

УДК 62-129.1

ПІДВИЩЕННЯ СТРОКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОРШНЯ КРЕЙЦКОПФНОГО ДИЗЕЛЯ

Самарін О. Є., к.т.н., доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок Херсонської державної морської академії, e-mail: samarin162@gmail.com; ORCID: 0000-0002-2690-7298;

Білоусов Є. В., к.т.н., декан факультету суднової енергетики Херсонської державної морської академії, e-mail: ewbelousov67@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8185-8209;

Савчук В. П., к.т.н., завідувач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок Херсонської державної морської академії, e-mail: postsavchuk@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5266-850X

Розроблено поршень крейцкопфного двигуна, у якому під компресійними кільцями виконано додаткові кеи у кількості, що дорівнює кількості компресійних кілець. У додаткові кеи встановлено захисні кільця, розміри яких у встановленому вигляді максимально наближені до розмірів додаткових кілець. Виконання додаткових кілець під компресійними кільцями у кількості, що дорівнює кількості компресійних кілець зменшує на них термічні навантаження і дає можливість застосувати додаткові кеи для всієї групи компресійних кілець. Установлення захисних кілець у додаткові кеи, розміри яких у встановленому вигляді максимально наближені до розмірів додаткових кілець, захищає додаткові кеи від потрапляння циліндрового масла й продуктів згорання. Застосування запропонованого технічного рішення збільшує строк експлуатації поршня удвічі й не вимагає ремонту кілець у спеціалізованій майстерні. Впровадити модернізацію можливо при виготовленні нових поршнів і циліндрових втулок або після узгодження з виробником двигунів, провести доопрацювання вже вироблених елементів циліндро-поршневої групи.

Ключові слова: крейцкопфний дизель, компресійне кільце, кеп, лубрикатор.

DOI: 10.33815/2313-4763.2019.2.21.059-066

Вступ. Ущільнювальна дія компресійних кілець забезпечується притисканням їх до дзеркала циліндра й стінок поршневих канавок та лабіринтною дією пакета кілець [1]. Зношування кілець і поршневих кілець призводить до падіння тиску у циліндрах, втрати потужності двигуна й у кінцевому випадку до поломки кілець і виходу двигуна з ладу [2].

Процес відновлення роботоздатності двигуна є трудомістким і вимагає значних матеріальних витрат.

Особливо це стосується відновлення поршнів. Їх ремонт відбувається у спеціалізованих майстернях і вимагає високої кваліфікації технічного персоналу й матеріальних витрат.

Враховуючи масове використання поршневих двигунів внутрішнього згорання, а також високі витрати на технічне обслуговування та ремонт, проблема підвищення строку експлуатації поршнів і зменшення витрат на їх відновлення набуває практичної значущості.

Аналіз причин зношування компресійних кілець і кілець. Для забезпечення ефективного ущільнення дуже важливо, щоб форма поршневих кілець, канавок і циліндричної втулки була належної конфігурації, а самі кільця щоб були рухливі в канавках.

Досвід показав, що незадовільне функціонування поршневих кілець є одним з головних факторів, що впливає на поганий стан циліндра [3].

Радіальне переміщення поршневих кілець призводить до зносу як самого кільця, так і нижньої поверхні кепа (рис. 1).

При зносі кепа щільність посадки кільця в кепі порушується, гази з потиличної частини кільця виходять і кільце перестає притискатися до дзеркала циліндра. Його ущільнювальна дія втрачається. Відбувається прорив газів і перегрів кільця і кепа.

Зростання температур кепа створює умови для коксування масла в ньому, що в подальшому призводить до заклинювання кільця і повної втрати його ущільнювальних властивостей.

У сучасних форсованих двигунах з метою зменшення зносу кепів їх робоча поверхня хромується.

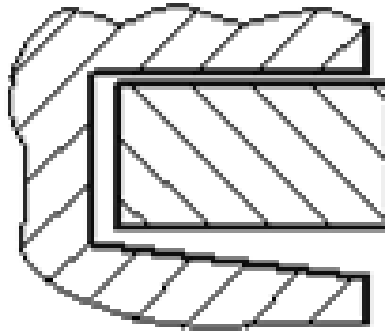


Рисунок 1 – Зношування кепи

Втрата тиску за кільцем викликає явища колапсу, при якому виникає радіальна вібрація – кільце вдаряється об внутрішню стінку поршневої канавки, потім розтискається і входить у контакт зі стінкою циліндра. Змінні удари в підсумку призводять до поломки кільця, що відзначається, зазвичай, у його середній частині (навпроти замка).

Абразивне зношування кільця і кепи може викликатися твердими частинками, які потрапляють у циліндр з паливом, наприклад, частинки каталізатора [4, 5].

Зображення зношених та еродованих поршневих кілець № 1...4 у зношених кепках показано на рис. 2.

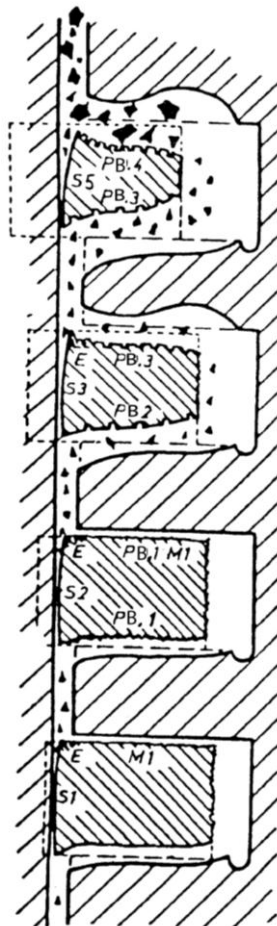


Рисунок 2 – Зношені та еродовані поршневі кільця № 1...4 у зношених кепках:

«Р» – робоча поверхня з рисками; «В» – віспини; «Е» – ерозія. Зовнішня крайка піскоструїться; «М» – механічне оброблення. Числа від 1 до 5 позначають ступінь пошкодження (дефекту), причому 5 – найбільший

Типовим є абразивне зношування верхнього кільця (як робоча, так і горизонтальні поверхні), а також верхнього кепи. Кілька мікротріщин іноді з'являється і в нижніх кільцях, зменшуючись у напрямку вгору. Таке явище протилежне глибині рисок (або шорсткості), яка зменшується від кільця до кільця у напрямку вниз.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Як видно з проведеного аналізу, зношення компресійних кілець і кепів відбувається через їх тертя між собою в умовах недостатнього змащення та потрапляння на поверхні абразивних часток.

Заміна кілець не викликає забруднень і може проводитись силами машинної команди при черговому ремонті циліндро-поршневої групи.

Ремонт поршня можливий тільки в умовах спеціалізованої майстерні й вимагає значних затрат. Збільшення строку служби поршня завдяки підвищенню зносостійкості робочих поверхонь кепів дало певний результат, але воно вже себе вичерпало.

Мета та задачі проведення досліджень. Модернізувати циліндро-поршкову групу крейцкопфного дизеля таким чином, щоб збільшити строк експлуатації поршня удвічі без додаткового ремонту кепів у спеціалізованій майстерні.

Для досягнення поставленої мети необхідно провести аналіз конструкції поршня і поршневих кілець, установити причину передчасного виробітку кепів та запропонувати варіант компенсації цього недоліку.

Рішення поставленої задачі. Для забезпечення рішення поставленої задачі на поршні під компресійними кільцями виконано додаткові кепи у кількості, що дорівнює кількості компресійних кілець [6].

Модель поршня з двома групами кепів показана на рис. 3.

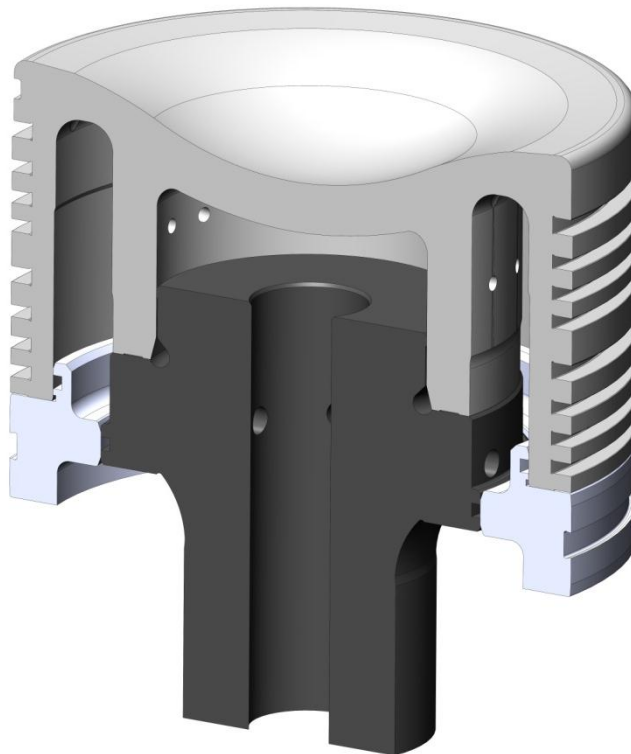


Рисунок 3 – Модель поршня з двома групами кепів

У додаткові кепи встановлено захисні кільця, розміри яких у встановленому вигляді максимально наближені до розмірів додаткових кепів (рис. 4).

Циліндро-поршнева група крейцкопфного дизеля складається з циліндрової втулки 1 з лубрикаторними розпилювачами 2 і поршня 3 з компресійними кільцями 4, встановленими у кепах 5.

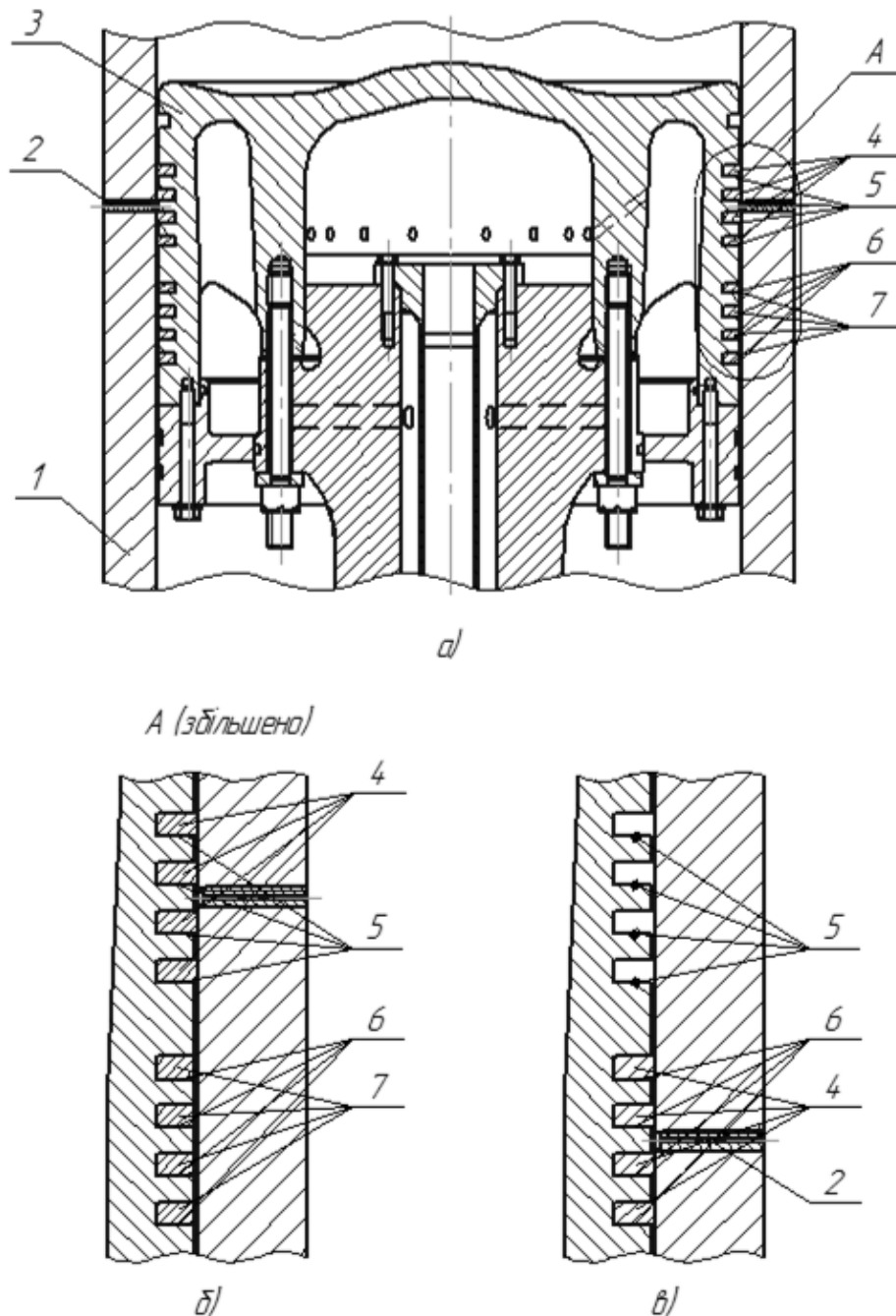


Рисунок 4 – Модернізована циліндро-поршнева група крейцкопфного дизеля:

а – загальний вигляд циліндро-поршневої групи; б – розташування компресійних кілець у кепах та захисних кілець у додаткових кепах у збільшеному масштабі; в – розташування компресійних кілець у додаткових кепах у збільшеному масштабі; 1 – циліндрова втулка; 2 – лубрикаторні розпилювачі; 3 – поршень; 4 – компресійні кільця; 5 – кепи; 6 – додаткові кепи; 7 – захисні кільця

Під компресійними кільцями 4 виконано додаткові кепи 6 у кількості, що дорівнює кількості компресійних кілець 4.

У додаткові кепи 6 встановлено захисні кільця 7, розміри яких у встановленому вигляді максимально наближені до розмірів додаткових кепів 6.

Виконання додаткових кепів під компресійними кільцями у кількості, що дорівнює кількості компресійних кілець зменшує на них термічні навантаження і дає можливість застосувати додаткові кепи для всієї групи компресійних кілець.

Установлення захисних кілець у додаткові кепи, розміри яких у встановленому вигляді максимально наближені до розмірів додаткових кепів, захищає додаткові кепи від потрапляння циліндрового масла й продуктів згоряння.

Циліндро-поршнева група крейцкопфного дизеля працює наступним чином.

При згорянні палива у циліндрі нового дизеля виникає підвищений тиск і температура, які діють на циліндрову втулку 1 і поршень 3 з компресійними кільцями 4, встановленими у кепах 5.

Під дією тиску компресійні кільця 4 переміщуються вертикально і горизонтально й притискаються до кепів 5 та до циліндрової втулки 1.

Із часом тертя компресійних кілець 4 по кепах 5 призводить до їх природнього зношування.

Крім того, у процесі роботи двигуна у циліндрі утворюються тверді частинки у вигляді залишків продуктів згоряння та алюмосилікатів, які потрапляють на компресійні кільця 4 і кепа 5.

Тертя компресійних кілець 4 по кепах 5 в умовах забруднення твердими частинками продуктів згоряння та алюмосилікатами призводить до прискореного абразивного зношування цих елементів.

Водночас додаткові кепа 6 зі встановленими у них захисними кільцями 7, які виконано під компресійними кільцями 4, захищені від надмірного термічного впливу та потрапляння на них твердих частинок у вигляді залишків продуктів згоряння, алюмосилікатів і залишків циліндрового масла, яке впорскується на компресійні кільця 4 лубрикаторними розпилювачами 2 при зворотному русі поршня.

Після зношування компресійних кілець 4 і кепів 5 поршень 3 виймають з дизеля.

З додаткових кепів 6 виймають захисні кільця 7, а на їх місце встановлюють нові компресійні кільця у необхідній кількості і поршень повертають у дизель. Водночас змінюють момент подачі циліндрового масла на лубрикаторні розпилювачі 2 так, щоб воно потрапляло на нові компресійні кільця.

При згорянні палива у циліндрі відремонтованого дизеля виникає підвищений тиск і температура, які діють на циліндрову втулку 1 і поршень 3 з компресійними кільцями, встановленими у додаткові кепа 6.

При зворотному русі поршня лубрикаторні розпилювачі 2 подають циліндрове масло на компресійні кільця, розташовані у додаткових кепах 6.

Заміна повного комплекту компресійних кілець із застосуванням додаткових кепів, як показано вище, можлива на судових малообертових дизелях типу RTA 68T-B (ДКРН 68/272), RTA 84C (ДКРН 84/240), RTA 58T (ДКРН 58/241,6), RTA 72U (ДКРН 72/250), RTA 48T (ДКРН 48/200) фірми Sulzer, 7RT-flex 82T (ДКРН 82/337,5), RT-flex 96C (ДКРН 96/250) фірми Wartsila та інших аналогічних двигунах. Це пов'язано з особливістю конструкції камери згоряння і кришки циліндра.

При положенні поршня у вміст лише незначна його частина входить у кришку циліндра, проходячи стик кришки й циліндра. Більша частина головки поршня знаходиться нижче, що дає можливість розмістити на ній як основну групу кепів з компресійними кільцями, так і додаткові кепа із захисними кільцями.

У дизелях фірми MAN при русі у вміст значна частина поршня проходить стик кришки й циліндрової втулки з очисним кільцем, що унеможливує встановлення додаткової групи компресійних кілець. Крім того, дизелі типу K98MC6 (ДКРН 98/266), S80MC6 (ДКРН 80/306), S60MC6 (ДКРН 60/229,2) та інші мають три компресійні кільця, компактно встановлених на поршні [7, 8].

Така конструкція ускладнює розміщення додаткових кілець і вимагає часткової зміни циліндро-поршневої групи, що можливо лише в умовах виробництва.

Однак значна частина сучасних дизелів фірми MAN, а саме дизелі типу: L35MC6 (ДКРН 35/105), L60MC-C8 (ДКРН 60/202,2), K80MC-C (ДКРН 80/230) та інші мають у своєму складі чотири компресійні кільця [9, 10].

Враховуючи те, що найбільшого зношування зазнає перший збільшений кеп і компресійне кільце, а три кільця повністю забезпечують компресію у двигуні, пропонується другий кеп доопрацювати для можливості встановлення збільшеного компресійного (рис. 5) і на першому етапі експлуатації встановити у нього захисне кільце.

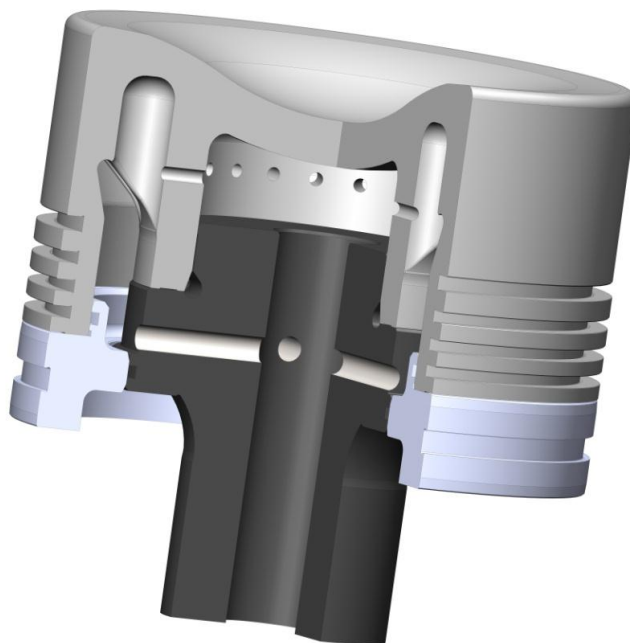


Рисунок 5 – Поршень з чотирма кепами, два верхніх з яких пристосовані для встановлення збільшених компресійних кілець

Після зношення першого кепи, вийняти з другого кепи захисне кільце, встановити на його місце збільшене компресійне кільце й продовжити використання поршня. Така технологічна операція може виконуватись силами машинної команди. Аналогічне доопрацювання можна застосувати й для дизелів фірми Sulzer та Wartsila.

Висновки та рекомендації. При роботі крейцкопфного двигуна поршень зношується рівномірно по колу. Водночас найбільш вузьким місцем, що визначає строк його служби, є кепи, у яких розміщуються компресійні кільця. Їх абразивне зношування призводить до необхідності відновлювати кепи у спеціалізованих майстернях або повністю замінювати поршні.

Такий ремонт є трудомістким та затратним.

Запропоноване технічне рішення дозволить використовувати додаткові кепи, розміщені під основними, і у процесі ремонту замінити тільки компресійні кільця. Така робота може бути виконана силами машинної команди.

Застосування рішення збільшує строк експлуатації поршня удвічі й не вимагає ремонту кепів у спеціалізованій майстерні.

Упровадити модернізацію можливо при виготовленні нових поршнів і циліндрових втулок або після узгодження з виробником двигунів, провести доопрацювання вже вироблених елементів циліндро-поршневої групи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Возніцкий И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания : учебник. Том 1. Москва : Моркнига, 2007. 284 с.
2. Возніцкий И. В., Пунда А. С. Судовые двигатели внутреннего сгорания : учебник. Том 2. Москва : Моркнига, 2008. 470 с.

3. Возницкий И. В. MAN B&W Двигатели модельного ряда MC 50-98. Конструкция, эксплуатация и техническое обслуживание : учебн. пособ. Моркнига, 2008. 263 с.
4. MITSUI-MAN B&W instruction book. Volume 3. Component No.1. Code book. MITSUI ENGINEERING & SHIPBUILDING CO., LTD. 220 p.
5. MITSUI-MAN B&W instruction book. Volume 4. Component No.2. Fittings and accessories. MITSUI ENGINEERING & SHIPBUILDING CO., LTD. 528 p.
6. Циліндро-поршнева група крейцкопфного дизеля : пат. 133135 Україна: МПК F02F 1/100. № u 2018 10243; заявл. 16.10.18; опубл. 25.03.19, Бюл. № 6.
7. Instruction HYUNDAI-MAN B&W Diesel Engine Operation. Hyundai Heavy Industries Co., Ltd. Engine & Machinery Division 1, Jeonha-Dong, Dong-Ku, Ulsan, Korea. 548 p.
8. Instruction HYUNDAI-MAN B&W Diesel Engine, Maintenance. Hyundai Heavy Industries Co., Ltd. Engine & Machinery Division 1, Jeonha-Dong, Dong-Ku, Ulsan, Korea. 615 p.
9. Instruction HYUNDAI-MAN B&W Diesel Engine, Components NO.1 (Code book). Hyundai Heavy Industries Co., Ltd. Engine & Machinery Division 1, Jeonha-Dong, Dong-Ku, Ulsan, Korea. 168 p.
10. Instruction Hyundai-MAN B&W Diesel Operation. Engine 10K98VC-C Mk6. HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES CO. LTD ULSAN SHIPYARD. KOREA, 2006. 372 p.

REFERENCES

1. Voznitskiy I. V. (2007). *Sudovye dvigateli vnutrennego sgoraniy* : учебник. Том 1. Moskva : Morkniga.
2. Voznitskiy I. V. (2008). *Sudovye dvigateli vnutrennego sgoraniy* : учебник. Том 2. Moskva : Morkniga.
3. Voznitskiy I. V. (2008). *MAN B&W Dvigateli modelnogo ryada MC-50-98. Konstrukciya, ekspluataciya I tehniceskoe obsluzhivanie*: учебн. пособ. Moskva : Morkniga.
4. MITSUI-MAN B&W instruction book. Volume 3. Component No.1. *Code book*. MITSUI ENGINEERING & SHIPBUILDING CO.,LTD..
5. MITSUI-MAN B&W instruction book. Volume 4. Component No.2. *Fittings and accessories*. MITSUI ENGINEERING & SHIPBUILDING CO.,LTD.
6. *Cylindro-porshneva hrupa krejckopfnogho dyzelja*: pat. 133135 Ukrajina : MPK F02F 1/100. # u 2018 10243; zajavl. 16.10.18; opubl. 25.03.19, Bjul. # 6.
7. Instruction HYUNDAI-MAN B&W Diesel Engine Operation. Hyundai Heavy Industries Co., Ltd. Engine & Machinery Division 1, Jeonha-Dong, Dong-Ku, Ulsan, Korea.
8. Instruction HYUNDAI-MAN B&W Diesel Engine, Maintenance. Hyundai Heavy Industries Co., Ltd. Engine & Machinery Division 1, Jeonha-Dong, Dong-Ku, Ulsan, Korea.
9. Instruction HYUNDAI-MAN B&W Diesel Engine, Components NO.1 (Code book). Hyundai Heavy Industries Co., Ltd. Engine & Machinery Division 1, Jeonha-Dong, Dong-Ku, Ulsan, Korea.
10. Instruction Hyundai-MAN B&W Diesel Operation. Engine 10K98VC-C Mk6. HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES CO. LTD ULSAN SHIPYARD. KOREA, 2006.

Самарин А. Е., Белоусов Е. В., Савчук В. П. ПОВЫШЕНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОРШНЯ КРЕЙЦКОПФНОГО ДИЗЕЛЯ

Разработан поршень крейцкопфного двигателя, в котором под компрессионными кольцами выполнены дополнительные кепы в количестве, равном количеству компрессионных колец. В дополнительные кепы установлены защитные кольца, размеры которых в установленном виде максимально приближены к размерам дополнительных кепов. Выполнение дополнительных кепов под компрессионными кольцами в количестве, равном количеству компрессионных колец, уменьшает на них термические нагрузки и дает возможность применить дополнительные кепы для всей группы компрессионных колец. Установка защитных колец в дополнительные кепы, размеры которых в установленном виде максимально приближены к размерам дополнительных кепов, защищает

дополнительные кепы от попадания цилиндрического масла и продуктов сгорания. Применение предложенного технического решения увеличивает срок эксплуатации поршня в два раза и не требует ремонта кепов в специализированной мастерской. Внедрить модернизацию возможно при изготовлении новых поршней и цилиндрических втулок или после согласования с производителем двигателей, провести доработку уже произведенных элементов цилиндрической поршневого группы.

Ключевые слова: крещкопфный дизель, компрессионное кольцо, кеп, лубрикатор.

Samarin O.E., Bilousov E.V., Savchuk V.P. CROSSHEAD DIESEL ENGINE PISTON LIFETIME EXTENTION

The crosshead diesel engine piston is designed, which has additional piston grooves under compression rings. The number of the piston grooves is equal to the number of the compression rings. The safety rings are installed into additional piston grooves. The dimensions of the safety rings match as closely as possible with those of the piston grooves. The design with the number of additional piston grooves under compression rings which equals the number of compression rings, reduces thermal load and enables to make additional piston grooves for the whole group of compression rings. Positioning of safety rings into additional piston grooves, the dimensions of which, when installed, match as close as possible with the dimensions of additional piston grooves, protect the additional piston grooves from cylinder oil and combustion products ingress. Piston grooves and rings wear leads to the drop in cylinder pressure, loss of engine power, and eventually to rings breakage and engine failure. The process of restoring the efficiency of engine performance is time-consuming and requires significant material expenses. This is especially true for the pistons restoration. Pistons repair process is carried out in specialized workshops and requires highly-qualified technical personnel and material expenses. Taking into account the widespread use of piston internal combustion engines, as well as high maintenance and repair costs, the problem of pistons lifetime extention and repair process expenses reduction, is of practical importance. Compression rings and piston grooves wear is due to their friction with each other in conditions of insufficient lubrication and contact with abrasive particles on the surface. Replacement of the rings does not cause contamination and can be carried out by the engine room team during regular repair of the cylinder-piston group. Repair of the piston is possible to be carried out only in a specialised workshop and requires considerable investment. Piston lifetime extention by increasing the wear resistance of the working surfaces of the piston grooves has given a certain result, but it has already outlived its usefulness. The purpose of the research is to modernize the cylinder-piston group of crosshead diesel engine so as to extend piston lifetime twice without conducting additional repair of the piston grooves in a specialized workshop. To achieve this goal, it is necessary to analyze the design of the piston and piston rings, to determine the cause of premature wear of grooves and offer an option to compensate for this deficiency. The crosscut engine piston has been designed, where additional grooves are made under the compression rings and their number equals the number of compression rings. Safety rings are installed into additional grooves so that their dimensions match as close as possible when installed. Application of additional grooves under compression rings in the number equal to the number of compression rings, reduces their thermal loads and makes it possible to make additional grooves for the whole group of compression rings. Safety rings installation into additional grooves, the dimensions of which, when installed, are as close as possible to the dimensions of additional grooves, protect additional grooves from ingress of cylinder oil and combustion products. The application of the proposed technical solution, extends piston's lifetime twice and does not require the repair process of the grooves to be carried out in a specialized workshop. It is possible to implement upgrades in the manufacture of new pistons and cylinder liners or, after consultation with the engine manufacturer, to redesign already manufactured elements of the cylinder-piston group.

Keywords: crosshead diesel, compression ring, piston groove, lubricator.

© Самарін О. Є., Білоусов Є. В., Савчук В. П.

Статтю прийнято
до редакції 29.05.19