

Судовые энергетические установки и их элементы

Научная статья

УДК 621.43.013: 629.3

DOI: <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2023-3/70-77>

М.В. Гомзяков, А.Н. Соболенко, С.А. Огай

ГОМЗЯКОВ МИХАИЛ ВЛАДИМИРОВИЧ – к.т.н., доцент, migvladd@bk.ru

*Межрегиональное территориальное управление Ространснадзора
по Дальневосточному федеральному округу*

СОБОЛЕНКО АНАТОЛИЙ НИКОЛАЕВИЧ – д.т.н., профессор, sobolenko_a@mail.ru

Кафедра судовых двигателей внутреннего сгорания

ОГАЙ СЕРГЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ – д.т.н., доцент, ogay@msun.ru

Кафедра теории и устройства судна

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского

Владивосток, Россия

Анализ причин отказа судового дизеля ZGODA-SULZER 6ZA 40S в эксплуатации

Аннотация. Объектом исследования является обслуживание и ремонт энергетической установки рыболовного судна, предметом – обстоятельства отказа главного двигателя. Цель работы заключается в установлении предпосылок и причин отказа судового дизеля Zgoda-Sulzer 6ZA 40S. Анализ установленных фактов, ставших причиной аварии главной силовой установки (ГСУ), может послужить надежным фундаментом для выработки превентивных профилактических мер по повышению безопасности мореплавания посредством апостериорного анализа сведений о происшествии на море. Источниками данных послужили сведения ведомственных информационных ресурсов, заключения специалистов по расследованию аварийного случая (АС), сообщения членов экипажа, мнения экспертов, научно-техническая информация, посвященная анализу эксплуатационной части жизненного цикла судовых энергетических установок (СЭУ), а также результаты личных исследований в указанной области. Установлена совокупность дисфункций берегового персонала и экипажа рыболовного судна, ставших причиной аварийного случая. Термин «дисфункция» в рамках настоящей работы эквивалентен понятию «неисполнение предписанной функции или ее некорректное осуществление», синонимичный английским понятиям «dysfunction», «malfunction». Повышение культуры безопасности эксплуатации и качества человеческого фактора способствуют минимизации некорректного обслуживания судового оборудования. Наличие и развитие скрытых эксплуатационных дефектов, не выявленных судовой технической службой до момента возникновения критических изменений, явилось основной причиной отказа главного двигателя (ГД).

Ключевые слова: судовый дизель, главная силовая установка, дисфункция, человеческий фактор, эргатический элемент

Для цитирования: Гомзяков М.В., Соболенко А.Н., Огай С.А. Анализ причин отказа судового дизеля ZGODA-SULZER 6ZA 40S в эксплуатации // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2023. № 3(56). С. 70–77.

Введение

Стремление к извлечению максимальной коммерческой выгоды при осуществлении грузоперевозок морским транспортом нередко сопровождается снижением затрат на поддержание

эксплуатационной надежности судового энергетического оборудования. Данное обстоятельство создает предпосылки для возникновения ситуаций, при которых судовые технические средства (СТС) обслуживаются или эксплуатируются с нарушением нормативных требований, включающих международные стандарты, отечественные нормативно-правовые акты, инструкции от завода-изготовителя.

Деятельность по эксплуатации, обслуживанию и ремонту главного двигателя на морском судне регламентируется обширным пакетом обязательных нормативных требований (ОНТ) от международных стандартов до отечественных нормативно-правовых актов и инструкций изготовителя. Надежное функционирование судовой энергетической установки (СЭУ) определяет успех и безопасность рыболовного промысла.

В настоящей работе предпринята попытка анализа данных, связанных с отказом ГСУ конкретного рыболовного судна в целях выявления ключевых моментов аварийного случая, а также определение роли человеческого фактора в произошедшем.

Материалы и методы исследования

Отказы энергетической установки морского судна могут иметь различное происхождение: конструктивное, эксплуатационное, амортизационное [3]. К первой категории относятся специфические особенности, заложенные при проектировании и постройке конкретного типа двигателя. Указанные особенности не характерны для других типов двигателей, проявляются в процессе обслуживания и устраняются внесением изменений в конструкцию дизеля.

Эксплуатационные отказы возникают в ходе эксплуатации ГД и связаны, как правило, с девиантным функционированием членов судовой технической службы. Под девиантным функционированием понимается ненадлежащее исполнение работником должностных обязанностей по вахте, обслуживанию или ремонту, не соответствующее минимальным стандартам компетентности, требованиям системы управления безопасностью (СУБ), разработанной в компании, и другим правилам.

Рассматривая морское судно как сложную эргатехническую систему [1, 4] следует выделить в ее составе эргатический элемент, который в силу своей специфической природы является монополистом в части нарушения норм, инструкций и правил [4–6]. Так, согласно статистике аварийности Ространснадзора за 2022 г., из 32 морских аварий на судах под российским флагом 15 отнесены к техническим, из которых восемь затрагивают функционал судовой технической службы: лишение возможности движения ввиду выхода из строя ГД и/или винторулевого комплекса (ВРК); повреждение конструкций и/или механизмов судна; взрывы и/или пожары в машинном отделении. Системный анализ технических АС позволяет разработать комплекс мер по недопущению отказов и поломок механизмов в будущем и обеспечить требуемые показатели надежности СЭУ.

Амортизационное происхождение отказов СЭУ и СТС обусловлено: нарушениями технологий монтажа, настройки и ремонта; использованием контрафактных деталей; применением некачественных материалов [3, 7, 8].

Большой морозильный рыболовный траулер (БМРТ) осенью 2022 г. на переходе в район промысла лишился хода по причине незапланированной остановки судовым механиком главного двигателя. Остановке ГД предшествовало появление посторонних шумов в районе 3-го и 4-го цилиндров. Рыболовное судно проекта В672 было построено в польском городе Гдыня в 1991 г. В качестве ГД на судне установлен дизель марки 6ZA 40S мощностью 3360 кВт и частотой вращения вала 510 мин^{-1} , изготовленный в 1990 г. фирмой ZGODA. В 2021 г. было произведено изменение мощности дизеля. До момента остановки дизель отработал 27 часов после заводского ремонта и замены масла, в том числе 2 часа непосредственно перед появлением шумов. Основные параметры ГД перед остановкой находились в пределах нормы: частота вращения – 500 мин^{-1} ; давление наддува $p_{\text{над}}$ – 0,08 МПа; температура воздухонагревателя $T_{\text{вн}}$ – 38 °С; температура масла $T_{\text{мас}}$ – 64 °С; температура пресной воды $T_{\text{пр.в}}$ – 70 °С;

температура забортной воды $T_{\text{заб.в}} - 16^{\circ}\text{C}$; давление масла $p_{\text{мас}} - 0,7/0,58 \text{ МПа}$; давление пресной воды $p_{\text{пр.в}} - 0,34 \text{ МПа}$; температура выхлопных газов $T_{\text{г}} - 400/420^{\circ}\text{C}$. Промер температур шатунных подшипников ручным пирометром выявил разброс параметров от 60 до 67°C . Чтобы выяснить причины появления посторонних шумов, было принято решение остановить ГД. Время с момента обнаружения шумов до момента остановки составило 10 мин. Состояние погодных условий в районе остановки не оказывало негативного влияния на ГД в виде критических нагрузок на коленчатый вал: ветер северный – 5 м/с , волнение – $0,5 \text{ м}$, температура забортной воды 16°C .

Основные результаты

Вскрытие лючков картера на всех цилиндрах в целях установления причин появления посторонних шумов показало, что имеет место разрушение мотылевых подшипников 3-го и 4-го цилиндров. В картере в районе указанных цилиндров установлено наличие частиц белого металла и металлической крошки.

В ходе дальнейшего ремонта были выявлены следы отслоения, выкрашивания (рис. 1), пористости, подплавления и вспучивания (рис. 2) антифрикционного слоя на вкладышах подшипников.



Рис. 1. Отслоение и выкрашивание антифрикционного слоя

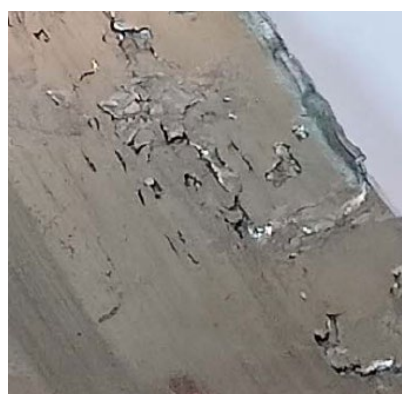


Рис. 2. Поры в антифрикционном слое, подплавление и вспучивание антифрикционного слоя

При исследовании причин АС установлено наличие трещин на мотылевой шейке коленвала цилиндра № 3, а также продольных трещин и царапин в хаотичном направлении на мотылевой шейке коленвала цилиндра № 4.

Нарушение антифрикционного слоя мотылевых подшипников приводит к появлению посторонних шумов и отказу работы двигателя и является АС, возникшим по причинам эксплуатационного и ремонтного характера.

К основным причинам эксплуатационного характера относятся:

- недостаточный прогрев двигателя перед пуском;
- резкие и частые изменения режима работы;
- перегрузка двигателя;
- реверсы с полного переднего хода на полный задний с торможением сжатым воздухом;
- переходы в балласте в условиях штормовой погоды;
- ненадлежащий контроль за параметрами ГД.

Причинами АС ремонтного характера являются:

- некачественный материал антифрикционного слоя;
- некачественно выполненные работы, связанные с перезаливкой подшипников;
- недостаточно чистая обработка цапфы во время ремонта.

В ходе исследования судовых документов (объяснений экипажа, записей в судовых журналах) складывалось мнение, что группу эксплуатационных причин можно исключить. Отчеты из ведомственных информационных систем [9] показали, что судно делало первый рейс после ремонта цилиндропоршневой группы (ЦПГ) № 3, поврежденной весной 2022 г., при этом состав судовой технической службы остался прежним. Причастность экипажа ко второму отказу ГД можно было установить только по результатам расследования АС.

Осмотр судна службой капитана порта перед выходом в рейс не выявил недостатков, связанных с состоянием главной СУ. Были зафиксированы три несоответствия в работе вспомогательных механизмов, что составило треть от общего количества замечаний. Интересно, что при осмотре в другом порту, произведенном после повреждения ГД, количество несоответствий возросло до 21, восемь из которых относились к группе «пропульсивная установка».

Для проверки причин ремонтного характера был проведен химический анализ образцов масла с присутствием белого металла и металлической крошки в соответствии с требованиями руководящих документов, который показал, что состав сплава белого металла не соответствует составу баббита марки Б83, при этом следов воды в масле не было выявлено. Химический состав антифрикционного сплава для заливки подшипников должен удовлетворять нормам, приведенным в РД 31.28.09–93 «Подшипники скольжения», и содержать 5,5–6,5% меди, 10–12% сурьмы и 81,5–84,5% олова. Количество примесей в сплаве не должно превышать: железа – 0,1%; мышьяка – 0,05%; цинка – 0,01%; свинца – 0,35%; висмута – 0,05%; алюминия – 0,005%. В образцах пластин, взятых из антифрикционного слоя вкладыша, обнаружены элементы, которые не должны в нем присутствовать – никель, магний, кремний. В образце фрагмента, снятого с пластины вкладыша, содержание железа составило 0,6%, что превысило номинальное значение в 6 раз. Состав частиц белого металла, взятых на анализ из картера двигателя, отличается от состава пластин вкладыша. В образцах масла из картера с помощью магнита обнаружены темные металлические частицы размером 0,5÷6 мм, содержащие железо (рис. 3).

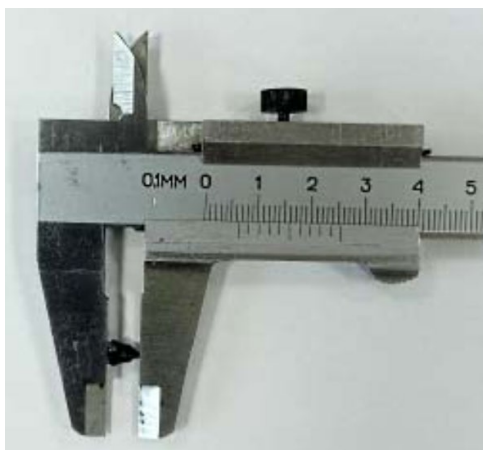


Рис. 3. Фрагмент магнитной металлической крошки

Обнаруженные частицы не относятся к конструкции нижнего вкладыша шатунного подшипника, на детали отсутствуют сколы стального основания подшипника (обечайки).

Наличие частиц металла, не относящихся к аварийному вкладышу, свидетельствует о том, что перед заменой шатунного вкладыша очистка картера двигателя после предыдущих ремонтов не была произведена. Тем самым ремонтной бригадой были нарушены требования «Руководства по техническому обслуживанию дизельного двигателя...» о необходимости тщательной очистки картера после капитального ремонта и достаточно длительной промывки системы маслопроводов.

Согласно судовым документам, представленным судовладельцем, для заливки подшипников в предыдущем ремонте использовался баббит марки Б83, что не соответствует данным химического анализа.

В дефектовочном акте предыдущего ремонта ГД отмечался износ постели подшипника нижней головки шатуна № 3 по всей рабочей поверхности вследствие проворачивания вкладышей, при этом причина проворачивания не указана, а значит, и не устранена.

Согласно Руководству, при уменьшении диаметра мотылевой шейки коленчатого вала при обработке по устранению поверхностных дефектов до 3 мм толщина основания (обечайки) нижнего вкладыша должна составлять 8,9 мм. Фактически толщина вкладыша без антифрикционного слоя составила 10 мм (рис. 4), что на 1,10 мм больше регламентируемой Руководством по эксплуатации. Толщина вкладыша с антифрикционным слоем составила 11,2 мм. Следовательно, толщина антифрикционного слоя равнялась $11,2 - 10,0 = 1,2$ мм вместо положенных 2,0–3,0 мм.

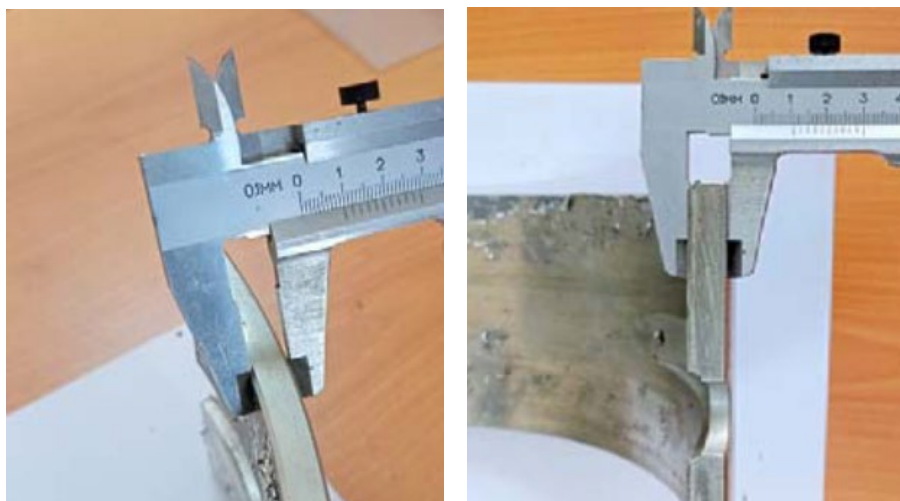


Рис. 4. Вкладыш:
слева – участок без наплавки; справа – участок с наплавкой

В материалах предыдущего ремонта ГД отсутствует информация об очистке каналов прохода смазочного (охлаждающего) масла мотылевой шейки ЦПГ № 3 коленвала от возможного засорения, что является вероятной причиной резкого повышения температуры антифрикционного слоя вкладыша подшипника и последующего разрушения этого слоя.

Заключение

Группой экспертов были сделаны следующие выводы о причинах повреждения шатунных вкладышей:

- присутствие частиц белого металла и металлической крошки в картере под ЦПГ № 3 и ЦПГ № 4, не относящихся по химическому составу к антифрикционному слою нижних вкладышей мотылевых подшипников указанных ЦПГ, свидетельствует о том, что с момента предыдущего ремонта до запуска двигателя после ремонта на швартовных, ходовых испытаниях и перед переходом судна в рейс картер двигателя зачищен не был;
- химический состав металла антифрикционного слоя не соответствует химическому составу баббита марки Б83;

- толщина антифрикционного слоя не соответствует требованиям руководящих документов и составляет 1,2 мм вместо 2,0–3,0 мм;

- выход на нагрузку двигателя в 98% на переходе в район промысла с наработкой 27 моточасов является несоблюдением режимов работы двигателя по нагрузкам, предусмотренным программой эксплуатации двигателя после ремонта, указанной в Руководстве по эксплуатации двигателя Sulzer ZA40S.

Надзорный орган, осуществляющий расследование АС, пришел к выводу, что причиной выхода из строя ГД послужило разрушение мотылевых подшипников цилиндров № 3 и № 4 вследствие выкрашивания антифрикционного слоя вкладышей. При этом нарушений судовой технической службы в сложившейся ситуации не выявлено, с чем нельзя согласиться.

Организация службы на судах российского рыбопромыслового флота определяется Уставом [9], требования которого обязательны для каждого члена экипажа. Статьей 104 указанного документа главному механику предписывается «распределить специалистов судомеханической службы для наблюдения за ремонтом, обеспечить приемку работ от судоремонтного предприятия и специалистов..., а также обеспечить надлежащий контроль специалистов судомеханической службы в период обкатки установки» [9]. Учитывая, что в рейс вышел тот же экипаж, что осуществлял наблюдение за ремонтом, можно утверждать, что приемка судовыми механиками оборудования от судоремонтной организации была некачественной. К нарушениям берегового персонала следует отнести закупку для ремонта ГД вкладышей, не предусмотренных Руководством от завода-изготовителя. Таким образом, нельзя отрицать влияние человеческого фактора на рассматриваемый отказ ГД.

Заявленный вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Глазюк Д.К., Соболенко А.Н. Оценка надёжности судовой энергетической установки как сложной эргатехнической системы // Морские интеллектуальные технологии. 2016. Т. 1., № 3(33). С. 204–208.
2. Гомзяков М.В., Соболенко А.Н. Цифровизация морского надзора в Дальневосточном регионе // Морские интеллектуальные технологии. 2020. Т. 2, № 1. С. 236–243.
3. Мясников Ю.Н., Никитин В.С., Равин А.А. Эксплуатационные дефекты судовых дизельных и газотурбинных двигателей // Труды Крыловского государственного научного центра. 2018. Т. 3, № 385. С. 85–96. DOI: 10.24937/2542-2324-2018-3-385-85-96
4. Соболенко А.Н., Гомзяков М.В. Надёжность эргатического элемента в составе судовой энергетической установки // Морские интеллектуальные технологии. 2021. Т. 3, № 4. С. 66–71. DOI: 10.37220/MIT.2021.54.4.090
5. Соболенко А.Н., Турищев И.П., Гомзяков М.В., Москаленко О.В. Анализ технических отказов на промысловых судах в Дальневосточном регионе // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2019. № 3. С. 48–55. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-3-48-55
6. Соболенко А.Н. Характерные аварийные отказы судовых дизелей в эксплуатации по причине человеческого фактора // Морские интеллектуальные технологии. 2016. Т. 1, № 3(33). С. 173–179.
7. Соболенко А.Н. Совершенствование мероприятий по обеспечению безаварийной работы судовых энергетических установок: международная научная конференция, г. Владивосток, 19–23 сентября 2016 г. / Дальневост. федерал. ун-т; отв. ред. А.Т. Беккер, В.И. Петухов. Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2016. URL <https://www.dvfu.ru/science/publishingactivities/catalogue-of-books-fefu/>
8. Соболенко А.Н., Турищев И.П., Гомзяков М.В., Москаленко О.В. Анализ технических отказов на промысловых судах в дальневосточном регионе // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2019. № 3. С. 48–55.

9. Турищев И.П., Гомзяков М.В., Москаленко О.В. Анализ нештатного функционирования эргатического элемента при поломках судовых технических средств // Вестник Инженерной школы ДВФУ. 2021. № 1(46). С. 70–80. DOI: 10.24866/2227-6858/2021-1-7

FEFU: SCHOOL of ENGINEERING BULLETIN. 2023. N 3/56

Ship Power Plants and Their Elements

www.dvfu.ru/en/vestnikis

Original article

DOI: <http://doi.org/10.24866/2227-6858/2023-3/70-77>

Gomzyakov M., Sobolenko A., Ogai S.

MIKHAIL V. GOMZYAKOV, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
migvladd@bk.ru

*The Interregional Territorial Administration of Transport Supervision
for the Far Eastern Federal District*

ANATOLY N. SOBOLENKO, Doctor of Technical Sciences, Professor, sobolenko_a@mail.ru
Department of Marine Internal Combustion Engines

SERGEY A. OGAI, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, ogay@msun.ru
Department of Ship Theory and Design

*Marine State University named after adm. G.I. Nevelsky
Vladivostok, Russia*

Analysis of the reasons for the failure of the ZGODA-SULZER 6ZA 40S marine diesel engine in operation

Abstract. The object of the article is the maintenance and repair of the power plant of a fishing vessel, the subject is the circumstances of the failure of the main engine. The purpose of the work is to establish the prerequisites and reasons for the failure of the Zgoda-Sulzer 6ZA 40S marine diesel engine. The analysis of the established facts that caused the accident of the main power plant (MPP) can serve as a reliable foundation for the development of preventive measures to improve the safety of navigation, by means of a posteriori analysis of information about an incident at sea. The data sources were information from departmental information resources, expert opinions on the investigation of an accident, reports from crew members, expert opinions, scientific and technical information on the analysis of the operational part of the life cycle of ship power plants (SPP), as well as the results of personal research in this area. A set of dysfunctions of the shore personnel and the crew of the fishing vessel that caused the accident has been established. The term «dysfunction», within the framework of this work, is equivalent to the concept of "failure to perform a prescribed function or its incorrect implementation», synonymous with the English concepts of «dysfunction», «malfunction". Improving the safety culture and the quality of the «human factor» contribute to minimizing incorrect maintenance of ship equipment. The presence and development of hidden operational defects, not detected by the ship's technical service until the moment of critical changes, was the main reason for the failure of the main engine.

Keywords: marine diesel, main power plant, dysfunction, human factor, ergatic element

For citation: Gomzyakov M., Sobolenko A., Ogai S. Analysis of the reasons for the failure of the ZGODA-SULZER 6ZA 40S marine diesel engine in operation. *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2023;(3):70–77. (In Russ.).

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflict of interests.

REFERENCES

1. Glazyuk D.K., Sobolenko A N. Assessment of the reliability of a ship's power plant as a complex ergatechnical system. *Marine intelligent technologies*. 2016;1(3/33):204-208.
2. Gomzyakov M. V., Sobolenko A N. Digitalization of maritime surveillance in the Far Eastern region. *Marine intelligent technologies*. 2020;2(1):236-243.

3. Myasnikov Yu.N., Nikitin V.S., Ravin A.A. Operational defects of marine diesel and gas turbine engines. *Труды Крыловского государственного научного центра*. 2018;3(385):85–96. DOI: 10.24937/-2542-2324-2018-3-385-85-96
4. Sobolenko A.N., Gomzyakov M.V. Reliability of the ergatic element as part of a ship power plant. *Marine intellectual technologies*. 2021;3(4):66–71. DOI: 10.37220 / MIT.2021.54.4.090.
5. Turishchev I. P., Sobolenko A.N., Gomzyakov M.V., Moskalenko O.V. Analysis of technical failures on fishing vessels in the Far Eastern region. *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technology*. 2019;(3):48–55. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-3-48-55.
6. Sobolenko A.N. Characteristic emergency failures of marine diesel engines in operation due to the human factor. *Marine Intelligent technologies*. 2016;1(3):173-179.
7. Sobolenko A.N. Improvement of measures to ensure trouble-free operation of ship power plants: international scientific conference, Vladivostok, September 19–23, 2016. Vladivostok, FEFU, 2016. URL: <https://www.dvfu.ru/science/publishingactivities/catalogue-of-books-fefu/>. – title with ecr.
8. Sobolenko A.N., Turishchev I.P., Gomzyakov M.V., Moskalenko O.V. Analysis of technical failures on fishing vessels in the Far Eastern region. *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. marine engineering and technology*. 2019(3):48–55.
9. Turishchev I.P., Gomzyakov M.V., Moskalenko O.V. Analysis of abnormal functioning of the ergatic element in case of breakdowns of ship technical means. *Bulletin of the FEFU Engineering School*. 2021;(1/46):70-80. DOI: 10.24866/2227-6858/2021-1-7