



МЕХАНИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ДВИЖИТЕЛИ

УДК 629.035; 629.018

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СУДОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ МОРСКИХ СУДОВ ПО ПАРАМЕТРАМ ВИБРАЦИИ

Н.И. Николаев, д-р техн. наук, профессор, Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, Новороссийск

Э.Л. Мышинский, д-р техн. наук, профессор, ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург

М.В. Гриценко, канд. техн. наук, ООО «КБ Инжиниринг», Новороссийск, e-mail: gmluft@kbinov.ru

Для обеспечения функциональной надежности судовых технических средств важным моментом является выбор метода технического обслуживания в период их эксплуатации. Для технических средств будут приемлемыми два вида технического обслуживания: по наработке и фактическому состоянию. Техническое обслуживание по наработке выполняется по рекомендациям завода-изготовителя, а по фактическому состоянию — в соответствии с требованиями к системам мониторинга технического состояния, которые определяются нормативным документам РС и унифицированным требованием (УТ) МАКО Z27. В статье приводятся результаты контроля вибрации судовых технических средств морских судов в эксплуатации. Полученные результаты контроля вибрации на примерах главной винторулевой колонки, гребного электродвигателя, грузового насоса танкера оцениваются на основании рекомендаций различных классификационных обществ и действующих ГОСТов: РС, DNVGL, серии ГОСТ 10816. Приводятся также предложения авторов по нормированию вибрации главных винторулевых колонок морских судов.

Ключевые слова: *вибрация, судовые технические средства, техническое состояние, частота, СКЗ, Правила Регистра*

ESTIMATION OF SHIP'S EQUIPMENT TECHNICAL CONDITION BY VIBRATION PARAMETERS

N.I. Nikolaev, DSc, professor, Admiral Ushakov State Maritime University, Novorossisk

E.L. Myshinsky, DSc, professor, Krylov State Research Centre, St. Petersburg

M.V. Gritsenko, PhD, JSC "KB Engineering", Novorossiysk, e-mail: gmluft@kbinov.ru

To ensure the functional reliability of the ship's technical equipment, the selection of the maintenance method during its operation is an important point to consider. For technical equipment, two types of maintenance are acceptable: based on actual operating time and based on actual condition. Maintenance based on actual operating time is performed according to the manufacturer's recommendations. Maintenance based on the actual condition — in accordance with the requirements for monitoring systems of technical condition, according to the regulatory documents of and IACS unified requirement (UR) Z27. The article presents the results of vibration monitoring of ship technical means in operation. The obtained results of vibration monitoring as applicable to the main propeller column, the propeller motor, and the tanker cargo pump have been evaluated on the basis of the recommendations of various classification societies and current GOST Standards: RS, DNV GL, and GOST 10816 series. The authors' proposals on regulating the vibration of the main propeller columns of marine ships have also been presented.

Keywords: *vibration, ship technical equipment, technical conditional, frequency range, RMS, RS Rules*

ВВЕДЕНИЕ

Прошедшие два десятилетия отмечены омоложением Российского флота и поступлением в эксплуатацию современных морских судов поднадзорных Российскому морскому регистру судоходства (РС) [1 — 3]. В основном, это суда смешанного плавания (река — море), буксиры, суда-снабженцы и т.п. Они комплектуются современными высокопроизводительными и эффективными судовыми техническими средствами (СТС), выполненными с использованием новейших технических и технологических достижений [1, 3, 4]. Это оборудование предполагает длительные сроки эксплуатации при условии квалифицированного и своевременного обслуживания, использования качественных запасных частей и технических жидкостей. В этом случае срок службы СТС может быть сопоставим со сроком эксплуатации всего судна.

С целью увеличения сроков службы СТС судовладельцы переходят на обслуживание с привлечением сервисных служб, сертифицированных компаниями-производителями. Такой подход дает возможность обеспечить надежную и безаварийную работу оборудования между гарантийными обслуживаниями. Для предотвращения внезапных выходов из строя и, как следствие, аварийных случаев, ответственные механизмы и системы снабжаются всевозможными датчиками контроля и диагностики, которые дают возможность предотвратить нештатные ситуации, приводящие к существенным убыткам.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ ВИБРАЦИИ

Однако системы контроля и диагностики используются не везде и по различным причинам не всегда дают объективную картину состояния СТС. Тем более, что сроки сервисного обслуживания, которые проводятся при достижении установленных изготовителями наработок механизмов и не всегда совпадают со сроками освидетельствований. Поэтому, для инспекторов классификационных Обществ необходимо знать действительное техническое состояние СТС. С этой целью в РС установлены Правила классификационных освидетельствований судов в эксплуатации (ПКОСЭ) [5] в которых устанавливаются виды, объемы и периодичность освидетельствований объектов технического наблюдения судов различного назначения с целью проверки их соответствия Правилам и нормативно-техническим документам РС [5, 6]. ПКОСЭ предусматривает для ответственных механизмов освидетельствование, связанные с разборкой механизмов. Однако, многие производители современных СТС не предусматривают такую разборку, поскольку она связана с серьезными финансовыми расходами, использованием специального оборудования и привлечением высококвалифицированных специалистов. Например, главные винторулевые колонки (ГВРК) фирм "Aquamaster", "Schottel" и др. изготовлены с использованием технологии бесшпоночных и безшлицевых соединений валов с подшипниками, зубчатыми зацеплениями и другими элементами конструкции, поэтому их разборка без специального оборудования невозможна. Нужно учесть, что в этом случае изготовитель требует замены всех подшипников вне зависимости от их наработки. По нашим данным, только разборка, дефектация и сборка ГВРК оценивается в 2 — 2,5 млн руб. без учета стоимости сменно-запасных частей и расходных материалов. К этой сумме необходимо добавить затраты на докование судна, потери от простоя и т.п.

Более того, в настоящее время судовладельцы и производители предпочитают использовать агрегатные методы ремонта оборудования, которые предусматривают замену агрегатов, механизмов и узлов на аналогичные новые или отремонтированные на специализированных предприятиях. В этих условиях освидетельствование на соответствие правилам РС становится для судовладельцев весьма затратной и сложной операцией.

Альтернативой такого вида освидетельствований является введение классификационным обществом методологии освидетельствования СТС, которая основана на использовании информации о фактическом состоянии механизмов и оборудования за период эксплуатации между освидетельствованиями. С этой целью РС в ПКОСЭ в 2.1 части I «Общие положения» даны определения основных понятий, позволяющих применять на судах различные методы контроля технического состояния. К таким определениям относятся следующие:

- контроль (технического) состояния / Мониторинг (технического) состояния (CM — condition monitoring);
- неразрушающий метод контроля (non-destructive testing (NDT));
- система технического диагностирования (контроля технического состояния) (technical diagnostics (technical condition monitoring) system);

- техническое диагностирование (technical diagnostics);
- техническое обслуживание по состоянию/техническое обслуживание оборудования по состоянию (CBM — condition-based maintenance).

В Правилах классификации и постройки морских судов РС (ПКПМС) [6] изложены основные требования к системам мониторинга технического состояния (разд. 10 части VII «Механические установки»), которые соответствует унифицированным требованиям УТ МАКО Z27 [7].

Системы мониторинга технического состояния механизмов механической установки, которые должны быть согласованы Регистром как объекты классификационного освидетельствования на основе схемы планово-предупредительного технического обслуживания (СППТ) и контроля состояния (КС). Такие системы предусматривают КС на основе визуальных, параметрических, вибрационных и трибологических методов. Из перечисленных наиболее эффективным в эксплуатации является вибрационный метод. С этой целью в часть ПКПМС [6] введен разд. 9 «Вибрация механизмов и оборудования. Технические нормы». В разделе регламентируются технические нормы вибрации для обширной номенклатуры СТС, устанавливаются основные параметры, характеризующие вибрацию. Однако в разделе точного указания каким образом (в каком частотном диапазоне) оценивается техническое состояние не приводится.

В настоящее время разд. 9 части VII «Механические установки» ПКПМС [6] рекомендует измерение вибрации в 1/3-октавных полосах частот и диапазоне частот 2 — 1000 Гц, но при этом не уточняется каким образом необходимо оценивать полученные результаты:

- только на одной характерной частоте;
- на каждой 1/3-октавной полосе во всем измеренном диапазоне.

В последнее время международные и национальные стандарты и применяемые современные приборы позволяют использовать иные методы измерений, обработки их результатов и оценки состояния. Так, например, ГОСТ ИСО 20283 [8] рекомендует оценку состояния механизмов и оборудования на основе серии стандартов ИСО 10816 [9], который предписывает проведение измерений в широком диапазоне частот и оценку состояния машин по среднеквадратическому значению (СКЗ) в рекомендуемом диапазоне частот исходя от типа судовых технических средств. Таким образом оценивать техническое состояние СТС возможно тремя способами.

1. По уровню вибрации в 1/3-октавной полосе на характерной, например, основной частоте вращения механизма.
2. По уровням вибрации на каждой 1/3-октавной полосе в измеренном диапазоне частот.
3. По рекомендациям [8] и [9], которые предписывают оценивать по среднеквадратическому уровню виброскорости в рекомендованном диапазоне частот.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТС ПО ПАРАМЕТРАМ ВИБРАЦИИ

Рассмотрим несколько примеров оценки состояния СТС в эксплуатации.

На рис. 1 приведена схема ГВРК с электроприводом морского судна, связанных между собой карданным валом, установленным с углом 8° , а на рис. 2 и 3 показаны варианты оценки их технического состояния на основном эксплуатационном режиме $n_{ГД} = 1600 \text{ мин}^{-1}$. Из рисунков видно, что при оценке как приводного электродвигателя, так и ГВРК на основной частоте вращения, техническое состояние механизмов можно считать хорошим. Однако если оценивать уровни виброскорости в каждой 1/3-октавной полосе частот в измеренном диапазоне (2 — 1000 Гц), то можно заключить, что ТС гребного (приводного) электродвигателя удовлетворительное, поскольку уровень виброскорости на 2 гармонике частоты вращения (характерная частота для карданного вала) попадает в категорию «В». ТС ГВРК и вовсе необходимо признать неудовлетворительным, т.к. уровень вибрации на 2 гармонике частоты вращения (50 Гц) превышает допустимый.

Оценка ТС по рекомендациям действующего ГОСТ ИСО и документов Классификационных обществ показывает, что:

- для ГВРК СКЗ уровней виброскорости в диапазоне 10 — 1000 Гц рассчитанное по ГОСТ Р ИСО 10816 [9] составляет $V_{СКЗ} = 16 \text{ мм/с}$ и превышает установленные нормы;
- для гребного электродвигателя СКЗ уровней виброскорости в диапазоне 4 — 1000 Гц, рассчитанное по рекомендациям DNV GL [10], составляет $V_{СКЗ} = 8,3 \text{ мм/с}$, а определенное в соответствии с ГОСТ Р ИСО [9] — $V_{СКЗ} = 8,5 \text{ мм/с}$. Расхождение полученных значений незначительное и не превышает установленных норм.

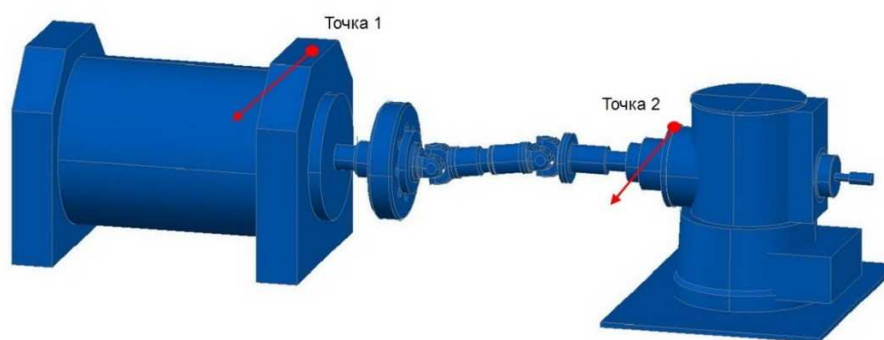


Рис. 1 Схема расположения точек измерения вибрации на ГВРК с приводом от электродвигателя

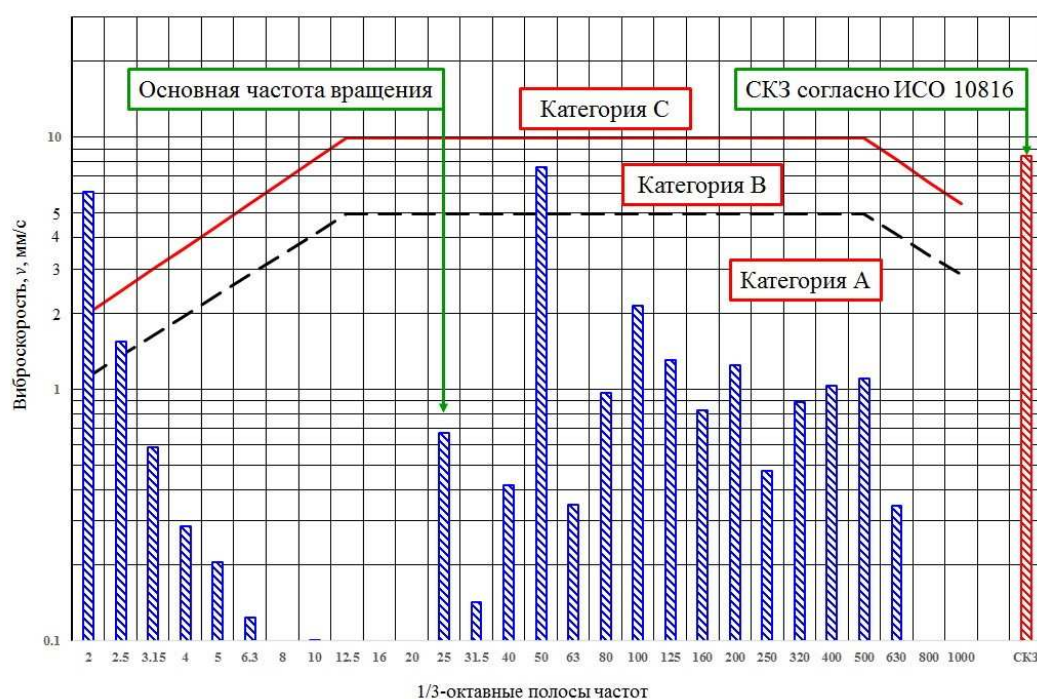


Рис. 2 Нормы и результаты оценки вибрации гребного (приводного) электродвигателя

На основании большого количества проведенных авторами исследований, работ по оценке и контролю вибрации ГВРК различных производителей ("Aquamaster", "Schottel", "VZ-Drive", "Nigata" и др.) морских судов различного назначения предлагаем оценивать техническое состояние ГВРК по среднеквадратическому значению виброскорости в диапазоне частот 4 — 1000 Гц (см. табл. 1).

На рис. 4 приведены варианты оценки технического состояния балластного насоса с вертикальной осью вращения производительностью $Q = 2500 \text{ м}^3/\text{час}$ танкера. Техническое состояние балластного насоса можно считать хорошим при оценке как по ИСО 10816, так и по нормам разд. 9 части VII «Механические установки» ПКПМС [6].

Таким образом, оценка ТС СТС в 1/3-октавных полосах измеренных в диапазоне частот 2 — 1000 Гц позволяет получить наиболее полную картину состояния механизмов, однако требует большого объема вычислений и, с точки зрения оценки ТС, несет избыточную информацию. Поэтому оценка согласно [8 — 10] по СКЗ в рекомендуемых диапазонах частот, по нашему мнению, дает возможность оптимально провести оценку ТС объектов контроля. Параметры вибрации, рассчитанные в 1/3-октавных полосах частот, необходимо использовать при диагностике технического состояния СТС, что не является задачей РС:

инспектор РС определяет соответствие объекта технического наблюдения требованиям нормативных документов.

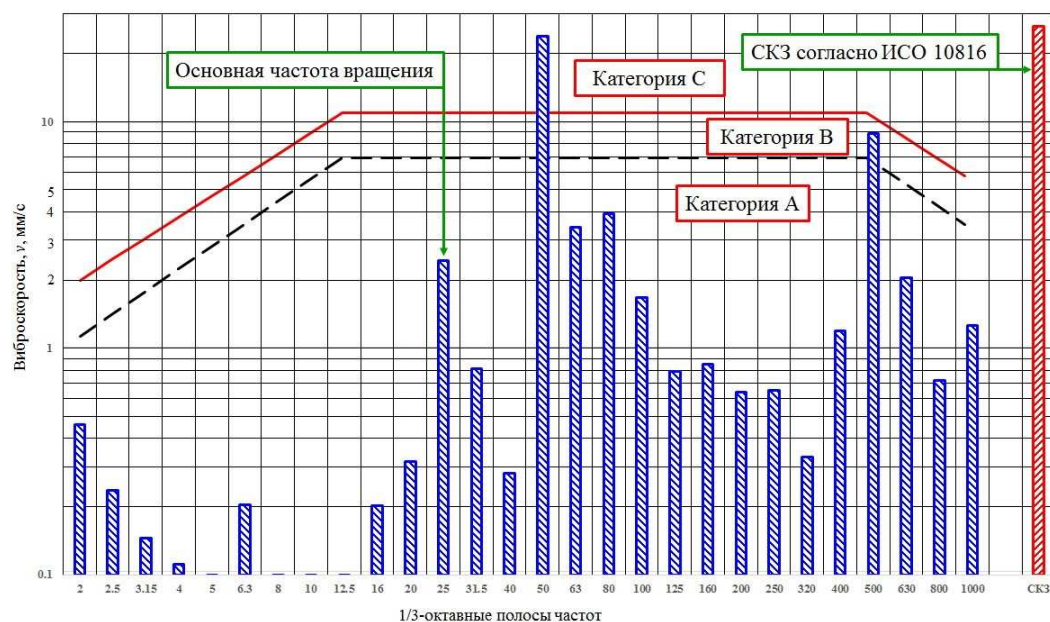
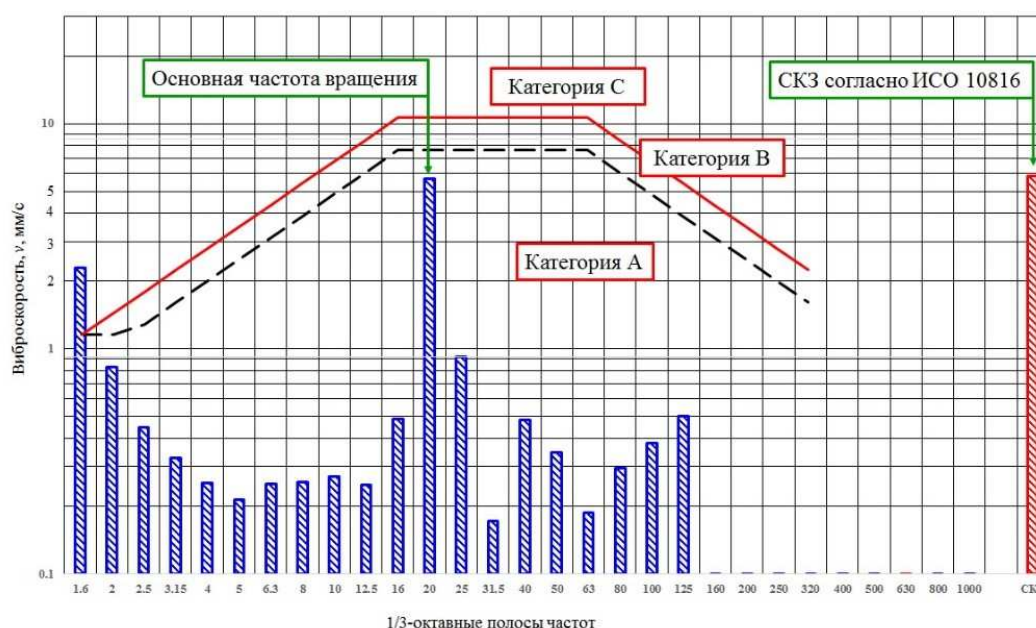


Рис. 3 Нормы и результаты оценки вибрации ГВРК

Таблица 1

Нормы вибрации ГВРК			
Категория состояния ГВРК	А	В	С
Среднеквадратичное значение (СКЗ, RMS) виброскорости, мм/с	≤ 5	≤ 11	≥ 11

Необходимо отметить, что требования, изложенные в 9.1.2 части VII «Механические установки» ПКПМС [6] при проведении контроля вибрации СТС на морских судах в ряде случаев не выполняются. Поэтому, с точки зрения оценки ТС, возникают сложности, поскольку параметры вибрации зависят не только от механизма, но и места его установки, влияния рядом расположенных механизмов, фундаментов и прочих факторов. Без установления базовых параметров, которые получаются в ходе испытаний головного судна, объективно оценить ТС достаточно трудно, тем более спрогнозировать его изменение на какой-либо период.



ВЫВОДЫ

Приведенные в статье примеры и работы авторов [1, 4] показывают, что при оценке технического состояния СТС по параметрам вибрации необходимо:

- в разд. 9 части VII «Механические установки» ПКПМС [6] уточнить применение полученных результатов измерений виброскорости в 1/3-октавных полосах частот для оценки состояния СТС: оценивать состояние СТС на каждой 1/3-октавной полосе частот во всем измеренном диапазоне;
- на основании проводимых специалистами работ по контролю вибрации СТС морских судов в эксплуатации следует подготовить рекомендации по нормированию вибрации в широком диапазоне частот, например, по СКЗ в диапазоне 2 — 1000 Гц или 10 — 1000 Гц (согласно [8] и [9]);
- учитывать компоновку агрегатов (их связь с другими механизмами);
- обязательно проводить вибрационные измерения СТС во время испытаний головного судна с составлением паспорта вибрационных характеристик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев Н.И., Гриценко М.В., Каракаев А.Б. Мониторинг вибрационного состояния главных винторулевых колонок с механическим приводом морских судов в эксплуатации. Морские интеллектуальные технологии. 2019. Т.1. № 2 (43). с. 91 — 103.
2. Егоров Г.В. Выбор главных элементов сухогрузных и нефтеналивных судов смешанного «река — море» плавания. Судостроение. 2004, № 6. с. 10 — 16.
3. Иванченко А.А., Шишкин В.А. Окунев В.Н. Обзор опыта совершенствования конструкции и применения движительных систем в современном судостроении. Вестник ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова. Выпуск 4 (38).2016. с. 156 — 176.
4. Результаты контроля вибрации судовых технических средств в эксплуатации в соответствии с требованиями Правил РС и зарубежных норм. Николаев Н.И. Гриценко М.В. Герасиди В.В. Морские интеллектуальные технологии. 2019. Т.1. № 4 (46). с. 96 — 103.
5. Правила классификационных освидетельствований судов в эксплуатации. Российский морской регистр судоходства (РС), СПб, 2020.
6. Правила классификации и постройки морских судов. Часть VII. Механические установки. РС, СПб, 2019.
7. Унифицированное требование МАКО Z27. Контроль состояния и обслуживание с учетом фактического состояния. ACS Reg/2018, с. 6.
8. ГОСТ Р ИСО 20283 – 2017. Вибрация. Измерение вибрации на судах Ч. 1 — 4. М.: Стандартинформ, 2017.
9. ГОСТ Р ИСО 10816-2002. Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Ч. 1 — 8. М.: Стандартинформ, 2007.
10. DNVGL-RU-SHIP, Part 6. Edition July 2019. pp. 29 — 37.