

УДК 621.431.74

Слободянюк І. М., Слободянюк Д. І.
Національний університет «Одеська морська академія»

УПРАВЛІННЯ ЗМАЩЕННЯМ ЦИЛІНДРІВ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ З МЕТОЮ ЗАПОБІГАННЯ ПОЛОМКИ ПОРШНЕВИХ КІЛЕЦЬ ПРИ ПРОХОДЖЕННЯ ПРОДУВНИХ ВІКОН ВТУЛОК

Abstract

A new solution to the problem of increasing the reliability of the ship's diesel engine by preventing piston ring breakage due to the regulation of cylinder lubrication is presented, depending on the diagnostic data of their operable condition when the ring moves along the bushing windows. Identification was carried out by ranking by reliability levels, depending on the frequency of the acoustic signal from the sensors installed on the hub. The method is based on studies of the anisotropic properties of thin films of cylinder lubrication as a function of the disjoining pressure from the thickness of the oil film on the surface of the cast-iron piston ring. It is established that the technical condition of the piston rings is determined by the method of ranking by reliability levels, which are diagnosed by the frequency of the acoustic signal from the piston ring as it moves along the sleeve windows in the following sequence: reliable level, partially reliable level, pre-emergency level (boundary friction mode with partial adhesion grasping of piston rings and crosspieces of the cylinder bushing), emergency level.

The authors developed an identification method and a method for diagnosing the technical condition of the piston rings of a low-speed diesel engine by the frequency of the acoustic signal when the rings move along the purging bushing windows, with a deterioration of the lubricant. The reliable level of the technical condition of the piston ring is maintained during self-regulation of the disjoining pressure in a thin film, which varies exponentially according to its thickness and excludes contact between conjugated surfaces at a value of more than 140 nm; On the basis of these data, a diagnostic model of the technical state of piston rings is constructed for the realization of quasi-crystalline properties of lubricants.

. A scheme for controlling the lubrication of cylinders is presented, taking into account the data on the technical condition of the piston rings

during the passage of the purging windows of the cylinder sleeves, which prevents their breakage.

Keywords: diesel, piston ring, diagnostics, lubrication, thin films, anisotropic properties.

Постановка проблеми.

Організація експлуатації сучасних судових малообертових двигунів (МОД) вимагає вдосконалення управління процесами змащення циліндропоршневої групи (ЦПГ) і захисту від аварійних ситуацій [1-3]. Поломка кілець двигунів форсованого ряду, є найбільш частою причиною їх функціональної відмови, однак, причини цього явища до теперішнього часу недостатньо вивчені [1,4].

Новим напрямком підвищення надійності і економічної ефективності судових двигунів внутрішнього згоряння транспортних суден є створення і організація експлуатації систем змащування, побудованих на використанні рідкокристалічного стану мастильних матеріалів в тонких плівках. В роботі [5] теоретично обґрунтована і експериментально підтверджена перспективність цього напрямку досліджень. Однак використання цього явища для підвищення надійності двигунів і попередження аварійних ситуацій від поломки поршневих кілець, раніше не досліджувався через відсутність даних про анізотропні властивості тонких плівок мастила, що виникають при погіршенні умов змазування.

Літературний аналіз [3-6] показав, що на сучасних судах проводиться моніторинг стану і виконання функцій окремими відповідальними деталями ЦПГ. Спеціальний швидкодійний датчик, встановлений вище продувних вікон на циліндричній втулці двигуна, вимірює частоту і амплітуду акустичних коливань, що виникають при проходженні кільця повз датчика по суцільній поверхні втулки і гідродинамічних умови змащення. За цими даними встановлюється працездатний стан сполучення «кільце-втулка».

Однак, при малих швидкостях руху поршня, в момент проходження продувних вікон втулок, умови змащення погіршуються через продувку і режим змащення вже не є гідродинамічним. Товщина плівки зменшується, в тонкому змащувальному шарі виникають анізотропні властивості, що змінюють природу взаємодії пари «кільце-

втулка» завдяки дії расклинюющего тиску, який перешкоджає виникненню адгезійного контакту.

Вперше експериментальні дані властивостей цих плівок отримані в роботах авторів [7-10]. Встановлення залежності розклинюющего тиску в плівках циліндрового масла від їх товщини на металевих поверхнях, які використовуються в дизелебудуванні, дозволило розробити метод і спосіб ідентифікації працездатного стану поршневого кільця при малих швидкостях [7,11]. Це дало можливість коригувати змащенням иліндрів за даними ідентифікації, з метою підвищення надійності вузла ЦПГ і попередження аварійної ситуації. Такі завдання раніше не досліджувалися і ставляться вперше, тому робота є актуальною.

Мета статті - розробка схеми керування змащенням циліндрів МОД з урахуванням ідентифікації технічного стану поршневих кілець при їх русі вздовж продувних вікон втулки циліндра.

Викладка основного матеріалу.

У роботах [6-9] вперше експериментально встановлено, що розклинюющий тиск в плівках циліндрового масла на сталевих і чавунних поверхнях відповідають області $P(h) > 0$, тобто в тонкому шарі мастила з анізотропними властивостями виникає сила, спрямована в протилежний бік тиску кільця на втулку.

На рис.1 приведена, отримана авторами, залежність розклинюющего тиску від товщини масляної плівки на поверхні чавунного поршневого кільця [10].

У цих роботах встановлено:

- зміна расклинивающего тиску $P(h)$ циліндрового масла на сталях і чавунах носять експонентний характер;
- максимальний розклинюющий тиск, що виникає в тонкій плівці циліндрового мастила для чавунного кільця дорівнює $P_s = 140$ кПа;
- мінімальна товщина плівок, при якій розклинюющий тиск досягає максимуму для всіх досліджених матеріалів лежить в інтервалі $140 \div 160$ нм

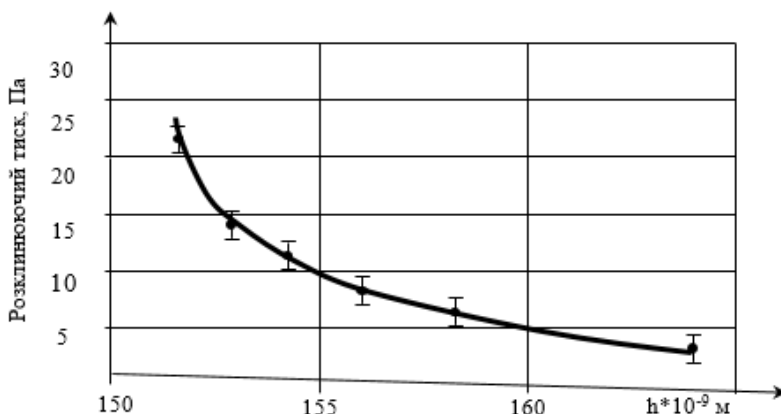


Рис. 1. Зміна расклинивающего тиску в тонкій плівці мастила ENERGOL CIO 50M на чавуном поршневоу кільці в залежності від товщини плівки.

- працездатний стан поршневоу кільці зберігається в процесі саморегулювання расклинивающего тиску в тонкій плівці, що змінюється по експоненціальному закону в залежності від її товщини і виключає контакт між сполученими поверхнями при її значенні понад 140 нм.

Ідентифікації сигналу від вібраційного датчика, встановленого на циліндричній втулці при проходженні кільцем продувних вікон циліндра МОД, при малих швидкостях руху поршня, досліджена в роботі [11]. Розроблено метод ідентифікації і спосіб діагностики технічного стану поршневих кілець малооборотних дизеля по частоті акустичного сигналу під час руху кілець уздовж продувних вікон втулки.

Вперше встановлено, що:

- надійний рівень технічного стану поршневоу кільці зберігається в процесі саморегулювання расклинивающего тиску в тонкій плівці, що змінюється по експоненціальному закону в залежності від її товщини і виключає контакт між сполученими поверхнями при її значенні понад 140 нм;

- частково надійний рівень технічного стану поршневоу кільці характеризується процесом саморегулювання расклинивающего тиску, при наявності в сполученні ділянок, на яких мастило відсутнє, в результаті чого поверхні зближуються на величину менше 140 нм;

- передаварійному рівень технічного стану поршневого кільця відповідає режиму змащення, при якому збільшується площа сполучення, на якій відсутнє мастило, що викликає режим граничного тертя з частковим адгезійним схоплюванням поршневих кілець і перемичок втулки циліндра, зближенню поверхонь на величину менше 140 нм і подальшого збільшення частоти акустичного сигналу ;

- аварійний рівень технічного стану поршневого кільця відбувається при відсутності змащення на великій площі сполучення, зближенню поверхонь до $h = 0$ нм, при якому реалізується режим сухого тертя, що приводить до поломки поршневих кілець;

Граничний і попереджувальний рівні визначалися на підставі експериментальних випробувань на моделях тертя регулюванням мастильного матеріалу [12]. Схема установки для віброакустичного діагностики технічного стану поршневого кільця шляхом вимірювання частоти акустичних коливань безпосередньо на судні, наведена в роботі [11].

збільшення подачі масла, або зниження навантаження.

Частота понад 500 Гц відповідає граничному рівню. При цьому відбувається необоротна деструкція поршневого кільця. Виробляється сигнал на аварійну зупинку двигуна.

На підставі цих даних побудована діагностична модель технічного стану поршневих кілець при реалізації квазікристалічних властивостей мастильних матеріалів представлена на рис. 2 [10].

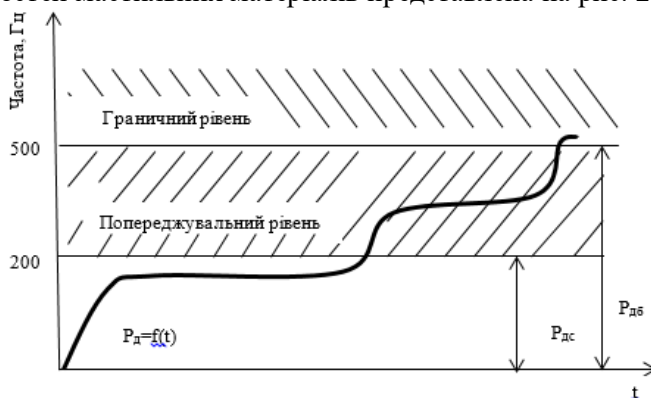


Рис. 2. Діагностична модель технічного стану поршневих кілець МОД.

Таким чином, система забезпечує моніторинг технічного стану поршневих кілець в моменти проходження продувних вікон при погіршенні умов змазування.

Отримані нами експериментальні результати моніторингу взаємодії сполучених поверхонь ЦПГ при малих швидкостях руху дозволили вирішити завдання управління процесом змащення циліндрів схема якого, з урахуванням даних про технічний стан поршневих кілець при проходженні продувних вікон втулок циліндрів, представлена на рис.3.

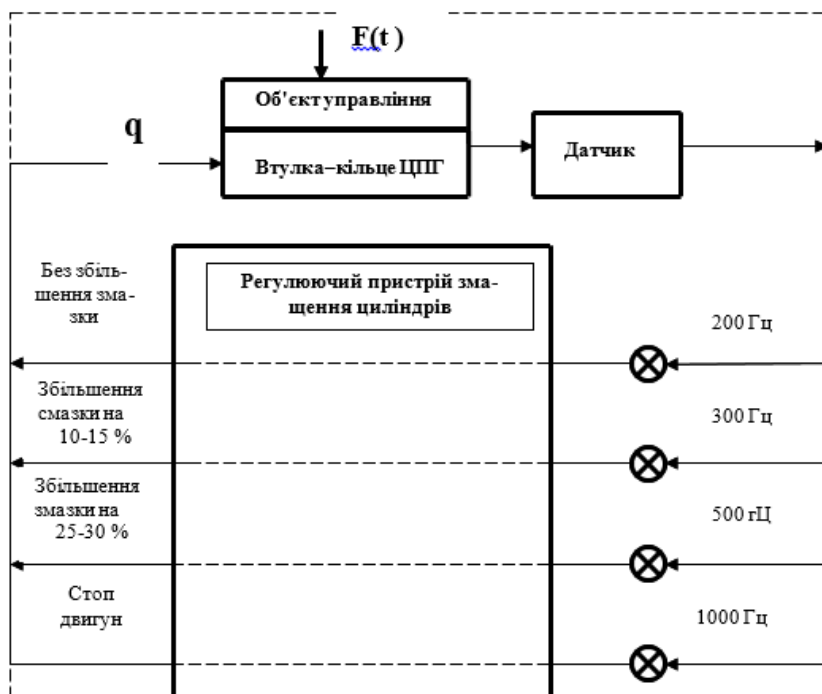


Рис.3. Схема управління мастилом циліндрів МОД з урахуванням діагностики технічного стану поршневих кілець при їх русі вздовж продувних вікон втулки циліндра.

Висновки

У роботі представлено нове вирішення проблеми підвищення надійності суднового дизеля шляхом попередження поломки поршневих кілець за рахунок регулювання змащенням циліндрів в залежності від даних діагностики їх технічного стану при проходженні продувних вікон.

Науковий результат роботи полягає в тому, що технічний стан поршневих кілець ідентифікується методом ранжирування за рівнями надійності, які діагностуються по частоті акустичного сигналу від поршневого кільця при його русі вздовж вікон втулки, в такій послідовності:

- надійний рівень (справний технічний стан кілець) - інтервал акустичних частот $2 \div 200$ Гц;
- частково надійний рівень (відсутність плівки на окремих перемичках вікон втулок) - інтервал акустичних частот $200 \div 300$ Гц;
- передаварійний рівень (режим граничного тертя з частковим адгезійним схоплюванням поршневих кілець і перемичок втулки циліндра) - інтервал акустичних частот $300 \div 500$ Гц;
- аварійний рівень (стан сухого тертя поршневих кілець, що приводить до їх поломки) - акустична частота більш 500 Гц.

Наведені результати мають істотну практичну значимість, так як дозволяють підвищити працездатність поршневих кілець циліндропоршневої групи суднового дизеля і, отже, підвищити надійність двигуна.

Отримані результати можуть бути використані при розробці схеми управління мастилом циліндрів інших модифікацій двигунів, з урахуванням даних про технічний стан поршневих кілець, використані в таких галузях науки і техніки, як теплові двигуни, технології суднобудування і судноремонту та ін.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Возницький І.В. Практичні рекомендації по мастилі суднових дизелів. - Санкт-Петербург, 2005. - 135с.
2. Сторожев В.П. Причини і закономірності поступових відмов основних триботехнічних об'єктів енергетичної системи судна і підвищення їх ресурсу. - Одеса, 2001. - 341 с.

3. Hellingman, G.J. and Barrow, S. : "Shipboard investigations with Selected Fuels of Tomorrow", CIMAC 1981, Helsinki

4. Neate R.J. and Barrow S. : "SIPWA-A Shipowner's Point of View", New Sulzer Diesel Ltd, December 1990.

5. Ханмамедов С.А. Совершенствование функциональных vlastностей систем змащування суднових енергетичних установок. Дисс. докт. техн. наук, - Миколаїв; 1990 -с.672.

6. Новиков А.С. Контроль і діагностика технічного стану газотурбінних двигунів. / А.С. Новиков, А.Г. Пайкин, М.М. Сиротін -М. : Наука, 2007. - 469с.

7. Ханмамедов С.А. Удосконалення методів ідентифікації технічного стану поршневих кілець суднових МОД. / С.А. Ханмамедов, Д. І. Слободянюк // Суднові енергетичні установки: зб. науч. тр. - 2011. - № 27. - Одеса: ОНМА. - С. 112-122.

8. Слободянюк Д. І., Ханмамедов С. А. Експериментальні ізотерми расклинивающего тиску в плівках циліндрового масла і їх застосування для підвищення надійності судового дизеля. / Д. І. Слободянюк, С. А. Ханмамедов // Науково-виробничий журнал Проблеми техніки №2.2011.-С. 136-148.

9. Ханмамедов С.А. Ізотерми расклинивающего тиску в структурованій плівці циліндрового масла судового дизеля. / С.А. Ханмамедов, Д.І. Слободянюк, А.А. Горюк, К.С. Шакурн /. // Науково-виробничий журнал Проблеми техніки -№1.-Одеса: 2011. -С: 90-102

10. Slobodianiuk D.I. Experimental study of the disjoining pressure in the cylinder oil films on marine diesel engine piston rings. / Slobodianiuk D.I., Slobodianiuk I.M., Kolegaev M.A. // Journal of Polish CIMAC, Gdansk. 2013. Vol.8, No.1. St. 81-89.

11. Слободянюк Д. І. Удосконалення методики ідентифікації стану поршневих кілець МОД на основі експериментального дослідження частоти акустичного сигналу / Д. І. Слободянюк // Проблеми техніки. - 2012. - № 3. - С. 68-75.

12. Слободянюк Д. І. Діагностична модель працездатності поршневого кільця судового двигуна при реалізації анізотропних vlastностей змащувальних матеріалів / Д. І. Слободянюк // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. / ОНМА. - Одеса, 2013. - № 31. - С. 67-75.