

безопасности и энергосбережения [Текст] / С.И. Кондратьев: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – Новороссийск: Новороссийская государственная морская академия, 2004.

11. Кондратьев С.И. Синтез программных траекторий методом динамического программирования [Текст] / С.И. Кондратьев // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2003. – № S6. – С. 41-43.

References

1. Gricenko M.V. Dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk na temu «Metod kontrolya vibratsii vintorulevykh kolonok morskikh sudov i predlozheniya po sovershenstvovaniyu ih ekspluatatsii», Novorossiysk, 2010 g.
2. Prilozheniya k Rukovodstvu po tekhnicheskomu nablyudeniyu za sudami v ekspluatatsii (prilozhenie 38) RMRS. Sankt-Peterburg. 2016 g.
3. Efremov L. V. Teoriya i praktika issledovaniy krutil'nykh kolebaniy silovykh ustanovok s primeneniem komp'yuternykh tekhnologij. — SPb.: Nauka, 2007. — 276 s.
4. Chernov S.E. Metodika ocenki rabotosposobnosti silikonovykh dempferov krutil'nykh kolebaniy sudovykh dizelej. SPb. ZHumal «Sudostroenie». 2000 g.

5. Hudyakov S.A. Ustalostnaya prochnost' detalej valoprovoda tankerov proekta 1577. Vestnik GMU im. F.F.Ushakova. Novorossiysk. 2019 g.
6. Rukovodstvo R.043-2016 «Ocenka rabotosposobnosti silikonovykh dempferov krutil'nykh kolebaniy sudovykh dvigatelej vnutrennego sgoraniya», Rossijskij Rechnoj Registr-Moskva, 2016.
7. GOST R 56646-2015/ISO/TR 19201:2013 «Vibratsiya. Rukovodstvo po vyboru kriteriev ocenki vibratsionnogo sostoyaniya mashin». Data vvedeniya 2016-12-01
8. GOST R ISO 3046-5-2004 «Dvigateli vnutrennego sgoraniya porshnevye. Harakteristiki. CHast' 5. Krutil'nye kolebaniya». Data vvedeniya 2005-01-01.
9. Patent RF № 2287797, 20.11.2006. Sposob kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya silikonovogo dempfera // Patent RF № 2287797. 06. / Rozenblyum M. YA., Fomin N.N.
10. Kondrat'ev, S.I. Teoreticheskie osnovy upravleniya krupnotonnazhnymi sudami po kriteriyam bezopasnosti i energosberezheniya [Текст] / S.I. Kondrat'ev avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk / Novorossiyskaya gosudarstvennaya morskaya akademiya. Novorossiysk, 2004.
11. Kondrat'ev S.I. Sintez programmnykh traektorij metodom dinamicheskogo programmirovaniya [Текст] / S.I. Kondrat'ev // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Tekhnicheskie nauki. 2003. № S6. S. 41-43.

УДК 621.436:629.5:519.257

DOI: 10.34046/aumsuomt97/10

ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б. П. Башуров, доктор технических наук, профессор
А. А. Иванченко, доктор технических наук, профессор,
В. В. Шарик, кандидат технических наук, доцент

Показана важность задачи накопления информации по отказам элементов и узлов современных судовых дизелей в проблеме повышения их функциональной надежности (ФН) на заключительной стадии жизненного цикла (ЖЦ) – этапе технической эксплуатации (ТЭ). В настоящей работе приведен комплекс статистических исследований отказов элементов цилиндро-поршневой группы современных судовых дизелей серийных нефтеналивных танкеров. Был произведен сбор информации и анализ отказов и причин, их вызывающих в процессе эксплуатации. Соответственно рассмотрены уровни и причинно – следственные связи функциональной надежности элементов цилиндро-поршневой группы главных двигателей судовой дизельной установки. Предложены показатели статистического исследования для включения в информационно-статистический банк данных для оценки функциональной надежности на заключительном этапе «жизненного цикла», технической эксплуатации.

Ключевые слова: судовая дизельная установка, главный двигатель, цилиндрическая втулка, поршень, отказ, элементы, функциональная надежность.

EVALUATION OF THE DIESEL ENGINE'S CYLINDER UNIT'S ELEMENTS FUNCTIONAL RELIABILITY BASED ON STATISTICAL RESEARCH

B. P. Bashurov, A. A. Ivanchenko, V.V. Sharik

The importance of the task of accumulating information on failures of elements and assemblies of modern ship diesel engines in the problem of increasing their functional reliability (FN) at the final stage of the life cycle

(LC) - the stage of technical operation (TE) is shown. Statistical researches of oil tankers main diesel engines cylinder units' elements failures are revealed in the article. Analysis of malfunctions and its causes while operations are described. Levels of functional reliability of main diesel engines cylinder units' elements are reviewed. Indexes of statistical research are offered as evaluation signs of functional reliability and same have to be included into info-statistical database which are corresponds to final "lifetime" stage of technical operation.

Key words: vessel's diesel plant, main engine, cylinder liner, piston, malfunction, elements, functional reliability.

Введение

Проблема повышения надежности судовых дизелей (СД), а также их отдельных элементов, деталей и узлов эксплуатируемых на транспортных судах (морских, речных, рабoпромысловых, нефтегазoпромысловых и судах типа река - море) и увеличения времени безотказной работы полностью не исчерпана, особенно в области, касающейся их функциональной надежности (ФН) на заключительной стадии жизненного цикла (ЖЦ) – этапе технической эксплуатации (ТЭ). Поэтому, накопление информации по отказам элементов и узлов с целью создания информационно – статистического банка данных, по прежнему актуально и имеет практическую значимость. Она может быть использована в качестве основы при разработке системы информационного обеспечения, как существующих судовых дизелей, так и дизельных двигателей нового поколения.

1. Показатели надежности применительно к судовым дизельным двигателям

Повышение надежности СД является одним из основных направлений, с точки зрения экономичности и экологической безопасности, обеспечения эффективности их технического использования (ТИ). От уровня надежности СД во многом зависит и энергетическая безопасность судовых транспортных средств (СТС). Надежность СД (главных и вспомогательных) определяется двумя группами показателей (комплексные, частные). Первые (коэффициенты ТИ и готовности) отражают их в целом, а вторые – различные стороны общего свойства надежности (безотказность, ремонтпригодность, долговечность, сохраняемость). Они в зависимости от места нахождения на уровне конструкции (агрегат – механизм – сборка – узел – деталь) изменяются. Взаимосвязь между свойствами безотказности, ремонтпригодности и долговечности в процессе ТЭ определяется сроком службы, который разделяется на следующие периоды. Первый соответствует приработочному режиму работы с максимальным количеством отказов. На этом временном участке ведущая роль отводится безотказности. Работа во втором и третьем периодах сопровождается,

соответственно, нормальным и повышенным износом. Они в совокупности составляют ~ 60-70% общего срока службы. Следует отметить и взаимосвязь уровней конструктивной сложности СД, его функционирования и надежности (чем сложнее конструкция, тем большее влияние на уровень функционирования оказывает надежность). Для оценки уровня ФН предпочтительнее использовать свойство безотказности, как в полной мере характеризующее режим работы СД, в частности, показатели (наработка на отказ, параметр потока отказов, вероятность безотказной работы). Один из основных показателей безотказной работы (средняя наработка на отказ) $T_{отк}^{CP}$ зависит от ряда факторов (конструктивного, технологического, кинематического и динамического характера). К ним относятся: особенности конструкции, технология изготовления и монтаж деталей и узлов; условия ТЭ.

2. Эксплуатационные факторы, влияющие на функциональную надёжность ЦПГ судовых дизельных двигателей

Опыт ТЭ свидетельствует о том, что значительная часть отказов СД связана с выходом из строя деталей ЦПГ, основной причиной которых являются трибологические факторы. Ранее выполненные исследования показывают, что до 12% деталей изнашиваются более интенсивно вследствие низкого уровня ТЭ [7], использования неоригинальных запасных частей и некачественного ремонта. Задиры деталей ЦПГ и их повышенный износ являются характерными дефектами практически всех СД. Втулки цилиндров (ВЦ) в процессе ТЭ одновременно подвергаются молекулярно – механическому и абразивному изнашиванию, интенсивность которого определяется содержанием серы в топливе и используемой марки масла, что особенно актуально в современных условиях перехода на использование в судовых двигателях топлива с содержанием серы 0,5% и 0,1%, в общемировом масштабе, в то же время существует проблема отсутствия отработанной технологии перехода на вышеуказанные сорта топлива и также отсутствие однозначных рекомендаций перехода на цилиндрическую смазку с пониженным содержанием щелочного числа (обозначенного

ченная проблема является темой отдельного исследования). Основным фактором, оказывающим влияние на распределение скорости изнашивания ВЦ по длине, является соответствие подачи цилиндровой смазки к отбираемой мощности на выходном валу, при этом существенная роль отводится синхронизации подачи и дозировки масла. В продолжение ранее проведенных исследований по обозначенной теме, авторами выполнены статистические исследования на СД, эксплуатируемым в составе дизельных энергетических установок (ДЭУ) современных нефтеналивных танкеров, ФН деталей ЦПГ, результаты которых приведены ниже.

3. Данные статистического эксперимента применительно к ЦПГ судовых дизельных двигателей различного типа

Анализ информации, собранной в промежутки времени с 2011 по 2019 гг., по ФН элементов ЦПГ, в том числе крышек цилиндров за период

эксплуатации главных двигателей (ГД) применительно к нефтеналивным судам: валовой вместимостью DWT 110000 тонн и укомплектованным ГД типа Wartsila 7RT-flex68, танкеры типа – «А» показал, что наибольшее количество отказов приходится на второй (11 отказов), третий (11 отказов) и четвертый (14 отказов) годы ТЭ оцениваемого периода; валовой вместимостью DWT 110000 тонн укомплектованным ГД типа Sulzer 7RTA72, танкеры типа – «В», наибольшее количество отказов приходится на второй (7 отказов), третий (10 отказов) и четвертый (12 отказов) годы ТЭ; валовой вместимостью DWT 150000 тонн укомплектованным ГД типа B&W 6S70MC, танкер – «С», этом случае за второй год ТЭ оцениваемого периода произошло 8 отказов и шестой – 9 отказов.

Информация по отказам крышек по конкретным цилиндрам серийных танкеров «А», «В», «С» приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Отказы крышек судовых дизелей по цилиндрам

Серийный танкер	Цилиндры							Общее количество отказов
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	
«А»	5	7	6	6	4	2	6	36
«В»	5	6	5	3	5	3	2	29
«С»	3	4	1	4	4	1	-	17

Анализ отказной информации данного исследования показывает, что основная причина выхода из строя крышек – трещины сварных швов (67%). В процессе ТЭ имели место свищеобразование (5%), пропуски газов (19%) и водотечность (9%).

Крышки цилиндров во многом определяют работоспособность ГД. В зависимости от типа ГД их наработка на отказ различна. Например, средняя наработка на отказ для ГД типа Wartsila (Sulzer) составляет от 3,7 тыс. ч до 5,5 тыс. ч, а для ГД типа B&W 1,68 тыс. ч. Очевидно, это связано со спецификой работы и особенностью конструкции. В период работы ГД крышки воспринимают значительные тепловые потоки и большие давления горячих газов, что приводит к возникновению существенных тепловых и механических напряжений. Кроме того, крышки испытывают и большие монтажные напряжения от затяжки шпилек. Совместное воздействие этих причин способствует образованию трещин в крышках. Количество отказов, связанных с трещинообразованием, может составлять порядка 40%.

Одной из причин водотечности являются частые перегрузки ГД. Например, применительно к ГД B&W трещины в крышках цилиндров появились в районе отверстия пускового воздуха (или

форсунки). Очевидно, это связано с резкими изменениями температуры стенок крышки при пусках и реверсах ГД. После пуска ГД температура отдельных мест крышки в течение 2 мин может возрасти на 200 °С, а при остановке за тот же период снизиться на такую же величину.

Образование трещин, элементов ЦПГ может явиться следствием нарушения режима охлаждения из-за загрязнения и отложения различных примесей, которые поступают с охлаждающей жидкостью. Поэтому в целях поддержания необходимой работоспособности элементов ЦПГ требуется тщательный контроль за качеством воды, масла и ТС охлаждаемых поверхностей. Предпосылкой к образованию трещин могут быть: несоблюдение установленных зазоров; несоблюдение усилий затяжки соединений; выкрашивание контактных поверхностей и попадание грязи между сопрягаемыми деталями; раковины, забои на сопрягаемых поверхностях. Вполне вероятен и высокий уровень температурных напряжений в огневой части элементов. Динамика потока отказов крышек цилиндров ГД приведена на рисунке 1.

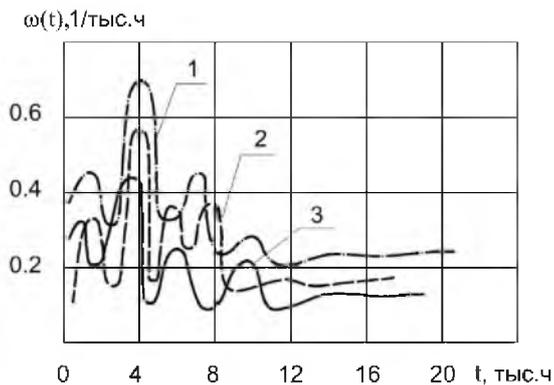


Рисунок 1 – Динамика потока отказов крышек цилиндров ГД (1 – танкер «А»; 2 – танкер «В»; 3 – танкер «С»)

Из анализа приведенных зависимостей видно, что область изменения функции $\omega = f(t)$ можно разбить на два периода: $t_I \approx (0 \div 12) \cdot 10^3 \text{ ч}$ и $t_{II} \approx (12 \div 20) \cdot 10^3 \text{ ч}$. Наибольшая интенсивность отказов наблюдается в первой зоне. При этом ω_{max} для различных судов неодинакова. Так, для танкера «А» $\omega_{\text{max}} \approx 0.7$ при $t = 4 \cdot 10^3 \text{ ч}$, а для танкера «С» при той же наработке составляет $\omega_{\text{max}} \approx 0.45$. С течением времени колебательный процесс функции $\omega = f(t)$ затухает. Во второй зоне происходит стабилизация потока отказов крышек цилиндров. Вероятности безотказной работы крышек цилиндров ГД указанных выше танкеров приведены на рисунке 2.

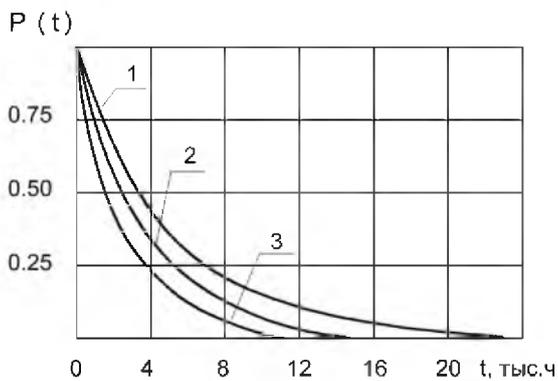


Рисунок 2 – Вероятности безотказной работы крышек цилиндров ГД (1 – танкер «С»; 2 – танкер «В»; 3 – танкер «А»)

Из рисунка видно, что вероятность отказа крышек цилиндров ГД, эксплуатируемых на различных танкерах при фиксированных значениях наработки, неодинакова. Наибольшая вероятность отказа характерна для танкеров – «А», наименьшая для танкера – «В». Характер изменения $\Delta P = P(t)_{\text{max}} - P(t)_{\text{min}}$ возрастающий до $t \approx 7.5 \cdot 10^3 \text{ ч}$, затем эта величина уменьшается.

Очевидно, это объясняется различными условиями ТЭ.

Причинами отказов цилиндрических втулок, танкер – «С», явились натир (26% отказов), наработка (39%), наличие лаковой пленки (10%), износ (25%). Для ГД, танкер – «А» цилиндрические втулки выходили из строя вследствие натиров (15%), наработка (38%), наличия лаковой пленки (11%), износа (31%), задиров (3%) и язв (2%).

Наличие задиров, а также повышенного и неравномерного износа являются следствием воздействия горячих газов и трения поршневых колец. Коррозионные, эрозийные и разрушения кавитационного происхождения могут возникнуть из-за омывания охлаждаемой водой наружной поверхности втулок. Наличие трещин в цилиндрических втулках является следствием больших температурных напряжений из-за значительного перепада температур между огневой поверхностью втулки и поверхностью охлаждения.

Чаще всего трещины появляются на верхнем посадочном бурте. Были случаи, когда трещины образовались через 25 тыс. ч, а в некоторых случаях и через 80 тыс. ч. [2]. Материалы, опубликованные в различных литературных источниках, показывают, что трещины в буртах втулок практически образуются на СД всех типов [7]. Трещины могут привести к попаданию воды в цилиндр, а также к обрыву втулки по фланцу в процессе работы ГД. Анализ литературных источников показывает, что образование трещин под опорными фланцами втулок является следствием ряда причин, но главная – это недостаточная жесткость остова ГД. В качестве предполагаемых причин трещин и задиров втулок могут быть отмечены: нарушения температурного режима цилиндра; малое количество подаваемого масла, отклонение геометрических параметров втулок. Предпосылками для интенсивного изнашивания втулок могут быть: поломка или повышенный износ поршневых колец; чрезмерная подача цилиндрической смазки. Считается, что опасность задира возникает при температуре $\approx 240^\circ\text{C}$. Возможными причинами задиров могут быть: несоответствие структуры металла колец и втулки, нарушение режима смазки, неисправность топливной аппаратуры и др. Задир детали ЦПГ и их повышенный износ – это характерные дефекты практически всех СД. В их основе лежит микрозадир, представляющийся как разрыв масляной пленки на малой площади зеркала цилиндра, которая не восстанавливается в течение нескольких ходов поршня.

Современная подача цилиндровой смазки должного щелочного числа позволяет обеспечить прекращение нагара на поршне в районе масляных штуцеров. Из-за трения слоя нагара о стенки втулки происходит ее местная выработка, прорыв газов под кольца, перегрев втулки со всеми вытекающими последствиями.

В качестве примера на рисунке 3 приведена динамика потока отказов цилиндрических втулок ГД применительно к танкеру – «А» и танкеру – «С».

Видно, что характер изменения функции $\omega(t)$ неоднозначен. Наиболее выраженный колебательный процесс наблюдается у ГД танкера – «А». Практически отсутствует участок стабилизированного потока отказов. Средний уровень параметра потока отказов ω_{cp} у ГД танкера – «С», примерно в 1.6 раза выше по сравнению с ГД танкера – «А». Для ГД танкера – «С» стабилизированный участок функции составляет примерно $5 \cdot 10^3$ часов в пределах наработки $t = (2 \div 7) \cdot 10^3$ ч. При этом величина $\omega_{cp} = 0.45$

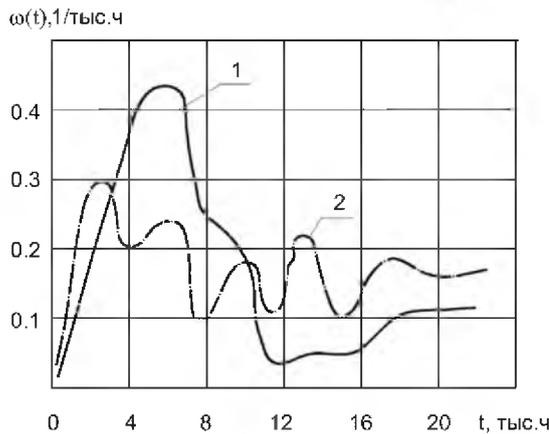


Рисунок 3 – Динамика потока отказов цилиндрических втулок (1 – танкер «С»; 2 – танкер «А»)

Вероятности безотказной работы цилиндрических втулок ГД указанных танкеров представлены на рисунке 4.

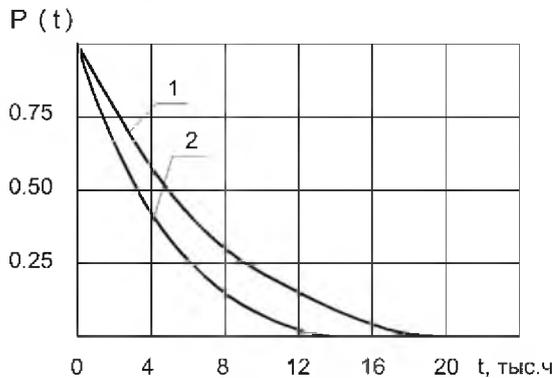


Рисунок 4 – Изменение вероятности безотказной работы цилиндрических втулок ГД (1 – танкер «А»; 2 – танкер «С»)

Полученные данные свидетельствуют о том, что вероятность отказа цилиндрических втулок ГД танкера «С» выше таковых танкера «А» во всем рассмотренном диапазоне наработки. Наиболее резкое изменение функции надежности $P = f(t)$ характерно для $t \approx (0 \div 10) \cdot 10^3$ ч.

Анализ отказной информации поршней в период ТЭ исследуемых судов показал, что наибольшее количество отказов применительно к танкеру «В» приходится на первые три года (16 отказов). Для поршней ГД танкера «С» наибольшее количество отказов приходится на второй (10 отказов), третий (10 отказов) и четвертый (13 отказов) годы ТЭ. Основными причинами отказов поршней, (танкер «А») являются обрыв фланца трубы отвода масла в головки (23%), прогорание доньшка (29%), поломка поршневых колец (18%), язвы на поверхности головки (11%), трещины (18%) с глубиной от 5 мм до 10 мм. Применительно к танкеру «С» – это прогорание (46%), трещины (29%), нагар (18%), вымывание металла (7%), поломка поршневых колец (54%), износ поршневых колец (46%). Для ГД танкера «В» характерными причинами являются: прогорание (7%), обрыв фланца маслопровода (26%), трещины (67%).

Динамика потока отказов поршней цилиндров ГД различных типов танкеров приведена на рисунке 5.

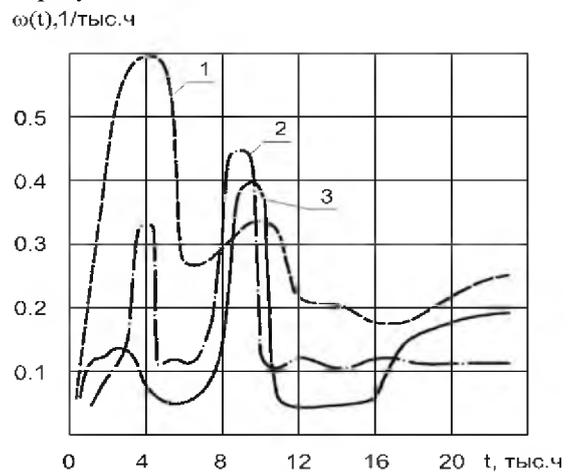


Рисунок 5 – Динамика потока отказов поршней (1 – танкер «С»; 2 – танкер «В»; 3 – танкер «А»)

Анализ приведенных зависимостей свидетельствует о наибольшей интенсивности потока отказов ГД танкера «С».

Вероятности безотказной работы поршней цилиндров ГД указанных танкеров «А», «В» и «С», приведены на рисунке 6.

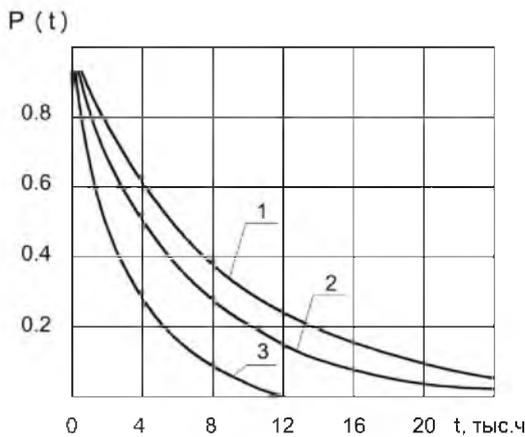


Рисунок 6 – Вероятности безотказной работы поршней цилиндров ГД (1 – танкер «А»; 2 – танкер «В»; 3 – танкер «С»)

Днище поршней представляет собой часть камеры сгорания и, таким образом, подвергается как воздействию высоких температур, и давлений со стороны газов, так и низкотемпературному отбору тепла со стороны охлаждения маслом или водой.

К причинам прогорания поверхности поршня можно отнести: несовершенство конструкции, в том числе; некачественный распыл форсунки, отложения нагара как с огневой части, так и со стороны охлаждения. Обычно выгорание сопровождается появлением трещин на поверхности выглядящей подобно «шкуре слона» (elephant skin). Чаще всего трещины возникают в районе отверстий для прохода масла к центру днища во втулкообразном приливе. Сквозные трещины возникают по первой кольцевой канавке длиной порядка 150 – 400 мм.

Из-за низкого качества металла поршней происходит их ографичивание; появляются микротрещины, выдувание и унос части металла под действием струи газов, обладающих высокой скоростью и давлением, в систему выпуска.

Износы и поломки поршневых колец составляют 37.5% от всего количества отказов СД и 83% от всего количества отказов ЦПГ. При этом средняя наработка составляла ≈ 0.83 тыс. ч.

Обобщенная информация по ФН деталей ЦПГ ГД нефтеналивных судов приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели безотказной работы дизелей ЦПГ ГД нефтеналивных судов

Элементы главного двигателя	Показатели			
	ω_{cp} , 1/тыс.ч	$T_{отк}$, тыс.ч	$T_{отк}^{max}$, тыс.ч	$T_{отк}^{min}$, тыс.ч
танкер, тип «А»				
Втулки цилиндров	0.140	7.14	10.28	5.21
Поршни цилиндров	0.114	8.77	13.24	6.31
танкер, тип «В»				
Крышки цилиндров	0.245	4.08	6.04	2.89
Поршни цилиндров	0.149	6.71	9.59	4.96
Выпускные клапаны	0.887	1.13	1.40	1.94
танкер, тип «С»				
Крышки цилиндров	0.184	5.43	7.72	3.91
Поршни цилиндров	0.310	3.22	4.25	2.54
Втулки цилиндров	0.221	4.52	6.19	3.48

При ТЭ СД различных типов на сопрягаемых поверхностях головки, тронка, и фланца штока: происходил фреттинг – изнашивание, местное выкрашивание металла; появлялись следы наклепа т.е. нарушение плотности соединения, а также ослабление крепления этих деталей.

Рассматривая одни и те же элементы, но применительно к различным танкерам и соответственно типам ГД, параметр потока отказов крышек цилиндров, например, танкеру «В», примерно в 1.3 раза выше по сравнению с таковыми на танкере «С». Относительно втулок цилиндров наблюдается отношение параметра потока отказов втулок танкера «С» примерно в 1.6 раза выше по сравнению с танкером «А». Аналогичное сравнение относительно поршней цилиндров

позволяет сделать следующее заключение: минимальную величину потока отказов имеют поршни танкера «А», для танкера «В» эта величина примерно в 1.3 раза выше, а по сравнению с танкером «С» различие уже оставляет ≈ 2.7 раза. Следует предположить, что такие отличия в показателях безотказной работы определяются не только объективными (технологическими, внешними) причинами, но и уровнем квалификации обслуживающего персонала и качеством контроля технического состояния деталей ЦПГ в процессе ТЭ.

Количество отказов, приходящихся на поршни составляет 9%, а крышки цилиндров – 8%. Основная причина отказов поршней – это износ (66%) и поломки (34%), а крышек цилиндров – трещины (86%) и коррозия (14%). Источниками

отказов являются: дефекты материала; недостаточное качество механической обработки; дефекты сборки; некачественное обслуживание и ремонт. При этом около половины отказов технологического характера относятся к металлургическим дефектам.

Заключение

Рассматривая детали и элементы ЦПГ судовых дизельных двигателей в целом, необходимо отметить, что их отказы являются наиболее опасными, так как могут привести к тяжёлым авариям судовых транспортных средств.

Анализ полученной информации статистических исследований позволяет сделать следующие выводы:

- наибольшее количество отказов поршней цилиндров танкеров в основном связано с прогоранием (от 29 до 46%);

- второе место по значимости занимают отказы, связанные с трещинами элементов ЦПГ (от 19 до 67%);

- далее в порядке значимости идут отказы, связанные с обрывами фланцев маслопроводов и отказы язвенного происхождения как в камере сгорания так и со стороны пространства охлаждения элементов ЦПГ.

Систематизация и включение отказной информации элементов ЦПГ судовых дизелей в информационно-статистический банк данных по группам транспортных судов, позволяет судходным компаниям применять в эксплуатационной практике принцип прогнозирования состояния и осуществить переход на техническое обслуживание дизельных двигателей по фактическому состоянию на заключительном этапе «жизненного цикла».

Литература

1. Овсянников М.К., Петухов В.А. Эксплуатационные качества судовых дизелей. – Л.: Судостроение, 1982. – 208 с.
2. Крылов Е.И. Надёжность судовых дизелей. – М.: Транспорт, 1978. – 160 с.
3. Кузьмин Р.В. Техническое состояние и надёжность судовых механизмов. – Л.: Судостроение, 1974.
4. Башуров Б.П. Эксплуатационная надёжность и контроль технического состояния элементов судовых энергетических установок: учебное пособие. – Новороссийск: НГМА, 2001. – 82 с.
5. Шарик В.В., Башуров Б.П. Функциональная надёжность главных и вспомогательных механизмов энергетического комплекса судовых транспортных средств. Надёжность и ремонт машин: Сборник материалов Международной научно-технической конференции. – Орел: Изд-во Орел ГАУ, 2004, т. 3. – С. 86-90.

6. Шарик В.В., Башуров Б.П. Экспертная оценка влияния работоспособности элементов систем на функциональную надёжность судовых дизелей с использованием метода ранговой корреляции // Труды международной НТК «Континуальные алгебраические логики, исчисления и нейроинформатика в науке и технике»; Т. 2. – КЛИН. – 2005. – Ульяновск. УЛГТУ, 005. – с. 168 – 170.
7. Шарик В.В., Башуров Б.П., Причины отказов деталей цилиндропоршневой группы главных двигателей дизельных энергетических установок // Тяжёлое машиностроение.– 2007.– №9.– С.36-37.
8. Иванченко А.А., Хандов А.М. Судовые энергетические установки. Учебно-методическое пособие. – СПб.: СПГУВК, 2010.
9. Иванченко А.А., Щенников И.А, Проблемы эксплуатации судов с дизельными установками нового поколения и задачи по их совершенствованию // Вестник ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова.– 2014.– №5(27).– С. 26-34.

References

1. Ovsyannikov M.K., Petukhov V.A. Eksploatsionnye kachestva sudovykh dizeley. L. Sudostroenie, 1982. 208 s.
2. Krylov E.I. Nadezhnost' sudovykh dizeley. M. Transport, 1978. 160 s.
3. Kuz'min R.V. Tekhnicheskoe sostoyanie i nadezhnost' sudovykh mekhanizmov. L. Sudostroenie, 1974.
4. Bashurov B.P. Eksploatsionnaya nadezhnost' i kontrol' tekhnicheskogo sostoyaniya elementov sudovykh energeticheskikh ustanovok. Uchebnoe posobie. Novorossiysk. NGMA, 2001. 82 s.
5. Sharik V.V., Bashurov B.P. Funktsional'naya nadezhnost' glavnykh i vspomogatel'nykh mekhanizmov energeticheskogo kompleksa sudovykh transportnykh sredstv. Nadezhnost' i remont mashin. Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Orel. Izd-vo Orel GAU, 2004, t. 3. s. 86-90.
6. Sharik V.V., Bashurov B.P. Ekspertnaya otsenka vliyaniya rabotosposobnosti elementov sistem na funktsional'nyu nadezhnost' sudovykh dizeley s ispol'zovaniem metoda rangovoy korrelyatsii. Trudy mezhdunarodnoy NTK Kontinual'nye algebraicheskie logiki, ischisleniya i neyroinformatika v nauke i tekhnike. T. 2. KLIN. 2005. Ul'yanovsk. UIGTU, 005. s.168, 170.
7. Sharik V.V., Bashurov B.P., Prichiny otkazov detaley tsilindroporshnevoy gruppy glavnykh dvigateley dizel'nykh energeticheskikh ustanovok. Tyazheloe mashinostroenie, №9, Moskva, Tyazheloe mashinostroenie, 2007. s.36, 37.
8. Ivanchenko A.A., Khandov A.M. Sudovye energeticheskie ustanovki. Uchebno metodicheskoe posobie. SPb, SPGUVK, 2010.

9. Ivanchenko A.A., Shchennikov I.A., Problemy ekspluatatsii sudov s dizel'nymi ustanovkami novogo pokoleniya i zadachi po ikh sovershenstvovaniyu.

Vestnik GUMRF im. admirala S.O. Makarova. 2014. №5(27). s. 26, 34.

УДК629.54

DOI: 10.34046/aumsuomt97/11

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СУДОВЫХ ФЛОТАЦИОННЫХ СЕПАРАТОРОВ

*И.Г. Берёза, доктор технических наук, профессор
Е.И. Шацкова, аспирант*

В судовых флотационных сепараторах для интенсификации процесса очистки применяют метод реагентной обработки с использованием растворов минеральных коагулянтов. Данный метод приводит к следующим негативным последствиям: повышается коррозионная активность воды, образуется большое количество осадка, происходит вторичное загрязнение воды продуктами гидролиза минеральных солей. Вышеперечисленных недостатков лишен метод предварительной обработки нефтесодержащих вод ионогенными флокулянтами, который успешно используется в практике берегового очистного оборудования. В работе проведен анализ результатов известных исследований, посвященных методам реагентной обработки нефтесодержащих вод, физико-химических основ процесса дестабилизации нефтеводяных эмульсий. Показано, что эффективность процесса, в первую очередь, зависит от фазово-дисперсного состояния загрязнений нефтеводяной эмульсии. Определен фазово-дисперсный состав судовых льяльных вод. Предложен алгоритм выбора наиболее эффективного флокулянта для флотационной очистки судовых льяльных вод

Ключевые слова: судовые льяльные воды, фракционный состав нефтепродуктов, флотация.

INCREASING WORK EFFICIENCY SHIP FLOTATION SEPARATORS

I. G. Beryoza, E. I. Shatckova

Summary: In ship flotation separators, to intensify the cleaning process, a reagent treatment method is used using solutions of mineral coagulants. This method leads to the following negative consequences: the corrosiveness of the water increases, a large amount of sediment is formed, and secondary water pollution occurs with the products of hydrolysis of mineral salts. The above disadvantages are devoid of the method of preliminary treatment of oily waters with ionic flocculants, which is successfully used in the practice of onshore treatment equipment. The paper analyzes the results of well-known studies devoted to the analysis of methods for reagent treatment of oily waters, physical and chemical foundations of the process of destabilization of oil-water emulsions. It is shown that the efficiency of the process, first of all, depends on the phase-dispersed state of the oil-water emulsion pollution. The phase-dispersed composition of ship bilge waters has been determined. An algorithm for choosing the most effective flocculant for flotation treatment of ship bilge water is proposed.

Key words: ship bilge water, fractional composition of oil products, flotation.

На первой ступени очистки в судовых сепараторах льяльных вод в последнее время все чаще стал использоваться метод флотации. Сущность данного метода заключается в сорбции нефтяных загрязнений на поверхности пузырьков диспергированного в воде воздуха и всплытию образующихся при этом комплексов «нефтяная частица – пузырек воздуха» на поверхность воды. Всплывшие «комплексы» образуют пенный слой, насыщенный нефтяными загрязнениями.

Как известно, в состав льяльных (трюмных) вод машинно-котельных отделений судов входят полидисперсные эмульсии, содержащие частицы нефтепродуктов различных размеров, частицы различных масел, моющие препараты, химикаты, твердые частицы и пр. [1]. Присутствие моющих препаратов, минеральных твердых

веществ в растворе льяльных вод способствуют стабилизации (устойчивости) нефтеводяных эмульсий, что, в свою очередь, препятствует образованию комплекса «нефтяная частица – пузырек воздуха» и всплытию последнего на поверхность воды.

Для дестабилизации мелкодисперсных нефтеводяных эмульсий и, как следствие, повышению эффективности флотационной очистки льяльных вод в настоящее время в судовых сепараторах применяют метод реагентной обработки [2]. Суть метода заключается в предварительной и последовательной обработке льяльных вод, поступающих во флотатор, растворами минерального коагулянта (соли алюминия) и флокулянта (органические полимеры).