

9. Jang, J.-S. R., "ANFIS: Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems, " IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 23, No. 3, pp. 665-685, May 1993.
10. Заявка на изобретение № 2020121876 «Автоматическая система с нейронечеткой сетью для комплексной технической диагностики и управления судовой энергетической установкой» с приоритетом от 26.06.2020 г., решение ФИПС о выдаче патента 02.11.2020 г.
11. Каракаев А.Б., Луканин А.В., Хекерт Е.В. Разработка методологии, методов и моделей анализа влияния различных вариантов построения структуры и режимов поддержания, и восстановления работоспособности судовых электроэнергетических систем (часть 1) // Эксплуатация морского транспорта.– 2016.– № 3(80).– С.54-60.
12. Каракаев А.Б., Хекерт Е.В., Луканин А.В. Разработка методологии, методов и моделей анализа влияния различных вариантов построения структуры и режимов поддержания и восстановления работоспособности судовых электроэнергетических систем (часть 2) // Эксплуатация морского транспорта.– 2016.– № 4(81).– С.85-95.
13. Астреин В.В. Структура системы безопасности судовождения [Текст] / В.В. Астреин, С.И. Кондратьев // Эксплуатация морского транспорта.– 2015.– № 3.– С. 38-47.
14. Студеникин Д.Е., Хекерт Е.В., Модина М.А. Прогнозирование движения судна с помощью иерархических систем нечеткой логики (на английском языке) // Морские интеллектуальные технологии.– 2018.– № 1-1 (39).– С. 205-208.
4. Polkovnikova N.A., Kurejchik V.M. Razrabotka modeli ekspertnoj sistemy na osnove nechetkoj logiki // Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki №1 (150), 2014.
5. Mel'nikov D.A. Primenenie nejronnyh setej v sistemah upravleniya dvigatelem vnutrennego sgoraniya // MGTU «MAMI».
6. Hecht-Nielsen, R. (1990), Neurocomputing, Reading, MA: Addison-Wesley, ISBN 0-201-09355-3.
7. Kohonen, T. (1989/1997/2001), Self-Organizing Maps, Berlin — New York: Springer-Verlag. First edition 1989, second edition 1997, third extended edition 2001, ISBN 0-387-51387-6, ISBN 3-540-67921-9.
8. Kohonen, T. (1988), Learning Vector Quantization, Neural Networks, 1 (suppl 1), 303.
9. Jang, J.-S. R., "ANFIS: Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems, " IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 23, No. 3, pp. 665—685, May 1993.
10. Zayavka na izobretenie № 2020121876 «Avtomaticheskaya sistema s nejronechetkoj set'yu dlya kompleksnoj tekhnicheskoy diagnostiki i upravleniya sudovoj energeticheskoy ustanovkoj» s prioritетom от 26.06.2020 г., reshenie FIPS o vydache patenta 02.11.2020 г.
11. Karakaev A.B., Lukanin A.V., Hekert E.V. Razrabotka metodologii, metodov i modelej analiza vliyaniya razlichnyh variantov postroeniya struktury i rezhimov podderzhaniya i vosstanovleniya rabotosposobnosti sudovyh elektroenergeticheskikh sistem (chast' 1)/Ekspluatatsiya morskogo transporta. 2016. № 3(80). S.54-60.
12. Karakaev A.B., Hekert E.V., Lukanin A.V. Razrabotka metodologii, metodov i modelej analiza vliyaniya razlichnyh variantov postroeniya struktury i rezhimov podderzhaniya i vosstanovleniya rabotosposobnosti sudovyh elektroenergeticheskikh sistem (chast' 2)/Ekspluatatsiya morskogo transporta. 2016. № 4(81). S.85-95.
13. Astrein V.V. Struktura sistemy bezopasnosti sudovozhdeniya [Tekst] / V.V. Astrein, S.I. Kondrat'ev // Eksplyuatsiya morskogo transporta. 2015. № 3. S. 38-47.
14. Studenikin D.E., Hekert E.V., Modina M.A. Prognozirovaniye dvizheniya sudna s pomoshch'yu ierarhicheskikh sistem nechetkoj logiki (na angliyskom yazyke)// Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2018. № 1-1 (39). S. 205-208.

References

1. Nadeev A. I., Haj Ngok Buj, F. V. Svirepov. Intel'ktual'noe upravlenie sudovym dvigatelem vnutrennego sgoraniya s uchetom diagnostiki sostoyaniya oborudovaniya // Vestnik AGTU. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya, №1, 2011.
2. Nikitin A.M. Sovershenstvovanie tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta sudovyh energeticheskikh ustanovok na osnove analiza riskov. Diss. D.T.N., SPb, 2007.
3. Polkovnikova N.A., Polkovnikov A.K. Algoritmy sistemy podderzhki prinyatiya reshenij dlya identifikatsii neispravnostej glavnogo sudovogo dvigatelya // Eksplyuatsiya morskogo transporta №1 (90), 2019

УДК 656.624

DOI: 10.34046/aumsuomt96/16

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЦИЛИНДРОВЫХ ВТУЛОК СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ МЕТОДОМ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ЛИТЬЯ

Азер Рагим оглы Исмаилов, докторант

Статья посвящена вопросам совершенствования технологии изготовления цилиндрических втулок судовых дизелей методом центробежного литья. Указано, что данный метод имеет с одной стороны ряд достоинств по сравнению с литьем в песчаную форму, а с другой стороны - ряд недостатков, которые требуют его совершенствования.

Для совершенствования технологии изготовления цилиндрической втулки предлагается насыщение ее внутренней поверхности «фуллеренами». Предложена конструкция установки и методика диффузионного внедрения «фуллеренами» цилиндрических втулок, в том числе небольших диаметров до 200 мм. Установлено, что в результате применения данной технологии ожидается повышение износостойкости поверхности зеркала цилиндрической втулки до 2,5 раз. Прогнозируемый расход топлива в судовых двигателях внутреннего сгорания (ДВС) при использовании цилиндрических втулок, изготовленных по предложенному методу, может сократиться на 7%, а эффективная мощность возрастет на 4%.

Ключевые слова: судовой дизель, цилиндрическая втулка, центробежное литье, диффузионное насыщение

The article is dedicated to the issues of improving the technology of manufacturing cylinder sleeve bushings of marine diesel engines by the method of centrifugal casting. This method has, on the one hand, a number of advantages in comparison with casting in a sand mold, and on the other hand, a number of shortcomings that need its improvement. To improve the technology of manufacturing a cylinder sleeve bushing, the author proposes saturating its inner surface with "fullerenes". In addition, the author proposes the design of the installation and the method of diffusion introduction by fullerenes of cylinder bushings, including those of small diameters up to 200 mm. As a result of the application of this technology, it is expected that the wear resistance of the surface of the mirror of the cylinder sleeve will be increased by up to 2.5 times. The predicted fuel consumption in marine internal combustion engines (ICE) using cylinder sleeve bushings manufactured according to the proposed method can be reduced by 7%, and the effective power will increase by 4%.

Key words: marine diesel, diesel cylinder bushing, centrifugal casting of the bushing.

Введение

Производство цилиндрических втулок судовых дизелей моделей ДКРН76/155, ЧН25/34, ЧН26/34 и других, осуществляется на сегодняшний день из чугунов с пластинчатым графитом и низким содержанием легирующих элементов, согласно требованиям нормативных документов, например, действующего ГОСТ 1412-85 «Чугун с пластинчатым графитом для отливок. Марки» [1].

Механические свойства чугуновых отливок с перлитной металлической основой, которые применяются для изготовления цилиндрических втулок судовых дизелей, должны обеспечивать длительное временное сопротивление материала не менее 245 МПа (марки чугуна СЧ25, РВА и другие) в теле отливки, а для некоторых дизелей и до 300 МПа (марка чугуна СЧ30 и другие).

При этом требуется строгое соблюдение технических условий, так как их нарушение вызывает возникновение выбраковки отливок по следующим признакам: пористость материала, нарушение микроструктуры материала и снижение его механических свойств. Наиболее сложным является обеспечение качества литья чугуновых полых заготовок с толщиной до 150 мм и большой высотой, что характерно для цилиндрических втулок двухтактных длинноходных дизелей.

Для обеспечения точности формы, снижения брака, повышения механических свойств чугуна и экономии его расхода, необходимо совершенствование технологии литья заготовок или последующей обработки. Этими вопросами в области транспортных и судовых ДВС в разное время занимались такие специалисты, как: Илюшкин Д.А. [2]; Булгаков В.П., Рубан И.Н. [3]; Карелин С.В. [4]; Леонтьев Л.В. [5], Дорохов А.Ф. [6]; Матвеев Ю.И. [7] и другие.

Постановка задачи

Достоинства и недостатки метода центробежного литья. Метод центробежного литья известен достаточно давно и заключается в заполнении литейной формы жидким чугуном, при ее центробежном вращении, которое происходит не только при отливке заготовки, но и при затвердевании и частичном остывании металла.

Центробежное литье чугуновых заготовок по своим достоинствам и недостаткам часто сравнивают с широко ранее распространенным методом отливки в разовые литейные формы. Центробежный метод обладает следующими достоинствами [8]:

- процент годного литья достигает до 95%;
- за счет центробежных сил на внутренней поверхности втулки накапливается углерод (процесс ликвации), что повышает прочность ее поверхностного слоя;
- сокращаются трудовые и временные затраты;
- себестоимость изготовления заготовок снижается на 30%;
- отсутствует перерасход материала на технологические стержни и формы.

Недостатками центробежного литья из-за особенностей технологии и полостей конструкции заготовки цилиндрической втулки, являются:

- химическая неоднородность материала по сечению отливки;
- образование механического пригара на наружной поверхности отливки из-за неравномерности остывания заготовки;
- высокие внутренние напряжения в наружном поверхностном слое материала, что может привести к риску возникновения горячих трещин;

- образование на внутренней поверхности заготовки вместе с углеродом неметаллических и газовых образований, а также, очагов серы и фосфора.

Данные недостатки являются причинами дальнейшего совершенствования технологии изготовления цилиндрической втулки при помощи центробежного литья.

Основная часть

Совершенствование технологии центробежного литья цилиндрических втулок. Поскольку внутренняя поверхность цилиндрической втулки (зеркало) должна обладать высоким качеством материала, то, для снижения вышеописанных недостатков технологии центробежного литья возможен наиболее простой способ в виде механической обработки поверхностного слоя. При этом, допуски на обработку могут составить до 10 мм, что приводит к существенному перерасходу чугуна.

Пример подобной оценки приведен в работе Пахомовой Н.В. [8] и для изготовления одной цилиндрической втулки дизеля Ч8,5/11 с массой заготовки 13 кг и массой готовой втулки 2,45 кг перерасход чугуна составляет порядка 10 кг.

Альтернативным решением данной задачи может являться частичная механическая обработка внутренней поверхности с минимальным допуском для ее дальнейшего упрочнения при помощи диффузии «фуллеренами». Это осуществляется путём насыщения кристаллической структуры материала - серого чугуна выпуклыми многогранными молекулами «фуллеренов» на базе углерода, преимущественно соединений C_{60} и C_{70} , которые в твёрдом состоянии получили название «фуллериты» [9, 10].

Технология нанесения такого покрытия на цилиндрические втулки пока является сложной задачей, но перспективность его практического использования позволяет говорить о повышении износостойкости поверхности до 2,5 раз. При этом, прогнозируемый расход топлива в судовых ДВС может сократиться на 7%, а эффективная мощность возрасти на 4%, [11].

В настоящее время выделяют три основных способа насыщения поверхностного слоя металлов «фуллеренами» при помощи: нанесения, напыления и наплавки. Технологии напыления и наплавки хорошо отработаны и апробированы в производстве, но трудно применимы для реализации на внутренних поверхностях для зеркала цилиндрических втулок ДВС с диаметром менее 200 мм. В этом случае можно использовать техноло-

гии нанесения посредством безабразивного хонингования или шаржирования цилиндрических втулок ДВС [11, 12].

Следует отметить, что при подобном методе внедрение «фуллеренов» производится при помощи диффузии в кристаллическую решётку поверхностного слоя цилиндрической втулки, которая подвергается трению и изнашиванию, и не используется пленочная технология за счёт адгезии.

Это повышает износостойкость материала и его ресурс. Для реализации предложенного метода упрочнения поверхностного слоя предлагается конструктивная схема приспособления для насыщения поверхностного слоя зеркала цилиндрической втулки «фуллеренами» при помощи шаржирования (рис.).

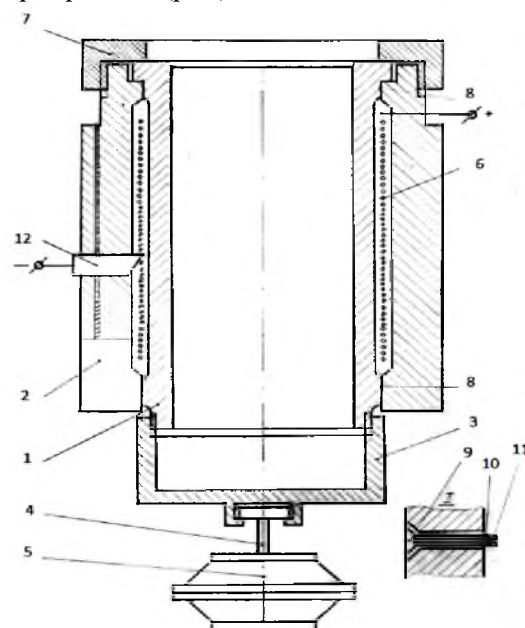


Рисунок – Конструктивная схема приспособления: 1 – цилиндрическая втулка; 2 – конус приспособления; 3 – стакан, навинчиваемый на резьбу на нижней части втулки; 4 – штук пневмокамеры; 5 – пневмокамера; 6 – индукторная обмотка; 7 – прижимная гайка приспособления; 8 – места установки термопар в приспособлении; 9 – спай термопары; 10 и 11 – термоэлектроды; 12 – подвижный контакт в пазе корпуса приспособления

Цилиндрическая втулка, установленная в приспособлении, базируется по верхнему посадочному пояску и торцу бурта, фиксируется прижимной гайкой 7, а на её нижнюю часть устанавливается стакан 3. В индукторную обмотку подаётся ток, посредством чего втулка разогревается до необходимой температуры. В теле цилиндрической втулки создаётся температурное поле аналогичное или близкое к её действительному температурному полю в эксплуатации, показатели которого определены расчётно или экспериментально.

Значения температурного поля регулируются силой тока путём перемещения подвижного контакта 12 по показаниям термопар 8. Посредством пневмокамеры в поверхностном слое зеркала цилиндра создаются упругие напряжения растяжения $\sigma_p = E$, где E – модуль упругости материала цилиндра, МПа.

Выводы

1. Метод центробежного литья может являться заменой традиционного литья в песчаные формы, так как является более экономичным и выгодным.
2. Насыщение поверхности цилиндрической втулки «фуллеренами» является перспективным методом упрочнения поверхности и снижения перерасхода чугуна при обработке заготовок, изготовленных методом центробежного литья.
3. Предложенная установка может быть изготовлена и апробирована на судостроительном или двигателестроительном заводе для оценки возможности применения данной технологии в массовом производстве цилиндрических втулок судовых ДВС.

Литература

1. ГОСТ 1412-85 «Чугун с пластинчатым графитом для отливок. Марки». – М.: изд-во Стандарты, 2007. – 10 с.
2. Илюшкин Д.А. Разработка эффективной технологии изготовления чугунных крупнотоннажных отливок цилиндрических втулок судовых дизелей с повышенными прочностными характеристиками: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Брянск: Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения, 2011. – 121 с.
3. Булгаков В.П., Рубан И.Н. Технология изготовления заготовки цилиндрической втулки ДВС // В сборнике: Наука и практика - 2016. Материалы Всероссийской междисциплинарной научной конференции. Под общей редакцией Н. Т. Берберовой, А. В. Котельников. – 2016. – с. 32 - 33.
4. Карелин С.В., Кульбовский И.К., Туркин Д.А. Разработка технологического процесса изготовления отливки втулки судового дизеля ДБ14 центробежным литьем // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2008. – № 2 (18). – С. 27-31.
5. Леонтьев Л.Б., Погодаев А.В., Леонтьев А.Л. Повышение надежности втулок цилиндров судовых дизелей (обзор) // Вестник ИПП ДВФУ. – 2018. – №3 (36). – С. 76-93.
6. Дорохов А.Ф., Проватар А.Г. Задачи обеспечения износостойкости зеркала цилиндрических втулок судовых двигателей внутреннего сгорания //

Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2016. – № 3. – С. 43-48.

7. Матвеев Ю.И. Повышение долговечности деталей судовых дизелей с использованием плазменного напыления и лазерной обработки: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций. – Санкт-Петербург, 2003. – 40 с.
8. Пахомова Н.В. Оценка ресурса сопряжения «цилиндрическая втулка-поршневое кольцо» судовых малоразмерных дизелей // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – том 15, №6(2). – С. 448 – 452.
9. Мышкин М.К., Петроковец М.И. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии. – М.: Физматлит, 2007. – 368 с.
10. Шнейдер Ю.Г. Технология финишной обработки давлением: Справочник. – СПб.: Политехника, 1998. – 414 с.
11. Gusev A.I., Rempel A.A. Nanocrystalline Materials. Cambridge: Cambridge International Science Publishing, 2004. – 351 p.
12. Сидоров Л.Н. и др. Фуллерены. – М.: Экзамен, 2005. – 687 с.

References

1. QOST1412-85 «Chuqun s plastinchtim grafitom dlyu otlivok. Marki». Moskva, izd. Standarti, 2007, 10 s.
2. Ilyushkin D.A. Razrabotka effektivnoy tehnologii izgotovleniya chuqunnix krupnotonnajnix otlivok zilindrovix vtulok sudovix dizeley s povishennimi prochnostnimi xarakteristikami. Dissertaziya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata texnicheskix nauk / Zentralniy nauchno-issledovatel'skiy institut tehnologii i mashinostroeniya. Bryansk, 2011. – 121 s.
3. Bulqakov V.P., Ruban I.N. Tehnologiya izgotovleniya zaqotovki zilindrovoy vtulki DVS // V sbornike: Nauka i praktika - 2016. Materiali Vserossiyskoy mejdisziplinarnoy naychoy konferenzii. Pod obsey redakziyey N.T. Berberovoy, A.V.Kotel'nikov. 2016, s. 32 - 33.
4. Karelin S.V., kulbovskiy I.K., Turkin D.A. Razrabotka texnologicheskogo prozessa otlivki vtulki sudovoqo dizelya DB14 zentrobejnim lityem // Vestnik Bryanskoqo qosudarstvennoqo texnicheskogo universiteta. 2008. № 2 (18), s. 27 - 31.
5. Leotyev L.B., Poqodayev A.V., Leotyev A.L. Povishenie nadejnosti vtulok zilindrov sudovix dizeley (obzor) // Vestnik ISH DVFU. 2018. №3 (36), s. 76 - 93.
6. Doroxov A.F., Provatar A.Q. Zadachi obespecheniya iznosostoykosti zerkala zilindrovix vtulok sudobix dviqateley bnutrenneqo sqoraniya // Vestnik Astraxanskoqo qosudarstvennoqo texnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya texnikai tehnologiya. 2016. № 3, s. 43 - 48.

7. Matveev Yu. I. Pobishenie dolgovечnosti detaley sudovix dizeley s ispolzovaniyem plazmennoqo napileniya b lazernoy obrabotki// Avtoreferat dissertaziyi na soiskanie uchenoy stepeni doktora texnicheskix nauk. Sankt-Peterburqskiy qosudarstvenniy universitet vodnix kommunikaziy. Sankt-Peterburq, 2003. - 40 s.
8. Paxomova N.V. Ozenka resursa sopryajeniya "zilindrovaya vtulka-porshnevoe kolzo" sudovix malorazmernix dizeley // Izvestiya Samarskoqo nauchnoqo zentra Rossiyskoy Akademiyi nauk, tom 15, No6(2), 2013, s. 448 – 452.
9. Mishkin M.K., Petrokovez M.I. Trenie, smazka, iznos. Fizicheskie osnovi I texnicheskie prilozheniya triboloqii. M.: Fizmatlit, 2007. - 368 s.
10. Sheyder Yu.Q. Texnologiya finishnoy obrabotki davleniem: Spravochnik. S-Pb.: Politexnika, 1998. - 414 s.
11. Gusev A.I., Rempel A.A. Nanocrystalline Materials. Cambridge: Cambridge International Science Publishing, 2004. - 351 p.
12. Sidorov L.N. I dr. Fullereni. M.: Ekzamen, 2005. - 687 s.

УДК 629.5.035.8

DOI: 10.34046/aumsuomt96/17

К ОЦЕНКЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕСУРСА СУДОВЫХ ГРЕБНЫХ ВАЛОВ

М.Н. Чура, кандидат технических наук, доцент

А. В. Файвисович, доктор технических наук, профессор

В статье рассмотрены стадии процесса усталостного разрушения судовых конструктивных элементов (КЭ) на примере гребного вала судна, изготовленного из стали 35. Выделены три стадии процесса усталостного разрушения: 1) инкубационная – от момента зарождения микротрещин до возникновения малых трещин; 2) развитие малых трещин вплоть до появления макротрещины; 3) рост макротрещины до момента полного разрушения КЭ. Описана вторая стадия усталостного разрушения – стадия роста малой усталостной трещины. На основании полученных ранее выводов по кинетике малой трещины и применении классических подходов по определению продолжительности стадии роста макротрещины, с использованием коэффициента интенсивности напряжений, авторами предложена математическая модель, позволяющая численно оценить продолжительность стадии роста малой трещины. Практическое значение осуществления данной стадии определяется ее относительной продолжительностью, что составляет большую часть от общей долговечности КЭ, а для некоторых материалов и условий нагружения эта величина может достигать до 80 – 95 % от всей долговечности КЭ. Рассмотрена сходимость результатов расчета по предложенной модели с полученными на образцах экспериментальными данными и расчетом по модели Хобсона-Брауна.

Ключевые слова: малая трещина, усталостное разрушение, стадии разрушения, судовой валопровод
 The article considers the stages of the process of fatigue failure of ship structural elements (SE) on the example of a ship's propeller shaft made of steel 35. Three stages of the fatigue failure process are distinguished: 1) incubation – from the moment of microcracks origin to the appearance of small cracks; 2) the development of small cracks up to the appearance of a macro-crack; 3) the growth of a macro-crack until the complete destruction of the SE. The second stage of fatigue failure is described – the stage of growth of a small fatigue crack. Based on the previously obtained conclusions on the small crack kinetics and the application of classical approaches to determining the duration of the macro-crack growth stage, using the stress intensity coefficient, the authors propose a mathematical model that allows us to numerically estimate the duration of the small crack growth stage. The practical significance of this stage is determined by its relative duration, which is most of the total durability of the.

Keywords: small crack, fatigue failure, stages of failure, ships propeller shaft.

Важным фактором обеспечения безопасности мореплавания, а также эффективности эксплуатации судна является сохранение и поддержание на требуемом уровне технического состояния основных его элементов. Многие детали и КЭ судовых систем и механизмов, как и судно в целом, в процессе эксплуатации испытывают переменные нагрузки, связанные с волновым воздействием и цикличностью работы агрегатов, что может привести к возникновению и развитию процесса усталостного разрушения. Одним из таких элементов является судовой валопровод, который состоит из ряда промежуточных и концевых

(гребного) вала. Прогнозирование процесса усталостного разрушения судового гребного вала играет весьма существенное значение для определения наработки вала до его плановой замены, т.к. экономические затраты судовладельца при плановой замене гребного вала примерно в пять раз меньше, чем ущерб от его поломки [1]. Кроме того, необходимо отметить, что аварии propulsion комплекса судна, связанные с отказами валопроводов, зачастую являются следствием разрушения гребного вала и приводят к потере судном хода и управляемости. Таким образом, оценка долговечности судового гребного вала с