

10.31653/smf42.2021. 25-34

Бузовський В.А., Богач В.М., Драгомир М.В.  
Національний університет «Одеська морська академія»

## **ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЛУБРИКАТОРНИХ СИСТЕМ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ**

Лубрикаторні системи призначені для дозованої подачі масла на дзеркало циліндра під тиском 0,5-0,7 МПа за допомогою багато плунжерних насосів-лубрикаторів через штуцери, що рівномірно розташовані по його колу. Їх кількість залежить від діаметру циліндра. По обидві сторони отворів для виходу масла на поверхню втулки циліндра вифризеровані маслорозподільні канавки, направлені під кутом вниз і з'єднані між собою таким чином, що утворюють хвилясту канавку, за допомогою якої масло розподіляється по колу циліндра, а за допомогою поршневого кільця розноситься по всій поверхні втулки.

Дозована подача масла здійснюється за допомогою золотників, які регулюють кількість масла, що поступає до насосного елемента, або зміною корисного ходу плунжера.

Подане в циліндри масло витрачається на мащення робочих поверхонь циліндрів, поршневих кілець, поршнів. Крім того воно закидається в камеру згоряння і продув очні вікна [1].

Масло, особливо те, що знаходиться на верхній частині поверхні циліндра, випарюється, частково згоряє, уноситься з випускними газами у випускний тракт, інша частка масла, що залишається на стінках циліндра і поршня під дією високих температур перетворюється у лаки і нагари.

Крім того, у крейцкопфних дизелях з лубрикаторною подачею, масло, що поступило на втулку циліндра кільцями поршня розноситься по її поверхні, одночасно розтікаючись по колу. Цим можна пояснити нерівномірність розподілу масла по поверхні втулки, тобто, у районі розташування штуцерів спостерігаються надлишки масла, а у нижній частині втулки його нестача. Нерівномірність масляної плівки по всій площині циліндра може призвести до переходу від рідинного тертя до граничного або сухого, що в свою чергу підвищить зношування деталей циліндро-поршневої групи [2, 3]. Для стабільного збереження масляної плівки на всіх режимах роботи дизеля необхідно, щоб кількість масла, що подається дорівнювала його витратам.

Таким чином, першорядну роль у визначення терміну служби циліндр0-поршневої групи треба надати питанню організації оптимальної подачі масла в циліндри дизеля і розподілення його по поверхні тертя [4]. Питання розподілу масла на дзеркалі циліндра є кінцевою метою ефективної організації мащення циліндрів. Вирішення цієї проблеми має призвести до зниження зносу, відкладень нагару і економії циліндрового масла [5].

Лубрикаторні системи мащення циліндрів створювалися як системи високого тиску. Однак, як показали дослідження [6] тиск масла в нагнітальному тракті за лубрикатором незначно перевищує тиск продув очного повітря, тобто є дуже низьким у порівнянні з передбачуваним тиском. Вважаючи, що нагнітальний хід плунжера супроводжується подачею масла в циліндр, зроблений висновок [7], що шляхом синхронізації руху плунжера з положенням поршня в циліндрі можна забезпечити керовану подачу масла в конкретний момент часу.

Сформоване уявлення про лубрикаторні системи, як системи високого тиску, що забезпечують керовану подачу масла в циліндри, незважаючи на їх конструктивне виконання, зберігалось досить довго [8, 9]. Однак, пізніше, рядом досліджень було встановлено, що системи з лубрикаторами не є системами високого тиску; лубрикатори виконують тільки роль дозатора; здійснити керовану подачу масла між першим і другим компресійними кільцями за допомогою лубрикаторів при традиційній конструкції нагнітального тракту неможливо.

Останнім часом намітилися три напрямки розвитку систем мащення циліндрів суднових дизелів: модернізація існуючих систем, шляхом зміни гідравлічних характеристик нагнітального тракту; розробка і удосконалення акумуляторних систем мащення; створення нових систем мащення з електронним керуванням упорскування.

**Модернізація чинних мастильних систем.** Від початку мастильних систем і донедавна, уявлення про процес надходження масла в циліндри дизеля пов'язувалися, як вже відзначили, з періодом нагнітального ходу плунжера лубрикатора і відкриття зворотнього клапана штуцера [10]. Виходячи з цього, робилися висновки про залежності часу подачі масла в циліндр від конструкції лубрикатора.

Дослідженнями встановлено, що в нагнітальному тракті штуцера між дзеркалом циліндра і зворотнім клапаном, як правило, є газова порожнина [5] - своєрідна «предкамера», періодичність поповнення якої здійснюється шляхом нагнітального ходу плунжера лубрикатора, а ви-

тікання масла в циліндр відбувається в результаті газодинамічних процесів обумовлених взаємодією газів циліндра з маслом в «передкамері» [11]. Звідси слідує, що процеси, які відбуваються в нагнітальному тракту до зворотнього клапана, не мають прямого зв'язку з виходом масла на дзеркало циліндра, тобто наявність газу в «передкамері» викликає процес витікання масла з каналу у вигляді струменя, яке зумовлює значні його витрати через подачу на днище і бічну поверхню голівки поршня, де воно згоряє, перетворюючись у додаткове джерело утворення нагару, що інтенсифікує зношування деталей циліндро-поршневої групи.

Отже, лубрикатори виконують лише роль дозатора, що періодично під відносно невисоким тиском поповнює «передкамеру», а витікання масла в циліндр перебуває в безпосередньому зв'язку з геометрією нагнітального тракту системи і протитиском газів, що діють в зону каналу з середини циліндра [2].

В процесі подальших досліджень геометрії нагнітальних трактів і процесів подачі масла в циліндри були встановлені оптимальні геометричні характеристики порожнин за клапаном, які виключають струменеві витікання масла, що дозволило значно знизити його витрату, більш раціонально організувати подачу на дзеркало циліндра та в цілому підвищити техніко-економічні показники роботи дизелів [4, 12].

Однак, дані технічні рішення лише частково вирішили проблему підвищення надійності і економічності дизелів, але в подальшому обумовили можливість розв'язання завдань з керування процесом рівномірного і одночасного надходження масла на дзеркало циліндрів, що частково було вирішено за допомогою акумуляторів.

**Акумуляторні системи мащення.** Розв'язання завдань регулярного, рівномірного і одночасного надходження масла через всі мастильні отвори циліндра закладено в принципи акумуляторної системи.

Застосування акумуляторів викликано тим, що чинні системи мащення циліндрів не забезпечують необхідну рівномірність і регулярність надходження масла на дзеркало циліндра. В акумуляторних системах це було частково досягнуто шляхом зниження тиску перед зворотнім клапаном штуцера, що у проміжках між імпульсами тиску газів, до приходу поршневих кілець до точок мащення, забезпечується регулярний вихід масла в циліндр на кожному ході поршня [2]. Одночасно було зазначено, що поряд з забезпеченням регулярного і одночасного надходження масла через всі точки мащення, рівномірної подачі в повній мірі по обертах досягнуто не було.

Незважаючи на це, випробування [13, 3] показали перевагу акумуляторної системи в порівнянні зі звичайною лубрикаторною, що стало підставою для її використання.

Використання акумуляторних систем можна розглядати як поступовий перехід до розробки нових систем мащення циліндрів дизелів під постійним тиском.

**Системи мащення з електронним керуванням.** У результаті перегляду традиційно сформованих уявлень про процес подачі масла в циліндри дизеля намітилися нові тенденції до пошуку шляхів підвищення ефективності мастильних пристроїв.

Так компанія Hans Jenson – світовий лідер з розробки лубрикаторних систем, змінили спосіб подачі масла на дзеркало циліндра. Замість традиційних штуцерів з'явилися спеціальні устрої SIP («Swire Injection Prinsiple») (рис. 1).

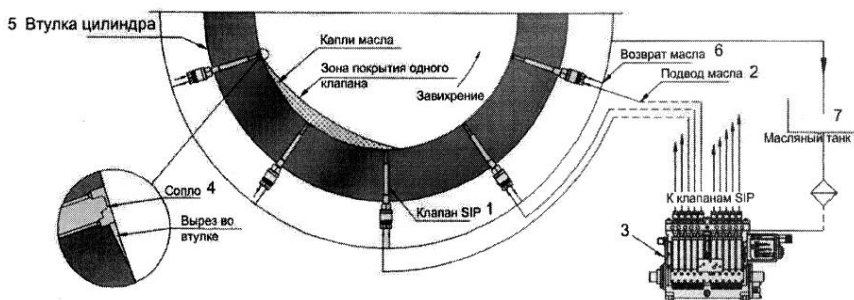


Рис. 1. Принципіальна схема лубрикаторної системи HJ SIP

В системі SIP використані спеціальні форсунки, що розпорхують циліндрове масла по всьому колу втулки циліндра у верхній її частині. За рахунок якісного розпорхування і рівномірного розподілу циліндрового масла по поверхні втулки циліндра за час кожного циклу отримують задовільний стан деталей тертя і зменшення кількості масла, у порівнянні зі звичайною системою мащення. Кожна форсунка SIP має сопло, завдяки якому при певному тиску у нагнітальному тракті здійснюється розпорхування циліндрового масла. Його надлишки по зворотньому трубопроводі стікають в цистерну масла. Тиск відкриття голчастого клапана форсунки регулюється за допомогою затяжки пружини.

Система SIP дає можливість скоротити витрати на модернізацію системи циліндрового масла, за рахунок заміни тільки штуцерів на форсунки.

Одночасно передові фірми працювали над створінням більш ефективних систем мащення циліндрів малооборотних дизелів. Фірма MAN-B&W розробила і, починаючи з 2000 року, стала використовувати на двигунах МС, так звану, систему з електронним управлінням «Alpha» (рис. 2).

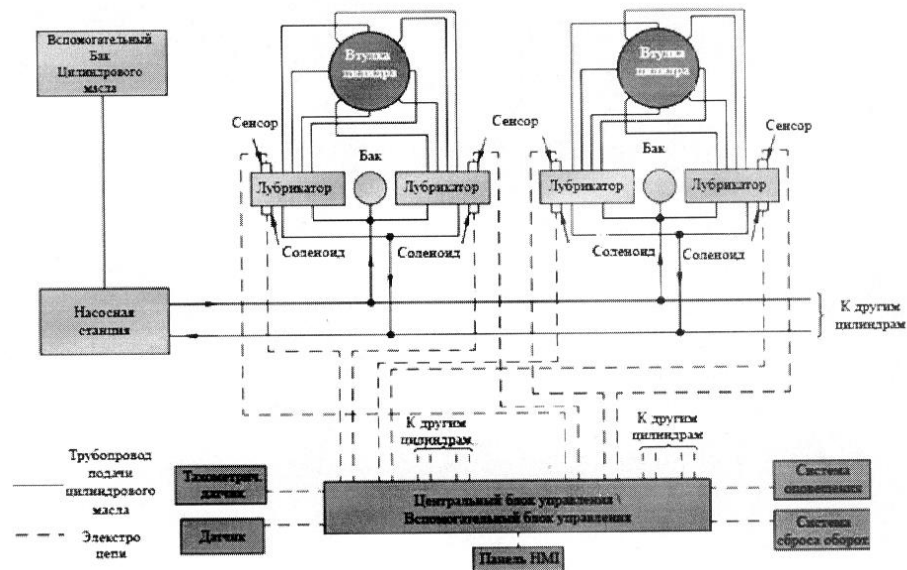


Рис. 2. Принципіальна схема системи «Alpha-lubricator»

Використання електронного управління дозволило удосконалити умови подачі циліндрового масла в циліндри і покращити його мащення завдяки синхронізації подачі масла з рухом поршня робочого циліндра.

Аналіз конструкції системи «Alpha» показав, що керований комп'ютером гідравлічний привід плунжерів, на відміну від механічного, забезпечує подачу однакової кількості масла до всіх точок мащення одночасно. Кількість плунжерів відповідає числу точок мащення. Подача масла на кільця задається мікропроцесором в момент, коли поршень, рухаючись від НМТ до ВМТ, проходить площину розташування точок мащення.

До складу системи входить масляний насос і насосна станція, яка розподіляє масло під тиском 45 бар і за допомогою лубрикаторних плунжерів подає його до штуцерів мащення циліндрових втулок. Своєчасне і дозоване мащення циліндрів, в тому числі, в залежності від кількості сірки в паливі, (рис. 3) дозволяє як найкраще використовувати дороге циліндрове масло, скоротити зношування циліндрових втулок і поршневих кілець, а також знизити кількість шкідливих викидів в атмосферу [15].

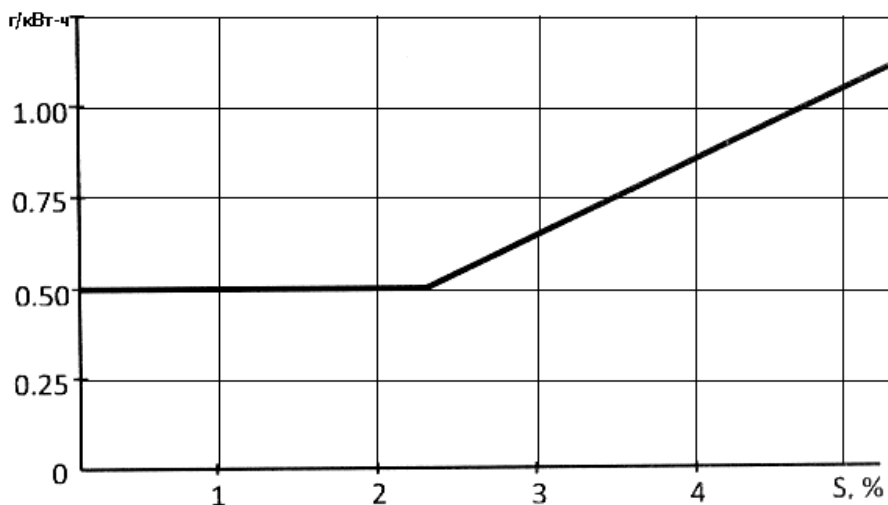


Рис. 3. Графік залежності дозировки масла від змісту сірки

Висока економічність і ефективність системи «Alpha» були підтверджені практикою експлуатації.

Слідом за фірмою MAN-B&W свою розробку презентувала фірма WARTSILA NSD. Вона розробила і впровадила на дизелях серії RTA оригінальну систему, отримавши назву імпульсної лубрикаторної системи мащення циліндрів «Pulse» («Petrofit Pulse Lubricating System»), рис. 4.

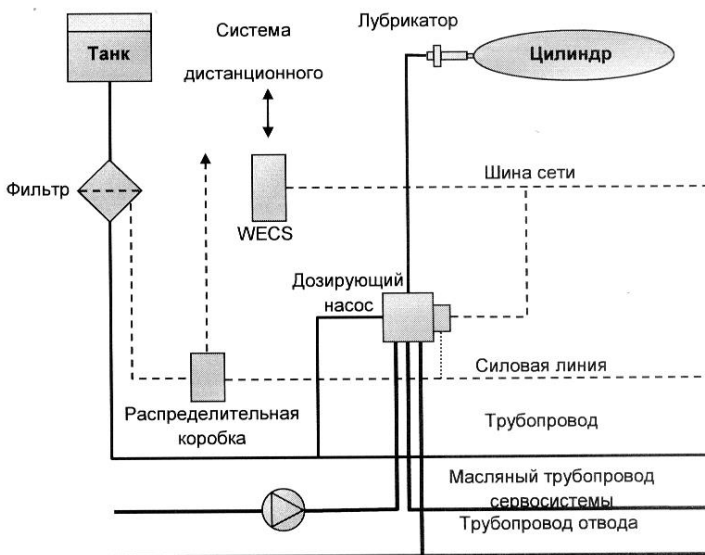


Рис. 4. Принципіальна схема «Retrofit Pulse Lubricating System»

Основні елементи PLS: імпульсний мастильний модуль, що складається з дозуючого насоса з електронно-керованим часом подачі; форсунки (до восьми в одному ряду) розташовані по діаметру циліндрової втулки; фільтруюча і вимірювальна системи; допоміжний привід подачі циліндрового масла; система керування; два датчики кута повороту колінчастого валу, один з котрих резервний.

Імпульсний мастильний модуль (рис.5) для кожного циліндра складається з дозуючого насоса, 4-ходового соленоїдного клапана, датчика тиску, керованої електроніки, гідроаккумулятора діафрагменого типу, зібраних в один вузол. Мастильний модуль подає дуже точну кількість циліндрового масла з високою швидкістю к лубрикаторам у певній синхронізації з системою керування двигуна. В залежності від завантаження циліндрів система керування двигуна посиляє відповідний сигнал на контролюючу електроніку мастильного модуля, інформуючи її про необхідну кількість мастильного масла.

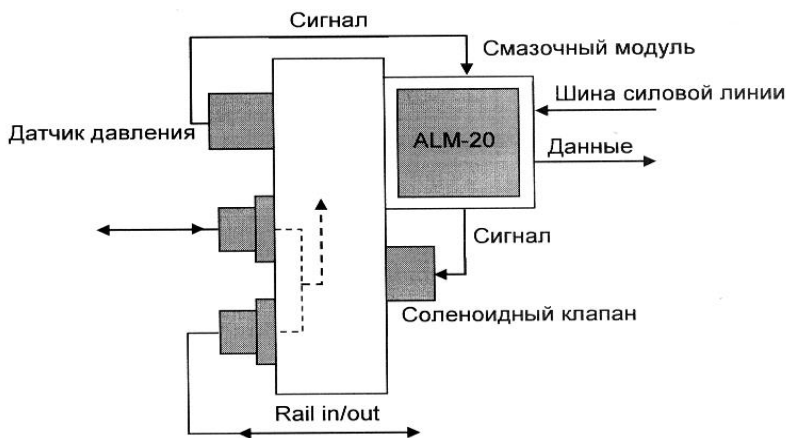


Рис. 5. Принципова схема мастильного модуля

Таким чином, системи покладений принцип упорскування певного обсягу масла в циліндр, шляхом керування рухом плунжера (поршня мастильного модуля). За ствердженням розроблювачів системи, точний вибір часу упорскування, забезпечує надходження всього циліндрового масла, що нагнітає плунжер, безпосередньо на пакет поршневих кілець. Однак, осцилографування процесів, що відбуваються в системі, спростовує це ствердження, оскільки рух плунжера і пов'язане із цим відкриття клапана штуцера не означає надходження масла до кілець, тому що за клапаном є ділянка каналу, яку масло ще повинне пройти, перш ніж воно з'явиться в зоні мащення пари тертя [14].

Аналізуючи електронні системи мащення слід відмітити, що вони є досить ефективними. Проте аналіз деталей циліндро-поршневої групи в процесі експлуатації суднових малооборотних дизелів виявив деякі конструктивні недоліки, які впливають на процес мащення циліндрів, що вказує на недостатню ефективність систем.

Отже, застосування систем з електронним керуванням подачі масла не вичерпало всі можливості розподілу мащення і ефективності використання масла в циліндрі, що вказує на необхідність подальших досліджень в напрямку більш детального вивчення процесу подачі масла, з метою підвищення ефективності функціонування систем.



### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Довиденко Ю.Н. Влияние регулярности подачи масла в цилиндр малооборотного дизеля на эффективность работы цилиндро-поршневой группы. – Автореф. дис. канд. техн. наук. – Одесса, 1990. – 20 с.
2. Богач В.М., Пилюгин А.С. Недостатки лубрикаторной подачи масла в цилиндры тронковых дизелей. Сборник трудов ЛВИМУ. Л.: ЛВИМУ, 1985.
3. Пилюгин А.С., Богач В.М., Довиденко Ю.Н., Бузовский В.А. Эффективность усовершенствованных смазочных систем цилиндров судовых дизелей. Двигателестроение, №7, 1989.
4. Богач В.М. Влияние геометрии мастильных каналов на процесс истечения масла в цилиндры судовых ДВС: Диссертация канд. техн. наук. – Одесса, 1989. – 12 с.
5. Пилюгин А.С. Повышение эффективности систем и процессов подачи масла в цилиндры судовых дизелей: диссертация докт. техн. наук. – Одесса, 1990. – 307 с.
6. Мирющенко А.А., Чухриенко С.С., Пилюгин А.С. Недостатки систем цилиндрической смазки мощных судовых дизелей. Техническая эксплуатация флота. – М.: ЦБНТИ, ММФ, 1970, №3 (203). – С. 3-11.
7. Гинзбург Л.Г. Исследование влияния качества цилиндрического масла и его дозировки на износы ЦПГ СДВС при их эксплуатации на высокосернистых топливах. Диссертация канд. техн. наук. – Ленинград, 1967. – 162 с.
8. Камкин С.В., Возницкий И.В., Шмелев В.П. Эксплуатация судовых дизелей. – М.: Транспорт, 1990. – 344 с.
9. Практические рекомендации по смазке судовых дизелей / Возницкий И.В. – Санкт-Петербург: Судостроение, 2002. – 132 с.
10. Гинзбург Л.Г., Виноградов Г.Л., Дерюгина Л.А. Определение дозировки цилиндрического масла при работе малооборотного судового дизеля на сернистом топливе. – Л.: Морской транспорт, Труды ЦНИИМФ, 1968, вып. 90. – С. 55-58.
11. Пилюгин А.С. Механизм процесса истечения масла в цилиндры малооборотных дизелей. Техническая эксплуатация флота: Экспресс-информация. – М.: ЦБНТИ, ММФ, 1971, № 33 (263). – С. 3-11.
12. Богач В.М., Пилюгин А.С., Довиденко Ю.Н. Бузовский В.А. Оптимизация расхода цилиндрического масла судовых дизелей. Респ. сборник ХПИ: ДВС, 1988, вып. 48.

13. Богач В.М., Пилогин А.С., Бузовский В.А. Система смазки цилиндров судовых дизелей с газовым управлением подачи масла. Двигателестроение, №8, 1986.

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

15. Корнилов Э.В., Фока А.А., Бойко П.В., Голофастов Э.И. Судовые главные двигатели с электронным управлением. –Одесса: «Экспресс-реклама», 2008. -224 с.