ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 20283-2— 2017

Вибрация

ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ НА СУДАХ

Часть 2

Измерения вибрации корпуса

(ISO 20283-2:2008, IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2017

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (АО «НИЦ КД») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 183 «Вибрация, удар и контроль технического состояния»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 октября 2017 г. № 1443-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 20283-2:2008 «Вибрация. Измерения вибрации на судах. Часть 2. Измерения вибрации корпуса» (ISO 20283-2:2008 «Mechanical vibration — Measurement of vibration on ships — Part 2: Measurement of structural vibration», IDT).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, 2017

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 1
4 Условия измерений 2
5 Точки измерений 3
6 Сбор, обработка и хранение записей сигналов 3
7 Протокол испытаний 4
Приложение А (рекомендуемое) Типичное расположение точек измерений при измерениях общей вибрации корпуса судна 5
Приложение В (рекомендуемое) Измерения пульсаций давления от гребного винта 7
Приложение С (справочное) Примеры представления результатов измерений общей вибрации судна 9
Приложение D (справочное) Местная вибрация корпуса 13
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам 14
Библиография 15

Введение

Вибрацию на судне создают установленные на судне механизмы и оборудование, гребной винт (или движитель другого типа) и внешние факторы (волны, ветер, сталкивающийся лед). Отклик в различных точках конструкции судна зависит от приложенных динамических сил и собственных частот конструкции. Динамические силы изменяются в зависимости от нагрузки на двигатель, от скорости движения и осадки судна. Собственные частоты конструкции изменяются в зависимости от загрузки и осадки судна.

Настоящий стандарт устанавливает руководство по оценке динамического поведения конструкции судна на основе измерений собственных частот и отклика вибрации в некоторых выбранных точках при заданной загрузке судна.

Такие данные нужны для единообразного описания характеристик вибрации корпуса судна и возбуждения, обусловленного судовой энергетической установкой. Это дает основу для конструктивных решений по снижению вибрации, включая систематическое сравнение с расчетными результатами, сравнение данных по разным судам и построение опорных уровней вибрации.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Вибрация

ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ НА СУДАХ

Часть 2

Измерения вибрации корпуса

Mechanical vibration. Measurement of vibration on ships. Part 2. Measurement of structural vibration

Дата введения — 2018—06—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования и рекомендации к проведению измерений, оценке и представлению вибрации корпусных конструкций судна, обусловленной работой судовой энергетической установки. Различают общую и местную вибрацию корпуса. В настоящем стандарте рассматривается преимущественно вибрация первого вида.

Местная вибрация палубных надстроек с точки зрения условий обитания на судне рассматривается в [1]. Наличие местной вибрации редко приводит к усталостным повреждениям конструкции судна. Такие повреждения обусловлены, преимущественно, индивидуальными особенностями конструкции. Поэтому общее руководство по измерению местной вибрации в настоящем стандарте отсутствует. Некоторые основные сведения в отношении местной вибрации конструкции судна приведены в приложении D.

Настоящий стандарт не распространяется на анализ переходных процессов возбуждения, связанных, например, с ударами корпуса судна о встречные волны.

В некоторых случаях вибрация корпуса может быть обусловлена крутильными колебаниями системы «двигатель — движитель», однако в настоящем стандарте вибрация данного вида не рассматривается.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использована нормативная ссылка на следующий стандарт:

ISO 2041, Mechanical vibration, shock and condition monitoring — Vocabulary (Вибрация, удар и контроль состояния. Словарь)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ИСО 2041, а также следующие термины с соответствующими определениями.

3.1 **общая вибрация корпуса (судна)** (global structural vibration): Формы изгибных колебаний, охватывающих основные конструктивные элементы корпуса судна.

Примечание — К основным конструктивным элементам корпуса судна относятся эквивалентный брус, судовые надстройки и кормовая часть.

3.2 **местная вибрация корпуса (судна)** (local structural vibration): Формы изгибных колебаний, ограничивающиеся одним местным конструктивным элементом корпуса судна.

Издание официальное

Примечание — К местным конструктивным элементам корпуса судна относятся части надстройки, мачта, переборки, рамный шпангоут, стойки жесткости, листы обшивки.

3.3 **свободное движение (судна)** (free route): Условия движения судна с постоянной скоростью и постоянным курсом в пределах перекладки руля на левый и на правый борт 2° без изменения положения органа управления подачей топлива.

3.4 **эквивалентный брус** (hull girder): Основной конструктивный элемент судна, определяющий изгибную жесткость корпуса, статическое и динамическое поведение которого может быть приближенно описано через колебания неоднородной балки со свободными концами.

Примечание — Эквивалентный брус включает в себя листы обшивки корпуса, непрерывные продольные прочные связи корпуса и ребра жесткости, сплошную расчетную палубу.

3.5 **форма вынужденных изгибных колебаний** (operational vibration deflection shape): Форма изгибных колебаний элементов конструкции корпуса, представляющая собой динамический отклик на действие вынуждающих сил.

4 Условия измерений

Измерения рекомендуется проводить на головном судне серии, чтобы убедиться, что оно не испытывает серьезных конструктивных проблем в отношении общей вибрации корпуса. Такие измерения проводят для сбора данных и сопоставления их с теоретическими расчетами, но не в целях подтверждения соответствия установленным границам вибрации. Тем не менее, полученные результаты измерений могут быть оценены сравнением с аналогичными результатами для других судов.

При проведении измерений глубина воды должна не менее чем в пять раз превышать осадку судна. Если судно предполагается эксплуатировать в условиях мелководья, то глубина воды при измерениях должна соответствовать условиям эксплуатации.

Волнение в ходе измерений не должно превышать 3 баллов. В случае нарушения данного условия в протоколе измерений должно быть указано реальное волнение, и, кроме того, в протоколе должен быть раздел с анализом сигналов после прохождения фильтра верхних частот (с частотой среза 2 Гц).

Нагрузка судна должна обеспечивать, по крайней мере, полное погружение гребного винта. Желательно, чтобы условия загрузки судна в процессе измерений соответствовали эксплуатационным состояниям судна в балласте или при полной осадке. Следует иметь в виду, что изменение положения груза может существенно изменить общую вибрацию корпуса. Характер таких изменений можно понять по результатам теоретических исследований (при их наличии). Если измерения проводят в условиях эксплуатации судна с целью постановки диагноза, то метод измерений остается неизменным. Для лучшего обнаружения изменений собственных частот колебаний конструкций корпуса при изменении загрузки могут быть использованы дополнительные преобразователи вибрации в поперечном и вертикальном направлениях в носовой части судна.

Для определения форм вынужденных изгибных колебаний, а также мод и частот связанных с ними собственных колебаний измерения проводят при свободном движении судна в диапазоне скоростей хода, соответствующих приблизительно от 30 % до 100 % номинальной мощности энергетической установки. Рекомендуется следующая последовательность измерений:

a) для гребного винта фиксированного шага. Измерения проводят при дискретных значениях постоянной частоты вращения (угловой скорости), увеличивая их с шагом приблизительно 2 % максимальной частоты вращения. Как вариант, в случае применения метода порядкового анализа данных возможно медленное непрерывное увеличение частоты вращения гребного винта на интервале времени, не превышающем 45 мин. Шаги дискретного изменения частоты вращения уменьшают (или замедляют непрерывное приращение частоты вращения) при приближении к резонансным частотам конструкций корпуса для получения условий квазистационарного возбуждения;

b) для гребного винта регулируемого шага. Стандартная комбинаторная кривая зависимости частоты вращения от приращения шага гребного винта позволяет получить 20 измерений в диапазоне рабочих скоростей судна. Если резонансы при этом выявлены не будут, то следует зафиксировать шаг на уровне приблизительно 80 % максимального значения и изменять частоту вращения винта таким образом, чтобы охватить весь диапазон частот измерений.

При каждом измерении длина записи данных должна составлять не менее 60 с.

Если при последовательном повышении частоты вращения гребного винта не удается соблюсти условия квазистационарного возбуждения, то в процессе измерений длительностью 3 мин на разных

постоянных частотах вращения винта следует определить следующие сочетания частоты вращения и шага винта:

- номинальные значения частоты вращения и шага;
- сочетание частоты вращения и шага, при котором получен максимальный отклик на уровне палубы ходового мостика от возбуждения доминирующей гармоникой частоты вращения винта;
- сочетание частоты вращения и шага, при котором получен максимальный отклик на уровне палубы ходового мостика от возбуждения доминирующей гармоникой частоты вращения главного двигателя.

Если валопровод судна включает в себя несколько сочлененных валов, то при определении уровней вибрации следует, по возможности, обеспечить вращение всех валов с одинаковой частотой вращения.

5 Точки измерений

Целью измерений является определение форм вынужденных изгибных колебаний для основных конструктивных элементов судна (общей вибрации), наиболее существенных форм собственных колебаний, а также выявление причин появления доминирующих составляющих вибрации. В соответствии с этим точки измерений выбирают таким образом, чтобы они позволяли наилучшим образом описать общую вибрацию корпуса, определить энергетический и частотный состав основных источников возбуждения вибрации, которыми обычно являются гребной винт и главный двигатель судна.

Если существует расчетная модель вибрации конструкции корпуса судна, то точки измерений выбирают с учетом анализа по данной модели. При отсутствии такой модели можно воспользоваться рекомендациями, приведенными в приложении А.

Дополнительно для оценки уровня и особенностей возбуждения вибрации от гребного винта могут быть проведены измерения импульсов давления в обшивке корпуса в зоне винта. Данные таких измерений могут быть использованы для подтверждения результатов теоретических расчетов и испытаний в кавитационном бассейне. Кроме того, они позволяют выявить нежелательные кавитационные явления при обтекании движителя, такие как наличие широкополосного возбуждения или доминирующих гармоник лопастной частоты. При проведении измерений давления следует обеспечить полное погружение той части корпуса над гребным винтом, где проводят измерения. Руководство по выбору точек измерений импульсов давления приведено в приложении В.

Выбор точек измерений и программа измерений должны быть согласованы до начала проведения натурных испытаний.

6 Сбор, обработка и хранение записей сигналов

Для получения записей сигналов используют преобразователи, калиброванные в лабораторных условиях. Вся измерительная система в целом, включая соединительные кабели, должна быть проверена на месте до и после проведения измерений.

Для сокращения общего времени измерений, а также для получения информации о фазовых соотношениях рекомендуется применять многоканальное оборудование. Если это невозможно, то используют двухканальный анализатор, в котором один из каналов рассматривают как опорный.

Преобразователи вибрации вместе с устройствами согласования сигналов должны обеспечивать проведение измерений в диапазоне частот от 1 до 80 Гц с погрешностью измерения амплитуды не более ± 5 % и разрешением по частоте не менее 0,125 Гц.

Для расчета частотных спектров сигналы вибрации подвергают временному взвешиванию с использованием плосковершинного окна (обеспечивает максимальную точность определения амплитуд частотных составляющих) или окна Ханна (обеспечивает хорошее разрешение по частоте). Как вариант, возможно использование порядкового анализа с применением следящих фильтров.

Поскольку Фурье-анализ используют для описания средних (не экстремальных) характеристик вибрации, то в анализаторе устанавливают обычный режим усреднения сигналов, а не режим удержания пиковых значений.

Чтобы обеспечить возможность дополнительного анализа данных после завершения натурных испытаний, записи данных сохраняют в электронном виде на соответствующих носителях.

7 Протокол испытаний

В протоколе испытаний указывают общие сведения о судне и судовой энергетической установке, рабочих режимах и внешних условиях, имевших место при проведении измерений. В качестве общего руководства можно использовать рекомендации, приведенные в [1].

Кроме того, приводят следующую информацию:

a) ссылку на настоящий стандарт;

b) носовую и кормовую осадку;

c) высоту волн во время измерений или уровень погружения корпуса над гребным винтом;

d) степень загруженности ахтерпика (при наличии);

e) установка и тип поперечных элементов крепления главного двигателя (при наличии);

f) установка и тип амортизатора осевых колебаний главного двигателя (при наличии);

g) установка и тип гасителя крутильных колебаний вала главного двигателя (при наличии);

h) установка и тип компенсатора вибрации (при наличии).

Результаты измерений предпочтительно выражать в следующих единицах:

- ускорение, мм/с^2;
- скорость, мм/с;
- перемещение, мм;
- давление, кПа.

Результаты измерений уровня вибрации предпочтительно указывать в виде пиковых значений скорости. При использовании частотной коррекции следует указывать вид функции коррекции.

Рекомендуется указывать уровни полной вибрации в виде среднеквадратичного значения корректированного ускорения (см. [1]) для ориентировочной оценки вибрации с позиции условий обитания на судне.

Результаты измерений приводят таким образом, чтобы отразить изменение характеристик вибрации с изменением частоты вращения или шага гребного винта. Представленные данные должны давать возможность сделать заключение об уровне и частотном составе вибрации для каждого этапа измерений.

Дополнительно могут быть включены типичные временные реализации и графики зависимости отклика вибрации от частоты вращения (шага) гребного винта для всех характерных гармоник возбуждения.

Желательно приводить графики собственных мод колебаний и мод вынужденных колебаний, например для сравнения с теоретическими расчетами.

Обычно представление в виде графиков является предпочтительным по сравнению с табличным. В примерах приложения С приведены представления результатов для двух точек измерений.

В протоколе следует указывать все характерные особенности и явления, выявленные в процессе измерений (например, наличие биений, сильных ударов встречных волн).

Рекомендуется приводить краткие замечания по полученным результатам и общее заключение по итогам испытаний.

Протокол испытаний желательно сохранять в электронном формате, но представление в бумажном виде также допустимо.

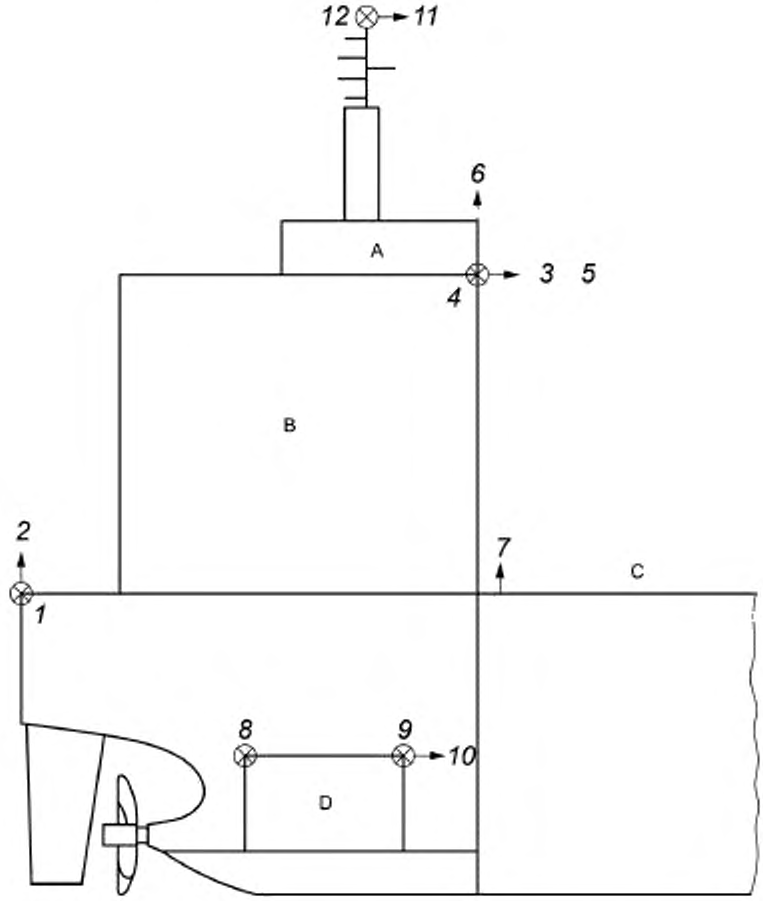
Приложение А
(рекомендуемое)

Типичное расположение точек измерений при измерениях общей вибрации корпуса судна

Для судов с малооборотными или среднеоборотными двигателями и четким разделением корпуса и надпалубных сооружений, таких как танкеры, сухогрузы, контейнеровозы и суда многоцелевого назначения, измерения следует проводить по крайней мере в точках, указанных в таблице А.1 и показанных на рисунке А.1.

Таблица А.1 — Типичные точки измерений общей вибрации на торговом судне

Номер точки измерений	Местоположение	Направление измерений
1	Корма, левый борт	Поперечное
2	Корма, левый борт	Вертикальное
3	Палуба ходового мостика, носовая часть, левый борт	Продольное
4	Палуба ходового мостика, носовая часть, левый борт	Поперечное
5	Палуба ходового мостика, носовая часть, правый борт	Продольное
6	Палуба ходового мостика, носовая часть, левый борт	Вертикальное
7	Надпалубные сооружения, носовая часть, основание, диаметральная плоскость	Вертикальное
8	Верхняя поверхность фундамента главного двигателя, кормовая часть	Поперечное
9	Верхняя поверхность фундамента главного двигателя, носовая часть	Поперечное
10	Верхняя поверхность фундамента главного двигателя, носовая часть	Продольное
11[a]	Марс грот-мачты	Продольное
12[a]	Марс грот-мачты	Поперечное
[a] Точка дополнительных (рекомендуемых) измерений.		



A — палуба ходового мостика, B — надпалубные сооружения; C — открытая палуба, главная палуба; D — главный двигатель

Примечание — Пояснение точек измерений дано в таблице А.1.

Рисунок А.1 — Точки измерения общей вибрации корпуса типичного торгового судна

Приложение В
(рекомендуемое)

Измерения пульсаций давления от гребного винта

В.1 Датчики давления

Датчики давления, устройства формирования сигнала и система записи должны обеспечивать проведение измерений в диапазоне частот, характерном для пульсаций давления, связанных с процессами кавитации. Верхняя граница такого диапазона обычно может быть принята равной 5 кГц.

Следует использовать датчики давления в антикоррозийном исполнении. В идеале чувствительная мембрана датчика должна быть заделана заподлицо с поверхностью наружного корпуса судна, чтобы избежать появления паразитных гармоник. Однако на практике для многих конструкций датчиков и устройств их крепления выполнение данного требования может оказаться затруднительным.

В.2 Слагаемые давления

Давление на поверхности корпуса состоит из двух слагаемых. Первое обусловлено работой движителя, а второе представляет собой самоиндуцируемое давление, связанное с вибрацией самого преобразователя вместе с устройствами крепления на корпусе.

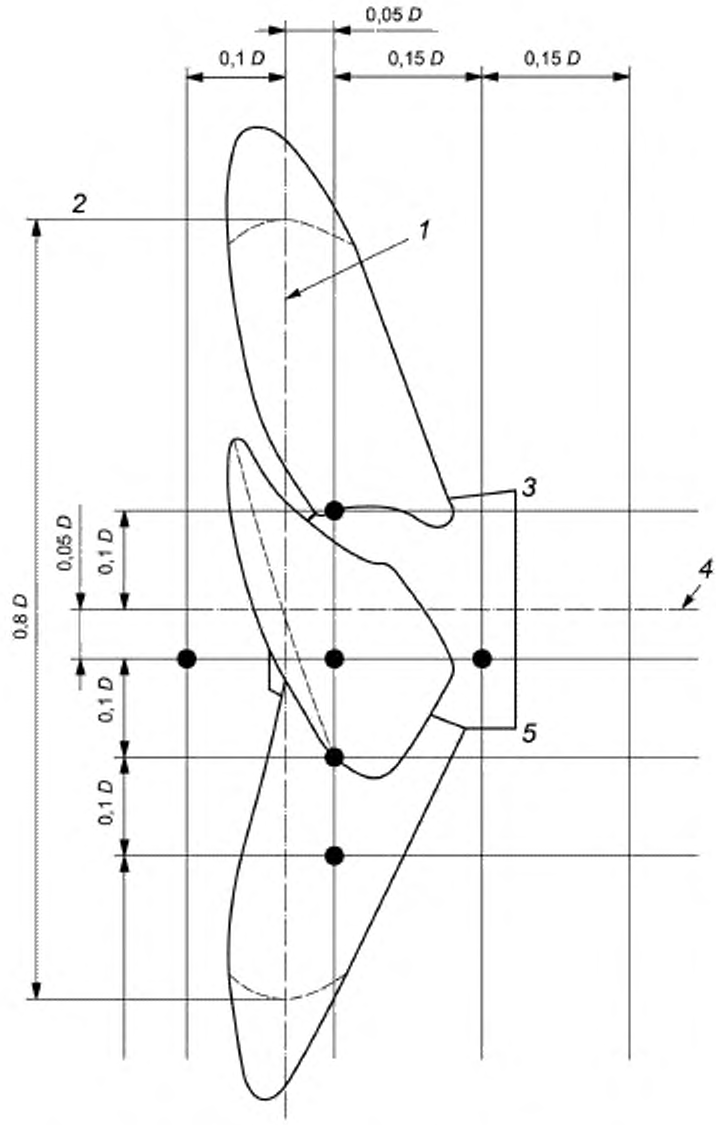
Для того чтобы разделить эти слагаемые, необходимо измерить вибрацию в месте установки датчика давления и преобразовать ее соответствующим образом в амплитуду и фазу самоиндуцируемого давления.

В.3 Точки измерений

Желательно использовать от пяти до семи датчиков давления. Для гребного винта правого вращения диаметром D четыре датчика располагают на расстоянии $0,05D$ от оси вала к правому борту (см. рисунок В.1). Первый из них располагают на расстоянии $0,15D$ к корме от плоскости начала отсчета винта, остальные — на расстоянии $0,15D$ друг от друга в сторону носовой части судна. Желательно использовать еще три датчика в плоскости, отстоящей на $0,05D$ от плоскости начала отсчета. Эти датчики располагают на расстояниях $0,1D$ к левому борту и $0,15D$ и $0,25D$ к правому борту от оси винта. Для гребного винта левого вращения измерительные точки будут расположены в зеркальном отражении.

Для судов со значительной площадью обшивки корпуса в кормовой части относительно плоскости гребного винта может потребоваться еще один датчик, размещаемый на расстоянии $2D$ от плоскости начала отсчета в сторону вершины вихревой воронки в пике скоростей попутного потока.

На части вала, расположенной внутри судна, должен быть установлен отметчик фазы или индикатор углового положения вала. Удобно, если отметка фазы будет совпадать с одной из лопастей с известным угловым положением относительно винта.



1 — плоскость начала отсчета; *2* — середина хорды винта; *3* — левый борт; *4* — ось вала; *5* — правый борт

Примечание — Точки измерений указаны для гребного винта правого вращения. Для гребного винта левого вращения измерительные точки будут в зеркальном отражении.

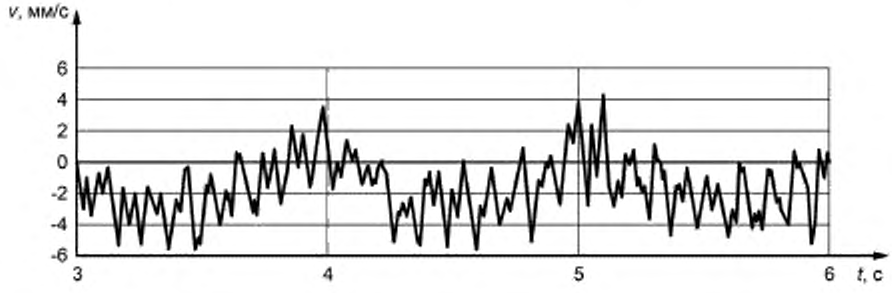
Рисунок В.1 — Точки измерения давления гребного винта диаметром *D*

Приложение С
(справочное)

Примеры представления результатов измерений общей вибрации судна

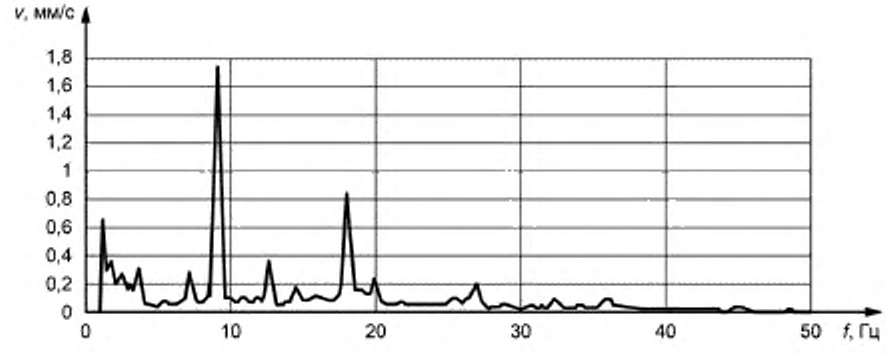
С.1 Пример 1

Измерения проведены в продольном направлении на палубе ходового мостика. Результаты обработки данных представлены на рисунках С.1—С.3.



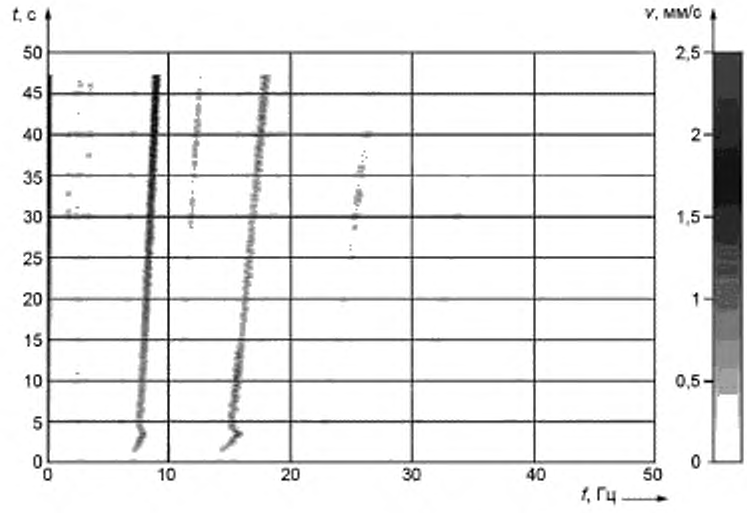
t — время, *v* — скорость

Рисунок С.1 — Временной сигнал для постоянной угловой скорости n = 108 мин$^{-1}$



f — частота; *v* — скорость

Рисунок С.2 — Спектр Фурье для постоянной угловой скорости n = 108 мин$^{-1}$

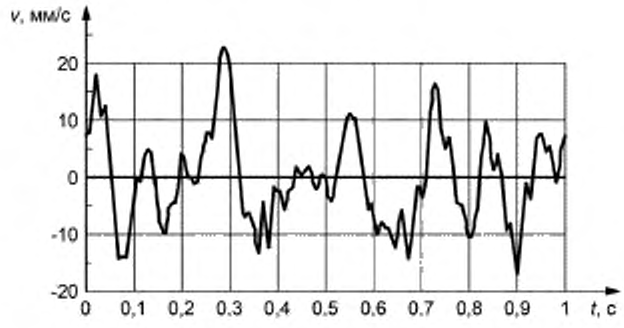


f — частота, *t* — время; *v* — скорость

Рисунок С.3 — Каскадный спектр, угловая скорость *n* изменяется от 85 до 108 мин$^{-1}$

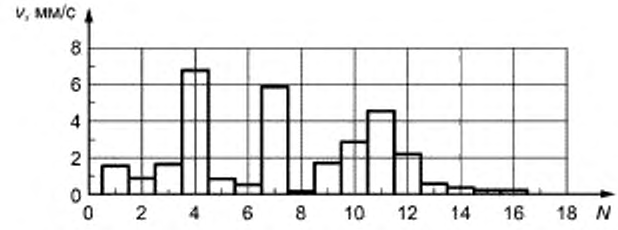
С.2 Пример 2

Измерения проведены в поперечном направлении на верхней поверхности фундамента главного двигателя. Результаты обработки данных представлены на рисунках С.4—С.7.



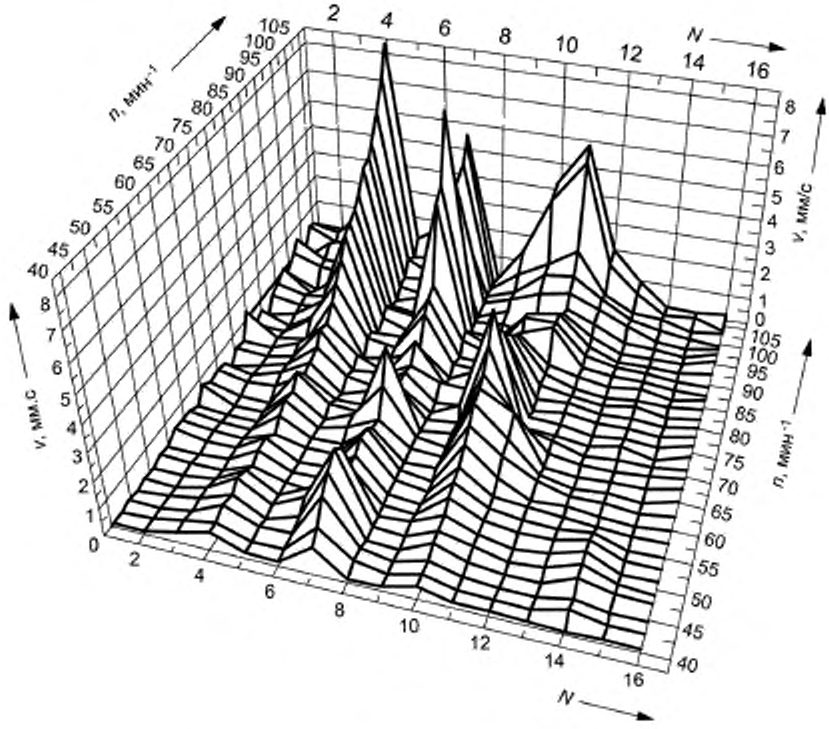
t — время; *v* — скорость

Рисунок С.4 — Временной сигнал



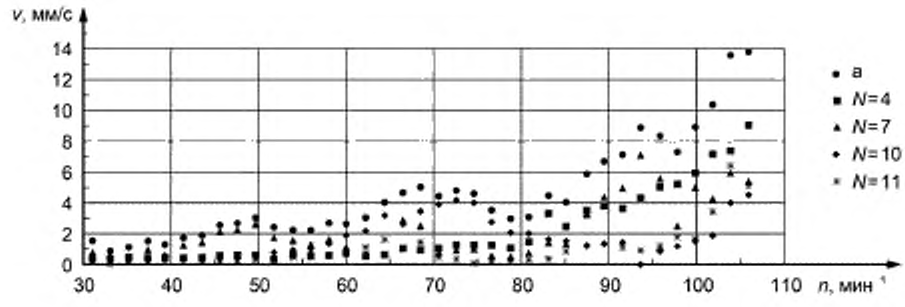
N — номер гармоники; *v* — скорость

Рисунок С.5 — Порядковый спектр для постоянной угловой скорости n = 103 мин$^{-1}$



N — порядок гармоники; *n* — скорость вращения; *v* — скорость

Рисунок С.6 — Каскадный спектр



N — порядок гармоники; *n* — скорость вращения; *v* — скорость. а — пиковое значение

Рисунок С.7 — Зависимость порядковой гармоники от скорости вращения

Приложение D
(справочное)

Местная вибрация корпуса

На стадии проектирования с помощью расчетных формул или методом конечных элементов определяют собственные частоты отдельных листов обшивки и настила и листов обшивки и настила с ребрами жесткости, особенно для надпалубных сооружений, машинного помещения и кормовых сооружений. При проектировании размеры панелей устанавливают такими, чтобы их собственные частоты находились на достаточном удалении от частот возбуждения основных источников возбуждения (гребного винта и главного двигателя судна) во избежание появления местных резонансов. Для этого учитывают результаты измерений частот для локальных панелей и панелей с ребрами жесткости на существующих судах.

Во время ходовых испытаний судна осуществляют визуальный контроль вибрации локальных панелей. Принимают во внимание также уровень излученного панелями шума и выборочные измерения скорости вибрации в отдельных точках конструкции. Эти измерения (наблюдения) выполняют в диапазоне частот от 5 до 100 Гц, когда частота вращения судовой энергетической установки близка к номинальной. Чтобы уменьшить риск возможных механических повреждений, рекомендуется принять меры по снижению вибрации панелей, для которых ее уровень превышает 30 мм/с. Этот критерий не используют для оценки вибрации других локальных элементов конструкции, таких как верхняя поверхность фундамента главного двигателя или фундамент главного редуктора.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
ISO 2041	IDT	ГОСТ Р ИСО 2041—2012 «Вибрация, удар и контроль технического состояния. Термины и определения»
Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандарта: - IDT — идентичный стандарт.		

Библиография

[1] ISO 6954, Mechanical vibration — Guidelines for the measurement, reporting and evaluation of vibration with regard to habitability on passenger and merchant ships

УДК 534.322.3.08:006.354

ОКС 17.140.30
47.020.01

Ключевые слова: вибрация, судно, корпус судна, общая вибрация корпуса, местная вибрация корпуса, измерения, представление

БЗ 9—2017/117

Редактор *В.Н. Шмельков*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *Е.А. Кондрашовой*

Сдано в набор 19.10.2017. Подписано в печать 30.10.2017. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 2,10. Тираж 22 экз Зак. 2128.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123001 Москва, Гранатный пер., 4

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru