ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 20816-3— 2023

Вибрация

ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ И ОЦЕНКА ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ МАШИН

Часть 3

Промышленное оборудование мощностью свыше 15 кВт и частотой вращения от 120 до 30 000 мин$^{-1}$

(ISO 20816-3:2022, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2024

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Обществом с ограниченной ответственностью «Электронные технологии и метрологические системы» (ООО «ЭТМС») и Закрытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (ЗАО «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 26 декабря 2023 г. № 1659-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 20816-3:2022 «Вибрация. Измерения вибрации и оценка вибрационного состояния машин. Часть 3. Промышленное оборудование мощностью свыше 15 кВт и частотой вращения от 120 до 30 000 мин$^{-1}$» (ISO 20816-3:2022 «Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 3: Industrial machinery with a power rating above 15 kW and operating speeds between 120 r/min and 30 000 r/min», IDT).

ИСО 20816-3:2022 разработан Техническим комитетом ТК 108 «Вибрация, удар и контроль состояния» подкомитетом ПК 2 «Измерения и оценка вибрации и ударов применительно к машинам, транспортным средствам и сооружениям» Международной организации по стандартизации (ИСО).

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

Дополнительные сноски в тексте стандарта, выделенные курсивом, приведены для пояснения текста оригинала

5 ВЗАМЕН ГОСТ Р ИСО 10816-3—99

*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

© ISO, 2022
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2024

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 2
3 Термины и определения 3
4 Измерения вибрации 3
4.1 Общие положения 3
4.2 Точки измерений 3
4.3 Средства измерений 7
4.4 Непрерывный и периодический контроль 8
4.5 Режимы работы машины 8
4.6 Фоновая вибрация 8
4.7 Выбор вида измерений 9
5 Классификация машин 9
5.1 Общие положения 9
5.2 Классификация по типу машины, номинальной мощности или высоте вала 9
5.3 Классификация по степени жесткости основания 10
6 Критерии оценки вибрационного состояния 10
6.1 Общие положения 10
6.2 Критерий I (по абсолютному значению параметра) 10
6.3 Критерий II (по изменению абсолютного значения параметра) 12
6.4 Оценка вибрационного состояния в переходных режимах 12
6.5 Предельные уровни вибрации в установившемся режиме работы 13
6.6 Дополнительные процедуры и критерии 14
6.7 Оценка на основе векторного представления информации 14
Приложение А (обязательное) Границы зон вибрационного состояния для вибрации на невращающихся частях машинных агрегатов в заданных режимах работы 15
Приложение В (обязательное) Границы зон вибрационного состояния для вибрации вращающихся валов машинных агрегатов в заданных режимах работы 17
Приложение С (справочное) Границы зон состояния и зазоры в подшипниках 20
Приложение D (справочное) Применимость критерия в виде постоянного значения скорости вибрации для машин с низкими частотами вращения 21
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным и межгосударственным стандартам 23
Библиография 24

Введение

Настоящий стандарт устанавливает руководство по оценке вибрационного состояния промышленного оборудования на основе измерений:

a) вибрации на подшипниках, подшипниковых опорах и корпусах подшипников на месте применения оборудования;

b) радиальной вибрации вала машинных агрегатов.

На основе опыта эксплуатации промышленного оборудования установлены два критерия оценки вибрационного состояния: по абсолютному значению контролируемого параметра широкополосной вибрации и по изменению этого значения. Следует иметь в виду, однако, что указанные критерии не исчерпывают способы оценки вибрационного состояния промышленного оборудования.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Вибрация

ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ И ОЦЕНКА ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ МАШИН

Часть 3

Промышленное оборудование мощностью свыше 15 кВт и частотой вращения от 120 до 30 000 мин$^{-1}$

Mechanical vibration. Measurement and evaluation of machine vibration. Part 3.
Industrial machinery with a power rating above 15 kW and operating speeds between 120 r/min and 30 000 r/min

Дата введения — 2025—03—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает общие требования к оценке вибрационного состояния промышленного оборудования (далее — машин) мощностью свыше 15 кВт и частотой вращения от 120 до 30 000 мин$^{-1}$ по результатам измерений вибрации на невращающихся частях и на вращающихся валах в нормальных условиях работы машины на месте ее применения. Оценку осуществляют по контролируемому параметру вибрации и по изменению этого параметра в установившемся режиме работы машины. Приведенные численные значения критериев оценки состояния отражают опыт эксплуатации машин данного вида, однако могут быть неприменимы в отдельных случаях, связанных со спецификой работы и конструкции конкретной машины*. В общем случае для оценки технического состояния машины применяют анализ не только широкополосной вибрации на невращающихся частях и на валах, но также отдельных частотных составляющих и их сочетаний, которые могут не проявлять себя в общей оценке широкополосной вибрации.

Настоящий стандарт распространяется:

a) на паровые турбины и генераторы мощностью до 40 МВт (см. примечания 1 и 2);

b) паровые турбины и генераторы выходной мощностью свыше 40 МВт и частотами вращения, отличными от 1500, 1800, 3000 и 3600 мин$^{-1}$ (см. примечание 1);

c) роторные компрессоры;

d) промышленные газовые турбины мощностью до 3 МВт (см. примечание 2);

e) турбовентиляторные двигатели;

f) электродвигатели любого типа с гибким соединением вала (при жестком соединении ротора электродвигателя с машиной, на которую распространяется другой стандарт серии ИСО 20816, вибрация электродвигателя может быть оценена либо в соответствии с этим стандартом, либо в соответствии с настоящим стандартом);

g) прокатные и вальцовочные станки;

h) конвейеры;

* *Критерии оценки вибрационного состояния генерирующего оборудования на объектах электроэнергетики устанавливаются в соответствии с законодательством об электроэнергетике и требованиями к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики.*

Издание официальное

i) муфты с переменной скоростью вращения;

j) вентиляторы и воздуходувки (см. примечание 3).

Примечание 1 — Вибрационное состояние стационарных паровых турбин, газовых турбин и генераторов мощностью свыше 40 МВт и скоростями вращения 1500, 1800, 3000 и 3600 мин$^{-1}$ оценивают по [11], генераторов на гидроэлектростанциях — по [13].

Примечание 2 — Вибрационное состояние газовых турбин мощностью свыше 3 МВт оценивают по [12].

Примечание 3 — Применительно к вентиляторам рекомендуемые настоящим стандартом критерии вибрационного состояния распространяются в общем случае только на машины мощностью свыше 300 кВт или на машины, установленные на жестком основании. В настоящее время данных, позволяющих распространить эти критерии на вентиляторы других видов, недостаточно. В отсутствие таких критериев области вибрационного состояния подлежат согласованию между изготовителем и покупателем машин на основе имеющегося опыта их использования (см. также [8]).

Настоящий стандарт не распространяется:

k) на паровые турбины, газовые турбины и генераторы мощностью свыше 40 МВт и скоростями вращения 1500, 1800, 3000 и 3600 мин$^{-1}$ (см. [11]);

l) газовые турбины мощностью свыше 3 МВт (см. [12]);

m) машинные агрегаты на гидроэлектростанциях и гидроаккумулирующих станциях (см. [13]);

n) машины возвратно-поступательного действия и машины, жестко соединенные с машинами возвратно-поступательного действия (см. [2]);

o) динамические насосы с встроенными или жестко соединенными приводными двигателями с крыльчаткой на валу двигателя или жестко с ним соединенной (см. [3]);

p) компрессорные поршневые установки (см. [14]);

q) компрессоры объемного действия (например, винтовые компрессоры);

r) погружные насосы;

s) ветрогенераторы (см. [4]).

Требования настоящего стандарта применяют к результатам измерений широкополосной вибрации на валах, подшипниках, корпусах и опорах подшипников в установившемся режиме работы машины в диапазоне номинальных частот вращения. Эти требования распространяются на измерения как на месте применения машины, так и выполняемых в ходе приемочных испытаний. Установленные критерии вибрационного состояния применяют в системах как непрерывного, так и периодического контроля состояния.

Настоящий стандарт распространяется на машины, в состав которых могут входить зубчатые передачи и подшипники качения, однако он не предназначен для оценки вибрационного состояния этих узлов.

Требования настоящего стандарта распространяются только на вибрацию, производимую самой машиной, и не распространяются на вибрацию, наведенную извне.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты [для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированных — последнее издание (включая все изменения)]:

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

ISO 2954, Mechanical vibration of rotating and reciprocating machinery — Requirements for instruments for measuring vibration severity (Вибрация машин вращательного и возвратно-поступательного действия. Требования к средствам измерений для оценки вибрационного состояния)

ISO 10817-1, Rotating shaft vibration measuring systems — Part 1: Relative and absolute sensing of radial vibration (Системы измерений вибрации вращающихся валов. Часть 1. Измерения относительной и абсолютной вибрации в радиальном направлении)

ISO 20816-1:2016, Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 1: General guidelines (Вибрация. Измерения вибрации и оценка вибрационного состояния машин. Часть 1. Общее руководство)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применяют термины и определения по ИСО 2041.

ИСО и МЭК ведут терминологические базы данных для использования в стандартизации по следующим адресам:

- платформа онлайн-просмотра ИСО: доступна на gost.e-ecolog.ru ;
- Электропедия МЭК: доступна на gost.e-ecolog.ru .

4 Измерения вибрации

4.1 Общие положения

Методы и средства измерений должны удовлетворять общим требованиям по ИСО 20816-1 с учетом рекомендаций настоящего раздела.

Следует убедиться, что в ходе измерений на измерительное оборудование не будут оказывать существенное влияние такие факторы, как:

a) изменения температуры;

b) электромагнитные поля, включая связанные с намагниченностью вала;

c) акустические поля;

d) изменения питания;

e) длина соединительных кабелей (конструкция некоторых бесконтактных датчиков для измерения вибрации вала требует согласованной длины кабеля);

f) повреждения кабеля;

g) ориентация преобразователя вибрации.

Особое внимание следует уделять правильной установке преобразователя вибрации, чтобы его система крепления не влияла на точность измерений.

4.2 Точки измерений

В целях контроля вибрационного состояния машин используют результаты измерений на невращающихся частях или на валах машины, или те и другие совместно. В настоящем стандарте, если специально не оговорено иное, под вибрацией вала понимают его перемещения относительно опоры. Наиболее предпочтительным способом измерения таких перемещений является использование пары бесконтактных датчиков вибрации, установленных перпендикулярно друг другу. Это позволяет определить траекторию движения вала в месте установки пары датчиков. Иногда конструкция машины не позволяет установить пару датчиков в непосредственной близости от подшипника. В этом случае следует убедиться, что получаемые результаты измерений представительны с точки зрения вибрации вала в подшипнике и не искажены вследствие локальных резонансов системы крепления или неоднородности поверхности вала. Более подробные рекомендации в отношении измерений вибрации вала содержатся в ИСО 10817-1.

Под измерениями на невращающихся частях понимают измерения вибрации подшипника, корпуса подшипника или другого элемента конструкции, на который передаются динамические силы, связанные с вибрацией вала в месте установки подшипника и характеризующие общую вибрацию машины. Если конструкция машины не позволяет обеспечить доступ к подшипнику для установки на нем преобразователя вибрации, то измерения проводят в точке, имеющей с подшипником жесткую механическую связь, при которой измеряемая вибрация не будет усилена или искажена локальными резонансами. Исходя из этого, не следует устанавливать преобразователь вибрации на тонкостенной поверхности с легко возбуждаемыми изгибными колебаниями (например, на кожухе вентилятора). Целесообразно подтвердить пригодность выбранной точки измерений, например, посредством проведения измерений в разных точках и сопоставления полученных результатов.

Точки и направления измерений должны быть выбраны таким образом, чтобы вибрация в них была чувствительна к вызывающим ее силам. Обычно измерения проводят с помощью пары преобразователей в двух взаимно перпендикулярных радиальных направлениях на крышках или корпусах опорных подшипников. Как правило, в случае машин с горизонтальным расположением вала одно из направлений выбирают вертикальным, хотя при необходимости могут быть использованы два других взаимно ортогональных направления. Если вал машины расположен вертикально или под углом к горизонту, то направление измерений выбирают таким, чтобы полученное значение контролируемого пара-

метра вибрации было максимальным. В некоторых случаях рекомендуется также выполнять измерения вибрации в осевом направлении (см. 6.2.1). Представление результатов измерений вибрации должно сопровождаться указанием точек и направлений измерений.

Вместо пары преобразователей на подшипнике может быть установлен один преобразователь, если известно, что полученные результаты измерений будут представительны с точки зрения оценки общей вибрации. Однако при этом выбранное направление измерений должно обеспечивать получение результатов, близких к максимальным.

Точки измерений вибрации на корпусах подшипников и валах (как они определены в ИСО 20816-1) показаны на рисунках 1—6.

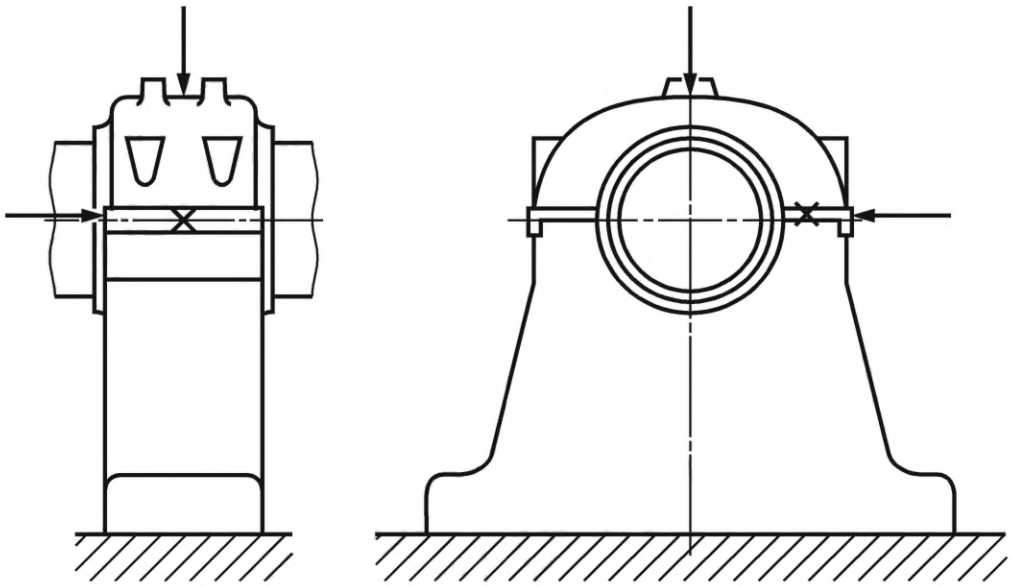


Рисунок 1 — Точки измерений на опорах/крышках подшипников

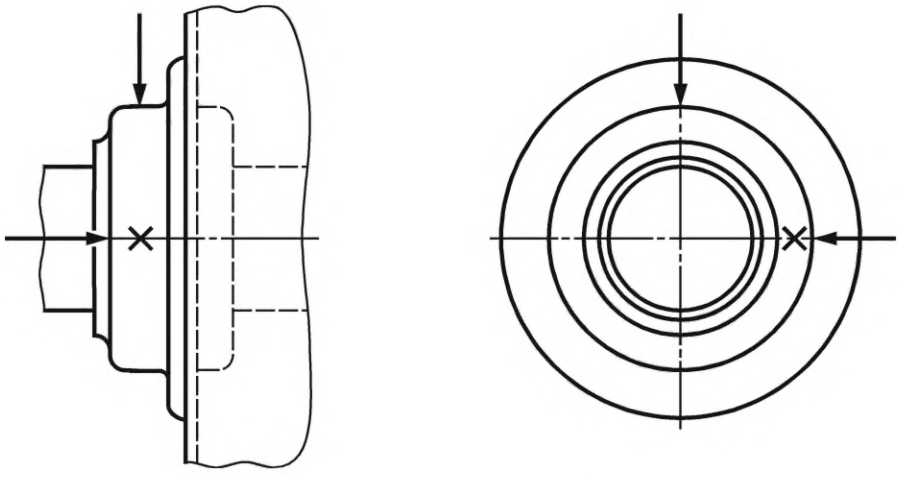


Рисунок 2 — Точки измерений на корпусах подшипников

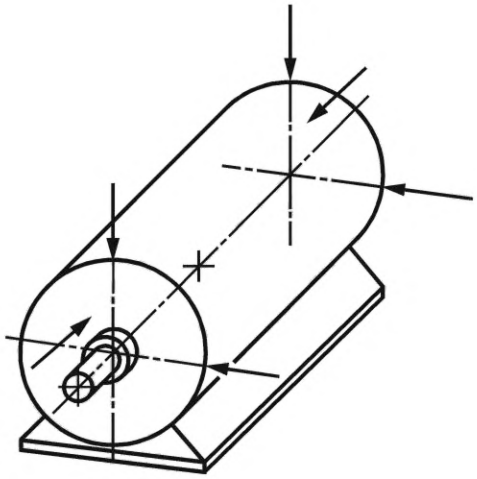


Рисунок 3 — Точки измерений для малых электрических машин

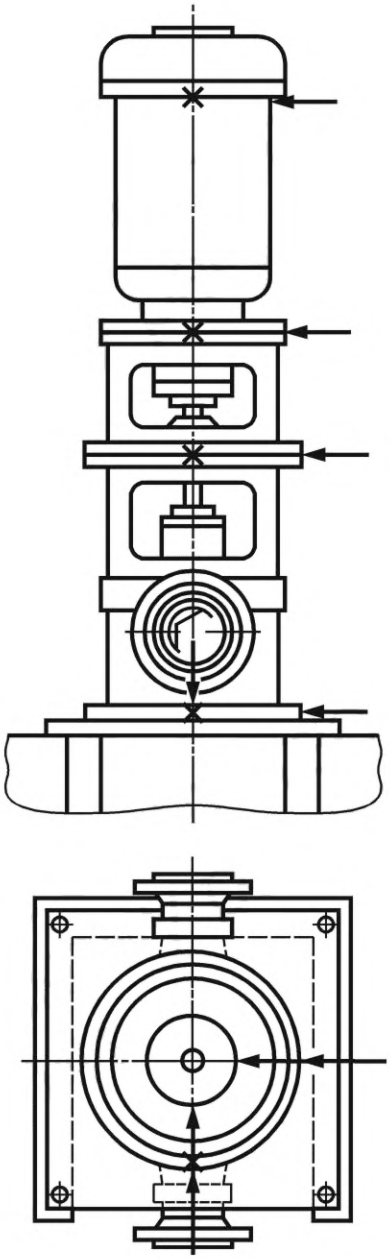
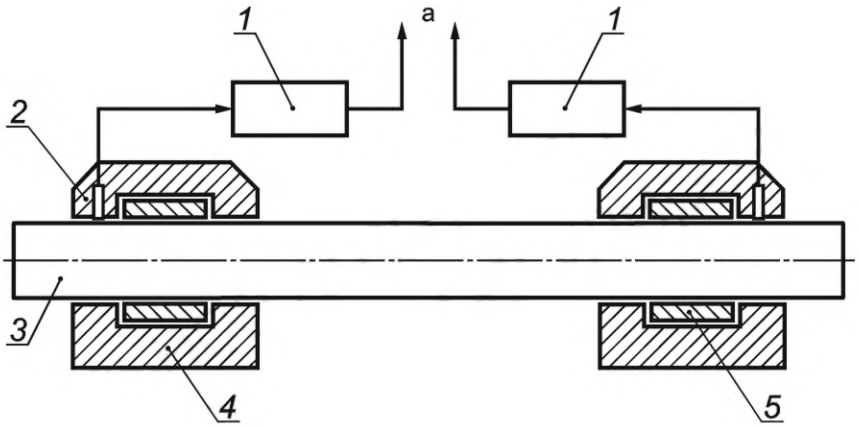


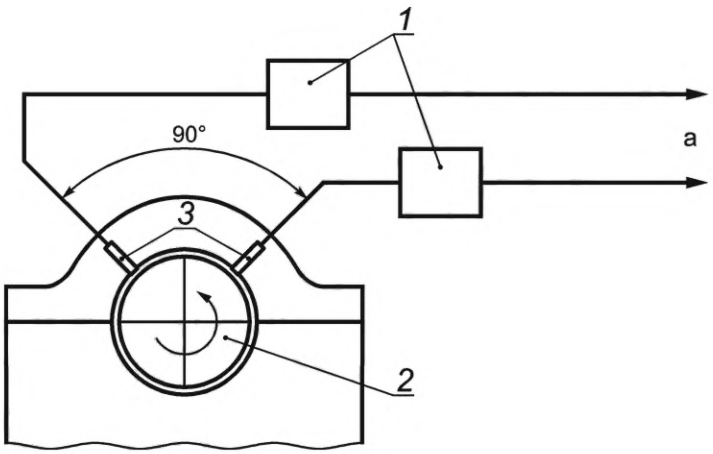
Рисунок 4 — Точки измерений для машин с вертикальным расположением вала



[a] К устройствам обработки сигнала.

1 — устройство формирования сигнала; *2* — бесконтактный преобразователь; *3* — вал; *4* — корпус подшипника; *5* — подшипник

Рисунок 5 — Точки измерений вибрации вала



[a] К устройствам обработки вала.

1 — устройство формирования сигнала; *2* — вал; *3* — бесконтактные преобразователи

Рисунок 6 — Установка бесконтактных преобразователей для измерений относительной вибрации вала

4.3 Средства измерений

В целях контроля вибрационного состояния машин измерительная система должна обеспечивать измерение среднеквадратичного значения широкополосной вибрации в диапазоне частот по крайней мере от 10 до 1000 Гц. Для машин, у которых скорость вращения вала не превышает 600 мин$^{-1}$, нижняя граница диапазона частот измерений не должна превышать 2 Гц.

При измерениях вибрации вала верхняя граница диапазона частот измерений должна не менее чем в 3,5 раза превышать максимальную частоту вращения вала. Средства измерений должны при этом удовлетворять требованиям ИСО 10817-1.

Средства измерений вибрации на невращающихся частях должны соответствовать требованиям ИСО 2954. В зависимости от установленного критерия измеряемой величиной может быть перемещение или скорость вибрации, или и то, и другое вместе (см. ИСО 20816-1). Если измерения выполняют с помощью акселерометров (что обычно имеет место на практике), то выходной сигнал подлежит инте-

грированию для получения сигнала скорости. Получение сигнала перемещения требует двойного интегрирования, но при этом следует обращать внимание на возможность возрастания вносимых шумовых помех. Для их снижения может быть применен фильтр верхних частот или использован иной цифровой метод обработки сигнала.

Если сигнал вибрации предполагается использовать также в целях диагностирования, то диапазон измерений должен охватывать частоты, по крайней мере, от нижней границы частоты вращения вала, умноженной на 0,2, до максимальной частоты возбуждения вибрации, умноженной на 2,5 (обычно это значение не превосходит 10 000 Гц). Дополнительная информация приведена в [5] — [7].

4.4 Непрерывный и периодический контроль

Обычно для крупных или критически важных машин используют непрерывные измерения контролируемых показателей вибрации с помощью постоянно установленных в наиболее важных точках преобразователей как в целях контроля состояния, так и для обеспечения защиты оборудования. В некоторых случаях используемую для этого измерительную систему интегрируют в общую систему управления оборудованием предприятия.

Однако для многих машин в организации непрерывного контроля нет необходимости. Достаточную с точки зрения контроля состояния машины информацию о развитии неисправностей (например, дисбаланса, износа элементов подшипников, несоосностей или ослаблении соединений) можно получить путем периодических измерений. Численные значения контролируемых параметров вибрации, приведенные в настоящем стандарте, могут быть использованы в рамках периодического контроля при условии, что точки измерений и средства измерений соответствуют требованиям стандарта.

Средства измерений вибрации вала обычно устанавливают на постоянной основе, но выполнение измерений может осуществляться через определенные интервалы времени.

При измерениях вибрации на невращающихся частях преобразователи, как правило, достаточно устанавливать на время проведения измерений. Однако для машин с труднодоступными местами измерений могут использоваться постоянно установленные преобразователи с выводом сигнала в точку, доступную для измерений, или с использованием системы периодического сбора информации.

4.5 Режимы работы машины

Измерения вибрации проводят после достижения ротором и подшипниками равновесной температуры в установившемся заданном режиме работы, определяемом такими характеристиками, как номинальная частота вращения вала, напряжение питания, расход рабочей среды, давление в рабочей среде и нагрузка.

Для машин, работающих в условиях переменных скоростей или нагрузок, измерения вибрации проводят для всех режимов, характерных для долговременной эксплуатации машины. Максимальное из полученных для этих режимов значений контролируемого параметра вибрации принимают в качестве оценки вибрационного состояния.

Иногда выход в установившийся режим работы занимает долгое время. При невозможности выполнить измерения в установившемся режиме необходимо определить, каким образом режим работы влияет на получаемую оценку вибрационного состояния. На эту оценку в числе прочих могут оказывать влияние такие характеристики, как:

a) нагрузка машины;
b) температура технологического процесса;
c) положение клапанов;
d) расход рабочих жидкостей;
e) температура окружающего воздуха;
f) уровень жидкости;
g) перепад давления на фильтре.

Если условия измерений изменяются от измерения к измерению, то должны быть определены характеристики, в наибольшей степени влияющие на результаты измерений. Для улучшения повторяемости рекомендуется сопоставлять результаты измерений, полученных в аналогичных режимах работы.

4.6 Фоновая вибрация

Если полученное в ходе измерений значение контролируемого параметра превышает приемочный критерий и при этом предполагается, что фоновая вибрация на машине может быть велика, то

необходимо провести измерения на остановленной машине с целью оценить вибрацию, наведенную сторонними источниками. Влияние фоновой вибрации должно быть уменьшено введением соответствующих поправок, если выполнено по крайней мере одно из следующих двух условий:

a) значение контролируемого параметра на остановленной машине превышает 25 % его значения, полученного в нормальных условиях работы машины;

b) значение контролируемого параметра на остановленной машине превышает 25 % значения границы между зонами B и C (см. 6.2.2) для машины данного типа.

4.7 Выбор вида измерений

Настоящий стандарт предполагает возможность проведения измерений как на невращающихся частях, так и на вращающихся валах машин. Выбор, какой из этих двух видов измерений является предпочтительным, зависит от характеристик машины, а также от ожидаемых видов неисправности.

Если есть необходимость выбрать один из двух возможных видов измерений, то следует принимать во внимание следующее:

a) частоту вращения вала. Измерения на невращающихся частях более чувствительны к высокочастотной вибрации по сравнению с измерениями вибрации вала;

b) тип подшипника. Подшипники качения имеют очень маленькие зазоры, вследствие чего вибрация вала эффективно передается на корпус подшипника. Таким образом, для машин с подшипниками данного типа обычно достаточно выполнить измерения на невращающихся частях. Подшипник качения обладают большими зазорами и демпфируют вибрацию вала, поэтому для машин с такими подшипниками вибрация вала зачастую является дополнительной информативной характеристикой;

c) тип машины. Машины, у которых внутренний зазор в подшипнике сопоставим с вибрацией вала в подшипнике, требуют проведения измерений относительной вибрации вала в целях защиты от возможных контактов вала с подшипником (см. приложение C). Машины, конструкция которых предполагает возможность появления в сигнале вибрации гармоник частоты вращения высокой кратности (лопастных, зубцовых, стержней ротора), контролируют по измерениям вибрации в высокочастотном диапазоне на невращающихся частях;

d) отношение массы вала к массе подшипниковой опоры. В машинах, у которых масса вала мала по сравнению с массой опоры, передается на опору только незначительная часть вибрации вала. Для таких машин более эффективным будет контроль по измерениям вибрации вала;

e) жесткость ротора. В случае гибких роторов относительная вибрация вала будет более чувствительной характеристикой, предоставляющей большую информацию о поведении машины;

f) податливость опоры. Податливая опора обеспечивает больший вибрационный отклик на невращающихся частях;

g) опыт измерений. Если в отношении каких-либо машин накоплен большой опыт измерений конкретного вида, то целесообразно в дальнейшем для аналогичных машин продолжать использовать данный вид измерений.

Более подробные рекомендации по выбору метода измерений приведены в [5]. При выборе окончательного решения целесообразно учитывать также вопросы удобства доступа к точке измерений, срока службы преобразователей и стоимости установки измерительной системы (см. [10]).

5 Классификация машин

5.1 Общие положения

В соответствии с критериями, установленными настоящим стандартом, вибрационное состояние машины оценивают в зависимости:

a) от ее типа;

b) номинальной мощности или высоты расположения вала (см. также [1]);

c) степени жесткости основания.

5.2 Классификация по типу машины, номинальной мощности или высоте вала

Различия в типах машин и конструкции их подшипников требуют разделения всех машин на две группы в зависимости от номинальной мощности или высоты вала (см. примечание 1).

Валы машин обеих групп могут быть расположены горизонтально, вертикально или наклонно, а опоры могут иметь разную степень жесткости.

Группа 1: машины номинальной мощностью более 300 кВт, электрические машины с высотой вала $H \geq 315$ мм.

Как правило, такие машины оснащены подшипниками скольжения. Диапазон их рабочих скоростей весьма широк — от 120 до 30 000 мин$^{-1}$.

Группа 2: машины номинальной мощностью от 15 до 300 кВт; электрические машины с высотой вала 160 мм $\leq H <$ 315 мм.

Как правило, такие машины оснащены подшипниками качения, рабочая частота вращения — более 600 мин$^{-1}$.

Примечание 1 — Высота вала H по [1] — это расстояние между осью вращения вала и плоскостью основания, определенное для машины, готовой к поставке.

5.3 Классификация по степени жесткости основания

Основания машин по степени жесткости в заданном направлении разделяют:

a) на жесткие;

b) податливые.

Основой для такого разделения является соотношение между жесткостью машины и основания. Если низшая собственная частота системы «машина — основание» в направлении измерений вибрации превышает основную частоту возбуждения (в большинстве случаев это частота вращения ротора) по крайней мере на 25 %, то такое основание в данном направлении считают жестким. Все остальные основания считают податливыми.

Машинами на жестком основании обычно являются крупно- и среднегабаритные электродвигатели, как правило, с низкой частотой вращения. Примерами машин на податливом основании обычно можно считать турбогенераторы или компрессоры мощностью более 10 МВт, а также машины с вертикальным расположением вала.

В ряде случаев основание может быть жестким в одном направлении и податливым в другом. Например, низшая собственная частота в вертикальном направлении может быть существенно выше основной частоты возбуждения, в то время как собственная частота в горизонтальном направлении может быть значительно меньше. Такую конструкцию считают жесткой в вертикальном направлении и податливой в горизонтальном. При этом вибрационное состояние такой машины следует оценивать согласно классификации применительно к заданному направлению измерений.

Если характеристики системы «машина — основание» не могут быть определены расчетным методом, это можно сделать экспериментальным путем.

6 Критерии оценки вибрационного состояния

6.1 Общие положения

В ИСО 20816-1 дано общее описание двух критериев оценки вибрационного состояния машин разных классов. Один критерий применяют для абсолютного значения контролируемого параметра вибрации в широкой полосе частот, другой — для изменений этого значения (безотносительно к направлению этих изменений — в большую или меньшую сторону).

Обычно вибрационное состояние машин принято оценивать по среднеквадратичному значению скорости вибрации на невращающихся частях, что во многом связано с простотой проведения соответствующих измерений. Однако для ряда машин целесообразно также проводить измерения размаха относительных перемещений вала, и там, где данные таких измерений доступны, они также могут быть применены для оценки вибрационного состояния машины.

6.2 Критерий I (по абсолютному значению параметра)

6.2.1 Общие положения

Для измерений на вращающихся валах вибрационное состояние оценивают по максимальному значению размаха перемещения широкополосной вибрации. Этот контролируемый параметр получают по измерениям перемещений в двух заданных ортогональных направлениях.

Для измерений на невращающихся частях вибрационное состояние оценивают по максимальному среднеквадратичному значению скорости широкополосной вибрации на поверхности подшипника или в непосредственной близости от нее.

В соответствии с данным критерием определяют предельные значения контролируемого параметра, которые можно считать приемлемыми с точки зрения динамических нагрузок на подшипники, радиальных зазоров в подшипниках и вибрации, передаваемой машиной на опорную конструкцию и фундамент. С предельным значением для данной группы машин и данного вида опоры сравнивают максимальное значение контролируемого параметра, полученное на каждом подшипнике или подшипниковой опоре. Большой опыт наблюдений за вибрацией машин, указанных в разделе 1, позволяет установить границы зон вибрационного состояния, руководствуясь которыми можно в большинстве случаев обеспечить надежную работу машин в течение длительного времени. Если на подшипнике используют только одно направление измерений вибрации, то следует убедиться, что такие измерения позволят получить достаточную информацию о вибрационном состоянии машины (более подробно этот вопрос рассмотрен в ИСО 20816-1).

Установленные зоны вибрационного состояния предназначены для оценки вибрации машины в заданном установившемся режиме работы с номинальной частотой вращения вала и номинальной нагрузкой. Понятие установившегося режима допускает медленные изменения нагрузки. При этом оценку не выполняют, если режим работы отличается от заданного, а также во время переходных режимов, таких как разбег, выбег или прохождение через зоны резонансов (см. 6.4).

Общий вывод о вибрационном состоянии часто делают на основе измерений вибрации как на невращающихся, так и на вращающихся частях машины.

Обычно осевую вибрацию опорных подшипников при непрерывном контроле вибрационного состояния не измеряют. Такие измерения, как правило, выполняют при периодическом контроле или в целях диагностирования, поскольку осевая вибрация может быть более чувствительна к неисправностям некоторых видов. В настоящем стандарте приведены критерии оценки только для осевой вибрации упорных подшипников, в которых она коррелирует с осевыми пульсациями, способными привести к повреждениям машины.

Границы зон вибрационного состояния приведены в таблицах А.1 и А.2. Их применяют к радиальной вибрации всех подшипников и к осевой вибрации упорных подшипников. Критерии для упорных подшипников совпадают с критериями для радиальной вибрации (см. таблицу А.1). Для других подшипников, не ограничивающих перемещения ротора в осевом направлении, допускаются более высокие значения осевой вибрации при условии, что она не окажет негативного влияния на присоединенные элементы конструкции (например, части трубопровода).

6.2.2 Зоны вибрационного состояния

6.2.2.1 Общие положения

Установлены следующие зоны вибрационного состояния, предназначенные для качественной оценки вибрации машины и принятия решения о необходимых мерах.

Зона А — в эту зону попадают, как правило, новые машины, недавно введенные в эксплуатацию.

Примечание 1 — Для некоторых новых машин можно считать нормальным, если их вибрация не попадает в зону А. Стремление снизить вибрацию ниже границы между зонами А и В может привести к неоправданным затратам при минимальном положительном эффекте.

Зона В — машины, попадающие в эту зону, обычно считают пригодными для дальнейшей работы без ограничения сроков.

Зона С — машины, попадающие в эту зону, обычно рассматривают как непригодные для длительной непрерывной работы. Обычно данные машины могут функционировать ограниченный период времени, пока не появится подходящая возможность для проведения ремонтных работ.

Зона D — уровни вибрации в данной зоне обычно рассматривают как достаточно серьезные, для того чтобы вызвать повреждение машины.

6.2.2.2 Границы зон вибрационного состояния

Установленные численные значения границ зон вибрационного состояния не предназначены для использования в качестве критериев приемки, которые должны быть предметом соглашения между поставщиком и заказчиком машины. Однако эти границы могут использоваться в качестве общего руководства, позволяющего избежать ненужных затрат на снижение вибрации машины и предъявления к ней чрезмерно завышенных требований. Иногда особенности конструкции машины или опыт ее эксплуатации могут потребовать установления других граничных значений (более высоких или более низких). В таких случаях изготовитель обычно приводит обоснование изменения границ и, в частности, подтверждает, что допускаемая в соответствии с этими изменениями повышенная вибрация не приведет к ухудшению надежности машины.

6.2.2.3 Критерии приемки

Критерии приемки машины по параметрам вибрации всегда являются предметом соглашения между поставщиком и заказчиком, которое должно быть зафиксировано до или в момент поставки, при этом первый вариант является предпочтительным. В случае поставки новой машины или возврата машины из капитального ремонта в качестве основы для установления таких критериев могут быть использованы границы зон вибрационного состояния. Однако численные значения границ зон не следует по умолчанию применять в качестве критериев приемки.

Обычно считают, что контролируемый параметр вибрации новой машины должен попадать в зону A или B, но не превышать при этом границу между этими зонами более чем в 1,25 раз. Данная рекомендация может не учитываться при установлении критериев приемки, если основанием для этого будут особенности конструкции машины или накопленный опыт эксплуатации машин подобного вида.

Приемочные испытания выполняют в строго заданных условиях работы машины (производительность, частота вращения, расход, температура, давление и пр.) на заданном интервале времени. Если машина поступила после замены одного из основных узлов или технического обслуживания, то при установлении критериев приемки учитывают вид выполненных работ и значения контролируемых параметров до вывода машины из производственного процесса.

6.2.2.4 Численные значения границ зон

Численные значения границ зон для измерений на невращающихся частях приведены в приложении A, для измерений на вращающихся валах — в приложении B.

6.3 Критерий II (по изменению абсолютного значения параметра)

Данный критерий основан на сравнении текущего значения контролируемого параметра широкополосной вибрации в установившемся режиме работы машины (допускающем некоторые незначительные изменения рабочих характеристик) с предварительно установленным опорным значением. Значительные изменения могут потребовать принятия соответствующих мер даже в том случае, если граница между зонами B и C еще не достигнута. Эти изменения могут нарастать постепенно или иметь скачкообразный характер, быть следствием зарождающихся повреждений или иных нарушений в работе машины.

Сравниваемый параметр вибрации должен быть получен с использованием одного и того же положения и ориентации преобразователя вибрации для одного и того же режима работы машины. При обнаружении значительных изменений исследуют их возможные причины с целью предотвратить возникновение опасных ситуаций. Если изменения вибрации превышают 25 % значения границы между зонами B и C, приведенной в приложении A или B, их рассматривать как значительные, особенно когда они носят внезапный характер. В этом случае необходимо провести диагностические исследования, чтобы выявить причины такого изменения и определить, какие меры следует принять.

Примечание 1 — Приведенный критерий (изменение на более чем на 25 %) представляет собой общую рекомендацию. Опыт эксплуатации конкретной машины может позволить установить иное значение критерия.

Примечание 2 — В ряде случаев критерий 25 % может быть применен к изменению вектора вибрации на заданной частоте. Это позволяет повысить чувствительность к развитию отдельных неисправностей (см. ИСО 20816-1:2016, приложение D).

Примечание 3 — Для некоторых машин при работе в нормальном состоянии и в нормальных условиях характерны существенные колебания контролируемого параметра вибрации. Статистический анализ таких колебаний позволит избежать ложных заключений об изменении вибрационного состояния.

6.4 Оценка вибрационного состояния в переходных режимах

Границы зон вибрационного состояния, приведенные в приложениях A и B, применяют в отношении вибрации в установившемся режиме работы машины. Переходные режимы работы обычно могут сопровождаться более высокой вибрацией. Примером может служить вибрация машины на податливой опоре в режиме разгона или выбега, когда рост вибрации связан с прохождением критических скоростей вращения ротора. Кроме того, повышение вибрации может наблюдаться вследствие нарушения соосности сопрягаемых вращающихся частей или изгиба ротора при его нагреве. При анализе вибрационного состояния машины необходимо обратить внимание, как вибрация реагирует на изменение рабочего режима и внешних условий работы машины. Хотя настоящий стандарт не рассматривает оценку вибрации в переходных режимах работы машины, в качестве общего руководства можно принять, что

вибрация приемлема, если в переходных режимах работы ограниченной длительности она не превышает верхнюю границу зоны С. Для режимов разгона, выбега и работы на частотах вращения выше номинальной рекомендации в отношении предельных значений контролируемого параметра вибрации приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Рекомендации в отношении предельных значений контролируемого параметра вибрации для разгона, выбега и работы на частоте вращения выше номинальной

Отношение частоты вращения к номинальной частоте, %	Вибрация на невращающихся частях в единицах границы между зонами С и D (см. таблицы А.1 и А.2)	Вибрация вала в единицах границы между зонами С и D [см. формулы (В.1) — (В.3)]
Менее 20	См. примечание	1,5
От 20 до 90	1,0	1,5
Более 90	1,0	1,0
Примечание — Отношение перемещения к скорости вибрации обратно пропорционально частоте. Поэтому при измерениях вибрации на невращающихся частях на частотах ниже 20 % нецелесообразно использовать критерий постоянной скорости (см. приложение D).		

6.5 Предельные уровни вибрации в установившемся режиме работы

6.5.1 Общие положения

Как правило, для машин, предназначенных для длительной эксплуатации, устанавливают предельные уровни вибрации, превышение которых в установившемся режиме работы машины приводит к появлению сигналов оповещения вида ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ или ОСТАНОВ.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ — оповещение для привлечения внимания к тому, что значение контролируемого параметра вибрации или его изменение достигло уровня, после которого может потребоваться проведение восстановительных мероприятий. Как правило, при появлении оповещения ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ машину можно эксплуатировать в течение некоторого времени пока исследуют причины изменения вибрации и определяют, какие восстановительные мероприятия следует провести.

ОСТАНОВ — оповещение, указывающее на достижение параметром вибрации уровня, при превышении которого дальнейшая работа машины может привести к ее повреждениям. При достижении уровня ОСТАНОВ следует принять немедленные меры к снижению вибрации или остановить машину.

Вследствие разницы в динамических нагрузках и жесткостях опор машины для различных точек и направлений измерений могут быть установлены разные предельные уровни вибрации.

6.5.2 Задание уровня ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

Уровень ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ может существенно изменяться в сторону возрастания или уменьшения от машины к машине. Обычно данный уровень определяют относительно некоторого базового уровня (базовой линии), полученного для каждого конкретного экземпляра машины для заданной точки и заданного направления измерений на основе опыта эксплуатации.

Рекомендуется устанавливать уровень ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ так, чтобы он превышал базовую линию на 25 % значения верхней границы зоны В. Если базовый уровень мал, то уровень ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ может находиться ниже зоны С.

Если базовый уровень не определен (например, для новой машины), то уровень ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ определяют либо из опыта эксплуатации аналогичных машин, либо относительно согласованных приемлемых значений контролируемого параметра вибрации. Спустя некоторое время по наблюдениям вибрации машины устанавливают базовую линию и соответствующим образом корректируют уровень ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ.

Обычно уровень ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ устанавливают так, чтобы он не превышал верхнюю границу зоны В более чем в 1,25 раз.

Если произошло изменение базового уровня (например, после ремонта машины), то уровень ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ также должен быть скорректирован соответствующим образом.

6.5.3 Задание уровня ОСТАНОВ

Уровень ОСТАНОВ обычно связывают с сохранением механической целости машины, которая, в свою очередь, определяется ее конструктивными особенностями и способностью противостоять действию аномальных динамических сил. Поэтому уровень ОСТАНОВ, как правило, одинаков для машин аналогичных конструкций и не связан с базовой линией.

Вследствие многообразия конструкций машин не представляется возможным дать универсальное руководство по заданию уровня ОСТАНОВ. Обычно уровень ОСТАНОВ устанавливают в пределах зоны C или D, но не выше границы между этими зонами более чем на 25 %.

6.6 Дополнительные процедуры и критерии

Не существует простого способа рассчитать вибрацию подшипниковой опоры по вибрации вала (и, наоборот, вибрацию вала по вибрации опоры). Разность между абсолютной и относительной вибрацией вала связана с вибрацией подшипниковой опоры, но, как правило, не равна ей. В случае, когда применение критериев для вибрации на невращающихся частях и вибрации вала приводит к разным оценкам вибрационного состояния, из них выбирают ту, что устанавливает более жесткие ограничения на возможности применения машины.

6.7 Оценка на основе векторного представления информации

Изменение амплитуды отдельной частотной составляющей вибрации, даже значительное, не обязательно сопровождается существенным изменением сигнала широкополосной вибрации. Например, развитие трещины в роторе может вызвать появление значительных гармоник частоты вращения, но их амплитуды могут оставаться малыми в сравнении с составляющей на частоте вращения. Это не позволяет надежно проследить эффекты развития трещины только по изменениям широкополосной вибрации.

Контроль изменения амплитуды отдельных составляющих вибрации с целью получения данных для последующих процедур диагностирования требует применения специальных средств измерений и анализа, обычно более сложного и требующего специальной квалификации для его применения (см. [9]).

Методы, установленные настоящим стандартом, ограничиваются измерением широкополосной вибрации без оценки амплитуд и фаз отдельных частотных составляющих. В большинстве случаев этого достаточно для приемочных испытаний машины и контроля ее состояния на месте применения. Однако использование в программе долговременного мониторинга состояния машины и ее диагностирования векторной информации о частотных составляющих (особенно на частоте вращения и ее второй гармонике) позволяет оценивать изменения в динамическом поведении машины, неразличимые при контроле только широкополосной вибрации. Анализ соотношений между отдельными частотными составляющими и их фазами находит все большее применение в системах контроля состояния и диагностики. В настоящем стандарте критерии оценки вибрационного состояния на основе изменения векторных составляющих не рассматриваются. Более подробные сведения по данному вопросу приведены в [5] — [7] (см. также ИСО 20816-1).

Приложение А
(обязательное)

Границы зон вибрационного состояния для вибрации на невращающихся частях машинных агрегатов в заданных режимах работы

Опыт показывает, что для оценки вибрационного состояния машин разных видов с разными скоростями вращения достаточно измерений только скорости вибрации. Поэтому основным контролируемым параметром является среднеквадратичное значение скорости.

При этом, однако, использование критерия в виде постоянного значения скорости без учета частоты вибрации может привести к неприемлемо большим значениям перемещения. Это имеет место, в частности, для низкооборотных машин с частотой вращения ротора менее 600 мин$^{-1}$, когда в сигнале широкополосной вибрации доминирует составляющая на частоте вращения (см. приложение D). Аналогично, критерий постоянной скорости может привести к неприемлемо большим значениям ускорения в случае высокоскоростных машин с частотой вращения ротора свыше 10 000 мин$^{-1}$ или в случае, когда энергия производимой машиной вибрации концентрируется преимущественно в области высоких частот. Поэтому критерии вибрационного состояния могут быть сформулированы в единицах перемещения, скорости и ускорения в зависимости от диапазона частот вращения ротора и типа машины.

В таблицах А.1 и А.2 представлены значения границ зон вибрационного состояния для машин разных групп, на которые распространяются требования настоящего стандарта. В настоящее время эти границы сформулированы только в единицах скорости и перемещения.

Примечание 1 — Ввиду высокой чувствительности ускорения к изменениям вибрации на высоких частотах его измерения широко применяют в целях диагностирования.

Границы зон вибрационного состояния для вибрации в диапазоне частот от 10 до 1000 Гц выражены через среднеквадратичные значения скорости и перемещения. Для машин с частотой вращения ротора ниже 600 мин$^{-1}$ диапазон измерений широкополосной вибрации составляет от 2 до 1000 Гц. В большинстве случаев оценку вибрационного состояния достаточно осуществлять только по критерию скорости, однако если ожидается, что спектр вибрации будет содержать значительные низкочастотные составляющие, то оценку выполняют на основе измерений как скорости, так и перемещения.

Машины всех рассматриваемых групп могут быть установлены либо на жесткие, либо на податливые опоры (см. раздел 5), для которых в таблицах А.1 и А.2 установлены разные границы зон.

Таблица А.1 — Границы зон вибрационного состояния для машин группы 1 [крупные машины с номинальной мощностью свыше 300 кВт, электрические машины с высотой вала не менее 315 мм (см. 5.2)]

Вид опоры	Граница зон	Среднеквадратичное значение перемещения, мкм	Среднеквадратичное значение скорости, м/с
Жесткие	A/B B/C C/D	29 57 90	2,3 4,5 7,1
Податливые	A/B B/C C/D	45 90 140	3,5 7,1 11,0
Примечание — Критерий по перемещению получен из значения критерия по скорости на частоте 12,5 Гц. Критерий по перемещению применяют для машин с частотой вращения ротора менее 600 мин$^{-1}$ (см. также приложение D), чтобы не допустить чрезмерных перемещений на невращающихся частях при удовлетворительном вибрационном состоянии по критерию скорости.			

Таблица А.2 — Границы зон вибрационного состояния для машин группы 2 [машины с номинальной мощностью от 15 до 300 кВт включительно, электрические машины с высотой вала от 160 до 315 мм (см. 5.2)]

Вид опоры	Граница зон	Среднеквадратичное значение перемещения, мкм	Среднеквадратичное значение скорости, м/с
Жесткие	A/B B/C C/D	22 45 71	1,4 2,8 4,5
Податливые	A/B B/C C/D	37 71 113	2,3 4,5 7,1
Примечание — Критерий по перемещению получен из значения критерия по скорости на частоте 10 Гц. Критерий по перемещению применяют для машин с частотой вращения ротора менее 600 мин$^{-1}$ (см. также приложение D), чтобы не допустить чрезмерных перемещений на невращающихся частях при удовлетворительном вибрационном состоянии по критерию скорости.			

Значения величин, приведенные в таблицах А.1 и А.2, применяют в отношении радиальной вибрации на всех подшипниках, подшипниковых опорах и корпусах, а также в отношении осевой вибрации упорных подшипников при измерениях в установившемся режиме работы на номинальной частоте вращения или в заданном диапазоне частот вращения и не применяют в отношении вибрации на переходных режимах (например, при изменении частоты вращения или нагрузки).

В некоторых случаях особенности конструкции машины могут потребовать изменения границ зон (в большую или меньшую сторону), при этом изготовитель машины обычно объясняет причину данных изменений и, в частности, подтверждает, что машина способна нормально работать при повышенном уровне вибрации. Все такие изменения подлежат согласованию между поставщиком и заказчиком машины.

Приложение В
(обязательное)

Границы зон вибрационного состояния для вибрации вращающихся валов машинных агрегатов в заданных режимах работы

В.1 Общие положения

Границы зон вибрационного состояния построены на основе опыта их применения на разных производствах, который показывает, что допустимая относительная вибрация вала снижается с ростом его частоты вращения. Кроме того, при оценке вибрационного состояния следует учитывать возможность контакта вращающегося вала со стационарными частями машины. Для машин с подшипниками скольжения следует также принимать во внимание минимально допустимый зазор в подшипнике (см. приложение С).

В.2 Вибрация на номинальной частоте вращения в установившемся режиме работы

В.2.1 Общие положения

Критерий I связан:

a) с предельными перемещениями вала из условия допустимых динамических нагрузок на подшипники;

b) допустимыми значениями радиального зазора в подшипнике;

c) допустимой вибрацией, передаваемой на опоры и фундамент.

Максимальное перемещение вала в каждом подшипнике сопоставляют с границами четырех зон (см. рисунок В.1), определенными на основе опыта применения машин.

В.2.2 Границы зон

Опыт измерений вибрации вала для широкого класса машин позволяет установить границы зон вибрационного состояния, выражаемые через размах перемещения $S_{(p–p)}$, мкм, обратно пропорциональными квадратному корню из частоты вращения ротора n, мин$^{-1}$, (см. рисунок В.1).

Границу между зонами A и B рассчитывают по формуле

$$S_{(p–p)} = \frac{4800}{\sqrt{n}}. \quad (B.1)$$

Границу между зонами B и C рассчитывают по формуле

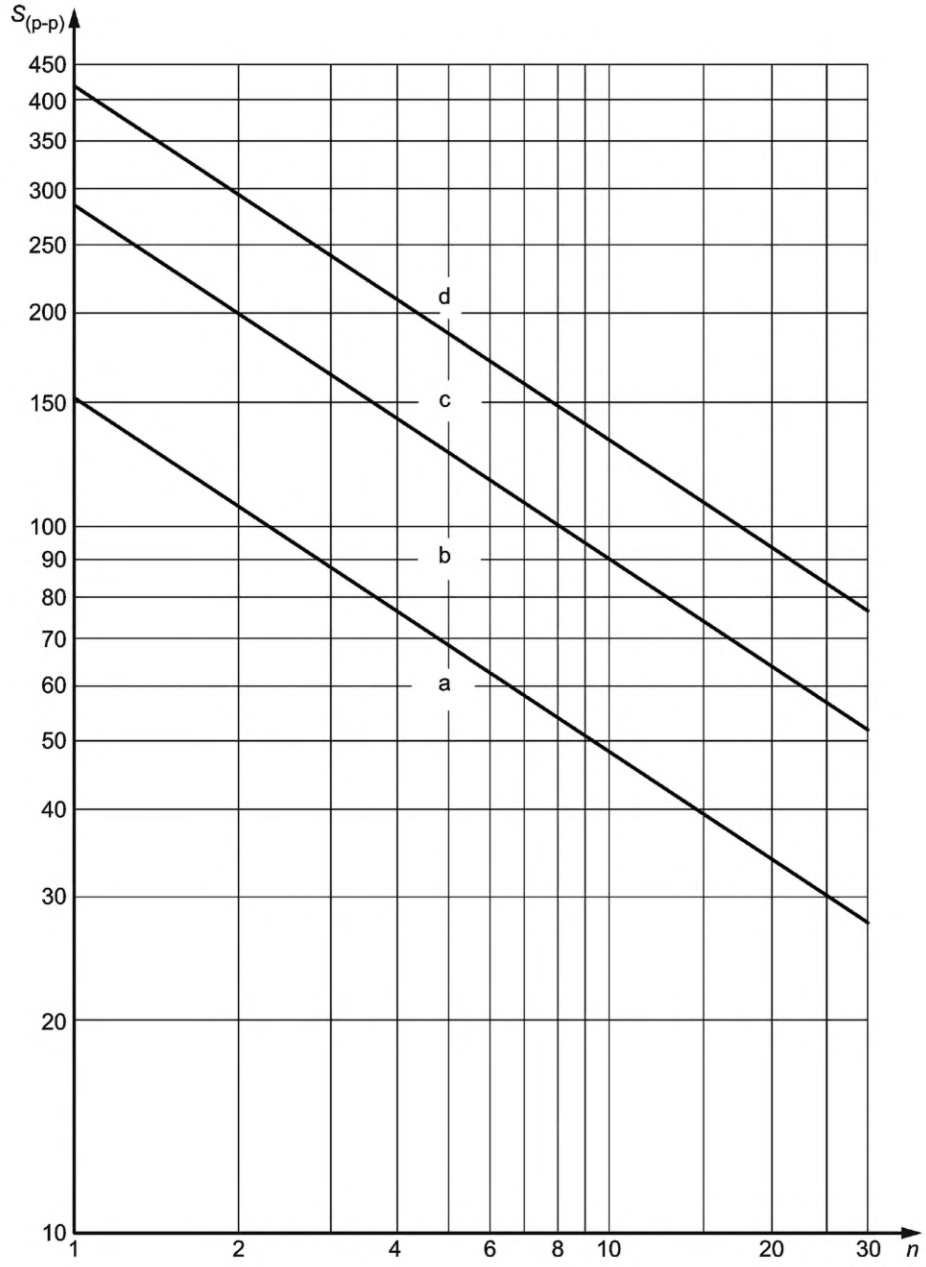
$$S_{(p–p)} = \frac{9000}{\sqrt{n}}. \quad (B.2)$$

Границу между зонами C и D рассчитывают по формуле

$$S_{(p–p)} = \frac{13200}{\sqrt{n}}. \quad (B.3)$$

Примечание 1 — Определение $S_{(p–p)}$ — по ИСО 20816-1.

Примечание 2 — В ряде случаев, например для машин с частотой вращения вала менее 600 или более 10 000 мин$^{-1}$, формулы (В.1) — (В.3) могут давать значения границ зон, превышающие конструктивный зазор в подшипнике, и их следует скорректировать соответствующим образом. По этой причине графики на рисунке (В.1) построены, начиная с частоты 1000 мин$^{-1}$ (см. приложение С). Предполагается, что для машин с частотами вращения ниже 600 мин$^{-1}$ в качестве минимального значения n следует брать 600 мин$^{-1}$.



n — максимальная рабочая частота вращения вала в единицах 1000 мин$^{-1}$; $S_{(p-p)}$ — размах перемещения вала, мкм;
a — зона A; b — зона B; c — зона C; d — зона D

Рисунок B.1 — Рекомендуемые границы зон для относительной вибрации вала

Границы зон вибрационного состояния не следует использовать в качестве критериев приемки, которые должны быть предметом соглашения между поставщиком и заказчиком машины. Однако руководствуясь численными значениями границ можно как предотвратить применение машины в заведомо плохом состоянии, так и избежать предъявления чрезмерно завышенных требований к ее вибрации. В ряде случаев особенности конструкции конкретных машин могут потребовать применения других границ зон состояния — более высоких или более низких (например, в случае самоустанавливающегося сегментного подшипника), а для машин с эллиптическими подшипниками разные границы зон могут быть применены для разных направлений измерений (в сторону максимального и минимального зазора). Допустимая вибрация может быть связана с диаметром подшипника, поскольку, как правило, у подшипников большего диаметра зазор также имеет большие размеры. Соответственно, для разных подшипников одного валопровода допускается устанавливать разные значения границ зон. В таких случаях изготовителю, как правило, необходимо объяснить причину изменения граничных значений и, в частности, подтвердить,

что допускаемая в соответствии с этими изменениями повышенная вибрация не приведет к ухудшению надежности машины.

Если измерения проводят не в непосредственной близости от подшипника, а также при работе машины в переходных режимах, таких как разгон и выбег (включая прохождение критических скоростей вращения), допустимая вибрация может быть выше.

Для вертикальных машин с подшипниками скольжения при определении предельных значений вибрации следует учитывать возможные перемещения вала в пределах зазора без стабилизирующей силы связанной с весом ротора.

Приложение С
(справочное)

Границы зон состояния и зазоры в подшипниках

Для машин с подшипниками скольжения основным условием безопасной работы является требование, чтобы перемещения вала на масляном клине не допускали его контакта с корпусом подшипника. Поэтому границы зон состояния для относительных перемещений вала, приведенные в приложении В, должны быть согласованы с этим требованием. В частности, для подшипников с малым зазором может оказаться необходимым уменьшить значения границ зон. Степень уменьшения зависит от типа подшипника и угла между направлением измерений и направлением минимального зазора. В случае когда граница между зонами С и D превышает диаметральный зазор в подшипнике, рекомендуется границы зон вибрационного состояния определить относительно зазора следующим образом:

A/B — 0,4 зазора;

B/C — 0,6 зазора;

C/D — 0,7 зазора.

Коэффициенты 0,4; 0,6 и 0,7 взяты только с целью иллюстрации принципа коррекции. Для подшипников разных типов могут быть использованы разные коэффициенты, значения которых должны быть согласованы между поставщиком и заказчиком.

Рекомендуемые скорректированные значения границ зон относятся к случаю, когда относительную вибрацию вала измеряют в подшипнике или в непосредственной близости от него. В других точках, где радиальные зазоры больше, могут быть применены границы зон состояния в соответствии с приложением В.

Приложение D
(справочное)

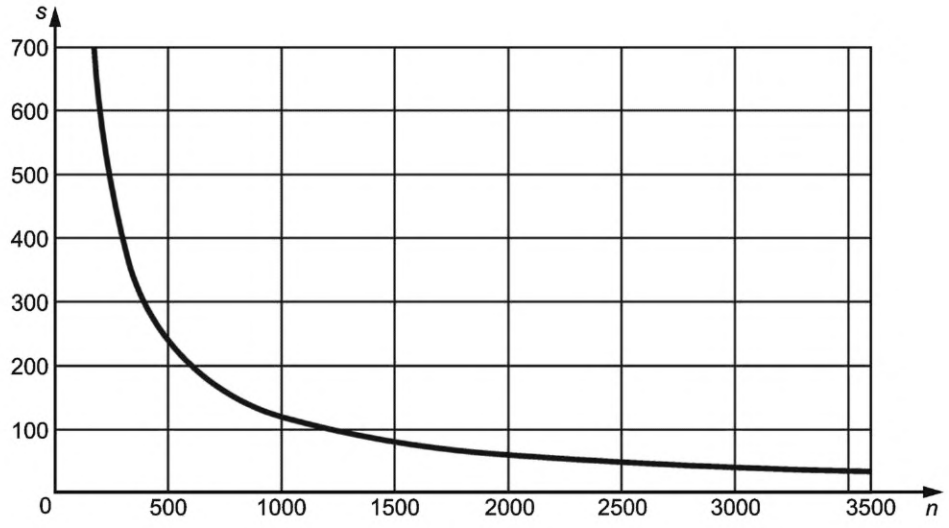
Применимость критерия в виде постоянного значения скорости вибрации для машин с низкими частотами вращения

В настоящем приложении дано обоснование нежелательности применения критериев, основанных на измерении скорости вибрации, в случае машин с низкочастотной вибрацией (ниже 120 мин$^{-1}$). Для малооборотных машин более подходящими могут оказаться критерии, основанные на измерении перемещения, с использованием соответствующих средств измерений. Такие критерии, однако, не рассматриваются в настоящем стандарте.

Предложение использовать скорость вибрации, измеренной на невращающихся частях машины, в качестве основы для описания ее вибрационного состояния было сформулировано на основе обобщения результатов многочисленных испытаний (см., например, пионерскую работу [16]) с учетом некоторых физических соображений. В связи с этим в течение многих лет считалось, что машины эквивалентны с точки зрения состояния и воздействия на них вибрации, если для них совпадают результаты измерения среднеквадратичного значения скорости вибрации в диапазоне частот от 10 до 1000 Гц. Преимущество такого подхода заключалось в возможности использовать одни и те же критерии вибрационного состояния вне зависимости от частотного состава вибрации или частоты вращения машины. И, наоборот, использование в качестве основы для оценки вибрационного состояния перемещения или ускорения привело бы к необходимости строить частотно-зависимые критерии, поскольку отношение перемещения к скорости обратно пропорционально частоте вибрации, а отношение ускорения к скорости ей прямо пропорционально.

В областях низких и высоких частот использование критерия в виде постоянного значения скорости становится нежелательным, поскольку на этих частотах в большей степени проявляют себя величины перемещения и ускорения соответственно. Отношение ускорения вибрации к скорости прямо пропорционально частоте, следовательно, при использовании критерия постоянной скорости для вибрации, в которой преобладают высокие частоты, допустимые значения ускорения становились бы чрезмерно большими. Однако для большинства машин, на которые распространяется настоящий стандарт, появление в спектре значимых высокочастотных составляющих обычно нехарактерно, что позволяет не принимать во внимание ускорение вибрации. Вместе с тем высокочастотная вибрация характерна для дефектов подшипников качения и зубчатых передач, поэтому при контроле состояния таких узлов необходимо рассматривать ускорение вибрации и задавать для него соответствующие критерии.

В свою очередь, отношение перемещения вибрации к скорости обратно пропорционально частоте, поэтому при использовании критерия постоянной скорости в случае низкочастотной вибрации неприемлемо высокими могут оказаться значения перемещения. На рисунке D.1 показано, как при постоянном среднеквадратичном значении скорости 4,5 мм/с возрастает размах перемещения составляющей вибрации на частоте вращения (например, вызванной дисбалансом ротора) при изменении частоты вращения от 3600 мин$^{-1}$ до более низких значений.



n — частота вращения, мин$^{-1}$; s — размах перемещения, мкм

Рисунок D.1 — Изменение составляющей перемещения на частоте вращения ротора при ее уменьшении с сохранением постоянного среднеквадратичного значения скорости вибрации 4,5 мм/с

Рисунок D.1 отражает простое математическое соотношение между постоянной скоростью и переменным перемещением на разных частотах вращения. Но вместе с тем он показывает, как использование критерия в виде постоянного значения скорости способно привести к росту перемещения подшипниковой опоры с уменьшением частоты вращения. Хотя динамические силы, действующие на подшипник, остаются при этом в допустимых пределах, значительные перемещения корпуса подшипника могут оказать негативное влияние на соединенные с ним элементы машины, например маслопровод.

Кривую, изображенную на рисунке D.1, не следует путать с кривой отклика во время разгона и выбега, для которой, за исключением областей вблизи резонансов (критических частот вращения), скорость вибрации обычно уменьшается с уменьшением частоты вращения. На практике если скорость вибрации на рабочей частоте вращения находится в допустимых пределах, то на более низких частотах вращения она будет снижаться, и соответствующее ей перемещение на низких частотах также будет оставаться на допустимом уровне. Поэтому если при низкой частоте вращения во время разгона зафиксировано большое значение скорости, то даже в случае, когда она остается ниже пороговых значений, установленных настоящим стандартом, и особенно, если скорость вибрации существенно выше той, что наблюдалась во время предшествующих пусков машины, следует принять меры, чтобы понять причины возросших перемещений, и определить, можно ли безопасно продолжать увеличивать частоту вращения.

Примечание — Если требуется провести измерения с применением преобразователя скорости для вибрации со значительными частотными составляющими ниже 10 Гц, то важно, чтобы на этих частотах характеристика преобразователя была линейной (см. ИСО 2954).

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным и межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального, межгосударственного стандарта
ISO 2041	IDT	ГОСТ Р ИСО 2041—2012 «Вибрация, удар и контроль технического состояния. Термины и определения»
ISO 2954	IDT	ГОСТ ISO 2954—2014 «Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Требования к средствам измерений»
ISO 10817-1	IDT	ГОСТ ИСО 10817-1—2002 «Вибрация. Системы измерений вибрации вращающихся валов. Часть 1. Устройства для снятия сигналов относительной и абсолютной вибрации»
ISO 20816-1:2016	IDT	ГОСТ Р ИСО 20816-1—2021 «Вибрация. Измерения вибрации и оценка вибрационного состояния машин. Часть 1. Общее руководство»
Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов: - IDT — идентичные стандарты.		

Библиография

[1] ISO 496, Driving and driven machines — Shaft heights (Приводы и приводные машины. Высоты валов)

[2] ISO 10816-6, Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 6: Reciprocating machines with power ratings above 100 kW (Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 6. Машины возвратно-поступательного действия номинальной мощностью свыше 100 кВт)

[3] ISO 10816-7, Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 7: Rotodynamic pumps for industrial applications, including measurements on rotating shafts (Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 7. Насосы динамические промышленные, включая измерения на вращающихся валах)

[4] ISO 10816-21[1)], Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 21: Horizontal axis wind turbines with gearbox (Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 21. Ветрогенераторы горизонтально-осевые с коробкой передач)

[5] ISO 13373-1, Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring — Part 1: General procedures (Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния. Часть 1. Общие методы)

[6] ISO 13373-2, Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring — Part 2: Processing, analysis and presentation of vibration data (Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния. Часть 2. Обработка, анализ и представление результатов измерений вибрации)

[7] ISO 13373-3, Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring — Part 3: Guidelines for vibration diagnosis (Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния. Часть 3. Руководство по диагностированию по параметрам вибрации)

[8] ISO 14694, Industrial fans — Specifications for balance quality and vibration levels (Вентиляторы промышленные. Требования к производимой вибрации и качеству балансировки)

[9] ISO 18436-2, Condition monitoring and diagnostics of machines — Requirements for qualification and assessment of personnel — Part 2: Vibration condition monitoring and diagnostics (Контроль состояния и диагностика машин. Требования к квалификации и оценке персонала. Часть 2. Вибрационный контроль состояния и диагностика)

[10] ISO 17359, Condition monitoring and diagnostics of machines — General guidelines (Контроль состояния и диагностика машин. Общее руководство)

[11] ISO 20816-2, Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 2: Land-based gas turbines, steam turbines and generators in excess of 40 MW, with fluid-film bearings and rated speeds of 1 500 r/min, 1 800 r/min, 3 000 r/min and 3 600 r/min (Вибрация. Измерения вибрации и оценка вибрационного состояния машин. Часть 2. Стационарные газовые турбины, паровые турбины и генераторы с гидравлическими подшипниками мощностью свыше 40 МВт и частотами вращения 1500, 1800, 3000 и 3600 мин$^{-1}$)

[12] ISO 20816-4, Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 4: Gas turbines in excess of 3 MW, with fluid-film bearings (Вибрация. Измерения вибрации и оценка вибрационного состояния машин. Часть 4. Газовые турбины с гидравлическими подшипниками мощностью свыше 3 МВт)

[13] ISO 20816-5, Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 5: Machine sets in hydraulic power generating and pump-storage plants (Вибрация. Измерения вибрации и оценка вибрационного состояния машин. Часть 5. Машинные агрегаты на гидроэлектростанциях и гидроаккумулирующих станциях)[*]

[14] ISO 20816-8, Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 8: Reciprocating compressor systems (Вибрация. Измерения вибрации и оценка вибрационного состояния машин. Часть 8. Установки компрессорные поршневые)

[15] ISO 20816-9, Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 9: Gear units (Вибрация. Измерения вибрации и оценка вибрационного состояния машин. Часть 9. Редукторы зубчатые)

[16] Rathbone T.C. Vibration tolerances. Power Plant Engineering, 1939

[1)] При пересмотре обозначение будет изменено на ISO 20816-21.

[*] *В Российской Федерации на данный объект и аспект стандартизации распространяется ГОСТ Р 70810—2023 «Гидроэлектростанции. Гидроагрегаты. Эксплуатационный контроль вибрационного состояния опорных узлов».*

УДК 621.9:534.1.08:006.354 ОКС 17.160

Ключевые слова: машина, машинный агрегат, вибрация, измерения, вибрационное состояние, критерии оценки, контроль

Редактор *Е.В. Якубова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *С.И. Фирсова*
Компьютерная верстка *Е.А. Кондрашовой*

Сдано в набор 27.12.2023. Подписано в печать 12.01.2024. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,72. Уч.-изд. л. 3,16.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru