

Раздел 3 СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

УДК. 629.12.037

DOI: 10.34046/aumsuomt97/9

ОЦЕНКА ТЕПЛОвого РАССЕИВАНИЯ СИЛИКОНОВЫХ ДЕМПФЕРОВ ВЫСОКО - И СРЕДНЕОБОРОТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

А.С. Арангулов, аспирант,

Н.И. Николаев, доктор технических наук, профессор

М.А. Модина, кандидат технических наук, доцент

Статья посвящена вопросу исследования силиконовых демпферов крутильных колебаний судовых высокооборотных двигателей при помощи тепловизора. На основании термограмм была выполнена качественная оценка теплового рассеивания в силиконовых демпферах.

Ключевые слова: тепловизор, силиконовый демпфер, крутильные колебания, тепловое рассеивание.

EVALUATION OF HEAT DISSIPATION OF SILICONE DAMPERS FOR HIGH AND MEDIUM SPEED ENGINES

A. S. Arangulov, N. I. Nikolaev, M. A. Modina

The article is devoted to the study of silicone dampers of torsional vibrations of marine high-speed engines using a thermal imager. Based on the thermograms, a qualitative assessment of heat dissipation in silicone dampers was carried out.

Keywords: thermal imager, silicone damper, torsional vibrations, thermal dispersion.

В настоящее время на морских судах в качестве энергетической установки используют высоко - (ВОД) и среднеоборотные (СОД) двигатели. В частности, на буксирах черноморского бассейна широкое применение нашли двигатели фирм «Caterpillar», «Cummins», «MTU» и др. мощностью от 50 кВт до 2500 кВт. По данным проведенного анализа построенных судов в РФ под наблюдением Российского морского регистра судоходства за период 2000-2018 гг. более 50 % судов используют высокооборотные двигатели фирмы «Caterpillar» [1]. Для контроля технического состояния данных двигателей, как и, впрочем, всех судовых технических средств предусмотрены процедуры контроля технического состояния двигателя и его узлов. Одним из таких узлов является демпфер крутильных колебаний. Нарботки таких двигателей составляют около 20000 часов.

Большое внимание в настоящее время уделяется вопросам контроля технического состояния силиконовых демпферов (СД), и очередности проверок. Главным управлением Российского морского регистра судоходства (РМРС) создана методика по диагностированию, оценке ТС и прогнозированию остаточного ресурса СД [2]. По результатам торсионирования ДВС и данным статистического анализа установок, рекомендовано назначать очередные проверки через каждые

10000 часов (с учётом гарантированного ресурса, назначаемого заводом изготовителем). По данным РМРС, фирма Hasse&Wrede определяет минимальный срок службы своих демпферов для судовых ДВС с $n > 600$ об/мин, равным 20 000 часов, а для ДВС с $n < 600$ об/мин – 30 000... 50 000 часов. Наиболее обстоятельные указания по техническому обслуживанию демпферов даны фирмой "STE-SCHWINGUNGSTECHNIK GmbH", которая поставляют свою продукцию для двигателей фирмы SKL (двигатели типов NVD36, NVD48, VD26/20, VD18/16, VD24/24, VD29/24 и др.). Согласно инструкции по техническому обслуживанию силиконовых демпферов крутильных колебаний, которые поставляются фирмой "STE-SCHWINGUNGSTECHNIK GmbH", минимальный срок службы при нормальной эксплуатации демпфера составляет 30 000 часов работы [3, 4]. Опыт эксплуатации демпферов показывает, что некоторая часть демпферов отрабатывает больше ресурса, заявленного фирмой-изготовителем. В статье [5] описана авария с т/х «Волгонефть 254», у которого отпал гребной винт. При расследовании происшествия одной из возможных причин была рассмотрена неисправность силиконового демпфера и его наработка. Завод-изготовитель указывает на смену силиконовой жидкости через каждые 30000 часов. На данном судне наработка составила около 100000 ч.

Наиболее полно исследование СД освещено в работе В. В. Алексеева. Для оценки работоспособности СД Российский речной регистр РРР судоходства предусмотрено руководство [6], в котором изложена методика проведения крутильных колебаний для определения ресурса до очередного торсиографирования. Рекомендации по срокам проверки ТС СД указывают на то, что для демпфера, отработавшего назначенный ресурс, периодичность должна составлять $T=2t$, где t - наработка между ежегодными освидетельствованиями, т.е $2t$ примерно равно 10 тыс. часов. РМРС и РРР, обязывают судовладельческие компании и судоремонтные заводы, заменять демпферы на новые или обосновывать то, что демпферы находятся в работоспособном состоянии. В частности, для оценки работоспособности СД, максимальный срок до очередного контрольного торсиографирования не должен превышать 15000 часов. В ГОСТе Р 56646-2015/ISO/TR 19201:2013 [7, 8] устанавливаются методы анализа свободных и вынужденных колебаний, позволяющих определять, в том числе: тепловое рассеивание в сочленениях валопровода и другие источники демпфирования колебаний.

Данная фраза может свидетельствовать о том, что для контроля состояния силиконового демпфера возможно использование термометрии с применением современных приборов.

По данному методу приводится патент Роземблума М.Я. и Фомина Н.Н. «Способ контроля технического состояния силиконового демпфера» [9]. Авторы патента рекомендуют контролировать техническое состояние силиконового демпфера посредством сравнения температуры демпфера с температурой соседней части двигателя.

После эксплуатации двигателя в течение одного часа измеряют разность температур Δt между корпусом демпфера и соседней деталью двигателя и при разности температур $\Delta t < 3^\circ\text{C}$ и $\Delta t > 50^\circ\text{C}$, характеризующей наличие в силиконовом демпфере неисправности.

Компания Caterpillar рекомендует брать пробы силиконовой жидкости на химический анализ. К сожалению, до настоящего времени такой подход не выполняется в связи с трудностями организационного характера, которые компания CAT не может выполнить на территории РФ и другими причинами, например, коммерческого характера (химический состав силиконовой жидкости).

Цель эксперимента: выполнить контроль теплового состояния СД крутильных колебаний двигателей CAT с помощью современного тепловизора, который позволит определить:

- разность температур между двигателем и демпфером;
- изображение распределения температур в самом демпфере.

Данный метод может быть применим вместе с торсиографированием, что даст более полное представление о состоянии силиконового демпфера.

Эксперимент был выполнен на двигателях Caterpillar серии 3500, таблица 1.

В качестве средства контроля использовался тепловизор Testo 872, имеющий сертификат соответствия и допущенный к применению в Российской Федерации, рисунок 1.

Таблица 1 – Основные характеристики двигателей

Наименование	Двигатели серии 3500 с электронными насос-форсунками	
Номинальная частота вращения коленчатого вала двигателя, мин ⁻¹	1600-1925	
Частота вращения холостого хода, мин ⁻¹	650	
Число и расположение цилиндров	12 cV-образным расположением под углом 60°	16 cV-образным расположением под углом 60°
Диаметр цилиндра, мм	170	
Ход поршня, мм	190	
Степень сжатия	13,5:1	
Схема всасывания свежего заряда воздуха	Турбонаддув	
Способ охлаждения сжатого воздуха	Последовательное охлаждение водой из рубашки цилиндров	
	Отдельный контур охлаждения	
Объем одного цилиндра, л	4,3	
Общий объем цилиндров, л	51,8	69,1
Направление вращения коленчатого вала (со стороны маховика)	Против часовой стрелки (стандартное исполнение)	
	По часовой стрелки (индивидуальный заказ)	
Способ впрыска топлива	Электронные насос-форсунки	
Демпфер крутильных колебаний	Силиконовый демпфер 8NO339	



Рисунок 1 – Фото тепловизора Testo 872:

1. Дисплей. 2. Кнопки управления. 3. Триггер для записи (задержки/сохранения) изображений. 4. Объектив цифровой камеры 5. Объектив инфракрасной камеры для записи термографических изображений. 6. Левый интерфейсный отсек (слот карты памяти, интерфейс USB)

Методика измерения и создания ИК-изображения включает следующие действия:

- выбор правильной области измерения;
- настройка оптимальной фокусировки ИК-изображения на участке, соответствующем области измерений;
- изменение настройки коэффициента излучения и компенсации отраженной температуры (КОТ) в соответствии с материалом объекта измерения. (Выставляем где-то 0.93-0.95);
- выбор соответствующей цветовой палитры (например, “iron” (железо), “rainbow” (радуга) и т.д.). В нашем случае была выбрана цветовая палитра – «радуга»;

С помощью данной опции можно улучшить цветное отображение распределения температур на тепловых снимках.

- учет, предотвращение или устранение источников помех;
- «защита» поверхность объекта измерений от оптических и тепловых источников помех;

Условия выполнения работы:

В начале двигателя прогрели до рабочих температур и постепенно вывели на характерный ходовой режим работы буксира, соответствующий частоте вращения коленчатого вала главных

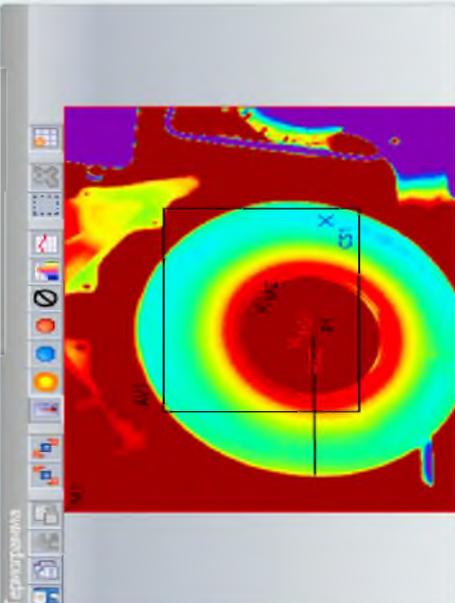
двигателей 1100 мин⁻¹. Произвели замеры сначала на работающем двигателе, а затем на остановленном двигателе судна у причала. Обработка результатов выполнялась через специальную программу testoIRSoft.

На рисунках 2 и 3 показаны термограммы СД на работающем и остановленном двигателях, которые представлены шестью блоками (слева направо, сверху вниз). На первом блоке показано изменение температуры вдоль линии от центра к периферии демпфера, которая задается вручную. На втором блоке – температурная шкала. Четвертый блок представляет области, которые наиболее значимы при проведении эксперимента. На пятом блоке показано реальное фото демпфера. И на шестом блоке – температурный профиль с максимальной, минимальной и средней температурами.

На рисунке 2 хорошо видно равномерное распределение температур (см. первый и шестой блок), максимальное значение составило 89.8, минимальное- 43.6 и среднее значение-56.7 градусов.

На рисунке 3 максимальное значение-85.7, минимальное - 46.9, среднее - 59.5 градусов.

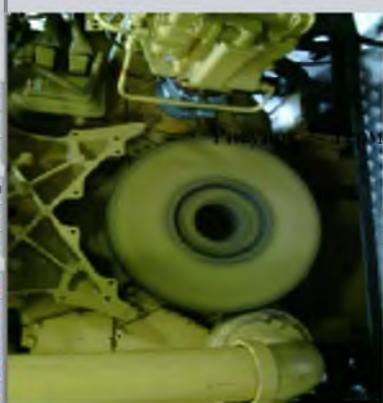
Для сравнения на рисунке 4 представлены две термограммы вместе.



Температурная шкала

Шкала: 50.0 Авто 40.0

Граничные значения Изотерма

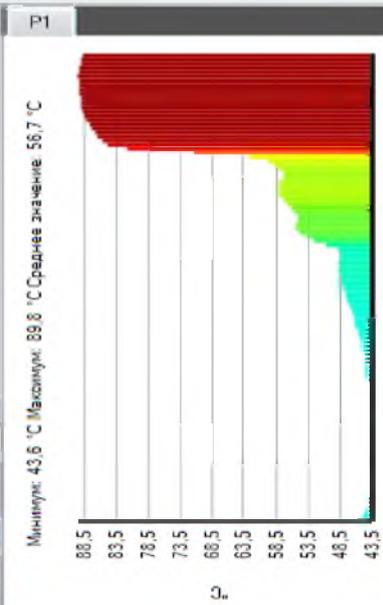


Реальное изображение



История

Колонки: 60



Профиль

Минимум: 43,6 °С Максимум: 89,8 °С Средняя величина: 56,7 °С

Закрепленные области термограммы

№:	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж. темп. [°	Примечание
M1	81,4	0,97	30,0	
M2	58,5	0,97	30,0	CenterSpot
CS1	42,3	0,97	30,0	
HS1	90,1	0,97	30,0	
HS2	90,1	0,97	30,0	
AV1	51,2			

Примечание

Программа силиконового демпфера на работе

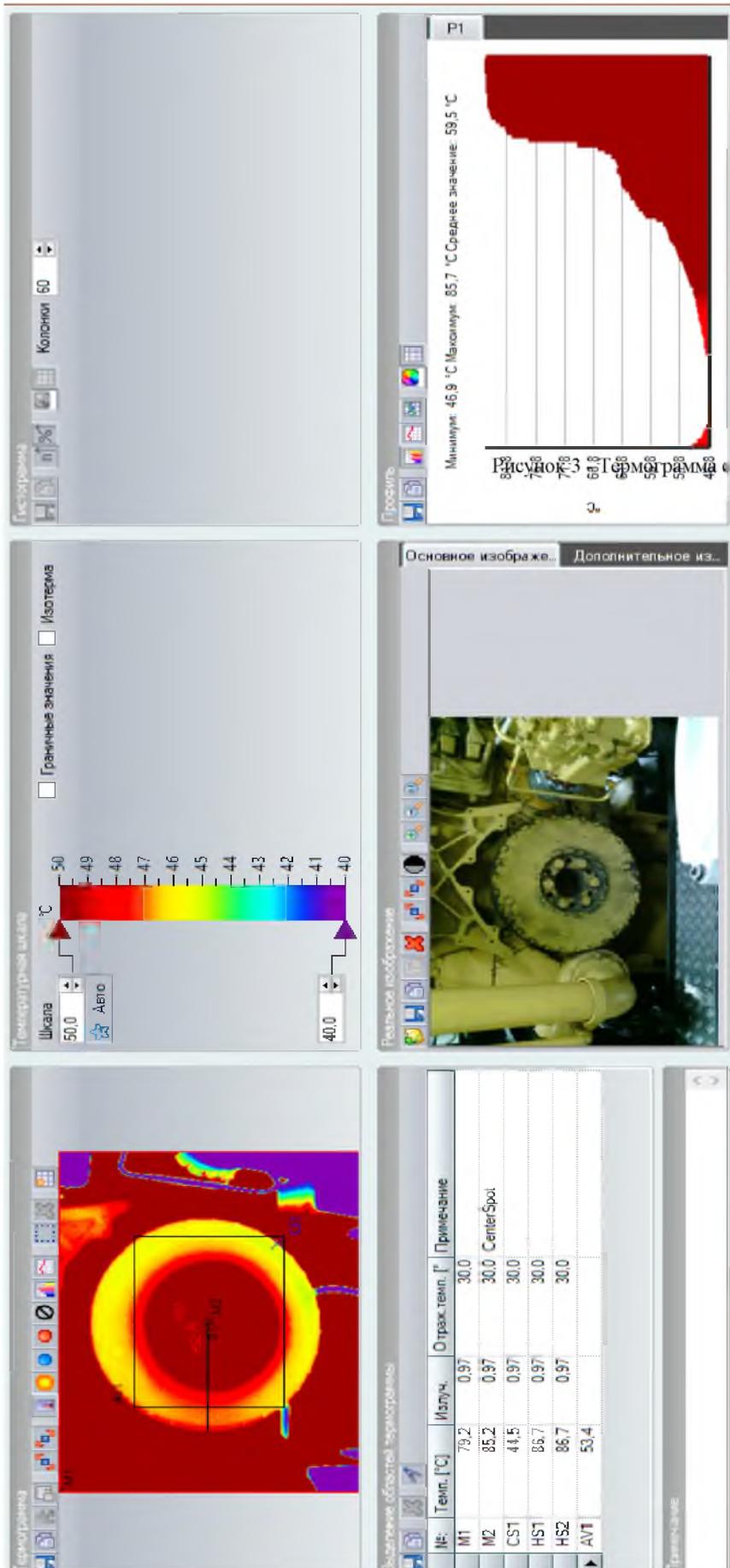


Рисунок 3 Термограмма силиконового демпфера на остановленном двигателе

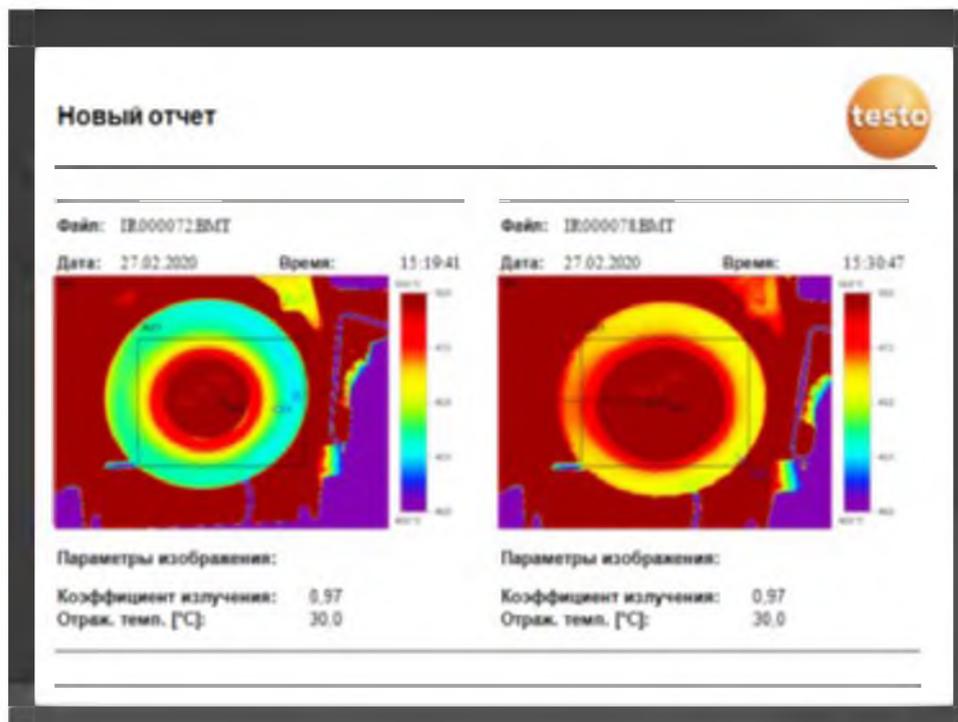


Рисунок 4 - Сравнение термограмм

Диапазон температурной шкалы был задан от 40 до 50 градусов, что позволило увидеть изменения в температуре между двумя режимами.

По полученным термограммам можно делать вывод, что температура демпфера и соседней с ним детали находится в допустимом диапазоне [9]. Также можно судить о том, что температура в самом демпфере не превышает максимальной температуры, установленной заводом-изготовителем - 75 °С.

На работающем двигателе происходит равномерное распределение температуры в демпфере, а при остановленном двигателе наблюдается кольцевой температурный спектр как раз в области, где находится подвижное кольцо демпфера (рисунок 4).

Выводы:

1. Произведенный эксперимент дает визуальное представление о том, как распределяются температуры в силиконовом демпфере на различных режимах работы двигателя.

2. В дальнейшем, при накоплении статистических данных по оценке теплового рассеивания СД ВОД или СОД предполагается разработать рекомендации по продлению времени эксплуатации СД.

Литература

1. Гриценко М.В. Метод контроля вибрации винторулевых колонок морских судов и предложения по совершенствованию их эксплуатации:

диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему. – Новороссийск, 2010.

2. Приложения к Руководству по техническому наблюдению за судами в эксплуатации (приложение 38) РМРС. Санкт-Петербург. 2016 г.

3. Ефремов Л. В. Теория и практика исследований крутильных колебаний силовых установок с применением компьютерных технологий. – СПб.: Наука, 2007. – 276 с.

4. Чернов С.Е. Методика оценки работоспособности силиконовых демпферов крутильных колебаний судовых дизелей // Судостроение. – 2000.

5. Худяков С.А. Усталостная прочность деталей валопровода танкеров проекта 1577 // Вестник ГМУ им. Ф.Ф. Ушакова. – 2019.

6. Руководство Р.043-2016 «Оценка работоспособности силиконовых демпферов крутильных колебаний судовых двигателей внутреннего сгорания». – М.: Рос.-сийский Речной Регистр, 2016.

7. ГОСТ Р 56646-2015/ISO/TR 19201:2013 «Вибрация. Руководство по выбору критериев оценки вибрационного состояния машин». Дата введения 2016-12-01

8. ГОСТ Р ИСО 3046-5-2004 «Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Характеристики. Часть 5. Крутильные колебания». Дата введения 2005-01-01.

9. Патент РФ № 2287797, 20.11.2006. Способ контроля технического состояния силиконового демпфера // Патент РФ № 2287797. 06. / Розенблом М. Я., Фомин Н.Н.

10. Кондратьев, С.И. Теоретические основы управления крупнотоннажными судами по критериям

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 programmykh 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