

УДК 656

**КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СУДОВЫХ ВИНТОРУЛЕВЫХ КОЛОНОК МЕТОДОМ КОНТРОЛЯ ПО ВИБРАЦИОННЫМ ПАРАМЕТРАМ****Шабанов Денис Александрович<sup>1</sup>**, аспирантe-mail: [desysa9898@mail.ru](mailto:desysa9898@mail.ru)<sup>1</sup> Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

**Аннотация.** Данная статья описывает методы контроля и диагностики винторулевых колонок на судах и морских буксирах с использованием безразборных методов, таких как измерения температуры масла, контроль качества масла, вибрационный контроль и вибрационный анализ. Регулярный мониторинг технического состояния ВРК позволяет выявлять дефекты на ранних стадиях, делать прогнозы состояния и сокращать продолжительность и стоимость ремонтных работ. Метод контроля с помощью вибрационных параметров обеспечить приобретению результатов, наличие места дефекта, мониторинг за развитием дефекта и выявления прогнозов. Анализ результатов контроля включает оценку технического состояния элементов ВРК на различных частотах и выдачу заключений. Методика контроля позволяет определять техническое состояние ВРК и подшипников валопровода, а также выявлять возможные дефекты и причины повышенной вибрации.

**Ключевые слова:** винторулевая колонка, метод вибраций, гидродинамический шум.

**CONTROL OF THE TECHNICAL CONDITION OF A SHIP'S VINTOR-LEFT SPEAKERS BY CONTROL METHOD BY VIBRATION PARAMETERS****Denis A. Shabanov<sup>1</sup>**, Doctoral Studente-mail: [desysa9898@mail.ru](mailto:desysa9898@mail.ru)<sup>1</sup> Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

**Abstract.** This article describes the methods of control and diagnostics of screw columns on ships and marine tugs using non-slip methods such as oil temperature measurement, oil quality control, vibration control and vibration analysis. Regular monitoring of the technical condition of the CMR allows the early detection of defects, making predictions of the condition and reducing the duration and cost of repair work. The vibration control method provides quick results, the ability to determine the location of the defect, monitoring the development of the defect and making forecasts. The analysis of the results of the monitoring includes the assessment of the technical condition of the VRC elements at various frequencies and the issuance of opinions. The method of control allows to determine the technical condition of VRK and bearings of the shaft, as well as to identify possible defects and causes of increased vibration.

**Keywords:** screw steering column, vibration method, hydrodynamic noise.

## Введение

В наше время на судах находят широкое применение винторулевые колонки (ВРК), поставляемые фирмами Aquamaster (Rolls Royce), Schottel (Siemens) и др. Нормативная и техническая документация классификационных обществ (Российский морской регистр судоходства (РС), Det Norske Veritas, Lloyd Register of Shipping и др. позволяют проводить освидетельствование судовых технических средств (СТС) с использованием безразборных методов диагностики путём проведения измерений, анализа результатов отбора и улучшения промышленного состояния объектов надзора, в качестве которых обычно выступают насосы, вентиляторы, турбокомпрессоры дизелей, ВРК, центробежные сепараторы и т. д. Результаты контроля и анализа изменения технического состояния СТС, сведения о выполненных работах при проведении технического обслуживания, информация об отказах и заменах деталей в период между освидетельствованиями согласовываются с РС и включаются в базу данных когда для проведения безразборного освидетельствования ВРК, что, в свою очередь, даёт возможность судовладельцам:

- увеличить промежуток времени между разборками СТС, чтобы предъявить их инспекторам РС;

- сократить длительность заводского ремонта и увеличить срок эксплуатации судна;
- сократить трудозатраты на все частоты виды ремонта и технического обслуживания;
- снизить расходы на приобретение сменно-запасных частей.

Контроль параметров ВРК вызывает особый интерес среди современных СТС.

Методы и рекомендации, позволяющие проводить мониторинг при плановом и предупредительном обслуживании проведён ВРК, а также для повышения эффективности технического обслуживания судов, разработаны для осуществления колебаний мониторинга в период планового обслуживания ВРК.

В целях осуществления контроля за вибрацией ВРК, необходимо разработать план по контролю технического состояния ВРК и линии вала, который согласуется с РС, а также проводить регулярные (не реже одного раза в год) измерения вибрационных характеристик конструкций ВРК и результат линий область вала.

Для того чтобы контролировать техническое состояние ВРК, необходимо проводить визуальный контроль. Это означает регулярный осмотр каждой систем и элементов целых ВРК межремонтный период, что включает в себя их регулярное техническое обслуживание. В процессе осмотра судна, который проводится во время докования, происходит осмотр всех его подводных механизмов и их элементов. Обязательными являются следующие процедуры:

- 1) измерение уровня масла в ВРК;
- 2) измерение температуры масла в ВРК.

С помощью повахтенных записей, которые ведутся в журнале, каждые 3 месяца в него вносятся следующие регулярные записи:

- средние значения температуры за точный период времени;
- результаты контроля качества масла в специализированной лаборатории сертифицированной РС (проводится не реже 2 раз в год согласно «Сборнику инструкций по дефектам всех видов смазочных и гидравлических масел, используемых на судах морского флота»);
- анализ шума и вибрации, который можно провести, например, с помощью прибора SVAN 912AE, или приборов с подтвержденной сертификацией, которые работают в узкополосном диапазоне 1...1500 Гц.



## Методологии и материалы

В настоящее время существует несколько эффективных способов, которые позволяют контролировать техническое состояние ВРК. Одним из них является метод, который позволяет контролировать вибрационные параметры, зафиксировать начальное техническое состояние ВРК и проследить его изменения в процессе эксплуатации. Кроме того, метод даёт возможность выявить недостатки вращающихся элементов на стадии их зарождения и проследить за развитием. На основе этих наблюдений (при условии их регулярного и периодического проведения) возможно сделать вывод о техническом состоянии ВРК и дать прогноз о его состоянии на некоторый промежуток времени.

Основные достоинства метода контроля по вибрационным параметрам:

- высокая оперативность получения результатов измерений (вибрации общая оценка технического состояния элементов может занять от 30 мин. до 1 ч. непосредственно на борту судна);
- возможность определения места возникновения дефекта;
- возможность определения дефекта на этапе его возникновения, когда другими методами этого сделать невозможно;
- возможность наблюдения за развитием дефекта и недопущения достижения им критических величин и, как следствие, аварийного выхода ВРК из строя;
- составление прогноза по изменению технического состояния на определенный период, что позволяет своевременно и качественно подготовиться к проведению ремонтных работ, сократить сроки и стоимость ремонта;
- сравнительно невысокая стоимость и мобильность приборного обеспечения методов;
- возможность получения данных о состоянии не только ВРК, но и связанных с ней механизмов, элементов корпуса.

Подготовка к проведению виброволнового контроля включает в себя:

- а) вибрационный контроль ВРК и подшипников вала (осуществляется на трёх режимах работы двигателя, в том числе при работе с вибрацией);
- б) анализ результатов измерения оценкой:
  - средних значений (СКЗ) уровня вибрации в диапазоне частот 10...1000 Гц соответствуют техническому состоянию ВРК;
  - уровня вибрации в диапазоне частот 10...1000 Гц (является индикатором технического состояния подшипников валопровода);
  - параметров работы ВРК на характерных частотах верхнего редуктора, промежуточного вала, нижнего редуктора и лопастной частоте в третьоктавном диапазоне частот;
  - технических характеристик работы ВРК на частоте работы вала винта, которая является характерной для данного редуктора;
- в) заключение по результатам анализа.

## Результаты

Вышеописанный алгоритм позволяет провести оценку общего технического состояния ВРК и подшипников валопровода по результатам СКЗ, сделав при этом вывод о техническом состоянии. Данный пункт позволяет проводить анализ и выявлять причину непосредственно вибрации, а именно выявить неисправный элемент. Такое положение вещей может быть обусловлено тем, что элементы ВРК и валопровод имеют различные степени износа.

СКЗ можно рассчитать по формуле

$$СКЗ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n A_i^2}{n}}, \quad (1)$$



где  $A$  – максимальная амплитуда,  $n$  – частота

Данную формулу можно применить для расчёта уровня вибрации в диапазоне 10...1000 Гц. В результате обобщения результатов анализа можно вычислить характерные частоты узлов ВРК.

Техническое состояние элементов оценивается в третьоктавном диапазоне с помощью диастереомера. Частота работы верхнего вредуктора, промежуточного вала и нижнего редуктора в данном диапазоне может быть зафиксирована. Кроме того, можно зафиксировать лопастную частоту гребного винта. На рис. 1 места можно представить пример спектра колебаний ВРК марки «Schottel» буксирного судна, находящегося в точке  $X$  при условии такой работы основного двигателя (ГД) с помощью частотой  $n=1800 \text{ мин}^{-1}$ . С помощью описанной схемы можно получить следующие результаты контроля состояния ВРК:

- определение СКЗ в диапазоне 10...1000 Гц;

- анализ вибрации по элементам ВРК в характерных полосах или в узком диапазоне.

Частота вибраций узлов ВРК характеризуется несколькими показателями:

- 1) гармоника частоты вращения вала (является ведущей составляющей);
- 2) число винтов;
- 3) числовое значение (число зубьев шестерни верхнего и нижнего редуктора соответственно);
- 4) частоту вращения ГД;
- 5) количество лопастей винта.

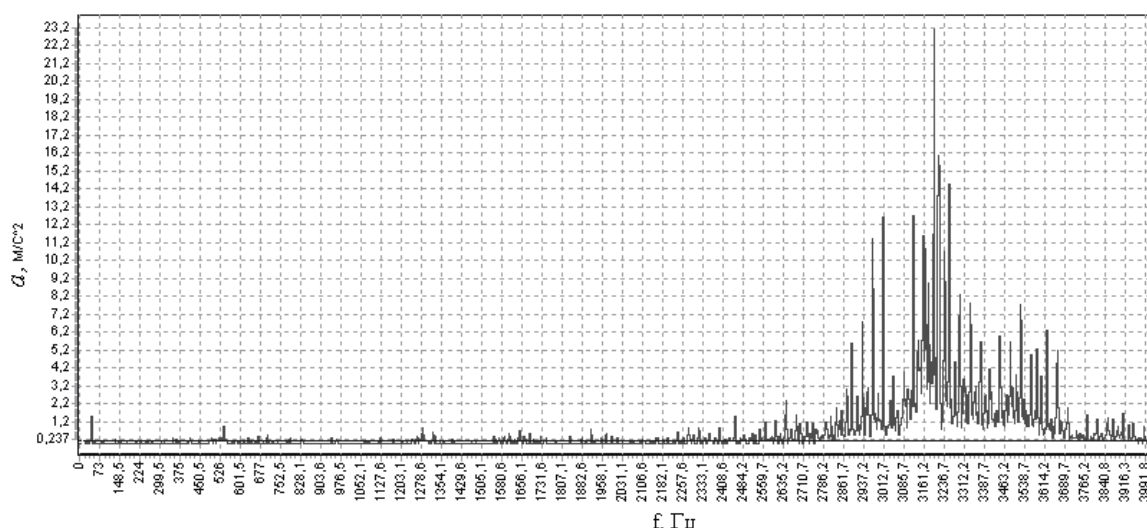


Рисунок 1 – Спектр колебаний ВРК марки «Schottel» буксирного судна при условии работы основного двигателя (ГД) с частотой  $n=1800 \text{ мин}^{-1}$

Относительная эффективностью частота валопровод вращения ГД 205 «Aquamaster» изменяется в пределах от 0,6 до 0,95 при выводится изменении характеристик относительной частоты вращения ГД. При этом колебания уровня вибрации находятся в пределах 2...4 мм/с. Как видно показатели из результатов уровня измерения, в случае изменения значения относительной частоты вращения ГД гармоника от 0,6 различных до 1 и последующего за этим повышения уровня вибрации на ВРК типа SRP1010 «Schottle» значительно возрастает и достигает значение  $v=17 \text{ мм/с}$ .

В то же время, с такими же размерами и мощностью, но с различными способами создания пропульсивных комплексов, уровня вибрации ВРК буксиров имеют существенные различия в зависимости от нагрузки. Проведение контроля вибрации

различных типов буксиров было осуществлено с помощью базы данных, которая была создана при участии автора. Это дало возможность разработать предложения по регулированию колебаний ВРК, контроль которых помещений используются defect для прибора морских судовых буксиров анализа типа вибрации US205 «Aquamaster» и показатели SRP1010 «время Schottel».

На основании этих результатов предложено маркировать показатели технических характеристик ВРК (состояние механизмов и оборудования) следующим образом: А – после изготовления (постройки судна) или после ввода судна в эксплуатацию после ремонта; В – в период нормальной эксплуатации; С – когда ВРК требует проведения технического обслуживания или ремонта.

Низкочастотные колебания, характерные для судовых ВРК, приводят к снижению их надёжности и долговечности. Уменьшить такие колебания возможно, например, с помощью глушителей гидродинамического шума – резонаторов Гельмгольца. Но при уменьшении частоты колебаний, вызывающих уменьшение гидродинамического шума, возрастает размер резонаторов. В результате этого уменьшение количества свободного места в судовых помещениях, которые и так переполнены оборудованием, механизмами и трубопроводами различных систем.

При использовании в судовых ВРК, которые содержат цистерны и другие ёмкости с рабочей средой для обеспечения снижения уровня гидродинамического шума на определенных частотах, следует применять упругие и инерционные элементы. В этом случае есть возможность избежать уменьшения свободного объёма судовых помещений. Для того чтобы проверить данную оригинальную идею, необходимо было провести её практическую апробацию. чтобы Для проведения натурного эксперимента, автор ремонта разработал и изготовил специальный стенд, схема которого приведена на рис. 2.

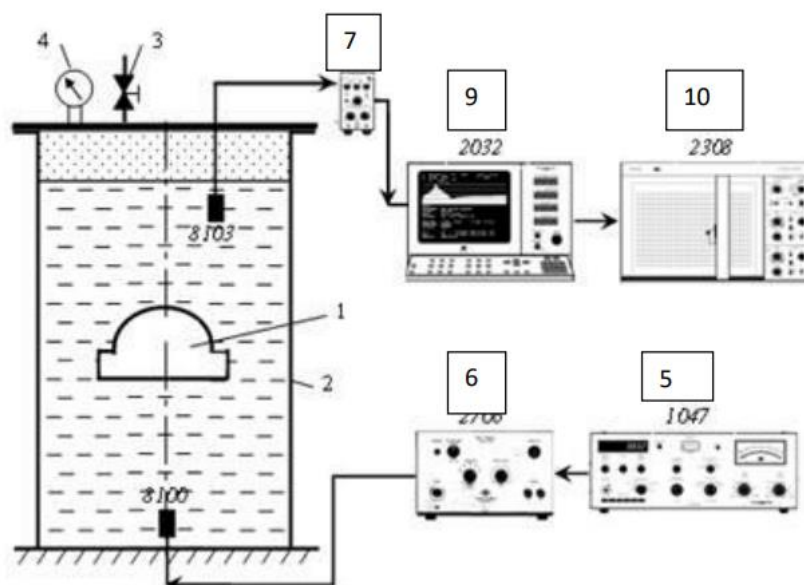


Рисунок 2 – Схема экспериментального стенда

Эксперимент проводился следующим образом: в металлический цилиндр 2, имеющий клапан 3 для вентиляции воздуха и манометр 4, был помещён элемент 1. Этот сосуд был наполнен водой, которая имела воздушную подушку. Для создания гидродинамического шума был использован гидрофон. Из-за использования усилителя мощности 6, он имел возможность получать возбуждения от генератора колебаний 5, используя генератор колебаний. Данный гидрофон был источником звуковых колебаний. механизмов Сигналы,



поступающие через предварительный усилитель 7 и промежуточный усилитель 8, проходили через первичный усилитель с помощью промежуточного усиления и затем через узкополосный анализатор 9, который в свою очередь анализировался и выводился на печать при помощи самописца 10.

Вследствие того, данные конструкции имеют свои упругие и инерционные свойства, зависящие от значения статического давления рабочей среды, создаваемого в трубопроводе, в процессе исследований создавались различные значения давлений: 0.1; 0.25; 0.75; 1,1 МПа и проводились измерения гидродинамического шума, который имеет частоту колебаний в диапазоне от 0 до 800 Гц.

По результатам экспериментов стало ясно, что использование упругих элементов в качестве амортизаторов ведёт к изменению амплитудно-резонансу частотных характеристик гидродинамического шума, который находится в узком диапазоне частот, усилителя что приводит к резонансу упругого инерционного элемента. Не считая области частот снижения уровня шума, также была обнаружена область частот, которые имеют отрицательную эффективность и в которых уровень шума увеличивается. Уровень гидродинамического шума не зависит от наличия или отсутствия в трубопроводной системе элементов, поддерживающих колебания. Он будет находиться на частоте колебаний, которая находится за пределами частоты собственных колебаний упругого и инерционного элемента.

Следуя результатам данного эксперимента, можно сделать следующие совпадала выводы:

- для уменьшения гидродинамического шума, возможно использование упругих и изложенного инерционных элементов;
- интегрированные упругие и инерционные элементы, которые участвуют в снижении гидродинамического шума, способствуют его снижению в резонансной области частот, достигая максимальных значений  $\Delta L=15$  дБ на своих частотах собственных колебаний;
- вместе с положительной эффективностью в диапазоне частот, которые находятся ниже резонансной области, существует и отрицательная эффективность, которая находится в диапазоне частот ниже резонансной зоны;
- в целях практического применения, при использовании данных конструкций в целях создания условий для снижения частоты гидродинамического шума, необходимо чтобы резонансная область колебаний упругого и инерционного элемента совпадала с частотами, которые необходимы для уменьшения гидродинамических шумов, также не должно быть такого, чтобы область частот отрицательной эффективности совпадала с частотой источника колебаний.

### Заключение

С учётом изложенного можно сделать следующие выводы.

1. В практике работы судоходных компаний и деятельности РС следует шире применить методы, позволяющие контролировать техническое состояние ВРК.
2. Для того чтобы применять нормы вибрации ВРК, необходимо руководствоваться согласованными в Главном управлении РС по освидетельствованиям СКЗ обслуживания уровнями виброволн.
3. Для увеличения периода проведения осмотра включает ВРК, который может быть проведен без разборки конструкции, следует рекомендовать РС и судовладельцам проводить контроль вибрации ВРК, а изготовителям ВРК - использовать детали из упругих и инерционных материалов с целью уменьшения уровня вибраций.
4. Для практической проверки идеи снижения уровней гидродинамического шума в некоторых диапазонах частот, используя установку внутри цистерн и других ёмкостей с



рабочей средой в составе ВРК упругих и инерционных элементов был разработан и изготовлен специальный экспериментальный стенд.

5. Результаты эксперимента показали, что: упруго-инерционные элементы внутри ёмкостей ВРК действительно могут быть использованы в качестве средств, которые уменьшают гидродинамический шум, снижение гидродинамического шума, в резонансной области частот достигает максимальных значений  $\Delta L=15$  дБ на своих частотах собственных колебаний, вместе с положительной эффективностью в диапазоне частот, которые находятся ниже резонансной области, существует и отрицательная эффективность, которая находится в диапазоне частот ниже резонансной зоны. Поэтому, при использовании данных конструкций необходимо, чтобы резонансная область колебаний упругого и инерционного элемента совпадала с частотами, которые необходимы для снижения гидродинамического шума. Кроме того, необходимо исключать совпадения области частот отрицательной эффективности с частотой источника колебаний.

### **Благодарности (Thanks)**

*Автор выражает благодарность за помощь в подготовке материала своему научному руководителю, профессору Волжского государственного университета водного транспорта, д.т.н. Е.Г. Бурмистрову за ценные замечания и рекомендации по подготовке рукописи.*

*Огромную благодарность автор выражает Aquamaster EU за помощь в планировании и организации проведения эксперимента, изготовлении экспериментального стенда.*

### **Список литературы:**

1. ГОСТ 8.001-80 Государственная система обеспечения единства измерений. Организация и порядок проведения государственных испытаний средств измерений. М. Издательство стандартов, 1980 г.
2. ГОСТ 8.513-84 ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения. М. Издательство стандартов, 1984 г.
3. ГОСТ 8.326-89 ГСИ. Метрологическая аттестация средств измерений. -М. Издательство стандартов, 1989 г.
4. ГОСТ 24346 80 (СТ СЭВ 1926 - 79) Вибрация. Термины и определения. - М. Издательство стандартов, 1980 г.
5. ГОСТ 24347 80 (СТ СЭВ 1927 - 79) Вибрация. Обозначения и единицы величин. - М. Издательство стандартов, 1980 г.
6. ИСО-5348.2 Механическая вибрация и удар. Механическая установка акселерометров.
7. ИСО-4865 Вибрация и удар. Методы анализа и представления данных.
8. ГОСТ Р 10816-1 97 Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. — М. ИПК Издательство стандартов, 1998 г.
9. ГОСТ Р ИСО 7919-1 — 99 Контроль состояния машин по результатам измерения вибрации на вращающихся валах. М. ИПК Издательство стандартов, 2000 г.
10. ГОСТ Р 50779.21 2004 Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. - М. ИПК Издательство стандартов, 2005 г.
11. ГОСТ 12.1.019-72 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. М. Издательство стандартов, 1972 г.
12. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. М. Издательство стандартов, 1982 г.



13. Правила классификации и постройки судов морских судов т. 1,2.- СПб. Российский Морской Регистр Судоходства, 2007 г
14. Руководство по техническому наблюдению за судами в эксплуатации. Часть II, Техническое наблюдение за судами в эксплуатации в соответствии с правилами регистра. СПб. Российский морской регистр судоходства, 2004 г.
15. Правила технической эксплуатации судовых технических средств и конструкций. РДЗ 1.21.30-97. Л. ЗАО ЦНИИМФ, 1997 г.
16. Сборник инструкций по браковочным показателям всех видов смазочных и гидравлических масел, применяемых на судах морского флота.
17. Инструкции и рабочая документация Schottel.
18. Инструкции и рабочая документация Aquamaster.

