

УДК 629.12

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СУДОВОГО ВАЛОПРОВОДА ПРИ ПОМОЩИ ФАЗОМЕТРИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Матвеев Юрий Иванович¹, д.т.н., профессор кафедры судовых энергетических установок
e-mail: matveeveseu@mail.ru

Семенов Евгений Павлович¹, аспирант
e-mail: evgenysementsov@yandex.ru

Пашенко Андрей Эдуардович², генеральный директор
e-mail: vtbis2023@mail.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

² ООО «ВтБИС», Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Рассматривая методы оценки технического состояния судового валопровода ООО «ВтБИС» представляет новый прибор собственной разработки фазометрический комплекс и контрольно-измерительный комплекс на его базе для дистанционного измерения деформаций, перемещений и сдвигов технологического оборудования и его элементов в процессе разработки, эксплуатации или испытаний в авиа-, судо- и машиностроении, не имеющий аналогов в мире. К основным преимуществам метода относятся бесконтактность и невозмущающее воздействие измерений, их непрерывность, которая обеспечивает диагностику в реальном времени, высокая точность, а также возможность изучения внутренней структуры объектов и сред, пропускающих зондирующее излучение.

Ключевые слова: радиолокационный метод, валопровод, высокая точность, зондирующие излучение, контрольно-измерительный комплекс.

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF A SHIP'S SHAFTING LINE USING A PHASE METER COMPLEX

Yuri I. Matveev¹, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Marine Power Plants

e-mail: matveeveseu@mail.ru

Evgeniy P. Sementsov¹, Doctoral Student

e-mail: evgenysementsov@yandex.ru

Andrey E. Pashenko², General Manager

e-mail: vtbis2023@mail.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

² VtBIS LLC, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. In examining methods for assessing the technical condition of marine propeller shafts, VtBIS LLC presents a new, proprietary phase-measuring system and a control and measurement

system based on it. This system is unique in the world for remotely measuring deformations, displacements, and shifts of process equipment and its components during development, operation, or testing in aircraft, shipbuilding, and mechanical engineering. The key advantages of this method include contactless and non-disturbing measurements, continuous measurements that enable real-time diagnostics, high accuracy, and the ability to study the internal structure of objects and environments that transmit probing radiation.

Keywords: radar method, shaft line, high precision, probing radiation, control and measuring complex.

Микроволновое зондирование – эффективный метод экспериментального исследования разнообразных физических объектов и сред, широко используемый как в системах большой дальности (например, в дистанционном зондировании Земли, атмосферы и космических объектов), так и в системах малой дальности: средствах неразрушающего контроля, медицинской диагностики и т.д. Существуют как активные, так и пассивные системы микроволнового зондирования. Рассматриваемые ниже интерферометры миллиметрового диапазона являются активными системами.

Интерферометры миллиметрового диапазона электромагнитных волн по сравнению с аналогичными системами оптического диапазона примерно на три порядка более устойчивы к воздействию таких мешающих факторов как шероховатость или коррозия отражающей поверхности, задымление или запыление рабочей среды, вибрации опор, загрязнение апертур, и при этом обеспечивают приемлемую для перечисленных приложений точность измерения. Разработка микроволновых аналогов лазерных систем дистанционного контроля позволила существенно расширить область их применение в тяжелых (неприемлемых для оптических систем) внешних условиях эксплуатации. Кроме того, метод микроволновой интерферометрии применим для контроля не только вибраций, но и квазистатических, а также динамических, невоспроизводимых периодически, процессов движения.

Измерительный комплекс позволяет контролировать перемещение границы отражения и вибрации в местах, где невозможно прикрепить датчики, снимается информация при задымлении или запылении, неизбежных в процессе эксплуатации двигателей и других подвижных деталей на судах. Применение методов математической обработки позволяет в режиме реального времени получить фазовый портрет исследуемого процесса, в нашем случае это вибрации работающего валопровода.

На ФМК 125 получен сертификат об утверждении типа средств измерений № 94164-24 (Рисунок 1).



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ**

СЕРТИФИКАТ
об утверждении типа средств измерений
№ 94164-24

Срок действия утверждения типа до 24 декабря 2029 г.

НАИМЕНОВАНИЕ И ОБОЗНАЧЕНИЕ ТИПА СРЕДСТВ
ИЗМЕРЕНИЙ Комплексы фазометрические ФМК 125

ИЗГОТОВИТЕЛЬ
Общество с ограниченной ответственностью «Высокоточные
Бесконтактные измерительные системы» (ООО «ВТБИС»), г. Нижний
Новгород

ПРАВООБЛАДАТЕЛЬ
Общество с ограниченной ответственностью «Высокоточные
Бесконтактные измерительные системы» (ООО «ВТБИС»), г. Нижний
Новгород

КОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА
ОС

ДОКУМЕНТ НА ПОВЕРКУ
МП ВТБИС.462169.001

ИНТЕРВАЛ МЕЖДУ ПОВЕРКАМИ 1 год

Тип средств измерений утвержден приказом Федерального агентства по техническому
регулированию и метрологии от 24 декабря 2024 г. № 3078.

Заместитель Руководителя  Е.Р. Лазерено

«27» декабря 2024 г.

Рисунок 1 – Сертификат об утверждении типа средств измерений

В основу разработки положены результаты многолетних исследований, выполненных авторами в интересах Федерального Ядерного Центра (РФЯЦ-ВНИИЭФ).

Измерения фиксируют передвижение участков поверхности объекта.

Основные показатели назначения:

- диапазон измеряемых перемещений от 2×10^{-6} м до 10^{-2} м;
- диапазон скоростей (с различными регистраторами) – от 10^{-3} м/с до 10^3 м/с;
- диапазон спектра измеряемых частот колебаний – от 10^{-3} Гц до 5×10^6 Гц;
- дальность действия от 5×10^{-2} м до 4×10^{-1} м;
- максимальная погрешность измерения перемещения – 8 мкм.
- внешняя температура среды без конструктивных доработок -40°C $+70^{\circ}\text{C}$, с доработкой изделия измерения зазоров в турбине могут быть проведены при температуре до $+1100^{\circ}\text{C}$.

- прибор обладает повышенной устойчивостью к электромагнитному излучению.

Рассмотрим основные этапы исследований, проведенных сотрудниками компании ООО «ВТБИС» в различных сферах народного хозяйства.

На начальном этапе мы рассматривали следующие направления, по которым были проведены заделы:

1. Водный транспорт – совместно с сотрудниками ВГУВТ были произведены измерения по определению резонансных частот колебания валопровода СЭУ и обоснование возможности контроля скрутки валопровода.

2. Анализ лопаток турбин – выполнен ряд работ с НПО «ЦКТИ им. И.И. Ползунова».
 3. Железная дорога – показана возможность создания переносного дефектоскопа для предварительного анализа наличия трещин в колесных парах.
 4. Капитальное строительство – проведен анализ колебания фундамента ННГАУ.
- Продолжение получили работы по первым двум направлениям.

Рассмотрим практическое применение измерительного комплекса на примерах работы с АО «Волго – флот». Совместно со специалистами ВГУВТ было подготовлено и направлено в Российское Квалификационное Общество предложение по созданию «Инструментального бесконтактного контроля качества судовых валопроводов, биения и крутильных колебаний во время эксплуатации с возможностью создания цифрового паспорта валопровода». В рамках этого проекта специалистами предприятия ООО «ВтБИС» были проведены замеры на т/х «Волго-Дон» показавшие эффективность работы данного измерительного комплекса.

В качестве основных элементов анализа рассматриваются следующие величины:

- амплитуда биения при работающем двигателе;
- гармонический анализ траектории движения границы валопровода по отношению к датчику;
- фазовый портрет траектории движения границы валопровода по отношению к датчику, эти данные характеризуют точки закрепления валопровода.

Измерения проходили от 120 оборотов в минуту до 300 оборотов в минуту. Было проведено четыре серии измерений – по два на каждый валопровод в точках 1 (кормовая часть опорно-упорного подшипника, место соединения промежуточный вал – гребной вал) и точке 2 (носовая часть промежуточного вала, место соединения зубчатой муфты и концевого вала).

Перед началом каждой серии проводились замеры с остановленным валопроводом для определения уровня шума в каждой серии.

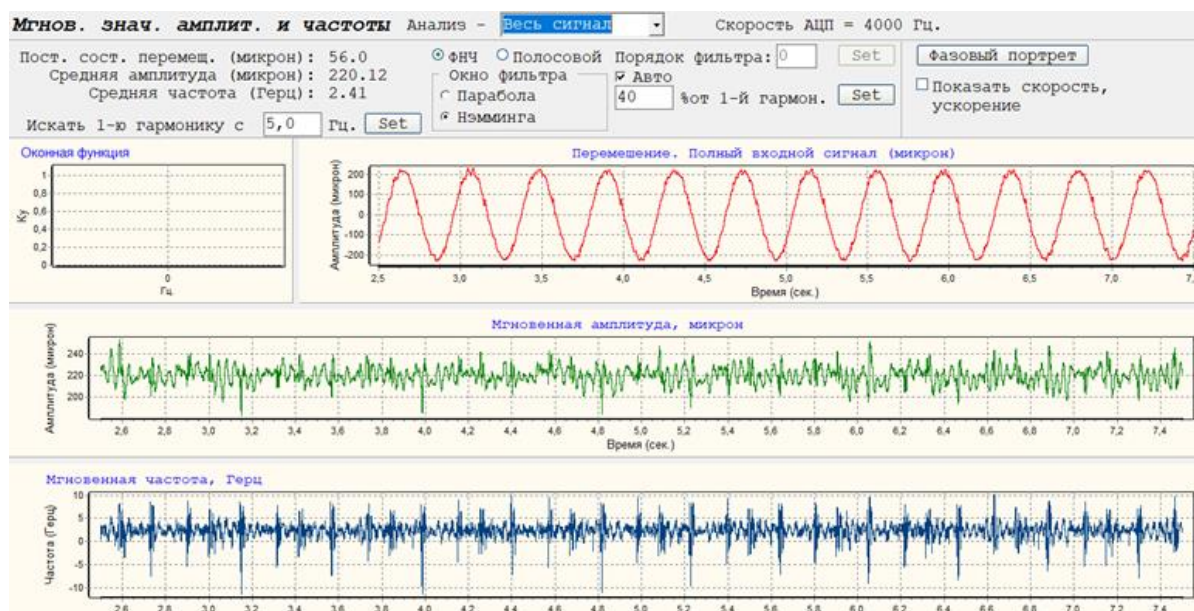


Рисунок 2 – Измерение колебания валопровода при 144 оборотах/мин

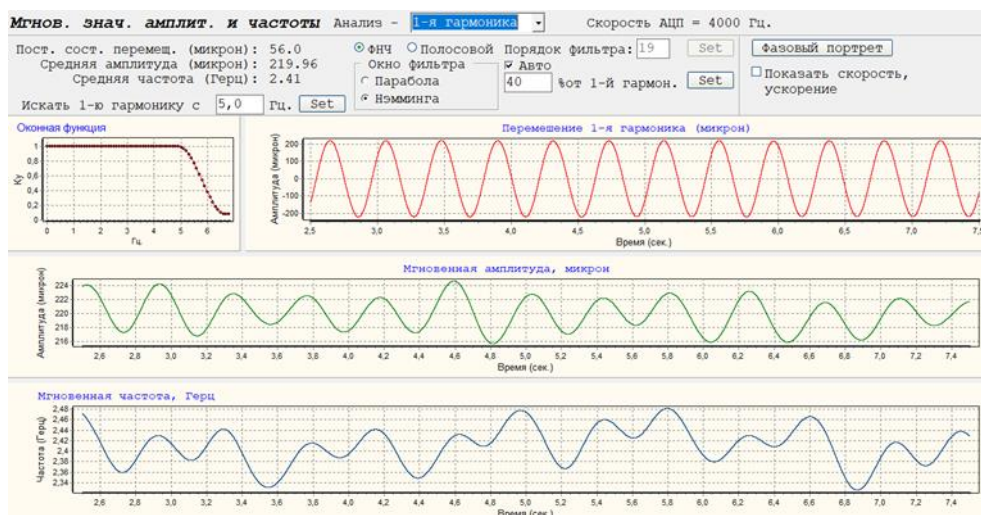


Рисунок 3 – Поведение первой гармоники после разложения сигнала в ряд Фурье

Таблица 1. Основные моды колебания поверхности валопровода при 144 обор. /мин.

	Амплитуда, мкм	частота Гц	частота об/мин
весь сигнал	220,12	2,41	144,6
1 гармоника	219,6	2,41	144,6
2 гармоника	2,84	4,81	288,6
3 гармоника	2,12	7,23	433,8
4 гармоника	2,27	9,64	578,4
5 гармоника	0,61	12,04	722,4

В таблице 1 приведены основные характеристики гармоник сигнала после гармонического анализа сигнала (преобразования Фурье). Соотношение амплитуды первой гармоники по сравнению с остальными говорит о хорошем состоянии зубчатой муфты при работе двигателя на этих оборотах (144 оборота в минуту).

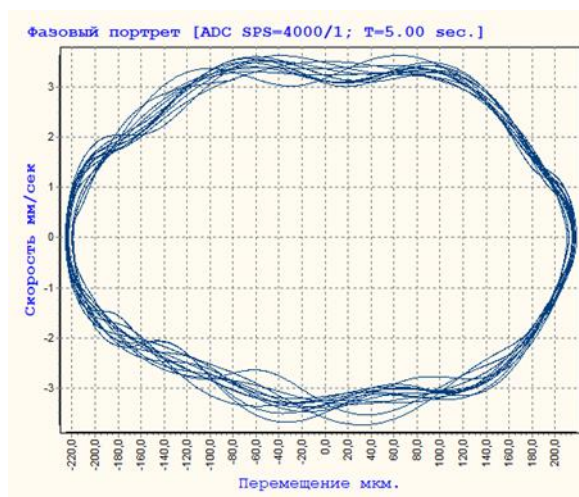


Рисунок 4 – Фазовый портрет правого валопровода в точке 1 при 144.6 оборотах в минуту

Наличие не нулевых по амплитуде высших (начиная со второй) гармоник приводит к фигуре, напоминающей эллипс (эллипс реализуется при идеальной работе всех механизмов двигателя, что в принципе невозможно). Близость этой фигуры к эллипсу характеризует хорошую работу зубчатой муфты на данном судне.

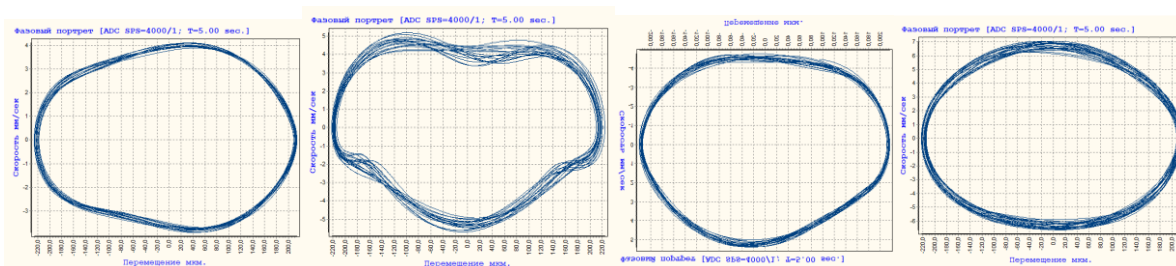


Рисунок 5 – Фазовые портреты при 169,2, 205,8, 250,2, 287,4 оборотах в минуту

Выводы по замерам на судне «Волго-дон 5050»:

1. Амплитуды биения валопровода не более 0,2 мм, разброс изменения амплитуд не превышает 6 процентов при всех режимах оборота двигателя.

2. Анализ фазовых портретов показал следующее:

2.1 Характерная форма кривой на диаграммах для каждой точки претерпевает незначительные изменения, что говорит о стабильности закрепления валопровода. Новые факторы, ведущие к «разбалтыванию» крепления валопровода не появляются при увеличении оборотов двигателя.

2.2 Анализ фазовых портретов точек 2 (место соединения – носовая часть промежуточного вала соединения с зубчатой муфтой и концевой вала) левого и правого валопровода говорит о наличии дефектов при монтаже валопровода в точках соединения – носовой части промежуточного вала соединения с зубчатой муфтой и концевой вала. Дефект не является критическим, поскольку форма кривой на фазовой плоскости меняется не значительно на всем диапазоне оборотов двигателя.

Список литературы:

1. Белоус, А.И. СВЧ-электроника в системах радиолокации и связи. Техническая энциклопедия. В 2-х книгах. Книга 1/ А.И. Белоус, М.К. Мерданов, С.В. Шведов – М.: Техносфера, 2018. – 818 с.
2. Канаков, В.А. Методы микроволнового зондирования, устойчивые к изменению условий измерения: дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 01.04.03/ Канаков Владимир Анатольевич. – Н. Новгород, 2011. – 408 с.
3. Сандовский А.В., Гаврилов С.Н., Хоменок Л.А., Карпычев А.В., Шорохова З.Ф., Черёмхин М.Н., Пашенко А.Э., Родионов А.В. Применение радиолокационной системы в качестве метода исследования лопаточного аппарата турбоагрегата. Надежность и безопасность энергетики. 2024
4. Федеральное Автономное Учреждение «Российское Классификационное Общество. Правила Освидетельствования судов в процессе их Эксплуатации.
5. Пашенко А. Э. Измерение колебаний валопровода судна в эксплуатации бесконтактным фазометрическим методом / А. Э. Пашенко, А. В. Родионов, Е. Г. Бурмистров // Речной транспорт XXI век. – 2022. – № 3 (103).