

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И МАШИННО-ДВИЖИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

SHIP POWER PLANTS AND PROPULSION SYSTEMS

Научная статья

УДК 629.5.035

<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2025-2-93-99>

EDN HEGQAC

Анализ причин повреждений рамовых подшипников и коленчатого вала дизель-генератора фирмы Caterpillar 3412

Сергей Витальевич Пастухов, Анатолий Николаевич Соболенко[✉]

Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского,

Владивосток, Россия, sobolenko_a@mail.ru[✉]

Аннотация. Приводятся результаты анализа причин повреждений рамовых подшипников судового дизеля Caterpillar 3412, используемого в составе вспомогательного дизель-генератора (ВДГ). При попытках экипажа судна QUARTZ осуществить запуск в параллельную работу ВДГ № 1 и № 3 (после замены их регуляторов частоты вращения коленчатого вала дизеля (актуаторов)) произошла аварийная остановка ВДГ № 1. При разборке дизеля было обнаружено повреждение рамового подшипника № 4 и соответствующая ему рамовая шейка коленвала. Блок цилиндров в районе рамовой шейки № 4 имел характерный белый налет, что свидетельствовало о локальном перегреве. Специалистами судовладельца была установлена основная причина описанных полученных повреждений – нарушение условий смазки узла рамового подшипника № 4 коленчатого вала. Рассмотрены следующие возможные исходные причины возникновения повреждения: использование марки синтетического масла, не соответствующего инструкции по эксплуатации дизеля или имеющего характеристики, не удовлетворяющие нормам качества; эксплуатация дизеля при недопустимом низком или высоком уровне масла в картере; некачественно проведенный ремонт дизеля; нарушение правил технической эксплуатации дизеля судовыми механиками, а также другие причины. Применяется индукция научно-практических знаний в области эксплуатации и ремонта судовых дизелей, инструкции по эксплуатации двигателей Caterpillar 3412; собственные исследования авторов; данные статистики повреждений и отказов коленчатых валов судовых дизелей. Определена наиболее вероятная причина повреждения, которая заключается в сочетании следующих факторов: неоднократные пуски дизеля с нарушением процедуры запуска с превышением частоты вращения коленчатого вала и не соответствующее качество и количество масла в картере дизеля. Исследование имеет практический характер, и его результаты могут быть использованы для ознакомления судовых механиков и специалистов в области эксплуатации высокооборотных судовых дизель-генераторов.

Ключевые слова: судовой дизель-генератор, повреждение рамовых подшипников, повреждение коленчатого вала, дизель фирмы Caterpillar, низкое качество синтетического масла, уровень масла в картере дизеля

Для цитирования: Пастухов С. В., Соболенко А. Н. Анализ причин повреждений рамовых подшипников и коленчатого вала дизель-генератора фирмы Caterpillar 3412 // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2025. № 2. С. 93–99. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2025-2-93-99>. EDN HEGQAC.

Original article

Analysis of the causes of damage to frame bearings and crankshaft of Caterpillar 3412 diesel-generator

Sergey V. Pastukhov, Anatoly N. Sobolenko[✉]

*Maritime State University named after admiral G. I. Nevelskoy,
Vladivostok, Russia, sobolenko_a@mail.ru[✉]*

Abstract. The results of the analysis of the causes of damage to the frame bearings of the Caterpillar 3412 marine diesel engine used as part of an auxiliary diesel generator (ADG) are presented. During attempts by the crew of the QUARTZ vessel to launch the parallel operation of ADG No. 1 and No. 3 (after replacing their diesel crankshaft speed regulators (actuators)) there was an emergency stop of the ADG No. 1. When disassembling the diesel engine, damage was found to the frame bearing No. 4 and the corresponding frame neck of the crankshaft. The cylinder block in the area of the frame neck No. 4 had a characteristic white coating, which indicated local overheating. The ship-owner's specialists identified the main cause of the described injuries - a violation of the lubrication conditions of the crankshaft frame bearing assembly No. 4. The following possible initial causes of damage are considered: the use of a brand of lubricating oil that does not comply with the diesel operating instructions or has characteristics that do not meet quality standards; diesel operation with an unacceptably low or high oil level in the crankcase; poorly performed diesel repairs; violation of the rules of technical operation of diesel by heavy mechanics, as well as other reasons. The induction of scientific and practical knowledge in the field of operation and repair of marine diesels, Caterpillar 3412 engine operating instructions, authors' own research, and statistics on damage and failures of marine diesel crankshafts is applied. The most probable cause of the damage has been determined, which consists in a combination of the following factors: multiple starts of the diesel engine with a violation of the start procedure with an excess of the crankshaft speed and an inappropriate quality and quantity of oil in the crankcase of the diesel engine. The research is of a practical nature, and its results can be used to familiarize ship mechanics and specialists in the field of operation of high-speed marine diesel generators.

Keywords: marine diesel generator, causes of frame bearing damage, causes of crankshaft damage, Caterpillar diesel, low quality lubricating oil, diesel crankcase oil level below normal, diesel crankcase oil level above normal

For citation: Pastukhov S. V., Sobolenko A. N. Analysis of the causes of damage to frame bearings and crankshaft of Caterpillar 3412 diesel-generator. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies.* 2025;2:93-99. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2025-2-93-99>. EDN HEGQAC.

Введение

Повреждение рамовых и шатунных подшипников при эксплуатации является характерным дефектом для среднеоборотных и высокооборотных судовых дизелей [1–4]. Объектом настоящего исследования являются рамовые подшипники дизеля Caterpillar 3412, установленного на судне QUARTZ. Конструкция дизелей этой серии была разработана компанией Caterpillar Tractor Co (США) в 1974 г. Основная область их применения – транспортная, строительная и специальная техника, а на флоте они используются для привода генераторов переменного электрического тока.

Политика компании Caterpillar по техобслуживанию и ремонтам дизелей собственного производства основывается на предоставлении пользователям полноценной технической документации, в том числе по плановым и аварийным ремонтам. Фирма рекомендует выполнять ремонт своей техники только в специализированных компаниях, имеющих одобрение Caterpillar, что позволяет сохранить высокое качество техники, но приводит к зависимо-

сти потребителей как от поставок запасных частей, так и высоких цен. Поэтому в практике имеются случаи ремонта дизелей Caterpillar в несертифицированных центрах, что повышает риск некачественного ремонта.

Хронология аварийного повреждения судового дизеля Caterpillar серии 3412 на судне QUARTZ

При попытках экипажа судна QUARTZ осуществить запуск в параллельную работу вспомогательных дизель-генераторов (ВДГ) № 1 и № 3 (после замены их регуляторов частоты вращения коленчатого вала дизеля (актуаторов)) произошла аварийная остановка ВДГ № 1. При разборке дизеля было обнаружено повреждение рамового подшипника № 4 и соответствующая ему рамовая шейка коленвала. Блок цилиндров в районе рамовой шейки № 4 имел характерный белый налет, что свидетельствовало о локальном перегреве. Специалистами судовладельца корректно была указана основная причина повреждения – нарушение условий

смазки узла рамового подшипника № 4.

Анализ возможных причин повреждения рамового подшипника и коленвала

Далее рассматриваются возможные причины описанного повреждения судового дизеля. На первоначальном этапе они рассматриваются в произвольном порядке с анализом вероятности и степени влияния причины на возникновение аварийной ситуации.

Причина № 1. Использование марки масла, не соответствующей требованиям фирмы *Caterpillar* для использования в дизеле серии 3412.

Компания *Caterpillar* практически во всех своих инструкциях по эксплуатации дизелей [5–7] настоятельно рекомендует использовать фирменные масла собственного производства. В качестве примера в таблице приведены рекомендации по щелочному числу для моторных масел фирмы *Caterpillar*.

Рекомендации по щелочному числу для масел, используемых в двигателях фирмы *Caterpillar*

Recommendations on the base number for oils used in Caterpillar engines

Уровень содержания серы в топливе (частей на миллион)	Моторные масла Cat	Щелочное число моторных масел
Более 0,1 % (более 1 000)	Cat DEO	Минимум 10

С одной стороны, причина такой рекомендации, как утверждает фирма *Caterpillar*, заключается в том, что моторные масла производства *Caterpillar* разработаны именно для эксплуатации этих дизелей. Однако запрета на использование масел других производителей нет. Но в отличие от других производителей дизелей фирма *Caterpillar* обычно не указывает марки применимых масел других производителей. С другой стороны, упоминается классификация масла по стандартам API (American Petroleum Institute). На момент серийного выпуска дизелей 3412 (рис. 1), согласно документу [7], для дизелей серии 3400 должно было применяться масло стандарта API CF4.

и лицензирован как API CI-4/SL-(SAE 15W-40) со щелочным числом 10,8. Таким образом, этот сорт масла удовлетворяет существующим современным стандартам от *Caterpillar* по применимости для дизелей типа 3412. В итоге вероятность повреждения дизеля по причине использования смазочного масла, не соответствующего требованиям фирмы-производителя, считаем очень незначительной.

Причина № 2. Использование смазочного масла с характеристиками, не удовлетворяющими нормам качества.

Параметры, характеризующие качество рабочего смазочного масла, крайне важны. В инструкции по эксплуатации дизелей *Caterpillar* 3412 обычно не указываются точные сроки замены масел, а также рекомендованные интервалы по анализу проб масла на проверку соответствия его характеристикам нормам. В то же время фирма *Caterpillar* рекомендует потребителям подключиться к системе S.O.S Services – комплексной программе, предназначенной для сбора статистических данных и формирования рекомендаций по эксплуатации оборудования для повышения его надежности. Одной из важных процедур для этого является проведение регулярных анализов качества масла и охлаждающей жидкости с долговременным хранением и анализ результатов изменения характеристик по времени. Необходимо отметить, что из Дальневосточного региона подключиться к этому сервису сложно, но организовать аналогичный сбор данных на базе местных лабораторий вполне возможно. Анализ и сравнение данных допускается проводить самостоятельно либо по договору с лабораторией, имеющей компетенции в данной области. Результаты анализа характеристик масел (представленные судовладельцем), используемых для ВДГ № 1, свидетельствуют о его низком качестве.

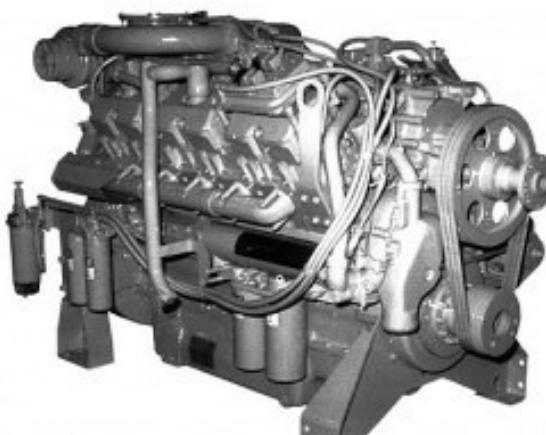


Рис. 1. Общий вид дизеля *Caterpillar* серии 3412

Fig. 1. General view of Caterpillar 3412 series diesel engine

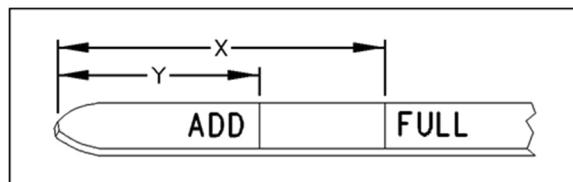
В соответствии с информацией от судовладельца на судне для ВДГ используется масло «Лукойл Авангард Ультра API CI-4/SL». Согласно описанию данного сорта масла [8], этот продукт одобрен

Расчет величины наработки до замены масла показал, что она составляет от 748 до 856 ч, что превышает рекомендуемый фирмой-производителем Caterpillar период в 500 ч. Установлено, что фирма Caterpillar и не указывает точный интервал по замене масла, однако в документе Optimizing Oil Change Intervals указано следующее: «...рекомендуется осторожно выходить за пределы рекомендованного производителем периода замены масла с шагом в 50 часов. Во-первых, необходимо определить, что скорость износа и состояние масла удовлетворительны при интервалах в 250 часов. Затем можно увеличить рекомендуемый период с 250 до 300 часов. Необходимо выдерживать 300-часовой период между несколькими измерениями и внимательно следить за результатами S.O.S в сравнении с образцами...». Далее указано: «...предлагается не продлевать для двигателей рекомендуемый интервал замены масла 500 часов. В некоторых случаях есть необходимость сократить интервал с 500 часов до более частого графика...» [6, с. 6]. Принимая во внимание имеющееся недавнее повреждение этого же двигателя и его ремонт с заменой распределителя, устанавливать интервал замены масла в 500 ч, на наш взгляд, было нецелесообразно. Не следует исключать и вероятность попадания топлива в моторное масло, что приводит к изменению вязкости и ухудшению смазочных свойств масла, а соответственно, снижению давления в системе смазки. Таким образом, можно сделать вывод о том, что вероятность повреждения дизеля по причине работы на некачественном масле очень высокая.

Причина № 3. Работа с недопустимо низким или высоким уровнем масла в картере дизеля.

Следует отметить, что признаки неисправной работы дизеля, описанные в рапортах членов экипажа и групповых механиков, очень схожи со случаями, когда дизель эксплуатируется при недопустимо низком или высоком уровне масла в картере, что приводит к периодическому снижению давления в системе. Происходит срабатывание аварийно-предупредительной сигнализации и защиты двигателя по минимальному давлению масла. В описываемом исследовании случае аварийная защита по низкому давлению масла срабатывала несколько раз за короткий промежуток времени, непосредственно перед возникновением аварийной ситуации. Кроме того, у данной серии двигателей при эксплуатации аналогичная ситуация может произойти при высоком уровне масла, что является их конструктивной особенностью. Предупреждение о риске возникновения подобных ситуаций приводится в документе Operation & Maintenance Manual (SEBU6497-07-01). 3408C, 3412, 3412C and 3412D HIGH PERFORMANCE MARINE ENGINES. Maintenance Intervals [5].

Характерные отметки на щупе для контроля уровня масла представлены на рис. 2.



Y – метка «ADD» – «ДОБАВИТЬ»
X – отметка «FULL» – «ПОЛНЫЙ»

Рис. 2. Характерные отметки на щупе для контроля уровня масла

Fig. 2. Characteristic marks on the dipstick for oil level control

Согласно инструкции по эксплуатации дизеля, «...необходимо поддерживать уровень масла в картере между отметками «ДОБАВИТЬ» (Y) и «ПОЛНЫЙ» (X), расположенными на указателе уровня масла. Не заполняйте картер выше отметки «ПОЛНЫЙ» (X). Эксплуатация двигателя при уровне масла выше отметки «FULL» может привести к погружению коленчатого вала в масло. Пузырьки воздуха, образующиеся при погружении в масло, врашающегося с высокой частотой вращения коленчатого вала вспенивают масло и ухудшают его смазывающие свойства, что может привести к снижению давления масла в системе. Проверяйте уровень масла после остановки двигателя. Эта процедура технического обслуживания должна выполняться на ровном киле и без крена судна (насколько это возможно). Крен и дифферент также могут спровоцировать вспенивание масла...» [5, с. 30].

Подтверждением вероятности данной причины повреждения дизеля является и отмеченная при эксплуатации работа регулятора частоты вращения с нарушениями. Дизели данной серии могут комплектоваться как электронными регуляторами, так и «традиционными» механико-гидравлическими регуляторами частоты вращения фирмы Woodward. Установлено, что рассматриваемый дизель оснащен именно гидравлическим регулятором частоты вращения (актуатор). При этом обеспечение маслом регулятора осуществляется из картера дизеля посредством масляного шестеренчатого насоса, входящего в состав регулятора. При недостаточном количестве масла или при его вспенивании данный масляный насос не создает давление, необходимое для перемещения топливной рейки. Таким образом, вероятность повреждения дизеля по указанной причине можно оценить как среднюю.

Причина № 4. Повреждения вследствие скрытых дефектов или некачественных предшествующих ремонтов.

По имеющейся информации, капитальный ремонт дизеля производился в марте 2021 г. в Южной Корее. Ремонт производился не в авторизованном центре Caterpillar, а представителями компании SUNJIN. Это судоремонтное предприятие, работающее в основном с рыболовецкими судами из России. Наработка двигателя после этого ремонта составила 5 743 ч. Так как двигатель типа 3400 высокооборотный ($n = 1\ 800 \text{ мин}^{-1}$), то даже при минимальных деформациях коленвала выводят из строя рамовые и шатунные подшипники в течение короткого времени – за несколько минут после запуска двигателя. Учитывая большую наработку дизеля (5 743 ч), можно исключить наличие деформаций коленчатого вала, возникнувших вследствие его некачественного ремонта.

Отдельно следует рассмотреть ситуацию после ремонта в июле 2022 г., произведенного по причине аварии из-за разрушения толкателя цилиндра № 5, во время которой были погнуты штанги, получили смещение коромысла открытия клапанов и был поврежден распределитель. При ремонте вышедшие из строя детали были заменены, но во время этого ремонта коленвал не осматривался и его подшипники не вскрывались. Вероятно, у судовладельца были достаточно серьезные причины так поступить, поскольку отсутствие проверки технического состояния коленвала на высокооборотном двигателе при подобном повреждении – это крайне большой риск проявления последствий дефекта при дальнейшей эксплуатации. Так как отказ дизеля не произошел за первые часы эксплуатации после ремонта по причинам, описанным выше, то считаем, что коленвал и его подшипники после повреждения распределителя были в исправном состоянии. Таким образом, вероятность повреждения дизеля по вышеуказанной причине весьма низкая.

Причина № 5. *Повреждения вследствие нарушения правил технической эксплуатации и технологии ремонта при замене актуатора (регулятора частоты вращения).*

Процедура замены регулятора частоты вращения на дизель-генераторах и главных двигателях требует полного соответствия технологии ремонта и правил технической эксплуатации. Имеется высокая вероятность неверной установки тяги и рычага между выходным валом регулятора и топливной рейкой (или топливным насосом высокого давления – в зависимости от конструкции), что требует соблюдения процедуры монтажа и последующей проверки углов перемещения рычагов [5]. Точной информации о фактах подобных нарушений на дизелях Caterpillar нет, но практический опыт показывает, что аналогичные случаи происходили на дизелях MAN с частотой вращения $1\ 000 \text{ мин}^{-1}$ и SKL MOTOR типа NVD с частотой

вращения менее $1\ 000 \text{ мин}^{-1}$. Согласно имеющейся у авторов документации, защита от «разноса» дизеля по заводской уставке должна срабатывать при превышении частоты вращения коленчатого вала на 18 % сверх номинальной, т. е. при $n = 2\ 124 \text{ мин}^{-1}$. Таким образом, можно сделать вывод о том, что вероятность повреждения дизеля по причине «разноса» дизеля или на повышенных оборотах после замены актуатора очень высокая.

Причина № 6. *Повреждения из-за отказа масляного насоса дизеля.*

При эксплуатации дизеля, как отмечалось ранее, периодически происходило срабатывание сигнализаций и защит по давлению масла, которое обеспечивается навешенным масляным насосом. Согласно результатам внешнего осмотра, было установлено, что его техническое состояние можно оценить как удовлетворительное. При эксплуатации масляного насоса имеется риск захвата воздуха на линии всасывания, что приводит к быстрому вспениванию масла и подачи его на подшипники в виде не гомогенного масляного потока, а стойкой масловоздушной смеси, которая имеет ухудшенные смазывающие свойства и оказывает влияние на правильность работы регулятора частоты вращения, о чем написано выше. Данное явление можно диагностировать по плавным изменениям давления масла. В аварийных случаях давление масла может пульсировать и изменяться в достаточно широком диапазоне, что требует немедленной остановки дизеля и поиска причины. Отверстие для поступления воздуха не должно быть большим и должно находиться именно на всасывающей части насоса. Таким образом, можно сделать вывод о том, что вероятность повреждения дизеля по вышеуказанной причине средняя.

Причина № 7. *Комбинация вышеперечисленных причин.*

Комбинация вышеперечисленных причин является вполне возможным вариантом, особенно в таком сочетании, как ухудшение качества масла и неоднократное превышение частоты вращения коленчатого вала при пуске дизеля. Весьма вероятен вариант с недопустимым низким или высоким уровнем масла, неправильным монтажом регулятора частоты вращения и последующие запуски дизеля со срабатыванием защит по превышению частоты вращения.

Заключение

На основе проведенного авторами анализа можно сделать заключение – наиболее вероятными причинами повреждения судового дизеля Caterpillar 3412 является комбинация следующих факторов:

- неоднократные запуски дизеля со срабатыванием защит по превышению оборотов;

- низкое качество смазочного масла;
— недопустимо высокий или низкий уровень масла в картере дизеля.

Вероятность повреждения дизеля по причине работы на недопустимо повышенной частоте вращения после замены актуатора также очень высокая.

Остальные предполагаемые причины выстроены по мере снижения вероятности и могут быть связаны с повреждениями:

- некорректная работа масляного насоса ВДГ;
- последствия или скрытые дефекты предыдущих некачественных ремонтов;
- некорректный выбор масла для ВДГ.

Для предотвращения подобных ситуаций рекомендуется:

1. Произвести проверку и откорректировать процедуру по контролю замен масла в дизелях. Не следует усложнять и объединять отчетность в группы. В системе электронной отчетности раздел «Замена масла» не должен объединяться с разделами «ТО 250 часов» или «Замена масляных фильтров», «Замена топливных фильтров».

2. Провести внутренний анализ и установить рекомендованные интервалы по замене масел в ВДГ.

3. Аналогично провести проверку и откорректировать процедуру по своевременному анализу проб масла из ВДГ. Пробы масла должны отбираться из картера работающего дизеля в соответствии с [4, 6]. Особое внимание следует уделять качеству и полноте заполнения заявок на анализы качества масел. На каждой пробе должны быть корректно указаны объекты отбора пробы, наработка механизма и наработка масла. Марка масла

должна указываться полностью в соответствии со спецификацией.

4. В документах фирмы Caterpillar анализу охлаждающей жидкости придается больше внимания, чем анализам масла [5, 7]. В эксплуатационных документах судовладельца про анализы охлаждающей жидкости нет никаких упоминаний. Дизель Caterpillar 3412 обладает повышенной теплонапряженностью, и нарушение локальных условий охлаждения может привести к дорогостоящему ремонту.

5. У дизелей фирмы Caterpillar нет жестких временных границ между моточистками. Есть упоминание про 10 000 ч, но одновременно есть информация о критериях, по которым можно определить необходимость ее проведения. Данные критерии достаточно просты – повышенный расход масла при работе дизеля и увеличенный удельный расход топлива по сравнению с номинальными значениями, приведенными в паспорте.

6. Для контроля расхода масла требуется аккуратность и своевременное фиксирование объемов долива. Для контроля удельного расхода топлива необходимо установить устройство, способное отслеживать весовой расход на каждом ВДГ в режиме реального времени с одновременным мониторингом мощности, вырабатываемой каждым ВДГ. Дополнительно необходим блок накопления данных и способ их передачи в техническую службу судовладельца компании, и подобные технические решения на рынке уже имеются [9]. Известно, что в настоящее время на двух судах, в том числе на ВДГ производства Caterpillar, были установлены электронные системы «умного контроля»: SSV – ShipSmartView.

Список источников

1. Маницын В. В., Соболенко А. Н. Анализ повреждений рамовых подшипников двигателей 8NVD48A-2U на промысловых судах // Вестн. Гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова. 2016. Вып. 6 (40). С. 150–155.
 2. Гомзяков М. В., Соболенко А. Н., Огай С. А. Анализ причин отказа судового дизеля ZGODA-SULZER 6ZA 40S в эксплуатации // Вестн. Инженер. шк. Дальневост. федерал. ун-та. 2023. Вып. 3 (56). С. 70–77.
 3. Соболенко А. Н., Маницын В. В. Влияние человеческого фактора на качество ремонта и надежность работы тонкостенных подшипников дизеля // Вестн. Мор. гос. ун-та. Сер.: Судостроение и судоремонт. 2018. Вып. 83. С. 35–39.
 4. Соболенко А. Н. Исследование причин повреждений рамовых подшипников при вибрации и деформации упругих систем фундаментных рам ВДГ // Науч. тр. Дальрыбвтуза. 2015. Т. 35. С. 97–103.
 5. Operation & Maintenance Manual (SEBU6497-07-01).
- 3408C, 3412, 3412C and 3412D HIGH PERFORMANCE MARINE ENGINES. Maintenance Intervals. Caterpillar, 2007. 40 p.
6. Cat® DEO™ Diesel Engine Oil SAE 15W-40. Caterpillar, printed in USA, 2007. 2 p.
7. SEBU7125-13. Operational and Maintenance Manual. 3412C Generator Set. Caterpillar, 2016. 162 p.
8. Лукойл Авангард Ультра API CI-4/SL. URL: https://static-eu.insales.ru/files/1/124/1556604/original/TDS_AVANGARD_ULTRA_v.1_28.08.2014_rus.pdf (дата обращения: 02.02.2025).
9. Соболенко А. Н., Пастухов С. В. Влияние дефектов распылителя форсунки на расход топлива и контроль топливной аппаратуры на современном уровне // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2023. № 3. С. 56–64. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2023-3-56-64>.

References

1. Manitsyn V. V., Sobolenko A. N. Analiz povrezhdenii ramovykh podshipnikov dvigatelei 8NVD48A-2U na promyslovykh sudakh [Damage analysis of 8NVD48A-2U engine frame bearings on fishing vessels]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*, 2016, iss. 6 (40), pp. 150-155.
2. Gomziakov M. V., Sobolenko A. N., Ogai S. A. Analiz prichin otkaza sudovogo dizelia ZGODA-SULZER 6ZA 40S v ekspluatatsii [Analysis of the causes of failure of the ZGODA-SULZER 6ZA40S marine diesel engine in operation]. *Vestnik Inzhenernoi shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta*, 2023, iss. 3 (56), pp. 70-77.
3. Sobolenko A. N., Manitsyn V. V. Vliyanie che-lovecheskogo faktora na kachestvo remonta i nadezhnost' raboty tonkostennnykh podshipnikov dizelia [The influence of the human factor on the repair quality and reliability of thin-walled diesel bearings]. *Vestnik Morskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sudostroenie i sudoremont*, 2018, iss. 83, pp. 35-39.
4. Sobolenko A. N. Issledovanie prichin povrezhdenii ramovykh podshipnikov pri vibratsii i deformatsii uprugikh sistem fundamentnykh ram VDG [Investigation of the causes of damage to frame bearings during vibration and deformation of elastic systems of EDG foundation frames]. *Nauchnye trudy Dal'rybvtuza*, 2015, vol. 35, pp. 97-103.
5. Operation & Maintenance Manual (SEBU6497-07-01). 3408C, 3412, 3412C and 3412D HIGH PERFORMANCE MARINE ENGINES. Maintenance Intervals. Caterpillar, 2007. 40 p.
6. Cat® DEO™ Diesel Engine Oil SAE 15W-40. Caterpillar, printed in USA, 2007. 2 p.
7. SEBU7125-13. Operational and Maintenance Manual. 3412C Generator Set. Caterpillar, 2016. 162 p.
8. Lukoil Avangard Ul'tra API CI-4/SL. Available at: https://static-eu.insales.ru/files/1/124/1556604/original/TDS_AVANGARD_ULTRA_v.1_28.08.2014_rus.pdf (accessed: 02.02.2025).
9. Sobolenko A. N., Pastukhov S. V. Vliyanie defektov raspylitelia forsunki na raskhod topliva i kontrol' toplivnoi apparatury na sovremennom urovne [The effect of defects in the spray nozzle on fuel consumption and control of fuel equipment at a modern level]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaia tekhnika i tekhnologii*, 2023, no. 3, pp. 56-64. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2023-3-56-64>.

Статья поступила в редакцию 12.02.2025; одобрена после рецензирования 06.05.2025; принята к публикации 22.05.2025
The article was submitted 12.02.2025; approved after reviewing 06.05.2025; accepted for publication 22.05.2025

Информация об авторах / Information about the authors

Сергей Витальевич Пастухов – аспирант кафедры судовых двигателей внутреннего сгорания; инструктор-преподаватель; Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского; sklav56@mail.ru

Sergey V. Pastukhov – Postgraduate Student of the Department of Marine Internal Combustion Engines; Instructor-teacher; Maritime State University named after admiral G. I. Nevelskoy; sklav56@mail.ru

Anatolij Nikolaevic Sobolenko – доктор технических наук, профессор; профессор кафедры судовых двигателей внутреннего сгорания; Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского; sobolenko_a@mail.ru

Anatoly N. Sobolenko – Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Marine Internal Combustion Engines; Maritime State University named after admiral G. I. Nevelskoy; sobolenko_a@mail.ru

