

12. Epihin, A. I. Primenenie nejronnyh setej na baze mnogoslujnogo per-ceptra s ispol'zovaniem nechetkoj logiki dlya tekhnicheskoy diagnostiki sudovyh tekhnicheskikh sredstv / A. I. Epihin, S. I. Kondrat'ev, E. V. Hekert // Ekspluatatsiya morskogo transporta. – 2020. – № 3(96). – S. 111-119. – DOI 10.34046/aumsuomt96/15. – EDN HRSSSY.
13. Epihin, A. I. Iskusstvennyj intellekt, perspektivy primeneniya v upravlenii sudovymi energeticheskimi ustanovkami / A. I. Epihin, S. I. Kondrat'ev // Ekspluatatsiya morskogo transporta. – 2020. – № 4(97). – S. 95-100. – DOI 10.34046/aumsuomt97/17. – EDN XFNNQR.
14. Dinamicheskoe formirovanie koridora bezopasnosti pri planirovanii marshruta dvizheniya sudna / D. E. Studenikin, S. I. Kondrat'ev, E. V. Hekert, M. A. Modina // Morskie intellektual'nye tekhnologii. – 2021. – № 2-4(52). – S. 128-131. – DOI 10.37220/MIT.2021.52.2.081. – EDN RQCPEO.
15. Khekert E. V., Epikhin A. I. ANALYSIS OF METHODS TO OPTIMIZE CONTROL SYSTEMS FOR POWER SUPPLY OF MARINE VESSELS USING FUZZY LOGIC AND FRACTAL ANALYSIS V sbornike: Journal of Physics: Conference Series. Ser. "International Conference on Actual Issues of Mechanical Engineering, AIME 2021" 2021. S. 012088.
16. Sostoyanie problemy i metody snizheniya vrednyh vybrosov sudovyh energeticheskikh ustanovok / T. A. Makarevich, E. V. Hekert, YU. S. Kuznecova [i dr.] // Ekspluatatsiya morskogo transporta. – 2022. – № 2(103). – S. 127-134. – DOI 10.34046/aumsuomt103/27. – EDN XABIKE.
17. Belov, A. A. Primenenie metoda izmereniya chastichnyh razryadov dlya opredeleniya sostoyaniya izolyacii vysokovol'tnyh vrashchayushchihnya mashin / A. A. Belov, V. V. SHkoda, E. G. Popova // Tekhnicheskie i tekhnologicheskie sistemy : Materialy dve-nadcatoj Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, Krasnodar, 25–27 noyabrya 2021 goda. – Krasnodar: Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu "Izdatel'skij Dom - YUg", 2021. – S. 11-21. – EDN ZRPPSF.
18. Varianty realizacii sistem upravleniya elektronnyimi diagnosticheskimi i informacionnymi kompleksami posredstvom mikrokontrollera STM32F100C8T6 / YA. M. Kashin, S. V. Kliment'ev, A. V. Pavrozin [i dr.] // Elektronnyj setevoj po-litematicheskij zhurnal "Nauchnye trudy KubGTU". – 2022. – № 1. – S. 70-78. – EDN SVR-GUM.
19. SHvec, O. V. Antikrizisnoe upravlenie v transportnoj otrasli / O. V. SHvec, N. S. CHEbanova, I. E. Nekrasova // Nauka Krasnoyars'ya. – 2016. – T. 5. – № 3-3. – S. 267-273. – EDN WCFRRL.

УДК 53.091; 629.5

DOI: 10.34046/aumsuomt105/26

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОВ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СУДОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

*Е. Н. Сюсюка, кандидат технических наук, доцент*

*Е. Х. Аминева, кандидат физико-математических наук, доцент*

*Т. А. Блинова, кандидат технических наук, доцент*

В статье изложены основные причины отказа работы деталей судовых технических средств. Проведенный анализ особенностей упрочнения изделий различными методами позволяет, в зависимости от условий эксплуатации изделий, выбрать наиболее подходящее нанопокрывание и улучшить качественные показатели поверхностного слоя.

**Ключевые слова:** качество изделий, дефекты, причины отказов деталей, стойкость, обработка поверхностей, триботехнические свойства, показатели надежности, упрочнение деталей.

## SOME PECULIARITIES OF THE HARDENING METHODS OF SHIPBORNE TECHNICAL PARTS

*E. N. Syusyuka, E. C. Amineva, T. A. Blinova*

The article describes the main reasons for the failure of the ship's technical equipment parts. The analysis of the features of hardening products by various methods allows, depending on the operating conditions of the products, to choose the most suitable nanocoating and improve the quality of the surface layer.

**Keywords:** product quality, defects, causes of component failures, durability, surface treatment, tribotechnical properties, reliability indicators, component hardening.

В настоящее время в судостроении большое внимание уделяется эксплуатационным параметрам судовых технических средств (СТС). Большое значение имеет решение проблемы повышения качества изделий двигателей судов. Для

того, чтобы детали СТС соответствовали требованиям качества, проанализируем причины отказов работы деталей и возможные методы их устранения [1-4].

Анализ причин отказов кроется в наличии одного или нескольких дефектов. Не всегда появление дефекта означает неработоспособность изделия. Поэтому первостепенное значение для повышения надежности деталей судовых технических средств имеет формирование качественного поверхностного слоя. На поверхности деталей и в некоторых зонах поверхностного слоя происходит зарождение трещин усталости, коррозионное и эрозионное разрушение.

Таблица 1 – Причины отказов деталей СТС

Наименование деталей	Причина отказа
Цилиндровые стальные втулки	Низкая коррозионная и кавитационная стойкость, крупнозернистая структура стали, некачественная обработка поверхностей.
Чугунные втулки цилиндра	Крупнозернистая структура материала по всему объему детали, включая поверхности; частое появление язвенной коррозии и снижение триботехнических свойств.
Поршни из алюминиевых сплавов	Низкая горячая твердость материала, в результате чего образуются прогары, задиры на поверхностях.
Компрессионные кольца	Недостаточная упругость, изменение структуры при работе в высоких температурных режимах, выпадение частиц, абразивный износ, слом.
Коленчатые валы	Низкая усталостная прочность, вызванная конструктивными особенностями.

Придание поверхностям деталей специальных свойств способствует существенному повышению показателей качества машин в целом и, в первую очередь показателей надежности. Поверхностная прочность, пластичность, сопротивление развитию трещин, величины остаточных напряжений, чистота поверхности являются параметрами, на которые следует обратить внимание. Наиболее существенным для практических целей является установление зависимости между параметрами конкретного технологического процесса обработки поверхностей, показателями качества поверхностного слоя и поведением деталей машин в эксплуатации.

Показатели качества поверхностного слоя обычно объединяют в две группы:

1. Геометрические – микрогеометрия, волнистость, шероховатость, субшероховатость, местное отступление от заданной формы;

2. Физико-химические – химический состав, микроструктура, наклеп, остаточные напряжения, микротвердость, электродный потенциал, электрические, магнитные и другие свойства.

Геометрические показатели регламентируются, и это находит отражение в чертежах деталей. Физико-химические и механические свойства деталей так же отражены в ГОСТах. Они определяются структурно-фазовым состоянием вещества, как внутри детали, так и на поверхности. Например, ГОСТ 621-87 задает технические требования на поршневые кольца судовых, тепловозных, промышленных и газовых двигателей. В технических требованиях указывается, из какого чугуна (фаза, химический состав, микроструктура) кольца должны быть изготовлены, их параметры твердости и прочности, признаки качества поверхности со всех сторон, параметры шероховатости, зазоров, геометрия поверхностей [2].

Регистр [3] задает параметры, определяющие правила технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов.

Для упрочнения поверхностного слоя широко применяются следующие технологические методы: создание новых материалов, формирование оптимальных параметров макро- и микроструктуры методом хонингования, лазерная закалка рабочей поверхности, плазменное напыление, гальваническое хромирование, тонкопленочные покрытия различными триботехническими материалами и прочее.

Хонингование поверхностей деталей позволяет удерживать смазку на поверхности, в результате чего улучшается охлаждение нагруженных деталей, минимизируются потери на трение и скорость изнашивания. Иногда, для улучшения этих эффектов, после хонингования применяется еще нанесение антифрикционных покрытий [4].

Результатом лазерной обработки в процессе локального нагрева с регулируемой интенсивностью, является поверхностная закалка чугуна и, как следствие, упрочнение поверхностного слоя. Важным моментом в применении этой технологии является подбор параметров обработки, так как может образоваться упрочненный, но хрупкий слой или отдельные его участки, что может привести к появлению значительных остаточных напряжений, а затем, трещин при работе в нагруженных режимах. Для снижения хрупкости слоя упрочненные участки чередуют с неупрочненными по образующей детали [4].

Одним из приоритетных направлений упрочнения и восстановления деталей машин являются нанотехнологии. Применение наноматериалов и нанотехнологий улучшает физико-механические характеристики, которые зависят от размеров зерен, наличия пор и дефектов. С уменьшением

размеров зерен твердость увеличивается, прочность и пластичность снижаются. Наличие дефектов создает предпосылки для трещин, т.е. снижает пластичность и прочность. Поверхностная пленка, которая образуется на металле, определяет его коррозионную устойчивость в агрессивной среде. Толщина пленок обуславливается видом металла и покрытия, свойствами коррозионной среды, температурой и рядом других факторов. Чтобы нанопокрyтие обладало защитными свойствами, оно должно удовлетворять следующим требованиям: быть сплошным и беспористым, обладать высокой адгезией к металлу, быть химически инертным к агрессивной среде, обладать высокой твердостью и износостойкостью [13, 14].

Общие характеристики особенностей применения и областей применения различных видов покрытий представлены в таблице 2 [5-12].

Из всех существующих методов упрочнения поверхностей и улучшения качества деталей СТС наиболее эффективными в большинстве случаев являются нанопокрyтия, которые защищают судовые конструкции от агрессивной морской среды. Каждое покрытие особенное, и по-своему защищает от разных дефектов и износов. При выборе нанопокрyтия необходимо учитывать условия, в которых будет использоваться деталь или конструкция, а также его защитные свойства. Большинство из применяемых покрытий улучшают износостойкость, приводят к уменьшению коэффициента трения.

Таблица 2 – Основные виды нанопокрyтий и их особенности

Виды покрытий	Область применения	Особенности применения	Характеристики: прочность, стойкость	Экологичность
Ингибиторы контактного типа	Защита сухих отсеков судов от коррозии	Резко снижают скорость коррозии металлов, находящихся в контакте с агрессивной средой.	Образуют защитную пленку, замедляя скорость окислительных реакций металла, либо механически экранирует поверхность металла. Предполагаемый срок защиты не менее 3-х лет.	Консервационные составы не содержат токсичных летучих органических растворителей
Электроугловое напыление металла	Антикоррозийная защита в виде пленки из цинка и свинца,	Сущность электроуглового напыления состоит в расплавлении материала проволоки электрической дугой	Увеличивается срок службы металлоконструкций от 25 до 30 лет в зависимости от агрессивности среды.	Вред экологии не несёт
Электрохимическая защита	Защита конструкций морских судов от коррозии.	Уменьшение скорости электрохимической коррозии металла при контакте с добавочным электродом, являющимся анодом по отношению к корпусным конструкциям судов.	Происходит к почти полному прекращению коррозионного разрушения.	Вред экологии не несет
Биоцидные краски	Защита конструкций морских судов от обрастания вредными организмами корпуса судна.	Повышение биоцидной эффективности состава краски.	Способность отслаиваться в морской среде, тем самым возобновляется биоцидная эффективность.	Имеются токсичные органические вещества, которые опасные для обитателей морей и океанов.
Силиконовые покрытия	Защита подводных поверхностей морских судов от биообрастания.	Уникальная поверхностная химия силиконов, обеспечивает минимальное обрастание биоорганизмами благодаря своей гладкости.	Наслоения легко удаляются механически, часто просто встречной водой.	Не токсичное покрытие.
Нанопокрyтия для упрочнения деталей	Адгезионная защита поверхностей деталей СТС	Позволяет создать наноструктурные защитные пленки пластичного металла на поверхностях трения	Увеличение срока службы деталей, между которыми происходит трение.	Пленка стораёт и выходит в атмосферу вместе с выхлопными газами двигателя.

Применение наноматериалов и нанотехнологий для упрочнения поверхностей деталей многократно улучшают их физико-механические характеристики, зависящие от размеров зерен, нали-

чия пор и дефектов. Классификация консолидированных наноматериалов с учетом физико-технологических характеристик, зависящих от их структуры, включений других материалов, неод-

нородности химического состава на межкристаллитных границах, приводит к кристаллизации в интервале температур, что увеличивает количество разнообразных структур, ведущих к упрочнению материала. Создание новых высокопрочных композиционных материалов на основе нанотрубок, нановолокон, нанодисперсий, нанокристаллов и нанокластеров значительно повышают аналогичные характеристики высокопрочных сталей, имеющих меньшую плотность.

#### Литература

1. Хмелевская, В. Б. Повышение уровня технической эксплуатации судов при использовании новых материалов и технологий упрочнения поверхностей деталей / В. Б. Хмелевская // *Металлообработка*. – 2003. – № 5(17). – С. 33-36. – EDN HYTIXX.
2. ГОСТ 621-87 Кольца поршневые двигателей внутреннего сгорания. Общие технические условия.
3. Регистр Правила технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов (часть IV). НД № 2-020101-130 Правила технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов. Часть IV. Техническое наблюдение за изготовлением изделий (Издание 2021).
4. Леонтьев, Л. Б. Повышение надежности втулок цилиндров судовых дизелей (обзор) / Л. Б. Леонтьев, А. В. Погодаев, А. Л. Леонтьев // *Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета*. – 2018. – № 3(36). – С. 76-93. – DOI 10.5281/zenodo.1408233. – EDN UZCOUI.
5. Пласкеева, Е. И. Защита от коррозии труднодоступных конструкций отсеков судов / Е.И. Пласкеева, В.И. Трусов // *Морские интеллектуальные технологии*. – 2019. – № 3-2(45). – С. 107-110.
6. Трусов, В.И. Новые консервационные составы с безопасным ингибитором коррозии / В. И. Трусов, Р. С. Крымская, Бать Тхи Ми Хьен // *Экспозиция Нефть Газ*. – 2013. – № 6(31). – С. 76-78.
7. Грамузов, Е.М. Анализ технико-экономических показателей защиты корпусных конструкции судов от коррозии / Е. М. Грамузов, А. В. Родькина, О.А. Иванова // *Вестник Волжской государственной академии водного транспорта*. – 2019. – № 60. – С. 77-90.
8. Хасуи А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Моригаки. – М.: Машиностроение, 1985. – 239 с.
9. Триботехнические наноматериалы и надежность судовых дизелей / Л. Б. Леонтьев, Н. П. Шапкин, А. Г. Токликишвили [и др.]. – Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2020. – 277 с. – (Морская техника и транспорт). – ISBN 978-5-7444-4625-3. – EDN TYUMCV.
10. Патент № 2111993 С1 Российская Федерация,

МПК C09D 5/14, C09D 5/16. Состав краски или основы краски, способ повышения биоцидной эффективности состава краски или основы краски: № 92016449/04: заявл. 28.03.1991: опубл. 27.05.1998 / А. Р. Мюррэй.

11. Исследование влияния параметров формирования металлокерамических покрытий на триботехнические свойства сопряжения / Л. Б. Леонтьев, Н. П. Шапкин, А. Л. Леонтьев, А. Г. Токликишвили // *Металлообработка*. – 2012. – № 2(68). – С. 28-30. – EDN RLEYJJ.
12. Сюсюка, Е. Н. Физические основы упрочнения поверхностей деталей судовых технических средств нанесением нанопокровов / Е.Н. Сюсюка, Б.П. Башуров // *Эксплуатация морского транспорта*. – 2017. – № 4(85). – С. 94-97. – EDN YRPIMH.
13. Kondratyev, S. I. A diagnostic system of an intelligent component based on Bayesian accurate inference networks / S. I. Kondratyev, A. I. Epikhin, S. O. Malakhov // *Journal of Physics: Conference Series, Novosibirsk*, 12–14 мая 2021 года. – Novosibirsk, 2021. – P. 012022. – DOI 10.1088/1742-6596/2032/1/012022. – EDN VGBGQW.
14. Епихин А.И., Хекерт Е.В., Каракаев А.Б., Модина М.А. Особенности построения прогностической нейро-фаззи сети // *Морские интеллектуальные технологии*. 2020. № 4-4 (50). С. 13-17.

#### References

1. Hmelevskaya, V. B. Povyshenie urovnya tekhnicheskoy ekspluatatsii sudov pri ispol'zovanii novyh materialov i tekhnologij uprochneniya poverhnoyey detalej / V. B. Hmelevskaya // *Metalloobrabotka*. – 2003. – № 5(17). – S. 33-36. – EDN HYTIXX.
2. GOST 621-87 Kol'ca porshnevye dvigatelej vnutrennego sgoraniya. Obshchie tekhnicheskie usloviya.
3. Registr Pravila tekhnicheskogo nablyudeniya za postrojkoj sudov i izgotovleniem materialov i izdelij dlya sudov (chast' IV). ND № 2-020101-130 Pravila tekhnicheskogo nablyudeniya za postrojkoj sudov i izgotovleniem materialov i izdelij dlya sudov. CHast' IV. Tekhnicheskoe nablyudenie za izgotovleniem izdelij (Izdanie 2021).
4. Leont'ev, L. B. Povyshenie nadezhnosti vtulok cilindrov sudovyh dizelej (obzor) / L. B. Leont'ev, A. V. Pogodaev, A. L. Leont'ev // *Vestnik Inzhenernoj shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta*. – 2018. – № 3(36). – S. 76-93. – DOI 10.5281/zenodo.1408233. – EDN UZCOUI.
5. Plaskeeva, E. I. Zashchita ot korrozii trudno dostupnykh konstrukcij otsekov sudov / E. I. Plaskeeva, V. I. Trusov // *Morskie intellektual'nye tekhnologii*. – 2019. – № 3-2(45). – S. 107-110.
6. Trusov, V. I. Novye konservacionnye sostavy s bezopasnym ingibitorom korrozii / V. I. Trusov, R. S. Krymskaya, Bat' Thi Mi H'en // *Ekspoziciya Neft' Gaz*. – 2013. – № 6(31). – S. 76-78.

7. Gramuzov, E. M. Analiz tekhniko-ekonomicheskikh pokazatelej zashchity korpusnyh konstrukcii sudov ot korrozii / E. M. Gramuzov, A. V. Rod'kina, O. A. Ivanova // Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta. – 2019. – № 60. – S. 77-90.
8. Hasui A. Naplavka i napylenie / A. Hasui, O. Morigaki. – M.: Mashinostroenie, 1985. – 239 s.
9. Tribotekhnicheskie nanomaterialy i nadezhnost' sudovyh dizelej / L. B. Leont'ev, N. P. SHapkin, A. G. Toklikishvili [i dr.]. – Vladivostok: Dal'nevostochnyj federal'nyj universitet, 2020. – 277 s. – (Morskaya tekhnika i transport). – ISBN 978-5-7444-4625-3. – EDN TIYMCV.
10. Patent № 2111993 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK C09D 5/14, C09D 5/16. Sostav kraski ili osnovy kraski, sposob povysheniya biocidnoj effektivnosti sostava kraski ili osnovy kraski: № 92016449/04: zayavl. 28.03.1991: opubl. 27.05.1998 / A. R. Myurrej.
11. Issledovanie vliyaniya parametrov formirovaniya metallokeramicheskikh pokrytij na tribotekhnicheskie svoystva sopryazheniya / L. B. Leont'ev, N. P. SHapkin, A. L. Leont'ev, A. G. Toklikishvili // Metalloobrabotka. – 2012. – № 2(68). – S. 28-30. – EDN RLEYJJ.
12. Syusyuka, E. N. Fizicheskie osnovy uprochneniya poverhnostej detalej sudovyh tekhnicheskikh sredstv naneseniem nanopokrytij / E. N. Syusyuka, B. P. Bashurov // Eksploataciya morskogo transporta. – 2017. – № 4(85). – S. 94-97. – EDN YRPIMH.
13. Kondratyev, S. I. A diagnostic system of an intelligent component based on Bayesian accurate inference networks / S. I. Kondratyev, A. I. Epikhin, S. O. Malakhov // Journal of Physics: Conference Series, Novosibirsk, 12–14 maya 2021 goda. – Novosibirsk, 2021. – P. 012022. – DOI 10.1088/1742-6596/2032/1/012022. – EDN VGBGQW.
14. Epihin A.I., Hekert E.V., Karakaev A.B., Modina M.A. Osobennosti postroeniya prognosticheskoy nejro-fazzi seti // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2020. № 4-4 (50). S. 13-17.

УДК 504.3.054: 621.43.068.4

DOI: 10.34046/aumsuomt105/27

## СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА СУДОВЫМИ ДИЗЕЛЬНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ ОПТИМИЗАЦИЕЙ ПАРАМЕТРОВ ПОДАЧИ И СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА

*Г.В. Игнатенко, старший преподаватель*

*В.А. Туркин, доктор технических наук, профессор*

*О.В. Свидерская, PhD in mechanical engineering (Belarus)*

*В.В. Беляев, аспирант*

*С.С. Зубко, аспирант*

Выполнено моделирование рабочих процессов судового дизельного двигателя MAN D&T серии MC с целью снижения выбросов диоксида углерода с отработавшими газами. Целью моделирования был поиск конструктивных и эксплуатационных решений, влияющих на эмиссию CO<sub>2</sub>. При выполнении расчетного исследования использовалась математическая модель комбинированного двигателя внутреннего сгорания, реализованная в компьютерной программе ДИЗЕЛЬ-РК. В качестве исследуемых переменных приняты степень сжатия, угол опережения и продолжительность впрыска топлива, значения которых можно устанавливать без внесения существенных изменений в конструкцию двигателя. Получены математические модели в виде уравнений регрессии, описывающие влияние исследуемых параметров подачи топлива (степень сжатия, угол опережения впрыска топлива и продолжительность впрыска топлива) на целевые функции – удельный выброс диоксида углерода и эффективная мощность дизельного двигателя 6S60MC. Для определения коэффициентов уравнения регрессии реализовано планирование полного факторного эксперимента второго порядка. С целью поиска минимального значения выбросов диоксида углерода, используя метод обобщенного приведенного градиента, решена задача выбора оптимальных значений степени сжатия, продолжительности впрыска топлива и угла опережения впрыска топлива для заданной эффективной мощности судового дизельного двигателя 6S60MC. Показано, что, например, при мощности двигателя 10000 кВт снижение выбросов диоксида углерода за счет оптимизации указанных параметров топливоподачи будет равно 7,37 %.

**Ключевые слова:** судовый дизельный двигатель, отработавшие газы, диоксид углерода, параметры подачи и сжигания топлива, оптимизация

## REDUCING CARBON DIOXIDE EMISSIONS FROM MARINE DIESEL ENGINES BY OPTIMIZING FUEL SUPPLY AND COMBUSTION

*G.V. Ignatenko, V.A. Turkin, O.V. Sviderskaya, V.V. Belyaev, S.S. Zubko*

The simulation of the working processes of the MAN D&T MC series marine diesel engine was carried out in order to reduce carbon dioxide emissions with exhaust gases. The purpose of the simulation was to find design and operational solutions that affect CO<sub>2</sub> emissions. When performing a computational study, a mathematical model of a combined internal combustion engine implemented in the DIESEL-RK computer program was used.