

Научная статья
УДК 629.5.058
<https://doi.org/10.24866/2227-6858/2024-2/28-38>

Разработка методики повышения эффективности определения дефектов подшипников качения судового оборудования

Дмитрий Владимирович Лойко✉, Наталья Владимировна Куценко,
Матвей Валерьевич Грибиниченко

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Российская Федерация

✉loiko.dv@dvfu.ru

Аннотация. Цель данного исследования — увеличение сроков безаварийной эксплуатации, повышение межремонтного ресурса механизмов путем своевременного вывода его в ремонт, снижение расхода запасных частей, сокращение объемов резервирования. Для достижения поставленных целей необходимо повысить эффективность определения дефектов и текущего состояния подшипников в судовом оборудовании. Одним из наиболее распространенных методов, позволяющим с высокой степенью достоверности выявить дефекты подшипников качения на стадии зарождения, является метод вибрационной диагностики. Анализ вибрационных сигналов, получаемых при замере вибрации в различных точках агрегата, их сравнение с действующими для этого типа оборудования нормами позволяет получить объективное заключение об общем техническом состоянии оборудования. От того, насколько точно определено текущее состояние подшипников, зависит правильность построения прогноза остаточного ресурса механизма, что позволит снизить сроки простоя оборудования из-за неожиданной поломки, сократить межремонтный интервал и тем самым уменьшить финансовую нагрузку на судовладельца.

Ключевые слова: вибродиагностика, обслуживание по фактическому состоянию, неразрушающий контроль, прогноз остаточного ресурса, надежность, безотказность, дефект

Для цитирования: Лойко Д.В., Куценко Н.В., Грибиниченко М.В. Разработка методики повышения эффективности определения дефектов подшипников качения судового оборудования // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2024. № 2(59). С. 28–38.

Original article

Development of a methodology for increasing the efficiency of determining defects in rolling bearings of shipboard equipment

Dmitriy V. Loiko✉, Natalia V. Kutsenko, Matvey V. Gribinichenko

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

✉loiko.dv@dvfu.ru

Abstract. The purpose of this research is to increase the period of trouble-free operation, to increase the inter-repair resource of mechanisms by means of its timely repair, to reduce the consumption of spare parts, to reduce the amount of redundancy. To achieve the set goals, it is necessary to increase the efficiency of defects and current state of bearings in shipboard equipment.

One of the most widespread methods, allowing to reveal defects of rolling bearings at the stage of origin with a high degree of reliability, is the method of vibration diagnostics. Analysis of vibration signals received at vibration measurement in different points of the unit, their comparison with the norms valid for this type of equipment allows to get an objective conclusion about the general technical condition of the equipment.

The accuracy of the current condition of the bearings determines the accuracy of the forecast of the remaining life of the mechanism, and this will reduce the downtime of the equipment due to unexpected breakdowns, will reduce the time between repairs, and thus will reduce the financial burden on the shipowner.

Keywords: vibrodiagnostics, maintenance according to the actual state, non-destructive testing, forecast of residual life, reliability, failure-free operation, defect

For citation: Loiko D.V., Kutsenko N.V., Gribinichenko M.V. Development of a methodology for increasing the efficiency of determining defects in rolling bearings of shipboard equipment. *FEFU: School of Engineering Bulletin*, 2024, no. 2(59), pp. 28–38. (In Russ.).

Введение

Развитие судовой и корабельной энергетики зависит от повышения удельных мощностей и коэффициентов полезного действия энергетического оборудования [1]. Благодаря применению более сложных схем и конструкций энергомеханических устройств и форсированию протекающих в них рабочих процессов происходит увеличение затрат, связанных с устранением последствий отказов и аварий оборудования. Усложнение конструкций оборудования увеличивает эксплуатационные воздействия на наиболее нагруженные узлы и детали оборудования, что не способствует повышению их безотказности и долговечности.

Один из самых нагруженных узлов механизма – подшипниковый узел. Основными эксплуатационными нагрузками подшипников являются радиальные и осевые усилия, циклические контактные напряжения, динамические нагрузки, вызванные дисбалансом и вибрацией роторов, воздействие повышенной температуры и вредных примесей в масле, которые инициируют такие разрушающие процессы, как износ, коррозия, усталостное выкрашивание контактных поверхностей, изменение формы тел качения, усталостные трещины и поломки колец и сепараторов. Поэтому крайне важно знать текущее состояние подшипников судовых механизмов и уметь правильно спрогнозировать его остаточный ресурс и ресурс механизма в целом.

Именно из-за недостоверности прогнозов остаточного ресурса механизма в морской технике установлена практика не дожидаться выхода агрегата из строя, а производить ремонт через регламентный промежуток времени. Данную схему работы можно сравнить с планово-предупредительным ремонтом, который весьма распространен в большинстве сфер промышленности. Но применяемая система планово-предупредительного ремонта имеет существенные недостатки:

- остаточный ресурс механизма определяется только временем его эксплуатации;
- отличается строгой привязкой к календарному плану.

В итоге часть оборудования выходит из строя раньше положенного срока, что заставляет пересмотреть и снизить межремонтный интервал, а другая часть может проработать двойной, а в некоторых случаях и больший срок без ущерба механизму. Поэтому становится целесообразным применение системы обслуживания по фактическому состоянию (ОФС).

Система ОФС

Система позволяет производить контроль технического состояния оборудования разными методами неразрушающего контроля в зависимости от его типа и отраслевой принадлежности.

Преимущества применения системы ОФС:

- увеличение эффективности эксплуатации оборудования на 2–10% за счет исключения ремонта исправного оборудования;
- сокращение внепланового ремонта;
- сокращение времени простоя оборудования;
- сокращение стоимости ремонтов;
- послеремонтное обследование, повышающее эффективность ремонта до 15%;
- подтверждение качества поставляемого оборудования.

Для повышения точности оценки остаточного ресурса и перехода судового оборудования на систему ОФС предлагается использовать методы вибродиагностики. Вибродиагностика – это один из методов неразрушающего контроля, который позволяет, не разбирая механизма, узнать о его техническом состоянии. Он широко используется для определения износа промышленных агрегатов и такого транспорта, как железнодорожный или авиационный.

При разработке методики используются: проверка теорий на лабораторных стендах, математическое моделирование, вибрационное обследование судовых агрегатов на действующих судах и сравнение результатов ожидаемого прогноза и фактического состояния, периодический мониторинг и наблюдение изменений состояния главных механизмов во времени. Создание усовершенствованных методов повышения достоверности прогноза остаточного ресурса и переход к ОФС агрегатов судовой энергетики могут изменить подход к очередному освидетельствованию Российского морского регистра судоходства (РМРС).

В большинстве случаев очередное освидетельствование предполагает разборку оборудования и предъявление Регистру в разобранном виде. При этом возникает риск некачественной сборки оборудования или применения некачественных материалов, что сопряжено с аварийной ситуацией ранее срока повторного освидетельствования. Внедрение системы обслуживания по фактическому состоянию такой риск минимизирует ввиду применения системы безразборного освидетельствования [2, 3].

Ежегодное внеочередное (не связанное с аварийными случаями и повреждениями) и непрерывное освидетельствование и рассмотрение материалов предремонтной дефектации объектов, подлежащих техническому наблюдению, могут быть проведены инспекторами РМРС без разборки с использованием показаний систем и средств диагностирования на основе предоставленных судовладельцем результатов замеров, подтверждающих удовлетворительное техническое состояние объектов и их соответствие требованиям РМРС.

Широко распространить систему обслуживания по фактическому состоянию оборудования судовой энергетики позволит внедрение методик безразборного освидетельствования. При безразборном подходе проводится проверка агрегата с помощью метода неразрушающего контроля, такого как вибродиагностика.

Внедрение данного метода позволит:

- идентифицировать и устранить источники повторяющихся проблем, приводящих к сокращению межремонтного интервала;
- устранить или сократить факторы, отрицательно влияющие на межремонтный интервал или срок эксплуатации оборудования;
- выполнить распознавание состояния нового и восстановленного оборудования с целью проверить отсутствие признаков дефектов, уменьшающих межремонтный интервал;
- увеличить межремонтный интервал и срок эксплуатации за счет проведения монтажных, наладочных и ремонтных работ согласно требованиям конструкторской документации и регламента.

Все это позволит добиться снижения сроков простоя судна, улучшить точность оценки судовых механизмов, а также заранее выявить неисправность и устранить ее до развита аварии.

Лаборатория вибродиагностики

Для проверки теории и отработки навыков определения эксплуатационных разрушений в судовых механизмах на базе Дальневосточного федерального университета в составе Русского инжинирингового центра создана лаборатория вибродиагностики. Она предназначена для практического обучения студентов, повышения квалификации сотрудников промышленных предприятий, морской техники и энергетики в области вибродиагностики роторного оборудования, центровки и балансировки валов и механизмов. На ее базе проводятся разработки методик вибродиагностики и виброналадки. Лаборатория имеет свидетельство РМРС на используемые стенды вибродиагностики (рис. 1).

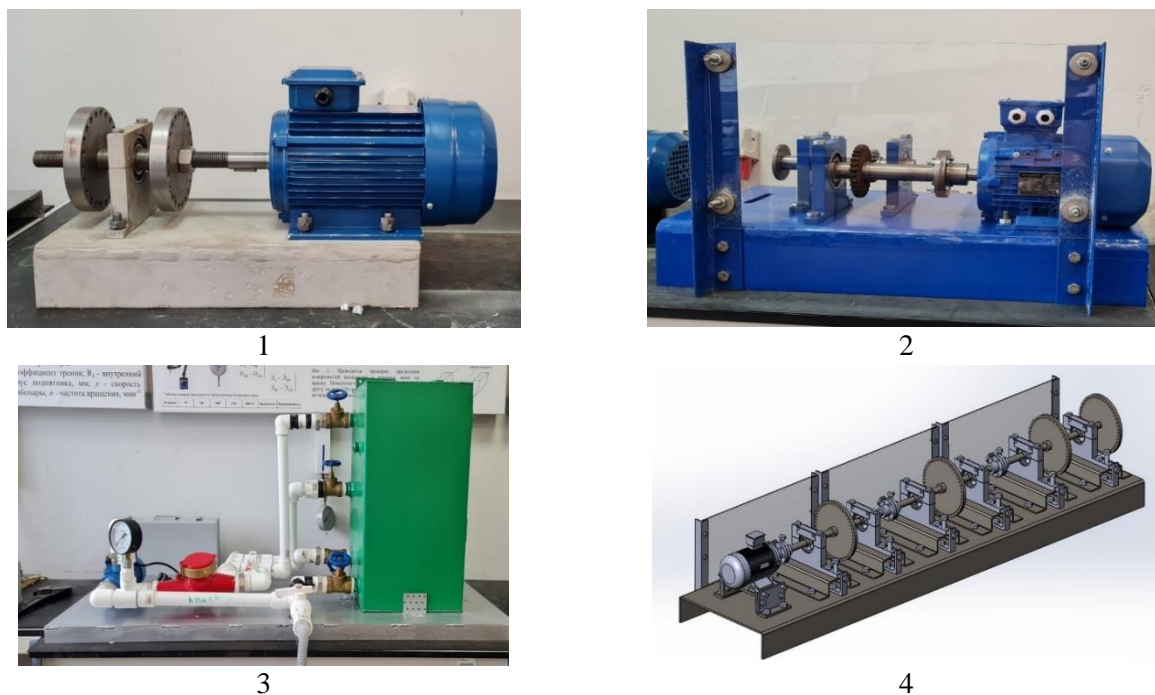


Рис. 1. Лабораторные стенды вибродиагностики: 1 – подшипника качения, 2 – зубчатой передачи, 3 – лопаточных машин, 4 – расцентровки валов

Fig. 1. Laboratory stands:
 1 – Rolling bearing diagnostics stand; 2 – Gear diagnostics stand
 3 – Diagnostic stand of vane machines; 4 – Diagnostic stand of shaft misalignment

Частота вращения = 24.97
 Высота среза = 80
 Характеристики подшипника:
 Диаметр тела качения (шарика) = 22.32
 Диаметр внутренней части наружного кольца = 108.5
 Диаметр наружной части внутреннего кольца = 81.5
 Угол контакта шарика подшипника = 0
 Количество шариков подшипника = 8

Совпала частота вращения сепаратора (fvr-fc)	200	92.88

Нет совпадений частоты наружного кольца (fn)		

Нет совпадений частоты внутреннего кольца (fv)		

Совпадение частоты вращения шарика (ftk)		
Раковины, сколы на телах качения	100	98.05

Совпала частота вращения (fvr)	100	98.05
	199.5	95.53
	299.5	96.85
	399.5	93.55
	499	82.24
	599	87.44

Проскальзывание наружного кольца (1fvr-5%=2fvr) (fvr>4)		

Рис. 2. Пример отчета автоматической программы
Fig. 2. Example of an automatic program report

Степень развития дефекта выявляется прибором СД-21 производства ООО «Ассоциация ВАСТ»¹ и универсальным многоканальным виброизмерительным комплексом UMS-16.

¹Ассоциация ВАСТ – ВиброАкустические Системы и Технологии. URL: <https://vibrotek.ru/> (дата обращения: 08.05.2024).

Для определения зависимости амплитуд вибрации и изучения глубины развития дефекта разрабатывается программа автоматического распознавания дефектов на основе языка математического программирования [5]. Алгоритм программы построен для работы с массивом сохраненных в единый файл базы данных. В интерфейс программы вводятся измеренные тахометром значения частоты вращения вала, а также геометрические параметры подшипника: диаметр шариков, внутренний диаметр наружного кольца, наружный диаметр внутреннего кольца, угол контакта шарика с поверхностью и количество шариков в подшипнике качения. На рис. 2 показан фрагмент отчета программы автоматического определения дефекта с выводом результата. Результат может быть сохранен в виде как таблицы, так и текстового файла.

Результатом работы проектируемой программы является определение категории износа механизма по амплитудам, частотам, ответственным за конкретный дефект, рассчитываемым автоматически с последующим прогнозом развития дефекта в зависимости от типа агрегата (рис. 3).

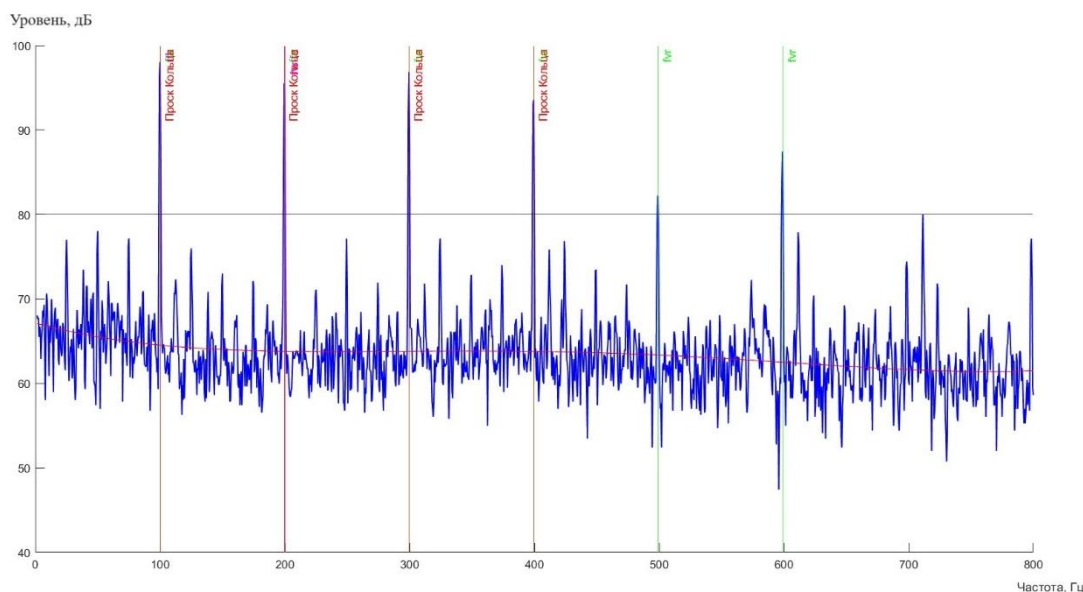


Рис. 3. Пример вывода графика с анализом найденного дефекта

Fig. 3. Example of graph output with analysis of found defect

Применение такой программы математического программирования позволяет ускорить обработку дефектов в автоматическом режиме с минимизацией вероятных ошибок, что повышает точность определения уровня и глубины развития дефекта. Затем результаты заносятся в базу данных обработанных значений.

Аналогичные программы уже существуют у ведущих разработчиков программного обеспечения в области вибродиагностики. Но сложное устройство таких программ, закрытый исходный код не позволяют провести адаптацию вычислений под требуемую задачу. Также сложность графического интерфейса обуславливает высокий уровень навыков в вибродиагностике и компьютерной технике, что не предполагает внедрения методик повсеместно. Разрабатываемый комплекс может преодолеть эти проблемы и в кратчайшие сроки перестроиться под те или иные задачи, которые могут возникать при определении остаточных ресурсов механизмов морской техники.

Для оценки степени развития дефекта (нескольких дефектов) производится расчет глубины модуляции высокочастотной вибрации. При работе оборудования с дефектами в спектре вибрационного сигнала появляются характерные составляющие, гармоники с собственными частотами, по которым можно достаточно корректно выявить место нахождения дефекта. Для того чтобы разработать методологию и технологию диагностирования какого-либо объекта или узла оборудования, необходимо знать закономерности изменения виброакустических сигналов со временем наработки.

Согласно литературным данным, закономерности не всегда совпадают с теоретическими данными [3, 5, 6]. Локальный износ контактирующих поверхностей вызывает сначала падение уровня вибрации – этап приработки; затем этот уровень остается практически неизменным достаточно продолжительное время – нормальная работа; интенсивный износ – последний этап, когда уровень вибрации должен начать расти по экспоненте до момента отказа.

Основными механизмами на судне, содержащими подшипниковый узел, являются насосные агрегаты вертикального и горизонтального исполнения. Для проверки состояния подшипникового узла необходимо исключить влияние дефектного рабочего колеса на подшипники. С этой целью в лаборатории проводится моделирование дефектов лопаток на соответствующем стенде.

На рис. 4 показана зависимость амплитуды дефекта лопаток от времени наработки, которая отражает уровень развития дефекта лопастей рабочего колеса. Как видно из графика, на этапе приработки амплитуда снизилась, так как рабочие лопатки вышли на рабочий режим.

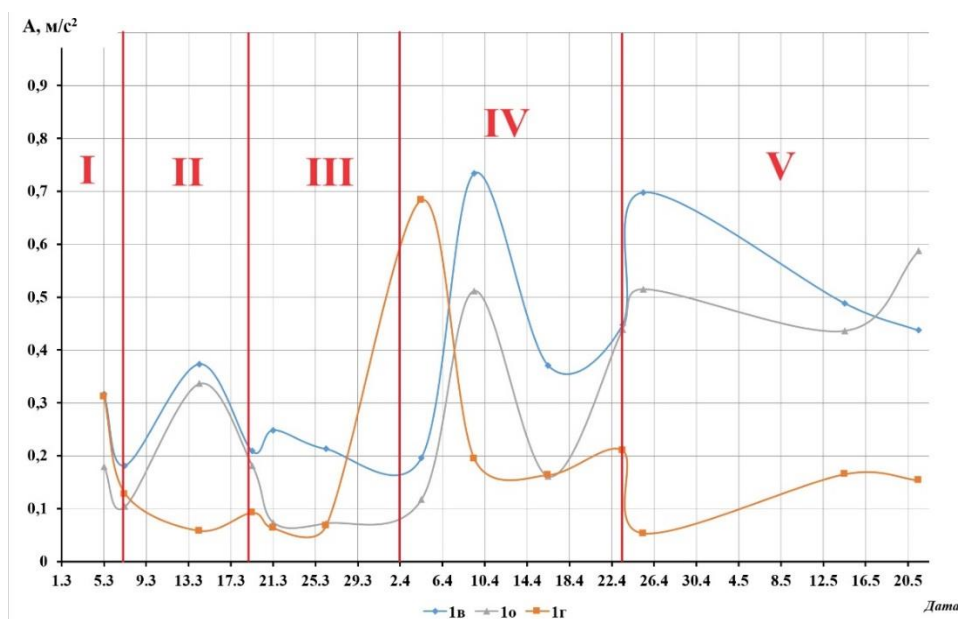


Рис. 4. Зависимость амплитуды дефекта лопаток от времени наработки:
I – этап приработки; II – этап моделирования минимального дефекта;
III – этап перепроверки полученных значений; IV – этап моделирования среднего дефекта;
V – этап моделирования сильного дефекта

Fig. 4. Dependence of blade defect amplitude on operating time:

I – Run-in phase; II – Minimal defect modeling phase; III – Retesting of obtained values;
 IV – Average defect modeling phase; V – Strong defect modeling phase

В последующем были нанесены физические повреждения на лопатки с целью ускорить процесс износа (рис. 5, 6). Таким образом моделируется дефект и производится его всестороннее изучение, в частности выявляются зависимости вибрации, вызванной рабочим колесом, и передача вибрации на подшипниковые узлы. Это позволяет улучшить прогнозные модели и исключить постороннюю вибрацию от рабочего колеса.

Для изучения поведения дефекта наружного кольца подшипника качения применяется аналогичный метод нанесения дефекта механическим способом. Также было выделено несколько этапов: приработка, нанесение слабого дефекта, нанесение среднего дефекта и сильного дефекта (рис. 7).

Анализ графика показал, что уровень амплитуды слабого дефекта во времени может ослабевать ввиду приработки тел качения. Однако при усилении дефекта до среднего ярко выражен скачок амплитуд. Это объясняется тем, что тела качения уже не могут нивелировать дефект и дефект будет развиваться.

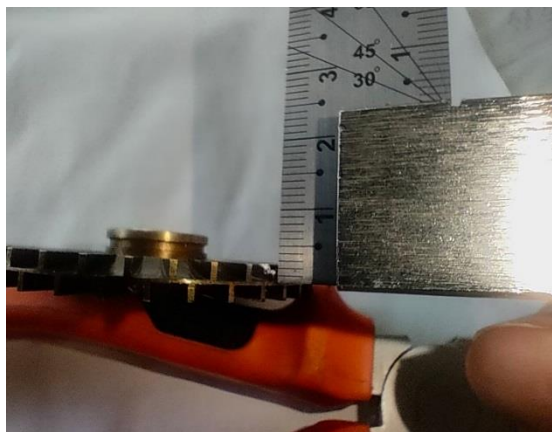


Рис. 5. Нанесение минимального дефекта
Fig. 5. Inflicting of a minimum defect

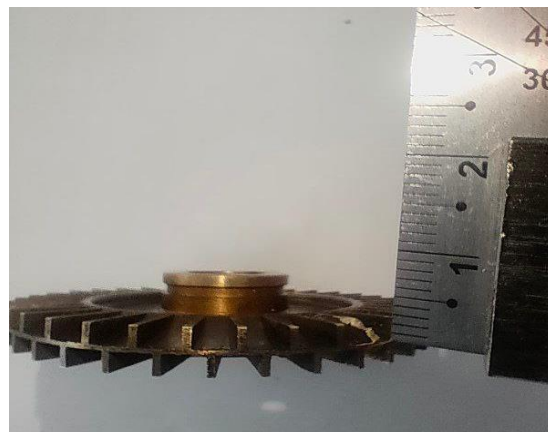


Рис. 6. Нанесение среднего дефекта
Fig. 6. Inflicting of an average defect

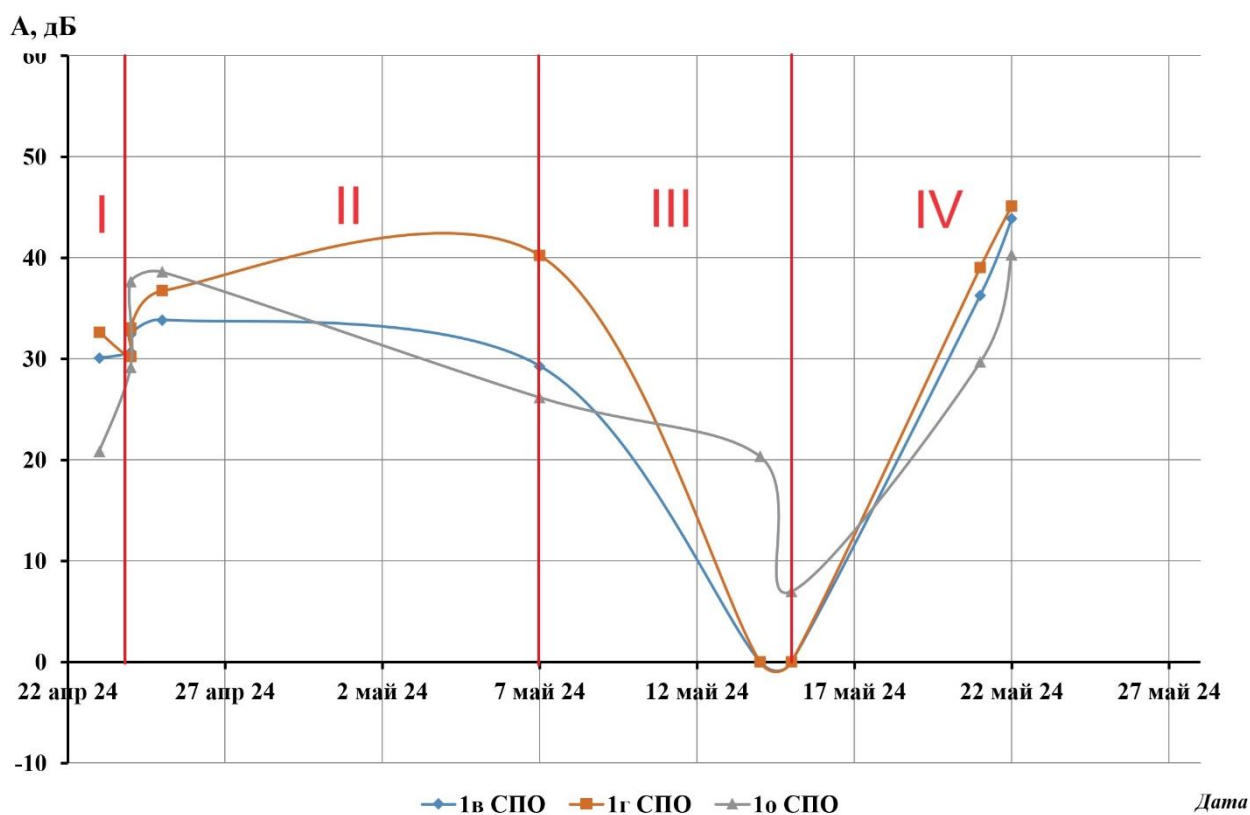


Рис. 7. Зависимость амплитуды дефекта подшипника качения от времени наработки:
I – этап приработки; II – этап моделирования минимального дефекта;
III – этап приработки с минимальным дефектом; IV – этап моделирования среднего дефекта

Fig. 7. Dependence of rolling bearing defect amplitude on running time:

I – Running-in stage; II – Minimum defect modeling stage;
III – Running-in stage with minimal defect; IV – Modeling stage of average defect

Проверка полученных прогнозных моделей и уровней производится при обследовании агрегатов на судах в ремонте и эксплуатации. Для уточнения алгоритмов определения дефектов подшипников качения было проведено вибрационное обследование балластных насосов теплохода «Спасатель Кавдейкин». Протоколы измерений показали, что значения виброскорости насосов не превышают установленные нормы согласно п. 9.5 Части VII Правил РМРС. Вместе с тем было выявлено, что подшипники установлены с повышенным зазором (типа С3), и при детальном рассмотрении спектров вибрации были обнаружены повышенные уровни амплитуд в высокочастотной (ВЧ) области спектров (рис. 8).

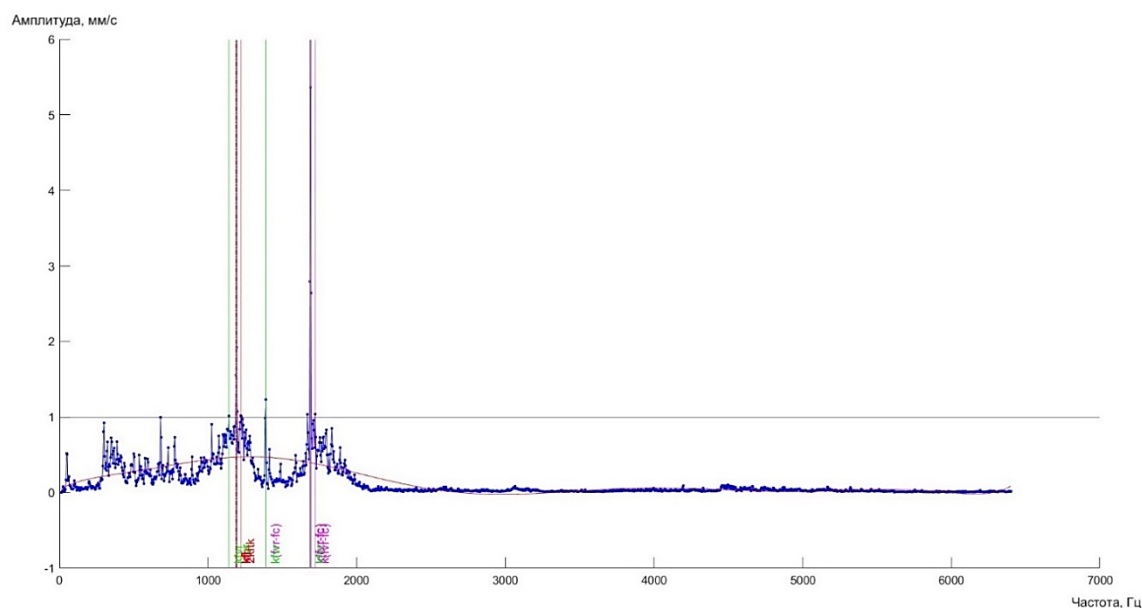


Рис. 8. Повышенные уровни в ВЧ области спектра

Fig. 8. Elevated levels in the HF spectral region

По итогам измерений сформулированы рекомендации о замене подшипников при ближайшем ремонте и уточнено, что таблицы РМРС не всегда достаточно точно и полно дают представления о техническом состоянии судового оборудования. Исходя из этого ведется накопление опыта и уточнение предельных уровней дефектов совместно с корректировкой прогнозных алгоритмов. Подтверждается теория о том, что необходимо уделять больше внимания именно узлам механизма, а не только его общему уровню вибрации.

При обследовании агрегатов на судне наиболее перспективным является мониторинг, который позволяет отслеживать изменения состояния дефектов и улучшать длительные прогнозы. Однако основным минусом при использовании переносных систем измерения вибрации является необходимость периодических проверок агрегатов, что дополнительно требует задействовать ресурсы экипажа.

Процесс перехода к безразборному освидетельствованию

Методика перехода к безразборному освидетельствованию представляет собой процесс выработки и принятия решений, направленных на выявление подходящих и эффективных требований к системе и операциям предупредительного технического обслуживания [2, 5].

Переход к безразборному освидетельствованию осуществляется в три этапа.

Этап 1: система безразборного освидетельствования действует совместно с системой предъявления механизмов в разборном виде (система планово-предупредительного ремонта) в роли вспомогательного инструмента в обеспечении надежности и безаварийности производства.

Этап 2: система безразборного освидетельствования также действует совместно с существующей системой, но уже с возможностью сдвигать сроки ремонта по результатам контроля и обследования технического состояния оборудования.

Этап 3: происходит полный переход на систему технического обслуживания и ремонта по техническому состоянию.

Для проверки точности разрабатываемой методики были проведены измерения главных винторулевых колонок (ГВРК) Aquamaster на т/х «Свицер Анива» (рис. 9). Данные ГВРК являются нагруженными ввиду того, что тип данного судна – буксир-спасатель.

При определении параметров вибрации в соответствующих третьоктавных полосах использовался спектральный анализ, подшипники дополнительно проверялись при помощи спектра огибающей. Судно двигалось в акватории порта на режимах малый, средний и полный ход, волнение моря не превышало 1 балла.

Результаты первых замеров позволили сделать вывод об удовлетворительном техническом состоянии агрегата. Измеренные уровни соответствовали допуску по РМРС, явных дефектов узлов обнаружено не было. Следующий замер через три месяца показал, что износ механизма соответствует прогнозируемому. Общие уровни вибрации остались в допуске и незначительно выросли. Ударные импульсы также не вышли в критические зоны. Наблюдения продолжаются.



Рис. 9. ГВРК т/х «Свицер Анива»

Fig.9. Main propeller-steering units m/v "Svic'er Aniva"

Заклучение

Итогом выполненных исследований являются разработка и апробация методики безразборного освидетельствования на судах. Исследование отдельных узлов позволяет уточнить состояние механизма в текущий момент и более качественно спрогнозировать его износ во времени. При более точном прогнозе и постоянном мониторинге вибрации судовых агрегатов все больше компаний судовладельцев будут переходить на методы безразборного и непрерывного освидетельствования.

Анализ проведенных измерений позволяет дать практическую рекомендацию по измерению подшипниковых узлов, позволяющую уменьшить влияние вибрации посторонних механизмов при снятии спектров. Для этого необходимо производить измерение, снимая спектр огибающей и автоспектры в ускорении (m/c^2), так как амплитуды ускорения являются быстро затухающими и слабо передаются между механизмами. Именно спектры ускорения хорошо показывают состояние внутренних вибраций механизма, в то время как спектры скорости более информативны при диагностировании состояний корпусов и креплений судовых механизмов. Применение собственного разрабатываемого программного обеспечения позволяет гибко настраивать систему автоматического определения дефекта. Ожидается, что это приведет к минимизации ошибок диагностов, упрощению использования вычислительной техники и позволит внедрить систему ОФС на судах повсеместно.

Увеличение сроков безаварийной эксплуатации, повышение межремонтного ресурса механизмов путем своевременного вывода его в ремонт, снижение расхода запасных частей, сокращение объемов резервирования – это те плюсы, которые может получить судовладелец после внедрения системы ОФС. Чем меньше судно находится в ремонте, тем большую прибыль

оно может принести. Также ожидается, что снизятся затраты ввиду отсутствия простоя из-за внезапно вышедшего из строя агрегата.

ВКЛАД АВТОРОВ | CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

М.В. Грибиниченко – разработка концепции и дизайна исследования; Д.В. Лойко – сбор данных; Д.В. Лойко, Н.В. Куценко – анализ и интерпретация результатов; подготовка и редактирование текста. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

M.V. Gribinichenko – development of the concept and design of the study; D.V. Loiko – data collection; D.V. Loiko, N.V. Kutsenko – analysis and interpretation of the results; preparation and editing of the text. All authors read and approved the final version of the manuscript.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ | CONFLICT OF INTEREST

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гриценко Д.В. Развитие методов автоматического выделения и анализа вибродиагностических параметров СЭУ и их элементов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2020. 22 с.
2. Немирович-Скрабатун Д.Н. Анализ систем диагностики и прогнозтики технического состояния турбомашин и разработка рекомендаций по подготовке данных для построения статических моделей работы турбомашин: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2023. 20 с.
3. Tao Zhang, Feiyun Xu, Minping Jia. A centrifugal fan blade damage identification method based on the multi-level fusion of vibro-acoustic signals and CNN // *Measurement*. Vol. 199. Art. 111475. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.111475>
4. Лойко Д.В. Необходимость применения информационных технологий при диагностике спектров вибрации подшипников качения // *Инженерное дело на Дальнем Востоке России: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции*. Владивосток: ВУЦ ДВФУ, 2024. С. 519–525.
5. Николаев Н.И., Мышинский Э.Л., Гриценко М.В. К вопросу оценки технического состояния судовых технических средств морских судов по параметрам вибрации // *Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства*. 2020. № 60–61. С. 84–90. EDN: XAJJMX
6. Saunders B.E., Kuether R.J., Vasconcellos R., Abdelkef A. Nonlinear analysis and vibro-impact characteristics of a shaft-bearing assembly // *International Journal of Non-Linear Mechanics*. 2024. Vol. 159. Art. 104618. <https://doi.org/10.1016/j.ijnonlinmec.2023.104618>

REFERENCES

1. Grishchenko D.V. Development of methods of automatic selection and analysis of vibro-diagnostic parameters of SSEU and their elements. Abstract of Ph.D. (Engineering) thesis. Saint Petersburg, 2020. 22 p. (In Russ.).
2. Nemirovich-Skrabatun D.N. Analysis of the systems of diagnostics and prognostics of the turbomachinery technical condition and development of recommendations on the data preparation for the construction of the static models of the turbomachinery operation. Moscow, 2023. 20 p. (In Russ.).
3. Tao Zhang, Feiyun Xu, Minping Jia. A centrifugal fan blade damage identification method based on the multi-level fusion of vibro-acoustic signals and CNN. *Measurement*, 2022, vol. 199, art. 111475. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.111475>
4. Loiko D.V. Necessity of information technologies application at diagnostics of the rolling bearings vibration spectra. *Engineering in the Far East of Russia: Materials of IX All-Russian scientific-practical conference*. Vladivostok, VUC FEFU, 2024. P. 519–525. (In Russ.).
5. Nikolaev N.I., Myshinsky E.L., Gritsenko M.V. To the question of the technical state estimation of the ship technical means of sea vessels by the vibration parameters. *Scientific and Technical Collection of the Russian Maritime Register of Shipping*, 2020, no. 60–61, pp. 84–90. (In Russ.).
6. Saunders B.E., Kuether R.J., Vasconcellos R., Abdelkef A. Nonlinear analysis and vibro-impact characteristics of a shaft-bearing assembly. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 2024, vol. 159, art. 104618. <https://doi.org/10.1016/j.ijnonlinmec.2023.104618>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Лойко Дмитрий Владимирович – магистрант, заведующий лабораторией, Политехнический институт, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Российская Федерация, loiko.dv@dvfu.ru, <https://orcid.org/0009-0007-3615-7498>

Dmitriy V. Loiko, Master Student, Head of Laboratory, Polytechnic Institute, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation, loiko.dv@dvfu.ru, <https://orcid.org/0009-0007-3615-7498>

Куценко Наталья Владимировна – кандидат технических наук, доцент, Политехнический институт, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Российская Федерация, kutcenko.nv@dvfu.ru

Natalia V. Kutsenko, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Polytechnic Institute, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation, kutcenko.nv@dvfu.ru

Грибиниченко Матвей Валерьевич – кандидат технических наук, доцент, директор Отделения машиностроения морской техники и транспорта Инженерного департамента Политехнического института, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Российская Федерация, gribinichenko.mv@dvfu.ru, SPIN-код: 8038-4960

Matvey V. Gribinichenko, Associate Professor, Head of Department of Mechanical Engineering, Marine Engineering and Transport of the Engineering Department, Polytechnic Institute, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation, gribinichenko.mv@dvfu.ru

Статья поступила в редакцию / Received: 29.05.2024.

Доработана после рецензирования / Revised: 07.06.2024.

Принята к публикации / Accepted: 10.06.2024.