

УДК 681.518.5:629.5.064.5
EDN: GSDKWG

О.С. Портнова, М.В. Грибиниченко, Р.А. Плаксин, П.А. Андрюхина
Политехнический институт (школа) ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия

КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ДИАГНОСТИКИ И НАЛАДКИ СУДОВОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Объект и цель научной работы. Повышение эффективности методик диагностики и наладки судового роторного энергооборудования.

Материалы и методы. В исследовании использовались расчетные методы, экспериментальные методы (комплекс стендов для исследования технического состояния судового энергооборудования) и методы анализа динамики роторных машин (модальный анализ роторов, анализ вибрационных характеристик подшипников, модель цифрового двойника оборудования). Данные методы позволяют определить причины повышенной вибрации оборудования, диагностировать дефекты установок и их фундаментов, получить прогноз поведения объекта в процессе эксплуатации и сократить время наладки и ремонта оборудования.

Основные результаты. С помощью цифрового двойника удалось смоделировать дефект дисбаланса и провести балансировку реальной установки.

Заключение. Первый этап лабораторных исследований в области применения комплексной методики при вибродиагностике и виброналадке оборудования показал свою эффективность. Предлагаемая комплексная методика позволяет: 1) определять техническое состояние объекта наладки и основные причины повышенной вибрации; 2) определять оптимальную методику проведения наладки оборудования; 3) проводить наладку установок при минимальных энергетических и временных затратах.

Дальнейшая работа направлена на повышение эффективности методики. Планируется проведение исследований в области установления величины влияния на вибрационные параметры различных дефектов (расцентровка валов, нарушения жесткости опорной конструкции и др.) и моделирования этих дефектов в цифровой модели, используемой при проведении виброналадки оборудования. Эффективность методики авторы намерены проверять в лаборатории и на действующем оборудовании морских судов.

Ключевые слова: вибрация, цифровой двойник, диагностика, наладка, валидации математических моделей.

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

UDC 681.518.5:629.5.064.5
EDN: GSDKWG

O.S. Portnova, M.V. Gribinichenko, R.A. Plaksin, P.A. Andruhina
Polytechnic Institute (School), Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

METHODOLOGY OF COMPREHENSIVE DIAGNOSTICS AND SETTING UP OF SHIP POWER EQUIPMENT

Object and purpose of research. Improving the diagnostics and set-to-work procedures for ship's power rotary equipment.

Materials and methods. The study employs calculations techniques and experimental methods (using a complex of test facilities for investigating the technical status of ship power equipment) as well as methods of analyzing dynamics of rotary machinery (modal analysis of rotors, vibration analysis of bearings, digital twin models of equipment). These methods make it possible to tell what causes excessive vibration of equipment, to diagnose defects of equipment and foundations, to predict behavior during service and to save time in setting up and maintenance of hardware.

Для цитирования: Портнова О.С., Грибиниченко М.В., Плаксин Р.А., Андрюхина П.А. Комплексная методика диагностики и наладки судового энергетического оборудования. Труды Крыловского государственного научного центра. 2024; 4(410): 132–136.

For citations: Portnova O.S., Gribinichenko M.V., Plaksin R.A., Andruhina P.A. Methodology of comprehensive diagnostics and setting up of ship power equipment. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2024; 4(410): 132–136 (in Russian).

Main results. The digital twin model enabled us to simulate out-of-balance operation and perform balancing of the actual installation.

Conclusion. The first laboratory studies of the integrated methodology have shown that it is an effective procedure for vibration-based diagnostics and set-up of equipment. This methodology enables us: 1) to find out the technical status of equipment and main causes of excessive vibration; 2) to identify the optimal setting up procedures; 3) to set up the equipment at minimum power consumption in short time.

Further efforts will be focused on making the methodology more efficient. It is planned to investigate how vibration parameters are affected by various defects (shaft misalignments, lack of rigidity in foundations, etc.) and simulation of these faults by a digital model used for vibration-based tuning procedures. The methodology to be further refined in the laboratory using actual equipment of sea-going vessels.

Keywords: vibration, digital twin, diagnostics, setting-to-work, validation of mathematical models.

The authors declare no conflicts of interest.

Введение

Introduction

Одной из ключевых задач в области эксплуатации промышленного оборудования (в частности, оборудования морских судов) является адекватная оценка его технического состояния. Это позволяет повысить надежность и ресурс оборудования при снижении затрат на его эксплуатацию и техническое обслуживание (ТО).

Определением технического состояния промышленного оборудования без его разборки занимается специальная дисциплина – техническая диагностика. Это область науки и техники, изучающая и разрабатывающая методы и средства определения и прогнозирования технического состояния механизмов, машин и оборудования.

Использование методов диагностики актуально на различных этапах жизненного цикла оборудования: при проведении пусконаладочных работ и контроля качества в процессе постройки или ремонта судна, а также в процессе его эксплуатации для своевременного выявления зарождающихся дефектов и проведения (при необходимости) технического обслуживания.

Современное развитие технологий обработки информации вывело техническую диагностику на принципиально новый уровень. Методы диагностирования позволяют идентифицировать дефект и уровень его развития, составить прогноз дальнейшего развития дефектов, определить сроки ТО и ремонта оборудования, соответствующие его фактическому состоянию.

Одним из наиболее эффективных методов диагностики является вибрационная диагностика. Метод основан на анализе параметров вибрации, создаваемой работающим оборудованием, и позволяет с минимальными затратами получить информацию о состоянии объекта, а также провести вибрационную наладку установок (снижение вибрации до

допустимого уровня). Настоящая работа посвящена исследованиям в этой области.

Вместе с тем при проведении диагностики и виброналадки оборудования возникают проблемы, связанные с неточностями существующих методик при определении типа дефекта и уровня его развития, а также характера влияния ротора на его опоры.

На практике эти проблемы приводят к увеличению затрат при введении в эксплуатацию и непосредственно эксплуатации оборудования. Например, увеличиваются пробные пуски при вибрационной наладке, которая во многих случаях заключается в проведении балансировки ротора в собственных опорах. Каждый дополнительный пуск разбалансированной системы негативно влияет на все узлы агрегата: изнашиваются подшипники, возникают прогибы и напряжения в металле.

Таким образом, исследования в области диагностики и наладки промышленного оборудования являются актуальными. Их целью является повышение эффективности методик диагностики и наладки промышленного оборудования.

Авторами разрабатывается комплексная методика диагностики и наладки судового энергетического оборудования, включающая в себя ряд методов оценки технического состояния, которые принципиально отличаются друг от друга, но направлены на общий результат – выдачу диагностического заключения и рекомендации о внесении изменений для снижения уровня вибрации.

В основе одних методов лежит эмпирическое исследование объекта, при котором в систему вводят пробный импульс (устанавливают пробные массы) и по отклику принимают решение о корректирующих массах. В основе других методов – теоретический анализ конструкции с учетом параметров данной конкретной установки.

Эффективность комплексного подхода заключается в сравнении технических заключений, полученных различными методами. В числе исследуе-



Рис. 1. Экспериментальный стенд для исследования вибрационных характеристик судовых машин

Fig. 1. Test bench for studying vibration characteristics of ship machinery

мых – метод, базирующийся на применении цифрового двойника оборудования. Применение указанной технологии может кардинально изменить подходы к проведению диагностики и наладки и существенно повысить их эффективность.

Использование цифрового двойника связано с разработкой модели оборудования в одной из программ автоматического проектирования и приведением этой модели к адекватному состоянию с учетом данных о характеристиках оборудования, полученных опытным путем. Исходя из этого при проведении настоящей работы использовались как экспериментальные, так и теоретические (расчетные) методы исследования.

Экспериментальные методы

Experimental methods

Для проведения данных исследований использовался комплекс экспериментальных стендов лаборато-

рии виброналадки и вибродиагностики Дальневосточного федерального университета.

На рис. 1 показан стенд, который представляет собой систему валов, опирающихся на опоры. Система приводится в действие электродвигателем. Второй электродвигатель работает в режиме генератора и создает нагрузку на приводной двигатель.

При проведении исследования на опоры устанавливаются датчики вибрации – акселерометры. С помощью таходатчика измеряется частота вращения ротора. Производится запуск установки и ее разгон (выбег), при этом измеряются параметры вибрации. Получаемая информация поступает на анализатор, где проводится первичная обработка вибрационного сигнала. Далее информация используется в специализированных программах анализа и обработки данных.

Полученные экспериментальные данные используются при создании цифрового двойника или проверки адекватности результатов, получаемых расчетным путем (с помощью цифрового двойника).

Теоретические методы

Theoretical methods

Указанные исследования направлены на разработку методики создания цифрового двойника. Далее приводится описание предлагаемого авторами алгоритма создания цифрового двойника и результаты анализа адекватности созданного в лаборатории цифрового двойника.

В основе разрабатываемой методики проведения виброналадки (балансировки) ротора на месте эксплуатации лежит алгоритм создания цифрового двойника. На рис. 2 представлена укрупненная схема алгоритма. Рассмотрим ее более подробно.

На первом этапе создается трехмерная модель объекта. В данном случае рассматривается ротор экспериментальной установки.

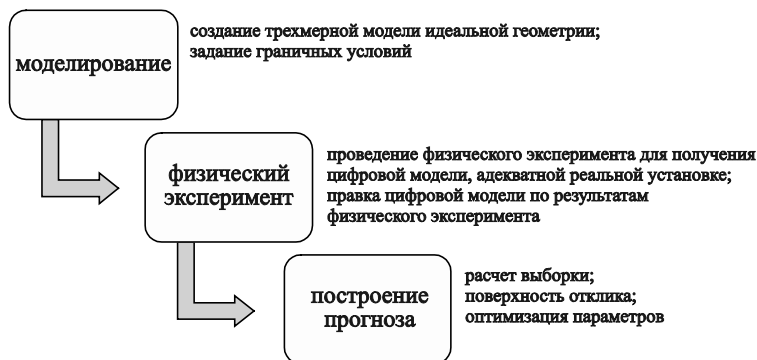


Рис. 2. Алгоритм создания цифрового двойника

Fig. 2. Algorithm for creating a digital twin

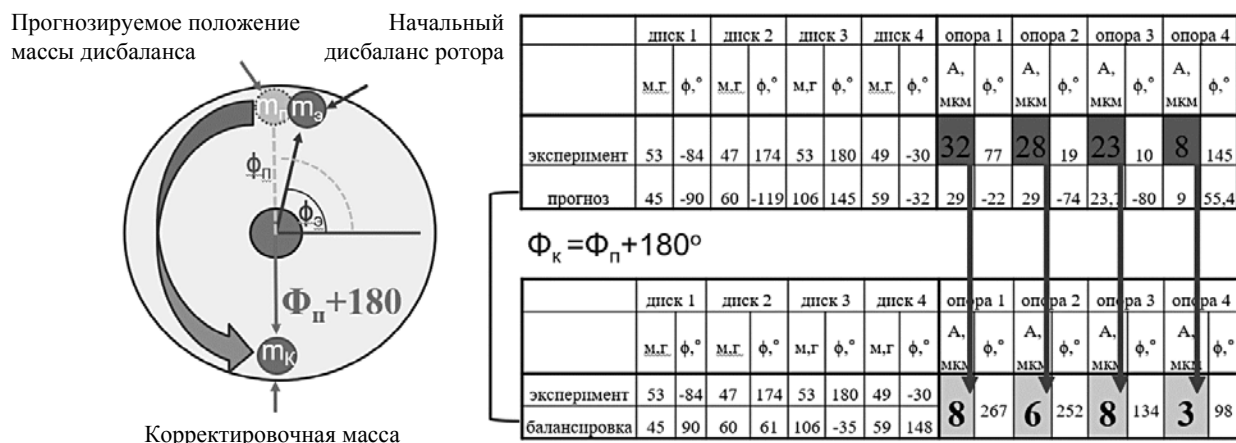


Рис. 3. Результаты применения цифрового двойника
Fig. 3. Results obtained by a digital twin model

Далее необходимо сделать эту модель адекватной физическому объекту. Для этого следует провести физический эксперимент и подобрать параметры трехмерной модели таким образом, чтобы результаты расчета ее вибрационных характеристик совпадали с заданной точностью с результатами измерения вибрации.

При проведении эксперимента на объект устанавливаются датчики вибрации, которые подают вибросигналы на анализатор. Анализатор проводит первичную обработку сигналов и представляет специалисту данные для дальнейшего анализа.

Затем проводится прогнозирование поведения объекта при различных воздействиях (например, различных расположениях корректирующих масс).

Для проверки полученных значений проведен физический эксперимент – балансировка. На диски вместе с первоначальными грузами дисбаланса был установлен второй набор грузов, положение которых равно углу положения прогнозируемых масс +180. На рис. 3 представлены результаты применения цифрового двойника.

Данные, полученные прогнозированием, позволили уменьшить вибрацию на экспериментальном стенде с 32 до 8 мкм.

Заключение

Conclusion

Применение современных методов диагностики и настройки промышленного оборудования актуально как для строящихся судов, так и для судов, находящихся в эксплуатации.

Эффективность применения методов диагностики и настройки оборудования во многом обусловлена уровнем развития информационных технологий. В частности, перспективным является применение цифровых двойников.

Предлагаемый авторами комплексный метод диагностики и настройки основан на применении как классических методов анализа, основанных на эмпирическом подходе к исследованию характеристик объекта, так и новых, базирующихся на применении цифровых двойников.

Разработанный метод вибронастройки с использованием цифрового двойника показал свою эффективность в лабораторных условиях. Дальнейшие исследования направлены на проверку комплексного подхода к диагностике и настройке на действующих объектах, а также на повышение эффективности предлагаемой методики.

Список использованной литературы

1. Гольдин А.С. Вибрация роторных машин. Москва : Машиностроение, 1999. 344 с.
2. Гусаров А.А., Деглин Э.Г. Балансировка упругодеформируемых роторов методом постановки балансировочных грузов на упругих элементах // Колебания и уравнивание роторов. Москва : Наука, 1973. С. 99–103.
3. Диментберг Ф.М., Шаталов К.Т., Гусаров А.А. Колебания машин. Москва : Машиностроение, 1964. 220 с.
4. Вибрации в технике : Справочник : В 6 т. Т. 6 : Защита от вибрации и ударов / [В.К. Асташев, В.И. Бабицкий, И.И. Быховский и др.]. Москва : Машиностроение, 1981. 456 с.
5. Шепетильников А.В. Балансировка машин и приборов. Москва : Машиностроение, 1979. 294 с.

References

1. *Goldin A.S.* Vibration of rotary machines. Moscow : Mashinostroenie, 1999. 344 p. (in Russian).
2. *Gusarov A.A., Deglin E.G.* Balancing of elastically deformed rotors by putting balance weights on elastic elements // Rotor oscillations and balancing. Moscow : Nauka, 1973. P. 99–103 (in Russian).
3. *Dimentberg F.M., Shatalov K.T., Gusarov A.A.* Vibration of machines. Moscow : Mashinostroenie, 1964. 220 p. (in Russian).
4. Vibration in engineering: Handbook: in 6 vol. Vol. 6 : Protection against vibration and shocks/ [V.K. Astashev, V.I. Babitskiy, I.I. Bykhovskiy et al.]. Moscow : Mashinostroenie, 1981. 456 p. (in Russian).
5. *Shepetilnikov A.V.* Balancing of machines and instruments. Moscow : Mashinostroenie, 1979. 294 p. (in Russian).

Сведения об авторах

Портнова Олеся Сергеевна, к.т.н., доцент отделения машиностроения, морской техники и транспорта Политехнического института (школы) ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет». Адрес: 690922, Россия, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10. E-mail: portnova.os@dvfu.ru.

Грибиниченко Матвей Валерьевич, к.т.н., доцент отделения машиностроения, морской техники и транспорта Политехнического института (школы) ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет». Адрес: 690922, Россия, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10. E-mail: gribinichenko.mv@dvfu.ru.

Плаксин Роман Александрович, аспирант отделения машиностроения, морской техники и транспорта Политех-

нического института (школы) ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Адрес: 690922, Россия, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10. E-mail: plaksin_ra@dvfu.ru.

Андрюхина Полина Александровна, аспирант отделения машиностроения, морской техники и транспорта Политехнического института (школы) ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет». Адрес: 690922, Россия, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10. E-mail: andriukhina.pa@dvfu.ru.

About the authors

Olesya S. Portnova, Cand. Sci. (Eng), Associate Professor of Machine Engineering, Marine Technology and Transport Department, Polytechnic Institute (School), Far Eastern Federal University. Address: 10, Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, Primorski krai, Russia, post code 690922. E-mail: portnova.os@dvfu.ru.

Matvei V. Gribinichenko, Cand. Sci. (Eng), Associate Professor of Machine Engineering, Marine Technology and Transport Department, Polytechnic Institute (School), Far Eastern Federal University. Address: 10, Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, Primorski krai, Russia, post code 690922. E-mail: gribinichenko.mv@dvfu.ru.

Roman A. Plaksin, PhD Student of Machine Engineering, Marine Technology and Transport Department, Polytechnic Institute (School), Far Eastern Federal University. Address: 10, Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, Primorski krai, Russia, post code 690922. E-mail: plaksin_ra@dvfu.ru.

Polina A. Andriukhina PhD Student of Machine Engineering, Marine Technology and Transport Department, Polytechnic Institute (School), Far Eastern Federal University. Address: 10, Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, Primorski krai, Russia, post code 690922. E-mail: andriukhina.pa@dvfu.ru.

Поступила / Received: 18.06.24
Принята в печать / Accepted: 14.11.24
© Коллектив авторов, 2024