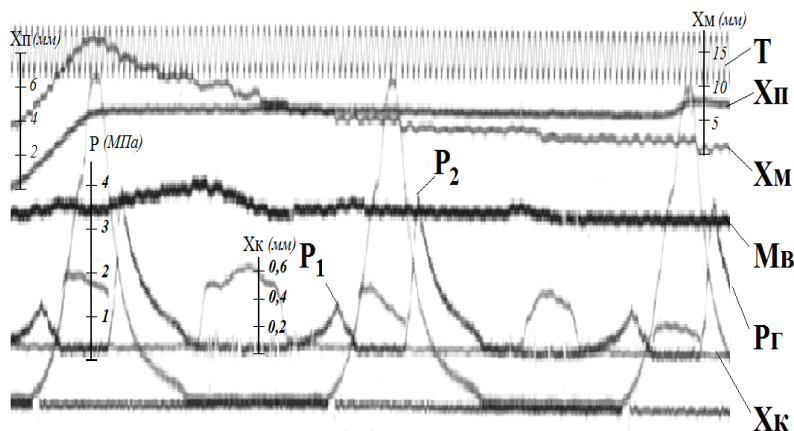


Рис.3. Осцилограма процесу мастилоподачі

Разом з тим розподіл порції мастила як по однойменних фазах, так і по обертах характеризується значною нерівномірністю. Виміром витрати мастила на різних режимах роботи двигуна було встановлено, що в першій з розглянутих фаз здійснюється подача від 30% до 35% мастила, а в другій - 70%, тобто при русі поршня нижче мастильних отворів надходить в 2 рази більше мастила, чим під кільця. Слід припускати, що при висхідному ході поршня ця частина порції підхоплюється кільцями й розподіляється переважно в районі отворів і верхній частині втулки.

Подача 30-35% мастила, що залишилися здійснюється наприкінці стискання й припадає на район тронка, що визначає його розподіл по поверхні втулки яка перебуває нижче пояса мастильних отворів і становить 70% площі всього дзеркала.

Представлений для даної системи мастилоподачі розподіл витрати мастила по фазах залишається практично, незмінним на всіх

режимах роботи двигуна, тому що визначається постійною тривалістю періоду між імпульсами тиску газів P_1 і P_2 (рис.3), а також постійною величиною їх співвідношення, що обумовлюється рівнем розташування пояса мастильних отворів.

Вихід мастила за зріз каналу концентрованими порціями при висхідному русі поршня навіть без явища "викиду", приводить до зустрічі її з бічною поверхнею головки поршня, температура якої перевищує 400°C , і утворенню на ній доріжок нагару, рис.4.

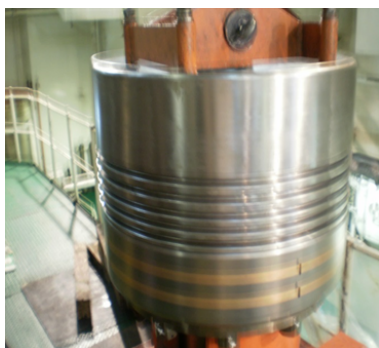
Локалізація нагару на бічній поверхні поршня напроти каналів мащення супроводжується, як правило, наступним заповненням зазору між головкою й дзеркалом, що приводить до руйнування масляної плівки й підвищеному зношуванню втулки у вертикальних напрямках, що проходять через точки мащення.

Крім того, при ході поршня вгору доріжки нагару, що мають форму клина, орієнтують плин мастила по їхніх бічних сторонах, що збільшує шлях і час руху мастила по гарячій поверхні поршня. При завищених дозуваннях це може приводити до повного закоксування зазору над першим компресійним кільцем, а також значної інтенсифікації загального процесу нагароутворення й зношування в циліндрі.

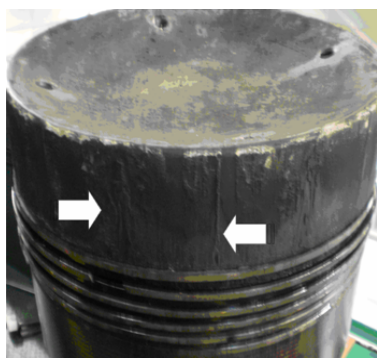
Після проходження останнім поршневым кільцем мастильних отворів поступаючий валик мастила може заповнювати зазор між тронком і дзеркалом циліндра. Враховуючи значну довжину тронка й геометрію його поверхні ("зебру"), можна вважати, що одна частина цієї порції буде використовуватися по призначенню, а інша - стікати по дзеркалу циліндра в напрямку вікон. Це буде тривати до перекриття нижнім кільцем (при русі поршня вниз) мастильних отворів.

При цьому значна частина мастила, що стікає вниз, буде, безсумнівно, скидатися кільцями у вікна, підпоршневу порожнина й попадати в ресивер продувного повітря. Отже, вихід мастила в циліндр зосередженими порціями на перших обертах двигуна після нагнітального ходу плунжера лубрикатора приводить не тільки до його нераціонального використання, але й до погіршення стану деталей ЦПГ.

На останніх обертах циклу мастилоподачі кількість поданого у двигун циліндрового мастила буде мінімальним і, найімовірніше, не-



а)



б)

Рис.4. Стан головки поршня:
до установки на двигун (а) і після розкриття (б)

достатнім для забезпечення нормальних умов роботи пари тертя "кільце-втулка". У більшій мірі це буде проявлятися в нижній частині втулки, якщо враховувати також перерозподіл мастила по фазах.

Локалізація натирань на нижній частині дзеркала циліндра над вікнами й нижній частині тронка є ознаками, що вказують на недолік мастила на цих поверхнях. Імовірно, тому, останнім часом на двигунах РТА застосовують додатково другий ряд мащення.

Встановлену в результаті досліджень нерівномірність подачі по обертах можна пояснити таким чином: в існуючій конструкції системи акумулююча порожнина підключена до нагнітального тракту паралельно й з'єднана зі штуцером за допомогою каналу, що має відносно великий прохідний перетин. Тобто, подача мастила з нагнітального тракту в штуцер і в акумулятор відбувається одночасно.

Оскільки нагнітальний хід плунжера починається в момент росту імпульсу протитиску P_2 , коли зворотний клапан закритий, а пружина мембрани акумулятора перебуває, практично, у вільному стані, то мастило, надходячи в обмежений обсяг між зворотним клапаном і мембраною, буде заповнювати акумулюючу порожнину, (рис.5).

При падінні тиску з боку циліндра приблизно до 0,25 МПа відкривається зворотний клапан (Хк) і починається витікання мастила зі штуцера. Однак, враховуючи незначний час й тривале переміщення

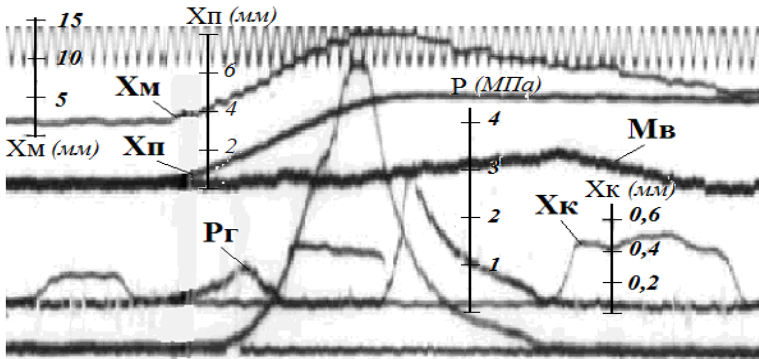


Рис.5. Період наповнення акумулятора (X_m)

плунжера (X_p), можна припускати, що відбудеться поділ потоку мастила на дві складові. Одна частина порції буде надходити в акумулятор, а інша - на дзеркало циліндра.

Таким чином, при здійсненні плунжером нагнітального ходу спочатку відбувається акумулювання деякої кількості мастила під мембраною, а потім, при падінні тиску газів, одночасний вихід однієї частини порції мастила в акумулюючу порожнину, а іншої - у циліндр, минаючи акумулятор.

Вихід мастила зі штуцера (M_b) під дією нагнітального ходу плунжера лубрикатора обумовлює подачу його за зріз мастильного каналу концентрованою порцією (див. рис.2).

У результаті досліджень встановлено, що швидкість витікання мастила в циліндри двигунів РТА при розглянутій конструкції нагнітального тракту системи перевищує 1,0 м/с (рис.6). При цьому траєкторія польоту мастила за межі каналу, досягає 15-20 мм і більше.

При завершенні плунжером нагнітання, пружина мембрани буде максимально стиснута, що залежить від значення протитиску газів, й значна частина циклової порції мастила заповнить акумулятор.

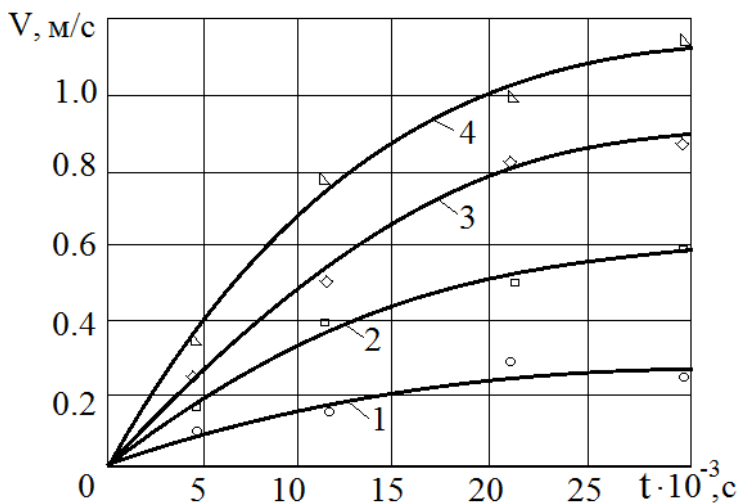


Рис.6. Швидкості витікання мастила на різних режимах роботи двигуна:
1 - $n=90$ хв⁻¹; 2 - $n=110$ хв⁻¹; 3 - $n=134$ хв⁻¹; 4 - $n=168$ хв⁻¹;

Внаслідок досить великого прохідного перетину каналу, з'єднуючого акумулюючу порожнину зі штуцером, між мембраною й зворотним клапаном буде підтримуватися деякий тиск, що визначається зусиллям стиснення пружини акумулятора. На наступних обертах, при падінні тиску з боку циліндра до величини меншої, ніж тиск мастила в штуцері (тобто за рахунок перепаду тиску), буде відбуватися відкриття зворотного клапана (Хк), витікання мастила в циліндр (Мв) і часткове розвантаження акумулюючої порожнини (Хм).

Слід зазначити, що найбільше переміщення мембрани акумулятора, а отже, і більша витрата мастила відбувається на перших трьох - чотирьох обертах циклу, що пояснюється максимальним зусиллям стиснення пружини в цей період часу й безперешкодним виходом мастила з акумулюючої порожнини у штуцер, з наступним виходом на дзеркало.

У міру ослаблення зусилля стиснення пружини (від оберту до оберту) величина переміщення мембрани зменшується. Відповідно буде зменшуватися й кількість мастила, що витісняється акумулятором (рис.7).

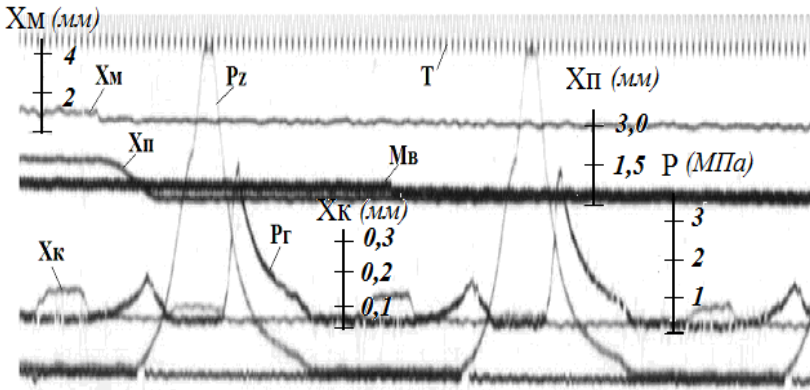


Рис.7. Останній період циклу мастилоподачі

У результаті на останніх обертах циклу мастилоподачі витрата мастила досягне мінімальних значень, а акумулююча порожнина виявиться розвантаженою. При здійсненні плунжером чергового нагнітального ходу процес заповнення й розвантаження акумулятора повториться.

На режимах зниження потужності відзначалося струминне витікання мастила (рис.8) за межі мастильного отвору із траєкторією, що досягає декількох десятків міліметрів, що й обумовлює його попадання на голівку поршня. Такий характер витікання є наслідком зменшення протитиску газів з боку циліндра і різким розвантаженням акумулятора.

Підвищення потужності двигуна й відповідне цьому збільшення тиску газів, що протидіють витіканню мастила в циліндр, супроводжувалося появою періодів поповнення акумулюючої порожнини, протягом яких спостерігалися перерви в подачі мастила.

Отже, при маневруванні судном (швартування, прохід узкоостей і т.д.) умови мащення деталей ЦПГ двигунів РТА можуть погіршуватися.

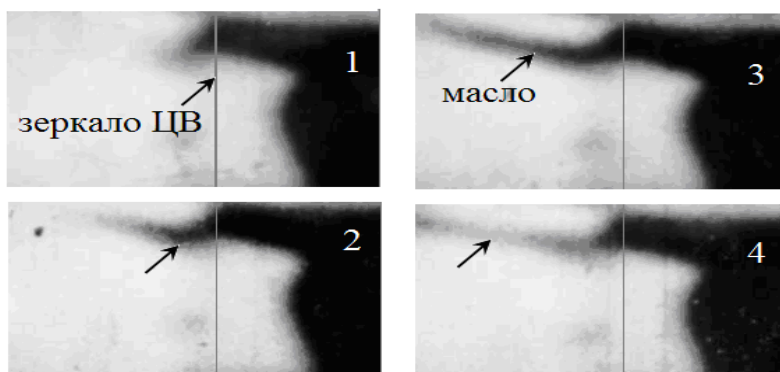


Рис.8. Кінокадри процесу витікання мастила

Висновки

Виконані експериментальні дослідження акумуляторної системи мащення дозволили встановити її основні недоліки, до яких відносяться:

- значна (до 50%) нерівномірність витрати мастила по обертах протягом усього періоду мастилоподачі на постійному режимі роботи двигуна;
- струминне витікання мастила в порожнину циліндра на перехідних режимах при зниженні потужності двигуна;
- перерви в подачі мастила на дзеркало циліндра при підвищенні потужності двигуна;
- незадовільний розподіл мастила по окружності циліндрової втулки, внаслідок подачі повз маслорозподільних канавок.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Богач В.М. Оптимизация процесса маслоподачи системой смазывания длинноходовых двигателей WARTSILA / В.М. Богач // Судовые энергетические установки: науч.-техн.сб. - 2013. - № 32. - Одесса: ОНМА. - С. 18-28.
2. Богач В.М. Эксплуатационная проверка эффективности модернизированной системы смазывания цилиндров двигателей RTA/ В.М. Богач, А.Н. Шебанов // Судовые энергетические установки: науч.-техн.сб. – 2016.- Вып. 36 - Одесса: ОНМА. - С.37-45.

3. Шебанов А.Н. Исследование процесса маслоподачи 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.
4. Богач В.М. Исследование процесса маслоподачи двухрядной системой "Puls" без аккумулярования давления масла / В.М. Богач, А.Н. Шебанов// Судовые энергетические установки: науч.-техн.сб. - 2014. - № 34. - Одесса: ОНМА. - С. 113-120.
5. Bogach V. Performance efficiency lubricator systems of marine diesel engines / V. Bogach, A. Shebanov // European Applied Sciences, November, №11, 2016 - pp. 24-29.
6. Богач В.М. Прогнозирование условий маслоподачи в цилиндры судовых дизелей [Текст] / В.М. Богач, А.Н. Шебанов, А.А. Задорожный // Судовые энергетические установки: науч.-техн.сб. – 2006.- Вып. 15- Одесса: ОНМА.- С.10-16.
7. Богач В.М. Повышение эксплуатационной эффективности судовых технических устройств [Текст] / В.М. Богач, А.Н. Шебанов, А.В. Сотников // Судовые энергетические установки: науч.- техн.сб.- 2007.-№ 20.-Одесса: ОНМА. - С.30-38.
8. Богач В.М. Исследование работы лубрикаторной системы в эксплуатационных условиях [Текст] / В.М. Богач, В.А. Бузовский, А.Н. Шебанов // Судовые энергетические установки: науч.-техн.сб.- 2009.-№ 24.-Одесса: ОНМА. - С. 52-59.
9. Богач В.М. Истечение мастила из смещенных каналов в цилиндры длинноходовых СДВС [Текст] / В.М. Богач, А.Н. Шебанов, И.Д. Колиев // Судовые энергетические установки: науч.-техн.сб. – 2006.- Вып. 17- Одесса: ОНМА.- С.38-46.
10. Богач В.М. Эксплуатационные показатели эффективности лубрикаторных систем судовых дизелей [Текст] / В.М. Богач, А.Н. Шебанов, И.Д. Колиев, Ю.И. Журавлев // Судовые энергетические установки: науч.- техн.сб.- 2007.- Вып. 19.- Одесса: ОНМА.- С. 10-22.