УДК 621.81.004.64

DOI 10.47049/2226-1893-2020-2-171-182

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ
ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ МАЛООБОРОТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

В.А. Кузнецов

аспирант кафедры «Технического обслуживания и ремонта судов»

Одесский национальный морской университет, Украина, Одесса

Аннотация. На современных морских судах в качестве главных энергетических установок используются малооборотные двигатели. Существует множество разнообразных модификаций таких двигателей, но чаще всего используют двигатели фирмы MAN B&W и Vertsila Zulzer. Это двигатели с рядом преимуществ: высокая агрегатная мощность, относительно низкий расход топлива, компактность.

Надежность работы двигателя зависит, в первую очередь, от долговечности работы деталей цилиндропоршневой группы. Они находятся в тяжелых условиях эксплуатации, а именно, высокая температура, давление, наличии коррозионной среды.

Во время эксплуатации двигателя его детали деформируются, подвергаются коррозии и эрозии, в них образуются трещины, меняется структура и технические свойства. Все эти дефекты могут располагаться на поверхности и в глубине деталей.

Долговечность двигателя зависит от множества факторов: выбора материала деталей, способа получения заготовок, соблюдение технологии изготовления деталей, сборки монтажа, качества топлива и масел, современного и качественного обслуживания.

При проектировании и изготовлении деталей двигателя преследуют цель – достичь экономичной, надежной и долговечной работы.

Всё это может быть обеспечено только в том случае если при изготовлении, ремонте, сборке деталей и эксплуатации соблюдаются технические условия. Выполнена оценка технического состояния ЦПГ МОД, позволяющая определить и контролировать потерю работоспособности и их долговечности.

Важным для повышения долговечности ЦПГ МОД является правильный выбор материала и применение современных упрочняющих технологий восстановления и ремонта ЦПГ МОД.

Ключевые слова: малооборотные двигатели, износ, дефект, отказ, восстановление, эксплуатация, технологические методы, надежность.

УДК 621.81.004.64

DOI 10.47049/2226-1893-2020-2-171-182

ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ
ЦИЛІНДРОПОРШНЕВОЇ ГРУПИ МАЛООБЕРТОВІХ ДВИГУНІВ
ТЕХНОЛОГІЧНИМИ МЕТОДАМИ

В.А. Кузнецов

аспірант кафедри «Технічного обслуговування і ремонту суден»

Одеський національний морський університет, Україна, Одеса

Анотація. На сучасних морських судах в якості головних енергетичних установок використовуються малообертові двигуни. Існує безліч різноманітних модифікацій таких двигунів, але частіше за все використовують двигун фірми MAN B & W і Vertsila Zulzer. Це двигуни з рядом переваг: висока надійність, відносно низька витрата палива, компактність.

Надійність роботи двигуна залежить, в першу чергу, від довговічності роботи деталей циліндропоршневої групи. Вони знаходяться в важких умовах експлуатації, а саме висока температура, тиск, наявності корозійного середовища.

Під час експлуатації двигуна його деталі деформуються, піддаються корозії і ерозії, в них утворюються тріщини, змінюється структура і технічні властивості. Всі ці дефекти можуть розташовуватися на поверхні і в глибині деталей.

Довговічність двигуна залежить від безлічі факторів: вибору матеріалу деталей, способів отримання заготовок, дотримання технології виготовлення деталей, складання монтажу, якості палива і масел, сучасного і якісного обслуговування.

При проектуванні і виготовленні деталей двигуна мають на меті досягти економічної, надійної і довговічної роботи.

Все це може бути забезпечено тільки в тому випадку, якщо при виготовленні, ремонті, складанні деталей і експлуатації дотримуються технічних умов. Виконано оцінку технічного стану ЦПГ МОД, що дозволяє визначити і контролювати втрату працездатності і їх довговічності.

Важливим для підвищення довговічності ЦПГ МОД є правильний вибір матеріалу і застосування сучасних зміцнюючих технологій відновлення і ремонту ЦПГ МОД.

Ключові слова: малообертові двигуни, знос, дефект, відмова, обслуговування, експлуатація, технологічні методи, надійність.

UDC 621.81.004.64

DOI 10.47049/2226-1893-2020-2-171-182

INCREASING THE TECHNOLOGICAL RELIABILITY
OF THE CYLINDER-PISTON GROUP OF LOW SPEED ENGINES
BY TECHNOLOGICAL METHODS

V.A. Kuznetsov

graduate student Department «Technical maintenance and repair of ships»

Odessa National Maritime University, Ukraine, Odessa

Abstract. *Slow-speed engines are used as the main power plants on modern sea-going ships. There are many different modifications of such engines, but the most commonly used engines are MAN B&W and Vertsila Zulzer. These are engines with a number of advantages: high reliability, relatively low fuel consumption, compactness.*

The reliability of the engine depends, first of all, on the durability of the part of the cylinder-piston group. They are under severe operating conditions, namely high temperature, pressure, and the presence of a corrosive environment.

Before the hour of exploitation of the engine's parts, it deforms, undergoes corrosion and erosion, they create tremors, the structure and technical power change. All defects can grow on the surface and in the parts.

The high power of the engine is due to the lack of factors: the choice of the material of the parts, the method of rejecting the work pieces, the attention to the technology of preparing the parts, folding to the assembly, the quality of the fire and oils, the daily and the quality service.

With the design and preparation of parts, the moving parts can be made very economically, efficiently and reliably.

All that can be secured only in the same way, when preparing, repairing, folding parts and exploitation to get technical support. Carried out the technical evaluation of the CPG of the SSE which allows for the significant and control over the efficiency and quality of service.

It is important for the advancement of the modernization of the CPG of the SSE the correct choice of material and the provision of the current changing technologies for the renovation and repair of the CPG of the SSE.

Keywords: *Slow-speed engines, wear, defect, failure, restoration, operation, technological methods, reliability.*

Вступление. Суда предназначенные для перевозки грузов и пассажиров классифицируются по многим признакам в зависимости от условий эксплуатации и назначения.

Морское судно представляет собой сложное инженерное сооружение, состоящее из корпуса, главной силовой установки, вспомогательных механизмов, различных систем и устройств. Для его нормальной работы все вышеперечисленные объекты должны находиться в работоспособном состоянии, а их функционирование должно быть взаимосвязанным между собой.

Всё это накладывает жесткие требования на процессы проектирования, изготовления, эксплуатации и ремонт судов.

Кроме того, при эксплуатации судна должна быть обеспечена его безопасность плавания, а также сохранность человеческой жизни на море.

Малооборотные двигатели применяются на морских судах в качестве главных энергетических установок. В основном это двигатели фирмы MAN B&W и VERTSILA ZULZER. Это двухтактные, крейцкопфные, реверсивные с наддувом с числом цилиндров 5-12, частотой вращения 95-125 об/мин.

Мощность современных двигателей достигает 100000 л.с., моторесурс около 100000 ч., эффективный КПД до 52 %, используются тяжёлые сорта топлив.

Для современных двигателей максимальное давление сгорания достигает 12-18 МПа, а температура втулки цилиндра в районе ВМТ около 350 °С. Эти условия приводят к интенсивному образованию различных дефектов и, в первую очередь, износу и трещинообразованию.

В двигателях ранних моделей отношение хода поршня (S) к диаметру цилиндра (D) лежат в пределах 1,5-2,0. Сейчас оно достигло 4,2. Это дало возможность повысить мощность двигателя [1].

Такие двигатели состоят из большого количества различных деталей узлов и механизмов. Они работают в разных условиях при повышенных температурах и давлениях, зачастую в агрессивных средах. Это приводит к тому, что такие детали рано либо поздно выходят из эксплуатации.

Для поддержания работоспособности двигателя и предотвращения его поломок необходимо регулярно проводить техническое обслуживание. Оно является профилактическим мероприятием связанным с безопасностью эксплуатации двигателей. На двигатель и его системы приходится большой объем работ по техническому обслуживанию. Значительный объём работ относится к деталям цилиндропоршневой группы двигателя и его системам топливной, смазки, охлаждения.

Наибольшему износу и повреждениям подвергаются поршни, крышки, втулки, выпускные клапаны. По техническому состоянию этих деталей в первую очередь, определяется возможность дальнейшей эксплуатации двигателя или потребность в его ремонте.

При техническом осмотре деталей цилиндропоршневой группы двигателя определяют износы, наличие коррозии и эрозии, трещины, изменения формы деталей и др.

При эксплуатации двигателей возникают различные дефекты и повреждения, которые определяют их долговечность. Надежность деталей цилиндропоршневой группы двигателя зависит от многих факторов и носит случайный характер. Для оценки и анализа исследуемых параметров применяют методы теории вероятностей. [2].

В настоящее время развитие дизелестроения идет по пути повышения цилиндровой мощности двигателей, что приводит к повышению температурных и механических напряжений в различных деталях. Это особенно относится к деталям цилиндропоршневой группы малооборотных двигателей которые работают в тяжелых условиях эксплуатации при высоких давлениях и температурах, в условиях агрессивной среды.

Всё это приводит к снижению технического состояния деталей двигателя. Необходим поиск новых путей повышения долговечности деталей ЦПГ МОД.

Цель исследования заключается в анализе современных технологий восстановления и ремонта ЦПГ МОД и рекомендаций по повышению их эксплуатационной надежности.

Изложение основного материала. Около 80 % изношенных и поврежденных деталей можно восстанавливать с целью их дальнейшего применения. Однако восстановленные детали обеспечивают ресурс около 50-70 % от срока службы новой детали, но при этом значительно экономят материальные средства, так как стоимость восстановления деталей целесообразно, если она не превышает 25 % стоимости новой детали.

Технический прогресс в повышении эксплуатационной надежности судовых технических средств постоянно совершенствуется. Это относится как к выбору необходимых материалов особенно деталей ЦПГ МОД, так и к разработке новых технологических процессов ремонта и восстановления деталей [3].

При восстановлении и ремонте деталей судовых технических средств в том числе ЦПГ МОД важным является восстановление формы и свойства поверхностного слоя материала. При этом необходимо обеспечить заданную износостойкость, жаропрочность, коррозионную стойкость, и циклическую прочность. Это можно достичь либо с применением различных легирующих элементов либо с применением упрочняющих технологий, таких как механические и термические.

В деталях ЦПГ МОД из-за тяжелых условий эксплуатации максимальные напряжения возникают в поверхностных слоях металла, где имеет место основные концентраторы напряжений. Надежная работа двигателя зависит от надежности цилиндропоршневой группы малооборотных двигателей (ЦПГ МОД), это поршни, втулки цилиндров, крышки, выпускные клапаны. Они работают в тяжелых условиях при высоких дав-

лениях и температурах в коррозионной среде. Поэтому эти детали должны обладать заданой износостойкостью, жаропрочностью, коррозионной стойкостью. Основные ее характеристики ЦПГ МОД представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные характеристики ЦПГ МОД

Детали ЦПГ МОД	Материалы	Виды дефектов	Места дефектов	Способы восстановления	Средняя наработка до отказа, тыс. час.
Втулки цилиндров	Серые и легированные чугуны.	Трещины, износ, коррозионное разрушение.	Опорный пояс, цилиндр. часть втулки.	Расточка, ППД	40-50
Поршни	Мало- и среднелегиров. стали.	Износ кепов, выгорание и трещины доньшка.	Опорная поверхность кольца.	Притирка, наплавка, проточка, ПУТ.	25-30
Крышки	Углеродистые и низкоуглер. стали.	Трещины, выгорание и коррозионное разрушение.	Доньшко, галтель опорного бурта.	Наплавка, проточка.	30-40
Выпускные клапаны	Легиров. и спец. жаропрочные стали.	Износ опорной поверхности и штока. Выгорание доньшка и трещины.	Опорная поверхность, шток.	Наплавка, обточка, притирка.	8-10

В качестве примера на рисунке 1 показана крышка цилиндров с местами расположения дефектов. Дефекты в крышках появляются в разное время.

Рис. 1. Крышка цилиндра двигателя МАН КЗ70/120.

Места расположения дефектов:

1 – коррозия уплотнительных поясков; 2 – места образования трещин

На рисунке 2 показано время появления дефектов в крышках цилиндров.

Рис. 2. Время появления дефектов в крышках цилиндров

С применением легирующих элементов можно достичь наперёд заданных свойств деталей. Так никель повышает прочность и вязкость сталей, алюминий, кремний, хром, медь повышают коррозионную стойкость, а молибден и вольфрам устраняют хрупкости, ванадий, титан повышают жаропрочность, марганец увеличивает износостойкость и

твёрдость. А с помощью газотермического напыления и химико-термической обработки деталей можно повысить коррозионную стойкость, твёрдость, способствовать снижению трещинообразования.

Многие механические свойства деталей улучшаются поверхностно-пластической деформацией деталей (ППД) [4], поверхностным упрочнением трением (ПУТ), высокоскоростной знакопеременной деформацией.

Втулки цилиндров в процессе эксплуатации подвергаются различным дефектам, износам, коррозии, трещинообразованию и др. Наиболее опасным местом втулки цилиндров являются галтели опорного бурта, что приводит к трещинам и образованию концентрации напряжений. На длительность эксплуатации втулок цилиндров оказывает форма и размеры трещины.

На ряде двигателей B&W и MAN имели место отказы втулок цилиндров. При сроке службы втулок цилиндров 50-70 тыс. часов их отказы в эксплуатации из-за трещинообразования в галтелях опорного бурта значительные, в среднем около 35 тыс. часов.

Втулки цилиндров МОД изготавливают из серого чугуна, который обладает плохой свариваемостью. В соединениях образуются структуры, которые способствуют трещинообразованию.

Фирма MAN B&W для изготовления втулок цилиндров малооборотных двигателей применяет материал торкаллой (torkalloy), т.е. чугун легированный бором и фосфором. В других случаях для повышения долговечности втулок цилиндров добавляют магний, олово и др. Двигатели с такими втулками успешно эксплуатируются на длинноходных дизелях серии МС.

Втулки цилиндров МОД относятся к наиболее нагруженным деталям. Характерными дефектами их являются износ и трещины. Износы составляют около 0,05-0,1 мм на 1000 часов работы двигателя.

Для втулок цилиндров МОД трещинообразование составляет 60-80 % от всех видов дефектов. Места и характерное расположение трещин во втулках цилиндра показано на рисунке 3.

Поршни имеют сложную конструкцию и большую массу, изготавливаются методом литья. Материалом служат низколегированные и углеродистые стали.

Дефектами головок поршней являются износ поверхностей под поршневые кольца, трещины в перемычках между канавками, нагар днища, эрозионные разрушения.

*Рис. 3. Расположение трещин на втулках цилиндров двигателей:
1 – верхний бурт втулки; 2 – крышка цилиндра; 3 – газоплотнительное
кольцо; 4 – усталостные трещины; 5 – коррозионное разъедание*

Основными дефектами головок поршней МОД является износ канавок под поршневые кольца.

Для повышения долговечности головок поршней возможно применение различных технологий. Поверхностное упрочнение трением (ПУТ) торцевых поверхностей канавок под компрессионные кольца, при этом на обрабатываемой поверхности образуется упрочняющий слой. Микротвердость поверхности 65-75 HRC глубиной до 0,6 мм, что повышает износостойкость и долговечность их эксплуатации.

Повышение долговечности канавок под поршневые кольца возможно также с применением технологических высокоскоростного знакопеременного трения скольжения. В поверхностных слоях образуются структуры типа белых слоев, которые распространяются в глубину от поверхности трения, это приводит к повышению твердости и износостойкости упрочненных поверхностей. Образованные белые слои также повышают температурную устойчивость и коррозионную стойкость. Всё это способствует повышению надежности поршней МОД.

Крышки цилиндров двигателей МОД работают в тяжелых условиях. Учитывая сложность конфигураций и большую массу, их получают методом литья, а материалом служат стали различных марок либо чугуны. Характерными дефектами крышек цилиндров являются износ, трещины, нагар, раковины. Наиболее существенными являются трещины, они достигают 40-60 % от всех видов дефектов крышек. При обнаружении таких дефектов как трещины, раковины, осуществляют их разделку и наплавку.

Производится замена днища огневой камеры новой, в результате чего увеличивается срок её службы. Чугунные крышки цилиндров не восстанавливаются, так как это ни технически, ни экономически не выгодно. Одним из способов повышения долговечности крышек цилиндров является нанесение теплозащитных покрытий на огневую поверхность, то есть обеспечение термостойкости покрытий.

Восстановление крышек цилиндров – это комплекс технологических мероприятий, которые обеспечивают геометрическую форму, технические параметры и увеличивают надежность крышек цилиндров.

Выпускные клапаны МОД работают в тяжелых условиях и подвергается различным дефектам. Такими дефектами являются износ опорной поверхности тарелки клапана, износ цилиндрической поверхности штока клапана, выгорание торцевой поверхности тарелки клапана. Этому способствуют коррозионная среда и высокая температура.

Выпускные клапаны из нержавеющей стали восстанавливаются наплавкой аналогичного материала, а клапаны из нимоника наплавляются никелевыми сплавами. Изношенный слой стеллита удаляется токарной обработкой до исчезновения трещин, после чего опять наплавляют стеллит и затем последует окончательная механическая обработка и шлифовка уплотнительных поверхностей. Стеллит придаёт рабочим поверхностям выпускного клапана необходимые свойства, повышает сопротивляемость тепловым нагрузкам, коррозии и износу. Наплавка выпускных клапанов и контроль процесса должны выполняться автоматически, а окончательной операцией является притирка выпускного клапана.

Выводы

1. Проведен анализ исследований, связанных с проблемой повышения надежности ЦПГ МОД.
2. Выполнена оценка технического состояния ЦПГ МОД, позволявшая определить и контролировать потери работоспособности и их долговечность.
3. По характерным дефектам ЦПГ МОД можно выбрать технологию восстановления и ремонта, позволяющую повысить их долговечность.
4. Важным для повышения долговечности ЦПГ МОД является правильный выбор материалов и применение современных упрочняющих технологий восстановления и ремонта ЦПГ МОД.
5. Обобщение опыта эксплуатации ЦПГ МОД способствует решению проблемы повышения их надежности.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Возницкий И.В. Двигатели МАН В&W модельного ряда МС 50-98. Конструкция, эксплуатация и техническое обслуживание. М.: МОРКНИГА, 2008. 264 с.
2. Кондратьев Н.Н. Отказы и дефекты судовых дизелей. М.: Транспорт, 1985. 152 с.
3. Сторожев В.П. Технология судоремонта: Учебник для высших морских учебных заведений. Херсон: ОЛДИ ПЛЮС, 2017г. 578 с.
4. Одинцев Н.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностно-пластическим деформированием. М.: Машиностроение, 1987. 328 с.
5. Хмелевская В.Б., Леонтьев Л.Б. Повышение надежности судового оборудования технологическими методами. Владивосток: Морской государственный университет. Дальнаука, 2003. 365 с.

REFERENCES

1. Voznitsky, I.V. MAN B & W engines of the MS 50-98 model range. Design, operation and maintenance. M. MORKNIGA. 2008. 264 p.
2. Kondratyev, N.N. Failures and defects of marine diesel engines. M.: Transport. 1985. 152 p.

3. *Storozhev, V.P. Ship repair technology. Textbook for higher maritime educational institutions. Kherson. OLDIE IMOS. 2017.*
4. *Odintsev, N.G. Strengthening and finishing of parts by surface plastic deformation. M. Mechanical Engineering, 1987.328 p.*
5. *Khmelevskaya, V.B., Leontiev, L.B. Improving the reliability of ship equipment by technological methods. Vladivostok. Maritime State University. Dalnauka. 2003. 365 p.*

Стаття надійшла до редакції 24.01.2020

Посилання на статтю: Кузнецов В.А. Повышение эксплуатационной надежности цилиндропоршневой группы малооборотных двигателей технологическими методами // Вісник Одеського національного морського університету: 36. наук. праць, 2020. № 2(62). С. 171-182. DOI 10.47049/2226-1893-2020-2-171-182.

Article received 24.01.2020

Reference a JournalArtic: Kuznetsov V.A. Increasing the technological reliability of the cylinder-piston group of low speed engines by technological methods // Herald of the Odessa national maritime university. 2020. 2(62), 171-182. DOI 10.47049/2226-1893-2020-2-171-182.