

УДК 621.004.64

DOI 10.47049/2226-1893-2022-1-62-70

ВПЛИВ ДЕФЕКТІВ ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ МАЛООБЕРТОВИХ ДВИГУНІВ НА ЇХ ДОВГОВІЧНІСТЬ

В.А. Кузнецов

аспірант кафедри «Технічне обслуговування та ремонт суден»

Одеський національний морський університет, Одеса, Україна

***Анотація:** Для енергетичних установок морських суден велике значення має надійність експлуатації усіх судових механізмів та агрегатів. Найбільш важливим з них є головний двигун. Як правило, це потужний двотактний або чотиритактний агрегат, комбінуючий у собі велику кількість рухливих та нерухливих вузлів, які мають складний взаємозв'язок. Серед них найбільш значимими є елементи циліндропоршневої групи. Оскільки ці деталі відчувають найбільші навантаження у процесі роботи двигуна, має місце велика кількість несправностей та дефектів.*

У статті розглянуті найбільш характерні дефекти циліндропоршневої групи малообертових двигунів, а також їх вплив на експлуатаційну надійність. Представлені способи своєчасного виявлення та можливості для усунення таких дефектів.

***Ключові слова:** дефект, експлуатація, відмова, ресурс, довговічність, малообертові двигуни.*

UDC 621.004.64

DOI 10.47049/2226-1893-2022-1-62-70

THE INFLUENCE OF DEFECTS CYLINDER-PISTON GROUP SLOW-SPIED ENGINES OF DURABILITY

V.A. Kuznetsov

graduate student of the department «Technical service and repair of ships»

Odesa National Maritime University, Odessa, Ukraine

***Abstract:** For the sea vessels power plants the reliability of operation of all ship mechanisms and units has great importance. The most important of these is the main engine. As a rule, this is a powerful two-stroke or four-stroke unit that combines a large number of moving and stationary units that have a complex relationship. Among them, the most significant are the elements of the cylinder-piston group. Since these parts experience the greatest stress during engine operation, a large number of malfunctions and defects occur.*

© Кузнецов В.А., 2022

The article considers the most characteristic defects of the cylinder-piston group of low-speed engines, as well as their effect on operational reliability. Methods for timely detection and possibilities for eliminating such defects are presented.

Keywords: *defects, exploitation, rejection, reliability, resource, durability, slow-speed engines.*

Вступ. Безпека експлуатації суден і головних енергетичних установок залежить від багатьох факторів, основні з яких технічна надійність окремих деталей, вузлів і машин в цілому.

На морських суднах в якості головних енергетичних установок застосовуються малообертові двигуни типу V&W, MAN і ЗУЛЬЦЕР. Це двигуни двотактні, крейцкопні реверсивні з наддувом, з числом циліндрів (5-12), циліндровою потужністю (500-1200) кВт, питомою витратою палива близько 2100 г/кВт·годин. Кожен з них має низку модифікацій [1].

При експлуатації машин і механізмів виникають різні дефекти, які визначають їх довговічність. Довговічність залежить від діючих навантажень, температур, агресивності середовища, матеріалів, якості виготовлення деталей, технологій ремонту і відновлення, складання, монтажу, тривалості експлуатації та ін.

Актуальність досліджень. Деталі ЦПГ (головки поршнів, втулки циліндрів, кришки циліндрів, випускні клапани) є одним з вузлів, що визначають довговічність двигунів.

Види пошкоджень та відмови деталей двигуна достатньо різноманітні й у певній мірі відображені в низці літературних джерел [2], однак, вони досить розрізнені, а в деяких випадках застарілі.

Деталі двигуна піддаються зносу, корозії, ерозії, втомленості, вигорянню, тріщино утворенню, й, в кінцевому підсумку, поломкам.

Деталі ЦПГ є найбільш відповідальною частиною вузлів двигуна й для усунення різних дефектів і пошкоджень необхідно застосування сучасних технологій. Це дає можливість підвищення їх довговічності. Проблема підвищення довговічності деталей двигунів, які застосовуються в якості головних енергетичних установок на морських суднах в теперішній час, є своєчасною та актуальною.

Мета даних досліджень міститься у визначенні впливу дефектів деталей ЦПГ малооберткових двигунів на їх довговічність.

Помилки конструювання, порушення технологічних процесів виготовлення деталей, технічного обслуговування і ремонту, а також недотримання правил експлуатації призводять до виникнення дефектів.

При експлуатації деталей машин і механізмів виникають різноманітні дефекти, які ц тій чи іншій мірі визначають їх довговічність. Це відноситься до машин, деталі яких піддаються руйнуванню, корозії, зношуванню, вигорянню, тріщино утворенню і поломкам. У повній мірі перелічені фактори мають місце при експлуатації судових енергетичних установок, які складаються з сотень деталей. Вони виготовляються з різноманітних матеріалів, працюють в різних умовах. У період експлуатації деталі піддаються пошкодженням, накопичують дефекти та

несправності. Це в кінці кінців призводить до відмовлення. Дефекти утворюються з різних причин, у тому числі з-за дії зовнішніх навантажень, внутрішніх напружень в металі, впливу агресивного середовища та ін. Поява різноманітних дефектів носить випадковий характер та за своєю суттю є неперервним, необоротним й нерівномірним за часом. Важливим є характеристика поняття «дефект» для конкретних умов експлуатації та вплив його на безвідмовність роботи. Дефект – це кожна окрема невідповідність деталей вимогам встановлених нормативних документів.

У процесі роботи суднових машин і механізмів окремі деталі зношуються та втрачають свої фізико-механічні властивості. Більшість деталей після визначеного часу роботи стають непридатними для подальшої експлуатації в результаті зношування, втомленості, інших пошкоджень і вимагають заміни або відновлення втрачених властивостей. З-за виникнення різноманітних несправностей і зношування деталей їх надійність, яка вкладена в машині при конструюванні та виробництві, знижується в процесі експлуатації. Зношування та деформації порушують нормальну роботу деталей, пристроїв, механізмів і конструкцій, тому подальша експлуатація зношених деталей без заміни або відновлення у більшості випадків стає нездійсненою. Дефекти деталей і способи їх виявлення приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика дефектів		
Дефекти і пошкодження	Причини виникнення дефектів	Способи ремонту та відновлення
1. КОНСТРУКЦІЙНІ		
Знос	Матеріал. Габарити. Маса. Змінення тиску.	Діагностика
Корозія Ерозія	Змінення температури. Наявність агресивного середовища. Діюче навантаження.	Наплавлення Розточування Обточування
2. ТЕХНОЛОГІЧНІ		
Нагар Втомленість Тріщини	Дотримання розмірів та точності. Шорсткість поверхні. Вимірювальні інструменти та прилади.	Шліфування Зміцнення
3. ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ		
Поломка	Дотримання інструкцій і правил технічної експлуатації об'єктів	Складання Монтаж Випробування

Наявні дефекти, такі як тріщини, задири, вм'ятини, вигини та інші визначаються зовнішнім оглядом. За допомогою вимірювальних приладів визначають розміри і форму деталей. Спеціальними приладами визначають вигин, скручування, взаємний стан окремих осей і поверхонь, короблення. Для визначення крихтих дефектів застосовують магнітну і гама-дефектоскопію, просвітлення рентгенівським промінням, ультразвуковий контроль.

Тріщини і руйнування виникають внаслідок недостатньої міцності, порушення технології виготовлення, недоліків конструкції, перевантажень. Тріщини, головним чином, з'являються в місцях концентрації напружень і корозійного руйнування.

Зношення, задири, наробітки виникають при відносному пересуванні сполучених деталей, наявності абразивних часток, порушенні умов змащування.

При тривалому знаходженні в зоні підвищених температур може виникнути обгоряння, короблення, зниження механічних властивостей, що призводить до необхідності відновлення або заміни окремих деталей. Характерним дефектом є корозія. Вона призводить до значної втрати металу, зниженню характеристик міцності, й внаслідок, до скорочення строку служби деталей, механізмів і машин.

На втомленість металу в значній мірі впливає стан поверхонь деталей (наявність рисок, подряпин, уступів, виточок та ін.), які призводять до появи мікротріщин.

Методи та результати досліджень. На основі вимірювань, даних суднових і заводських документів, а також аналізу літературних джерел зібраний великий статистичний матеріал, що дозволяє провести ранжирування основних причин, які впливають на безвідмовну роботу деталей ЦПГ різних типів малообертових двигунів [4, 5].

До основних деталей ЦПГ малообертових двигунів відносяться головки поршнів, кришки циліндрів, циліндрові втулки, поршневі кільця, випускні клапани. Відмови цих деталей містять більш 40 % відмовлень від усіх деталей, вузлів та механізмів головного двигуна.

Враховуючи те, що відновлювальні та ремонтні роботи деталей ЦПГ малообертових двигунів достатньо коштовні й трудомісткі, особливо головок поршнів, циліндрових втулок і кришок циліндрів, то цілком очевидно, що цим деталям необхідно приділити підвищену увагу. Від довговічності експлуатації деталей ЦПГ залежить в значному ступені довговічність експлуатації двигуна в цілому.

Нижче представлені короткі дані про експлуатацію головок поршнів, циліндрових втулок, кришок циліндрів, випускних клапанів.

Враховуючи складність конфігурації та велику масу, головки поршнів виготовляють методом лиття. Матеріалом головок поршнів служать низьколеговані та вуглецеві сталі. Число канавок під поршневі кільця – до 6 шт. З багатьох дефектів основним для головок поршнів складає зношування, решта це – тріщини, вигорання днища.

Виходячи з наведених вище даних, при вивченні дефектоутворення основну увагу слід зосередити на зношуванні канавок під поршневі кільця, головок поршнів і приймати відповідне рішення.

Циліндрові втулки працюють при високих навантаженнях, температурах, в умовах дії агресивного середовища. У залежності від типів двигунів циліндрові втулки відрізняються конструктивними особливостями. Враховуючи складність конструкції і великі габарити циліндрові втулки виготовляють методом лиття. Матеріалом служить чавун із додаванням легуючих елементів. До основних дефектів циліндрових втулок відносяться тріщини, зношування, корозія.

Найбільшу питому вагу займають тріщини, решта – це зношування, корозія та інше.

Виходячи з наведених вище даних, при вивченні дефектоутворення основну увагу слід зосередити на появі тріщин у циліндрових втулках та прийнятті відповідних рішень.

Кришки циліндрів також працюють у важких умовах. Враховуючи складність конструкції і великі габарити кришки циліндрів виготовляють методом лиття. Матеріалом служить чавун і сталі різноманітних марок. На першому місці за долею дефектів є тріщиноутворення, другим – зношування, далі – корозія.

Виходячи з наведених вище даних, при вивченні дефектоутворення основну увагу слід звернути на появу тріщиноутворення в кришках циліндрів і приймати відповідне рішення.

Випускні клапани піддаються впливу значних знакозмінних навантажень і високих температур (близько 600 °С) на тарілці клапану. Матеріал випускних клапанів повинен володіти гарною твердістю, жароміцністю, корозійною стійкістю. Матеріалом служать леговані сталі Х9С2, Х10С2М та ін. Характерними дефектами випускних клапанів є знос тарілки і спрямовуючої поверхні штока, тріщини втомленості, нагар, викришування. Причинами появи дефектів служить висока температура, важкі сорти палива, режими експлуатації. Найбільший процент відмов з-за зносу, потім тріщини, нагар.

Дефекти з'являються в різний час. Так, знос і корозія з'являються з початку експлуатації ЦПГ двигунів, нагар – після 1-2 тисяч годин, тріщини через 3-4 тисячі годин, прогар – через 7-8 тисяч годин.

Аналіз експлуатації деталей ЦПГ малообертових двигунів, що застосовуються в якості головних силових установок на морських судах та прийняті засоби з усунення різноманітних дефектів і пошкоджень дають можливість збільшити їх довговічність.

Для визначення «питомої ваги» найбільш значущих факторів та їх впливу на довговічність ЦПГ малообертових двигунів застосовуються діаграми Парето. Вони зручні, прості для використання на практиці та дозволяють відокремити важливі фактори від незначущих.

Важливою перевагою діаграми Парето є наочність, а також можливість визначити розкидання і форму розподілу параметрів, що вимірюються. Нами виконані діаграми Парето для поршнів, втулок, кришок, випускних клапанів малооборотних двигунів. В якості прикладу на рис. 1 показана діаграма Парето для дефектів кришок циліндрів.

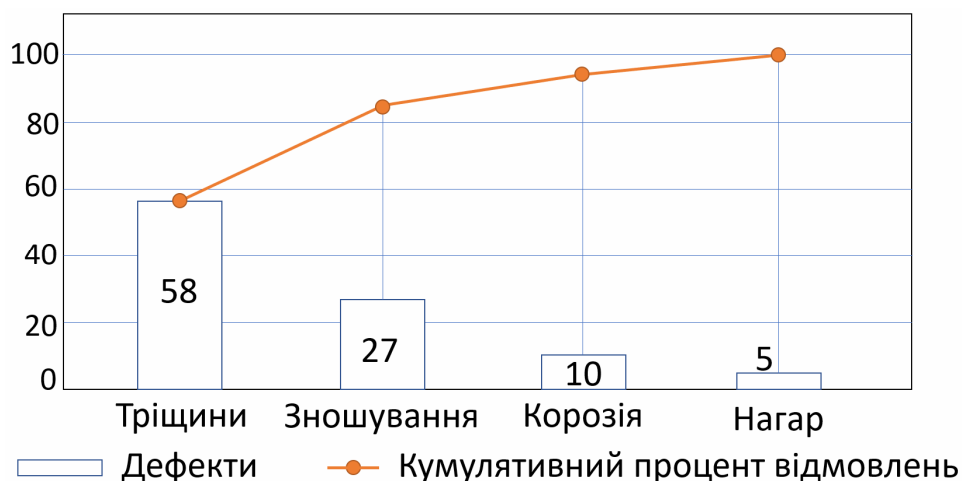


Рис. 1. Діаграма Парето для основних видів відмовлень кришок циліндрів двигунів

Значущість дефектів для впливу їх на довговічність ЦПГ малооборотних двигунів можна визначити також за допомогою діаграм Ісікава. При цьому можна визначити не тільки технічний бік питання, але й врахувати вартісні показники, рівень кваліфікації робітників та ін. Тому діаграми будуть не дворівневі, а трирівневі або чотирирівневі. Це збільшує трудоемність робіт, але при цьому значно підвищується їх якість, тобто має більш високий рівень дослідження поставлених задач.

Виявлення дефектоутворення ЦПГ МОД надає можливість визначити «питому вагу» кожного дефекту – його вплив на довговічність. Звернути увагу на існуючі дефекти й обрати найбільш ефективну технологію ремонту або відновлення об'єктів дослідження. Нами розглянуті ефективні технології ремонту і відновлення ЦПГ МОД з врахуванням характеру дефектів, причин їх появи і пропозиції відповідних технологій.

В якості прикладу ремонту поршнів малооборотних двигунів з урахуванням можливих дефектів, способів їх виявлення, способів ремонту і технічних вимог після ремонту показаний у табл. 2.

Таблиця 2

*Характерні дефекти, способи виявлення і ремонту
головки поршня мало обертового двигуна*

Номер дефекту	Дефекти	Способи виявлення	Способи ремонту і відновлення	Технічні вимоги після ремонту
1.	Вигорання днища з боку камери згоряння до 25 % товщини	Візуально, вимірювання	Зачистити дефектну частину до чистого металу, наплавити і проточити	Розміри поверхні, яка відновлена, повинні відповідати кресленню. Провести гідровипробування
n	Зношування робочих поверхонь канавок під поршневі кільця. Тріщини у перемичках	Візуально, вимірювання	Проточити торці канавок під кутом 20 °, наплавити, проточити	Розміри поверхні, яка відновлена, повинні відповідати кресленню.
m		Візуально, вимірювання	Проточити поверхню до чистого металу (у відповідності з кресленням). Наплавити зношену поверхню, проточити.	Гідровипробування головки поршня

Досліджуючи діаграму Парето за дефектоутворенню ЦПГ МОД можна виявити наступне. Для цих деталей мають місце такі дефекти як зношування, тріщини, корозія, нагар та ін. Для ЦПГ МОД характерні дефекти та їх питома вага показані на рис. 2.

До основних дефектів поршнів відносяться зноси канавок під поршневі кільця, тріщини, нагар, корозія. Зноси складають 64-72 %.

Основними причинами зносу головок поршнів є матеріал, конструктивні особливості, режим роботи. Середнє напрацювання на відмову нових головок поршнів складає 8-10 тисяч годин.

До основних дефектів втулок циліндрів двигуна відносяться тріщини під посадковим буртом та інколи на внутрішньої поверхні втулки, корозія. Тріщини складають 58-70 %. Основною причиною появи тріщини під посадковим буртом втулки є нещільне прилягання поверхні бурту втулки циліндру і блоку двигуна.

Середнє напрацювання на відмову нових втулок циліндрів складає 30-40 тисяч годин.

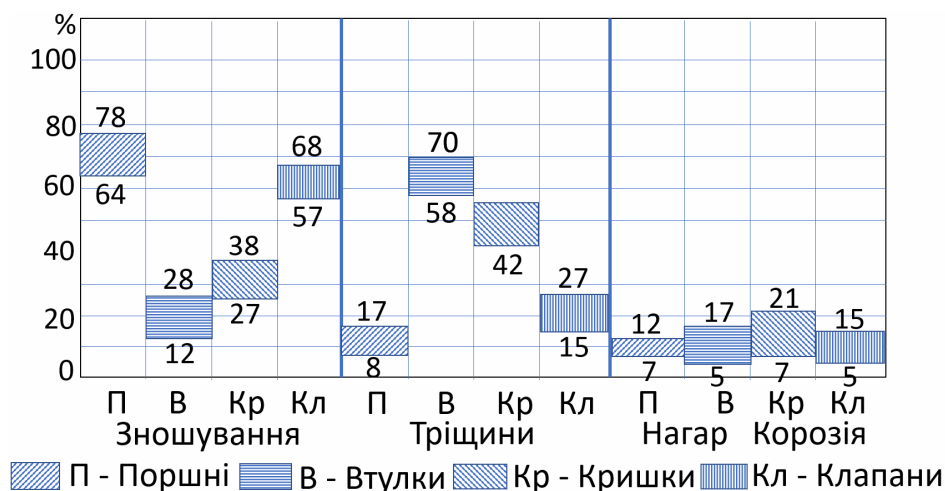


Рис. 2. Характерні дефекти ЦПГ МОД

До основних дефектів кришок циліндрів відносяться тріщини, потім знос, корозія, нагар. Тріщини кришок циліндрів складають 42-56 %.

Основними причинами появи тріщин в кришках циліндрів є неякісний матеріал і недотримання технології виготовлення. Середнє напрацювання на відмову нових кришок циліндрів складає 20-30 тисяч годин.

До основних дефектів випускних клапанів відносяться знос поверхні штоку і ущільнюючого пояску тарілки, тріщини, викришування тарілки клапану, нагар посадкової поверхні, прогар.

Основними причинами появи таких дефектів є висока температура (до 600 ° С) і сорт палива, який містить сірку, та наявність води, що особливо впливає на корозійне руйнування випускних клапанів. Зноси складають близько 60 %, тріщини – 25 %, решта – 15 % – корозія, нагар, прогар. Середнє напрацювання на відмову нових випускних клапанів (7-10) тисяч годин.

Висновки

1. Проведено ранжування і визначена «питома вага» дефектів за їх значністю на довговічність ЦПГ МОД.
2. Визначена роль дефектоутворення у формуванні відмов ЦПГ МОД.
3. На підставі дефектоутворення проведений вибір технологій ремонту і відновлення ЦПГ МОД.
4. Є можливість прогнозувати довговічність ЦПГ МОД і забезпечити постачання запчастин та строки їх ремонту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Возницкий И.В. Двигатели внутреннего сгорания MAN B&W модельного ряда MCSO-98. – М.: Моркнига, 2008. – 264 с.
2. Кондратьев Н.Н. Отказы и дефекты судовых дизелей. – М.: Транспорт, 1985. – 152 с.
3. Шишкин В.А. Анализ неисправностей и повреждений судовых дизелей. – М.: Транспорт, 1986. – 192 с.
4. Сторожев В.П. Технология судоремонта: учебник для высших морских учебных заведений. – Херсон: ОЛДИ-ПЛЮС, 2017. – 578 с.
5. Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. – М.: Наука, 2008. – 132 с.
6. Ричард Кох Принцип 80/20, пер. с англ. / Под ред. О.Н. Эпимахова. – М.: ЭКСПО, 2016. – 316 с.

REFERENCE

1. Voznitsky I.V. (2008) Dvigateli vnutrennego sgoranija MAN B&W modelnogo rjada MCSO-98 [MAN B&W internal combustion engines of MCSO-98 model line]. Moscow: Morkniga. (in Russian).
2. Kondratjev N.N. (1985) Otkazi I defekti sudovikh dizelej [Failures and defects of marine diesel engines]. Moscow: Transport. (in Russian).
3. Shishkin V.A. (1986) Analiz neispravnostej I povrezhdenij sudovikh dizelej [Analysis of malfunctions and damages of marine diesel engines]. Moscow: Transport. (in Russian).
4. Storozhev V.P. (2017) Tehnologija sudoremonta: uchebnik dlja visshikh morskikh uchebnikh zavedenij [Ship repair technology: a textbook for higher maritime educational institutions]. Kherson: OLDI-PLUS. (in Russian)
5. Pustilnikh Je. I. Statisticheskije metodi analiza i obrabotki nabljudenij [Statistical methods for analysis and processing of observations]. Moscow: Nauka. (in Russian).
6. R. Koh. (2016) Princip 80/20 [The 80/20 principle]. Moscow: EKSPPO. (in Russian).

Стаття надійшла до редакції 30.09.2021

Посилання на статтю: Кузнецов В. Вплив дефектів циліндро-поршневої групи малообертових двигунів на їх довговічність // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць, 2022. № 1(67). С. 62-70. DOI 10.47049/ 2226-1893-2022-1-62-70.

Article received 30.09.2021

Reference a JournalArtic: Kuznetsov V. The influence of defects cylinder-piston group slow-spied engines of durability // Herald of the Odessa national maritime university. 2022. № 1(67). 62-70. DOI 10.47049/ 2226-1893-2022-1-62-70.