ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 56646— 2015/ ISO/TR 19201:2013

Вибрация

РУКОВОДСТВО ПО ВЫБОРУ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ МАШИН

(ISO/TR 19201:2013, IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2019

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 международного документа, 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 20 октября 2015 г. № 1585-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному документу ISO/TR 19201:2013 «Вибрация. Методология выбора стандартов по вибрации машин» (ISO/TR 19201:2013 «Mechanical vibration — Methodology for selecting appropriate machinery vibration standards», IDT).

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с требованиями ГОСТ Р 1.5—2012 (пункт 3.5).

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

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

6 ИЗДАНИЕ (сентябрь 2019 г.) с Поправкой (ИУС 5—2016)

*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, 2013 — Все права сохраняются
© Стандартинформ, оформление, 2016, 2019

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 . . . 3
4 Оценка вибрационного состояния . . . 3
5 Измерения на невращающихся частях . . . 5
6 Измерения на вращающихся частях . . . 8
7 Другие стандарты в области контроля состояния машин . . . 9
8 Расчетный метод выбора стандарта для машины данного вида . . . 11
Приложение А (справочное) Динамика подшипника . . . 15
Приложение В (справочное) Динамическая жесткость подшипниковой опоры . . . 17
Приложение С (справочное) Типичные значения динамических жесткостей подшипников и опор . . . 18
Приложение D (справочное) Динамическая жесткость подшипника вместе с опорой . . . 20
Приложение Е (справочное) Стандарты оценки вибрационного состояния для конкретных приложений . . . 22
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам и действующим в этом качестве межгосударственным стандартам . . . 26
Библиография . . . 27

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Вибрация

РУКОВОДСТВО ПО ВЫБОРУ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ МАШИН

Mechanical vibration. Guidance on the selection of vibration severity criteria for machines

Дата введения — 2016—12—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает руководство по выбору стандартов, в которых установлены требованию к проведению измерений вибрации и оценки вибрационного состояния, для машин данного вида. В число таких стандартов входят стандарты по оценке вибрационного состояния машин серий ИСО 10816 (измерения на невращающихся частях) и ИСО 7919 (измерения на вращающихся частях), а также другие стандарты, в которых рассматриваются те или иные частные аспекты, связанные с оценкой вибрационного состояния применительно к машинам разных видов.

Выбор, осуществляемый в соответствии с настоящим стандартом, основан на областях применения ссылочных стандартов и теоретических обоснованиях применения того или иного метода измерений в отношении машин, для которых до настоящего времени методы контроля вибрационного состояния установлены не были. Применение настоящего стандарта не предполагает отмену или пересмотр процедур контроля, уже установленных изготовителями или пользователями машин конкретных видов и основанных на опыте их применения, поскольку такие процедуры могут отражать специфические особенности этих машин.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на стандарты, перечисленные в 2.1—2.3.

Примечание 1 — Все ссылочные стандарты подлежат периодической проверке и пересмотру. При использовании настоящего стандарта следует убедиться в том, что используется последняя редакция ссылочного стандарта, включая возможные изменения и дополнения.

Примечание 2 — Сводка ссылочных стандартов в соответствии с областями их применения приведена в таблице Е.1.

Примечание 3 — В настоящем стандарте приведены краткие характеристики ссылочных стандартов, актуальные только на момент опубликования настоящего стандарта. Впоследствии могут быть разработаны другие стандарты, распространяющиеся на оценку вибрационного состояния машин конкретных видов или отдельные этапы оценки. Отсутствие ссылки на такие стандарты не означает, что их применение будет свидетельствовать об отступлении от рекомендаций настоящего стандарта.

2.1 Основные стандарты по оценке вибрационного состояния

ISO 7919-1, Mechanical vibration of non-reciprocating machines — Measurements on rotating shafts and evaluation criteria — Part 1: General guidelines (Вибрация машин без возвратно-поступательного движения. Измерения на вращающихся валах и критерии оценки. Часть 1. Общее руководство)

ISO 7919-2, Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on rotating shafts — Part 2: Land-based steam turbines and generators in excess of 50 MW with normal operating speeds of 1 500 r/min, 1 800 r/min, 3 000 r/min and 3 600 r/min (Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений на вращающихся валах. Часть 2. Стационарные паровые турбины

Издание официальное

и генераторы мощностью свыше 50 МВт с номинальными скоростями вращения 1500, 1800, 3000 и 3600 мин$^{-1}$)

ISO 7919-3, Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on rotating shafts — Part 3: Coupled industrial machines (Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений на вращающихся валах. Часть 3. Промышленные машинные агрегаты)

ISO 7919-4, Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on rotating shafts — Part 4: Gas turbine sets with fluid-film bearings (Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений на вращающихся валах. Часть 4. Газотурбинные установки с гидродинамическими подшипниковыми опорами)

ISO 7919-5, Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on rotating shafts — Part 5: Machine sets in hydraulic power generating and pumping plants (Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений на вращающихся частях. Часть 5. Установки гидроэлектростанций и насосных станций)

ISO 10816-1, Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 1: General guidelines (Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 1. Общее руководство)

ISO 10816-2, Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 2: Land-based steam turbines and generators in excess of 50 MW with normal operating speeds of 1 500 r/min, 1 800 r/min, 3 000 r/min and 3 600 r/min (Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 2. Стационарные паровые турбины и генераторы мощностью свыше 50 МВт с номинальными скоростями вращения 1500, 1800, 3000 и 3600 мин$^{-1}$)

ISO 10816-3, Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15 000 r/min when measured in situ (Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 3. Промышленные машины номинальной мощностью свыше 15 кВт с номинальными скоростями вращения от 120 до 15 000 мин$^{-1}$ при измерениях на месте эксплуатации)

ISO 10816-4, Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 4: Gas turbine sets with fluid-film bearings (Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 4. Газотурбинные установки с гидродинамическими подшипниковыми опорами)

ISO 10816-5, Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 5: Machine sets in hydraulic power generating and pumping plants (Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 5. Установки гидроэлектростанций и насосных станций)

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)

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. Промышленные динамические насосы, включая измерения на вращающихся валах)

ISO 10816-8, Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 8: Reciprocating compressor systems (Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 8. Поршневые компрессорные агрегаты)

2.2 Дополнительные стандарты по оценке вибрационного состояния

ISO 3046-5, Reciprocating internal combustion engines — Performance — Part 5: Torsional vibrations (Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Характеристики. Часть 5. Крутильная вибрация)

ISO 8579-2, Acceptance code for gears — Part 2: Determination of mechanical vibrations of gear units during acceptance testing (Приемочные испытания зубчатых механизмов. Часть 2. Определение вибрации зубчатых механизмов во время приемочных испытаний)

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)

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)

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 вибрационному диагностированию)

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

ISO 14695, Industrial fans — Method of measurement of fan vibration (Вентиляторы промышленные. Методы измерений вибрации вентиляторов)

2.3 Стандарты на частные аспекты оценки вибрационного состояния

ISO 1925[1)], Mechanical vibration — Balancing — Vocabulary (Вибрация. Балансировка. Словарь)

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 5348, Mechanical vibration and shock — Mechanical mounting of accelerometers (Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров)

ISO 10817-1, Rotating shaft vibration measuring systems — Part 1: Relative and absolute sensing of radial vibration (Системы измерений вибрации вращающихся валов. Часть 1. Устройства для снятия сигналов относительной и абсолютной вибрации)

ISO 21940-31, Mechanical vibration — Rotor balancing — Part 31: Susceptibility and sensitivity of machines to unbalance (Вибрация. Балансировка роторов. Часть 31. Восприимчивость и чувствительность машин к дисбалансу)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины и определения по ИСО 1925 и ИСО 2041, а также следующие термины с соответствующими определениями.

3.1 **абсолютная вибрация вала** (shaft absolute vibration): Вибрация вала в абсолютной системе координат.

3.2 **относительная вибрация вала** (shaft relative vibration): Вибрация вала относительно опоры преобразователя (например, относительно корпуса подшипника).

3.3 **вибрация опоры** (pedestal vibration): Вибрация в месте установки подшипника на его опору.

3.4 **динамическая жесткость подшипника** (dynamic stiffness of bearing): Жесткость подшипника, включающая влияние демпфирования и массы.

3.5 **динамическая жесткость опоры** (dynamic stiffness of pedestal): Жесткость подшипниковой опоры, включающая влияние демпфирования и массы.

4 Оценка вибрационного состояния

4.1 Общие положения

Руководство по оценке вибрационного состояния для машин разных видов на основе измерений вибрации на невращающихся частях машин приведено в стандартах серии ИСО 10816.

Руководство по оценке вибрационного состояния для машин разных видов на основе измерений вибрации на вращающихся валах машин приведено в стандартах серии ИСО 7919.

Развитие методов оценки вибрационного состояния в целях контроля технического состояния и связанные с этим вопросы рассматриваются в стандартах, указанных в 2.2 и 2.3.

[1)] После пересмотра обозначение будет изменено на ISO 21940-2.

4.2 Классификация машин

С точки зрения процедур измерения вибрации и оценки вибрационного состояния все машины можно разделить на четыре класса:

a) машины возвратно-поступательного действия, совершающие как возвратно-поступательное, так и вращательное движение. Примерами являются дизельные двигатели, некоторые типы компрессоров и насосов. Вибрацию обычно измеряют на корпусе/несущей конструкции машины на низких частотах, обычно в диапазоне от 2 до 1000 Гц;

b) машины вращательного действия с жестким ротором. Примерами являются определенные типы электродвигателей, одноступенчатые и низкоскоростные насосы. Вибрацию обычно измеряют на несущей конструкции (подшипниковых опорах или крышках подшипников) в точках, вибрация которых представительна с точки зрения динамических сил, создаваемых ротором (вследствие дисбаланса, температурного прогиба, задеваний о статорные элементы и пр.);

c) машины вращательного действия с гибким ротором. Примерами являются крупные паротурбинные и газотурбинные генераторные установки, многоступенчатые насосы и компрессоры. У таких машин могут наблюдаться разные моды вибрации при прохождении ротора через резонансы до достижения рабочей скорости вращения. Измерения вибрации на опорных/корпусных элементах таких машин могут быть не вполне представительными для оценки вибрационного состояния. Например, большие перемещения гибкого ротора могут привести к отказу машины даже при условии, что вибрация на крышке подшипника остается на невысоком уровне. Поэтому для таких машин может оказаться необходимым измерять непосредственно вибрацию вала;

d) машины вращательного действия с квазижестким ротором. Примерами являются некоторые типы паровых турбин, осевые компрессоры и вентиляторы. Такие машины включают в свой состав гибкие роторы, о поведении которых можно судить по измерениям на крышках подшипников.

Анализ с целью определения оптимального метода измерений (и выбора соответствующего стандарта) для машины данного вида на основе ее физических характеристик и конструкционных особенностей подробно рассматривается в разделе 8.

4.3 Классы вибрационного состояния машин

Классификация вибрационного состояния машин осуществляется на основе полученных значений контролируемых параметров вибрации (перемещения, скорости или ускорения), выбор которых зависит от применяемого стандарта, диапазона частот измерений и других факторов. При классификации на основе измерений широкополосной вибрации (например, в диапазоне частот от 10 до 1000 Гц) наиболее удобным параметром для контроля является скорость вибрации. В случае если вибрация носит выраженный низкочастотный или высокочастотный характер, в целях классификации используют параметры перемещения и ускорения соответственно.

В случае если вибрация носит преимущественно гармонический характер, в качестве контролируемого параметра может быть использовано пиковое или среднеквадратичное значение. Однако для машин с вибрацией сложного состава контроль по этим двум параметрам может привести к существенно разным результатам из-за того, что вклады отдельных составляющих вибрации (например, импульсных процессов) будут учитываться с разными весами. В случае машин вращательного действия со скоростями вращения от 600 до 12 000 мин$^{-1}$ вибрационное состояние описывают через среднеквадратичное значение скорости. Для оценки вибрационного состояния принято брать максимальное среднеквадратичное значение скорости широкополосной вибрации в диапазоне частот от 10 до 1000 Гц в заданных точках конструкции (см., например, ИСО 10816-2).

Примечание — В настоящее время под вибрационным состоянием машины обычно понимают максимальное из полученных в результате измерений значений контролируемых параметров независимо от того, относятся они к перемещению, скорости или ускорению (см. ИСО 2954).

4.4 Методы и средства измерений

В ссылочных стандартах установлены методы измерений относительной вибрации между валом и корпусом машины, абсолютной вибрации вала и колебаний точек корпуса машины.

В качестве датчиков вибрации применяют преобразователи перемещения, скорости и ускорения. Стандарты задают требования к их характеристикам в установленном и неустановленном состоянии, включая максимальные значения воспринимаемой вибрации и диапазоны частот измерений. Требования к средствам измерений вибрации на корпусе машины в целях контроля ее вибрационного

состояния установлены в ИСО 2954. В ИСО 5348 даны рекомендации по креплению к корпусу машины акселерометров, которые, однако, в большинстве случаев могут быть распространены также на преобразователи скорости. В ИСО 10817-1 установлены требования к датчикам вибрации и устройствам согласования, методам установки датчиков и их калибровке для измерений вибрации вала.

4.5 Сводка стандартов по вибрации машин

Краткое описание наиболее важных стандартов по оценке вибрационного состояния машин, приведено в разделах 5 и 6. Эти стандарты устанавливают методы измерений широкополосной вибрации и границы зон вибрационного состояния. Стандарты, рассматриваемые в разделе 5, распространяются на методы оценки на основе измерений вибрации на невращающихся частях применительно к машинам возвратно-поступательного действия, машинам с вращающимися валами, а также машинам с зубчатыми передачами. Стандарты раздела 6 рассматривают те же процедуры измерений и построения границ зон по результатам измерений на вращающихся валах. Рассматриваются также измерения для машин с жесткими и гибкими роторами. В стандартах подробно рассмотрено определение критериев вибрационного состояния для машин разных видов и размеров.

В разделе 7 даны краткие сведения о других стандартах, имеющих отношение к оценке вибрационного состояния машин или отдельным ее аспектам.

5 Измерения на невращающихся частях

5.1 Общее руководство, включающее описание методов оценки вибрационного состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях, приведено в ИСО 10816-1. В других стандартах этой серии приведены критерии вибрационного состояния для машин разных видов. Эти критерии могут устанавливаться как в отношении абсолютных значений контролируемых параметров, так и в отношении изменений этих параметров и используются в целях контроля состояния машин при их применении, а также во время приемочных испытаний.

Стандарты серии ИСО 10816:

a) охватывают широкий диапазон частот, позволяющий описывать вибрацию как низкоскоростных, так и высокоскоростных машин;

b) устанавливают принципы оценки вибрационного состояния на основе зон вибрационного состояния;

c) обобщают опыт оценки вибрационного состояния, накопленный в результате применения машин конкретного вида;

d) устанавливают критерии оценки вибрационного состояния для машин данного вида.

В ИСО 10816-1 приведено общее руководство по заданию границ зон вибрационного состояния для установившегося и переходных режимов работы машины. Это служит основой для определения конкретных числовых значений границ в остальных стандартах серии. ИСО 10816-1 определяет зоны вибрационного состояния следующим образом.

Зона A — в эту зону попадает, как правило, вибрация новых машин, вводимых в эксплуатацию.

Зона B — машины, вибрация которых попадает в эту зону, обычно считают пригодными для длительной эксплуатации без ограничения сроков.

Зона C — машины, вибрация которых попадает в эту зону, обычно считают непригодными для длительной непрерывной работы. Обычно допускают функционирование таких машин ограниченный период времени, пока не появится возможность проведения восстановительных мероприятий.

Зона D — уровни вибрации в данной зоне обычно рассматривают как способные вызывать серьезные повреждения машин.

Границы зон вибрационного состояния можно использовать в качестве ориентиров, позволяющих избежать чрезмерно завышенных и нереалистических требований к вибрации машин. Критерии приемки всегда должны быть предметом соглашения между поставщиком и покупателем машины. Границы зон служат основой для определения критериев приемки новых и восстановленных машин. Как правило, критерий приемки устанавливают в пределах зоны A или B, но не превышающим границу между этими зонам более чем на 25 %.

То, что контролируемый параметр основан на измерениях широкополосной вибрации, позволяет ему реагировать на разные изменения состояния машин данного вида. Например, нарушение целости машин с подшипниками качения проявляется на более высоких частотах, чем для подшипников с гидродинамическими подшипниками. Поскольку характеристикой вибрации, непосредственно

связанной с передаваемой вибрационной энергией, является скорость, среднеквадратичное значение скорости является основной величиной для построения критериев вибрационного состояния. Однако ИСО 10816 допускает также использование критериев, построенных для перемещения и ускорения вибрации, а также использование в качестве контролируемого параметра пикового значения вместо среднего квадратичного. Особенно часто это используют в случае низкооборотных и высокооборотных машин.

5.2 ИСО 10816-2 устанавливает руководство по оценке вибрационного состояния крупных паротурбинных генераторных установок на основе измерений вибрации подшипников или подшипниковых опор.

Измерительная система должна обеспечивать измерение широкополосной вибрации в диапазоне частот от 10 до 500 Гц. Если, однако, результаты измерений предполагается использовать также в целях диагностирования или для контроля поведения машины при разгоне и выбеге, а также на повышенных рабочих скоростях, то диапазон частот измерений может быть расширен.

Критерии для среднеквадратичных значений скорости подшипников или подшипниковых опору установленные ИСО 10816-2, применяют для паротурбинных установок мощностью свыше 50 МВт с номинальными скоростями вращения 1500, 1800, 3000 и 3600 мин$^{-1}$. Эти критерии предназначены для оценки поведения машины на месте ее применения в установившемся режиме работы. Классификация зон вибрационного состояния — та же, что и в ИСО 10816-1. Кроме того, рассматриваются методы оценки вибрационного состояния в переходных режимах работы, связанных с изменением нагрузки или скорости вращения ротора.

5.3 ИСО 10816-3 устанавливает руководство по оценке вибрационного состояния на основе результатов измерений вибрации подшипников, подшипниковых опор или корпуса промышленного агрегата на месте его применения. Этот стандарт распространяется на паровые турбины мощностью до 50 МВт, а также на паротурбинные установки мощностью свыше 50 МВт, но с рабочими скоростями менее 1500 или более 3600 мин$^{-1}$. Кроме того, область применения стандарта включает в себя компрессоры, промышленные газовые турбины мощностью до 3 МВт, генераторы (не охватываемые ИСО 10816-2), все виды электродвигателей, вентиляторы и воздуходувки мощностью более 300 кВт, а также другие вентиляторы на достаточно жестких основаниях. Стандарт распространяется также на насосы, не охватываемые ИСО 10816-7.

Широта класса машин, на которые распространяется стандарт, и связанное с этим большое разнообразие конструкций, типов подшипников и типов основания потребовал разделения данного класса на две группы.

a) группу 1, включающую в себя машины номинальной мощностью свыше 300 кВт и электрические машины с высотой вала 315 мм и более;

b) группу 2, включающую в себя машины средних размеров номинальной мощностью от 15 до 300 кВт включительно и электрические машины с высотой вала от 160 до 315 мм.

Крупные машины (обычно с подшипниками скольжения) имеют рабочую или номинальную скорость вращения в широком диапазоне от 120 до 15 000 мин$^{-1}$.

Для каждой из групп машин установлены свои границы зон вибрационного состояния. Классификация зон вибрационного состояния — та же, что и в ИСО 10816-1.

5.4 ИСО 10816-4 устанавливает руководство по оценке вибрационного состояния на основе результатов измерений вибрации на корпусах или опорах подшипников газотурбинных установок с гидродинамическими подшипниками.

ИСО 10816-4 распространяется на газотурбинные установки стационарного типа, используемые в качестве приводных устройств электрических и других машин номинальной мощностью свыше 3 МВт и скоростями вращения под номинальной нагрузкой от 3000 до 30 000 мин$^{-1}$. Обычно установленные стандартом критерии оценки применяют как к газовым турбинам, так и к приводным машинам. Если в состав установки входит электрогенератор, то для установок с мощностью свыше 50 МВт для оценки вибрационного состояния электрогенератора применяют критерии по ИСО 10816-2, а для установок с мощностью до 50 МВт включительно — ИСО 10816-3.

Границы зон вибрационного состояния установлены в предположении, что широкополосную вибрацию измеряют на месте применения машины в установившемся режиме ее работы. Кроме того, рассматриваются также методы оценки вибрационного состояния в переходных режимах работы, связанных с изменением нагрузки или скорости вращения ротора. Стандарт распространяется на машины, имеющие в своем составе зубчатые механизмы, но не распространяется на контроль состояния этих механизмов. Классификация зон вибрационного состояния — та же, что и в ИСО 10816-1.

5.5 ИСО 10816-5 устанавливает общее руководство по оценке вибрационного состояния по результатам измерений вибрации на подшипниках, подшипниковых опорах или корпусах гидравлических машин на месте их применения. ИСО 10816-5 распространяется на агрегаты, устанавливаемые на гидроэлектростанциях и насосных станциях, с частотами вращения от 120 до 1800 мин$^{-1}$, с подшипниками скольжения с цельными или сегментными вкладышами и главным двигателем мощностью 1 МВт и выше. Валопровод агрегата может быть расположен горизонтально, вертикально или под произвольным углом.

ИСО 10816-5 распространяется на турбины и генераторы, насосы, а также на электрические машины, такие как электродвигатели, турбонасосы и мотор-генераторы, включая их вспомогательное оборудование (например, пусковые турбины или возбудители). Оценка вибрационного состояния может быть также выполнена для одиночных турбин или насосов, соединенных с генераторами или электродвигателями гибкими валами или через зубчатые передачи.

Критерии установлены в зависимости от скорости вращения вала.

5.6 ИСО 10816-6 устанавливает процедуры и руководство по измерению вибрации и классификации машин возвратно-поступательного действия в соответствии с их вибрационным состоянием. В общем случае классификация основывается на измерениях на несущей конструкции машины, а предельные значения определены в первую очередь исходя из надежной и безопасной работы самой машины и присоединенного к ней вспомогательного оборудования.

В случае машин возвратно-поступательного действия вибрация несущей конструкции, классифицированная в соответствии с ИСО 10816-6, может дать только самое общее представление о механических напряжениях и вибрации внутри машины. Например, крутильные колебания вращающихся частей не проявляют себя через вибрацию корпуса машины. Опыт эксплуатации машин данного вида показывает, что превышение установленных предельных значений проявляет себя преимущественно в присоединенном оборудовании (газотурбинных нагнетателях, теплообменниках, регуляторах частоты вращения, насосах, фильтрах и т. п.), соединяющих машину с периферийными устройствами (например, трубопроводами) или в средствах контроля (таких как датчики давления или термометры).

ИСО 10816-6 распространяется на машины с жестким или упругим креплением к основанию с номинальной мощностью свыше 100 кВт. Типичными примерами таких машин являются главные и вспомогательные судовые двигатели, двигатели в составе дизель-генераторов, газовые компрессоры, тепловозные двигатели. Классификация машин установлена на основе предельных значений перемещения, скорости и ускорения.

5.7 ИСО 10816-7 устанавливает общее руководство по оценке вибрационного состояния промышленных динамических насосов с номинальной мощностью более 1 кВт и требования к измерениям вибрации на их подшипниковых опорах. Оценка вибрационного состояния может быть выполнена как на стенде изготовителя, так и на месте эксплуатации насосов. Установлены зоны вибрационного состояния для приемочных испытаний на стенде изготовителя, а также специальные критерии оценки. Границы зон состояния приведены для насосов с горизонтальным и вертикальным расположением вала безотносительно к жесткости опоры.

Стандарт устанавливает два дополнительных критерия оценки вибрационного состояния исходя из условия длительной безотказной работы машин. Первый критерий основан на абсолютных значениях контролируемого параметра, второй — на его изменениях со временем. Критерии применяют в отношении вибрации, производимой самой машиной, но не передаваемой на машину извне. Границы зон состояния по скорости устанавливают для двух категорий насосов: мощностью до 200 кВт включительно и мощностью более 200 кВт. Приведены также границы зон и приемочные критерии для перемещения.

5.8 ИСО 10816-8 устанавливает руководство по проведению измерений вибрации и классификации вибрационных состояния поршневых компрессорных агрегатов. Предельные значения приведены, исходя из цели избежать усталостных повреждений в отдельных частях агрегата (основании, самом компрессоре, демпферах, трубной обвязке) и соединенного с агрегатом вспомогательного оборудования. Руководство не предназначено для использования в целях контроля состояния агрегатов.

ИСО 10816-8 распространяется на жестко установленные поршневые компрессоры с типичными рабочими скоростями в диапазоне от 120 до 1800 мин$^{-1}$. Приведены диапазоны допустимой общей вибрации, выраженной через параметры перемещения, скорости и ускорения, для агрегатов горизонтального и вертикального исполнения. Приведенные критерии используют также, чтобы избежать нежелательного влияния вибрации на присоединенное оборудование, такое как гаситель пульсаций или трубопровод.

Установлено, что применимость критериев оценки ограничена, если целью контроля являются внутренние части агрегата (клапаны, поршни, поршневые кольца). Обнаружение повреждений этих частей требуют использования методов, выходящих за область применения ИСО 10816-8.

ИСО 10816-8 не распространяется на гиперкомпрессоры и на создаваемый компрессорными агрегатами шум. Классификация зон вибрационного состояния отличается от установленной в ИСО 10816-1.

6 Измерения на вращающихся частях

6.1 Общее руководство по оценке вибрационного состояния машин на основе результатов измерений вибрации на вращающихся валах приведено в ИСО 7919-1. Конструкция таких машин обычно включает в себя гибкий валопровод, вибрация которого более чувствительна к изменению состояния машины, чем вибрация корпуса, и поэтому более подходит для описания вибрационного состояния. Кроме того, измерения вибрации вала зачастую предпочтительны для машин, имеющих относительно жесткий и/или тяжелый корпус, масса которого значительно превосходит массу ротора.

В число машин, вибрационное состояние которых удобно описывать через результаты измерений на валах, входят промышленные паровые турбины, газовые турбины и турбокомпрессоры, у которых в диапазоне рабочих скоростей под влиянием различных неисправностей, таких как дисбаланс, несоосность в соединениях, температурный прогиб вала, трение вращающихся частей о статор или ненагруженность подшипников, наблюдаются несколько мод вибрации.

Стандарты серии ИСО 7919 оценивают вибрацию с учетом следующих факторов:

- кинетической нагрузки на подшипники;
- абсолютных перемещений ротора;
- зазора между ротором и подшипником.

Если в целях предотвращения возможных повреждений подшипника основного внимания требует его кинетическая нагрузка, то первоочередному контролю подлежит вибрация вала относительно корпуса подшипника. Если же основным предметом внимания является абсолютное перемещение ротора (как мера имеющих в нем место изгибных напряжений) или зазор между ротором и подшипником, то выбор контролируемого параметра зависит от вибрации конструкции, на которой установлен преобразователь относительного движения. В случае сильной вибрации конструкции предпочтительными будут измерения абсолютной вибрации вала. Контроль зазора в подшипнике необходим, чтобы избежать задеваний ротора или лопаток ротора об опорную конструкцию, способных привести к повреждению элементов ротора.

В ИСО 7919-1 введены два критерия оценки вибрационного состояния по измерениям вибрации вала вблизи подшипниковых опор:

a) по абсолютному значению перемещения ротора. Надежная и безопасная работа машины в установленных режимах требует, чтобы перемещения вала оставались ниже некоторых заданных границ, обусловленных, например, допустимыми кинетическими нагрузками на подшипник или требуемым радиальным зазором в подшипнике. Указанные границы образуют зоны вибрационного состояния;

b) по изменениям параметров перемещения ротора. Наблюдаемые изменения в вибрации вала могут указывать на зарождение повреждений или иные отклонения в работе машины даже в том случае, когда границы зон вибрационного состояния по a) еще не превышены. Поэтому такие изменения также подлежат контролю и сопоставлению с некоторым заданным значением. В случае значительных изменений контролируемого параметра следует принять меры по выявлению причин таких изменений и при необходимости выполнить некоторые корректирующие действия. Решение о возможных действиях следует принимать с учетом абсолютных значений вибрации, а также того, стабилизировалась ли работа машины после отмеченного изменения контролируемого параметра.

В ИСО 7919-1 приведено общее руководство по определению границ зон вибрационного состояния в установившихся режимах работы машины. В других частях ИСО 7919 границы зон установлены для машин конкретных видов. Определение и назначение зон вибрационного состояния — такое же, как в ИСО 10816-1 (см. раздел 5).

6.2 ИСО 7919-2 устанавливает руководство по оценке вибрационного состояния крупных паротурбинных генераторных установок с номинальной скоростью вращения в диапазоне от 1500 до 3600 мин$^{-1}$ и выходной мощностью более 50 МВт на основе измерений вибрации валопровода. На основе опыта эксплуатации определены критерии оценки вибрационного состояния для машин данного вида.

Границы зон установлены для параметров как относительной, так и абсолютной вибрации вала, измеренной внутри или вблизи коренных подшипников при работе машины в установившемся режиме

при номинальной скорости вращения. В других точках измерений, а также в условиях переходных режимов работы машины, таких как разгон и выбег (включая прохождение критических скоростей вращения ротора), допускаются более высокие значения контролируемых параметров.

Классификация зон вибрационного состояния — та же, что и в ИСО 7919-1. Кроме того, рассмотрено, как могут изменяться границы зон вибрационного состояния при необходимости учитывать требования к зазору в подшипнике.

6.3 ИСО 7919-3 устанавливает руководство по оценке вибрационного состояния на основе результатов измерений вибрации вала вблизи подшипниковой опоры в нормальном режиме работы машины. Стандарт распространяется на промышленные машинные агрегаты с гидродинамическими подшипниками, включая турбокомпрессоры, турбины, турбогенераторы и электрические машины с максимальными номинальными скоростями вращения в диапазоне от 1000 до 30 000 мин$^{-1}$ и мощностью от 30 кВт до 50 МВт.

Установленные в стандарте числовые критерии не предназначены для того, чтобы служить единственной основой оценки соответствия машин заданным требованиям. В общем случае эти критерии следует сочетать с критериями оценки вибрации на корпусе машины, установленными в ИСО 10816-3. Классификация зон вибрационного состояния — та же, что и в ИСО 7919-1.

6.4 ИСО 7919-4 распространяется на промышленные газотурбинные установки (в том числе с редукторами) с гидродинамическими подшипниками выходной мощностью более 3 МВт с номинальными скоростями вращения от 3000 до 30 000 мин$^{-1}$. В область применения не входят авиационные газовые турбины ввиду их принципиального отличия от промышленных газовых турбин как по применяемым подшипникам (в авиационных турбинах применяют подшипники качения), так и по соотношениям жесткостей и масс ротора и опорной конструкции.

В зависимости от конструкции и режимов работы рассматриваются три типа машин:

a) машины с одним валом с постоянной скоростью вращения;

b) машины с одним валом с переменной скоростью вращения;

c) многоступенчатые машины с валопроводом, состоящим из нескольких сочлененных валов.

ИСО 7919-4 устанавливает руководство по применению критериев вибрационного состояния на основе результатов измерений вибрации вала вблизи опор промышленных газотурбинных установок в нормальных режимах работы. Классификация зон вибрационного состояния — та же, что и в ИСО 7919-1. Рассматривается также оценка вибрационного состояния в переходных режимах, связанных с изменениями нагрузки или скорости вращения. Если в состав установки входит электрогенератор, то для установок с мощностью свыше 50 МВт для оценки вибрационного состояния электрогенератора применяют критерии по ИСО 7919-2, а для установок с мощностью до 50 МВт включительно — по ИСО 7919-3.

6.5 ИСО 7919-5 устанавливает специальные требования для оценки вибрационного состояния по измерениям вибрации вала гидроагрегатов. Стандарт распространяется на все виды гидравлических машин с гидродинамическими подшипниками номинальной скоростью вращения от 60 до 3600 мин$^{-1}$ и номинальной мощностью 1 МВт и более. В число таких машин входят турбины, насосы, турбонасосы, генераторы, двигатели и мотор-генераторы, включая редукторы и вспомогательное оборудование. Вал таких машин может быть расположен горизонтально, вертикально или под произвольным углом.

Стандарт устанавливает руководство по применению критериев оценки вибрационного состояния на основе результатов измерений вибрации вала вблизи подшипниковых опор гидроагрегатов, работающих в нормальном установившемся режиме. Критерии заданы в виде числовых значений перемещения ротора относительно подшипниковой опоры в зависимости от скорости вращения вала.

7 Другие стандарты в области контроля состояния машин

7.1 ИСО 3046-5 устанавливает общие требования к крутильным колебаниям валопровода, приводимого в движение двигателем внутреннего сгорания. Стандарт распространяется на стационарные наземные установки, двигатели на железнодорожном транспорте и судах. Область применения стандарта не включает в себя двигатели дорожных транспортных средств, коммунально-транспортных средств, сельскохозяйственных машин, тракторов и летательных аппаратов.

Стандарт устанавливает методы анализа свободных и вынужденных колебаний, позволяющих определять в том числе:

a) собственные частоты, собственные векторы и критические скорости вращения;

b) крутильные напряжения в валопроводе;

c) вибрацию гибких валов;

d) вибрацию в заданных точках валопровода;

e) тепловое рассеяние в сочленениях валопровода и другие источники демпфирования колебаний.

При необходимости результаты измерений могут быть использованы для расчета вибрации зубчатых передач.

7.2 ИСО 8579-2 устанавливает методы определения вибрации отдельно выполненных зубчатых механизмов, включая повышающие и понижающие редукторы. Методы включают в себя измерения вибрации на корпусе и валах, требования к средствам и методам измерений параметров вибрации. Установлена классификация вибрации в целях приемки изделий.

Стандарт распространяется только на приемочные испытания зубчатых механизмов в диапазонах заданных скоростей вращения, нагрузок, температур и в заданных условиях смазки. Оценка вибрации на месте применения механизмов может потребовать других способов оценивания. Стандарт не распространяется на специальные или встроенные зубчатые механизмы, например в составе компрессоров, насосов, турбин, а также на устройства отбора мощности.

7.3 ИСО 13373-1 включает в себя общее руководство по измерениям и сбору данных, необходимых для оценки вибрации машин в целях контроля технического состояния и диагностирования. Он распространяется на машины вращательного действия всех видов. Стандарт описывает разные виды преобразователей, диапазоны их применения, процедуры анализа в узких полосах частот, а также методы анализа составляющих на дискретных частотах. В нем рассматриваются резонансные характеристики преобразователей и способы их крепления.

Стандарт описывает процедуры непрерывного и периодического сбора данных в целях построения трендов контролируемых параметров вибрации. Рекомендации по установке преобразователей даны в зависимости от вида машин (турбин, генераторов, двигателей, насосов и т. д.). В стандарте приведен перечень наиболее типичных неисправностей для машин разных видов с указанием их причин.

7.4 ИСО 13373-2 устанавливает руководство по обработке данных вибрации во временной и частотной областях, методы анализа вибрационных диагностических признаков, способы отображения данных и применения результатов анализа к контролю состояния машин и далее в целях их диагностирования. Рассмотрены методы анализа и фильтрации как аналоговых, так и цифровых сигналов.

В стандарте приведены и описаны типичные диагностические признаки, а также их связь с неисправностями разного вида. Получение этих признаков (в число которых входят параметры временного сигнала, биения и модуляции, диаграммы Найквиста и Боде, каскадные спектры, а также параметры, усредненные по временной и частотной областям) возможно с применением общепринятых средств анализа, используемых в целях контроля состояния машин.

7.5 ИСО 13373-3 устанавливает общую схему выбора и применения методов вибрационного диагностирования для широкого класса машин и узлов с указанием характерных признаков неисправностей.

Систематический подход к диагностированию начинается с серии вопросов, позволяющих сформировать информационную базу для рабочих характеристик машины. За этим следует составление схем, изображающих пошаговые логически связанные диагностические процедуры для машин и узлов разных видов.

7.6 ИСО 14694 устанавливает требования к параметрам вибрации и классам точности балансировки для вентиляторов всех видов мощностью менее 300 кВт (с электродвигателями номинальной мощностью до 355 кВт), за исключением вентиляторов, предназначенных исключительно для перемещения масс воздуха (например, потолочных и настольных вентиляторов). Для вентиляторов большей мощности применяют ИСО 10816-3.

Стандарт предусматривает измерение вибрации через параметры перемещения, скорости и ускорения в абсолютных и относительных единицах. Однако предпочтительными контролируемыми параметрами являются размах перемещения и среднеквадратичное значение скорости.

Во время заводских испытаний вентилятор, как правило, испытывают без его подсоединения к воздуховоду, т. е. в условиях, когда аэродинамическая нагрузка отлична от имеющей место в условиях применения. Отличающимися могут быть также масса и жесткость опоры вентилятора. Поэтому после установки вентилятора в условиях его применения может оказаться, что создаваемая вибрация будет другой как по общей мощности, так и по частотному составу. Вопрос, в какой степени может измениться создаваемая вентилятором вибрация после его установки в условиях применения, в ИСО 14694 не рассматривается.

7.7 ИСО 14695 устанавливает метод измерений характеристик вибрации вентиляторов тех же типов, на которые распространяется ИСО 14694. Для измерений вибрации вентиляторов большей мощности используют ИСО 10816-1, а критерии оценки состояния берут по ИСО 10816-3.

Метод, установленный ИСО 14695, включает в себя измерения среднеквадратичных значений перемещения, скорости или вибрации, а также представление результатов измерений в виде спектров в соответствующем диапазоне частот. Измерения проводят при вывешивании вентилятора на упругих подвесах или при установке на упругих опорах. С точки зрения анализа распространения вибрации в опорную конструкцию важно знать силы, действующие в точках контакта вентилятора с опорой, однако соответствующие измерения в стандарте не рассматриваются.

8 Расчетный метод выбора стандарта для машины данного вида

8.1 Общие положения

В настоящем разделе рассматривается расчетный метод, используемый при выборе способа измерений вибрации, который основан на динамике машины данного вида, характеризуемой коэффициентом динамической жесткости α. Этот коэффициент представляет собой отношение динамической жесткости подшипниковой опоры к динамической жесткости подшипника. Дополнительная информация приведена в приложениях А и В. Пример расчета приведен в приложении С. Алгоритм выбора способа измерений на основе коэффициента α показан на рисунке 1.

Пример — Из рисунка 1 следует, что если α = 2, то измерению подлежит либо относительная (А), либо абсолютная (В) вибрация вала, в то время как вибрацию подшипниковой опоры (С) измеряют лишь в исключительных случаях.

Расчетный метод выбора соответствующего стандарта применим, в частности, при необходимости сделать выбор между стандартами серии ИСО 7919 и серии ИСО 10816. Руководство по применению расчетного метода показано на рисунке 2. Поскольку лицам, занимающимся обслуживанием машин в условиях их применения, значения жесткостей могут быть неизвестны, блок-схема, показанная на рисунке 2, предназначена в первую очередь специалистам, занимающимся проектированием и изготовлением машин.

Примечание — Возможны ситуации, когда измерения вибрации вала должны дополнять измерения на невращающихся частях (см. ИСО 13373-1).

8.2 Основные соотношения для вибрации вращающихся валов и опор

8.2.1 Основные конструктивные элементы

Основные элементы конструкции, рассматриваемые в модели «ротор — подшипник — опора» при моделировании вибрации, и упрощенная динамическая модель, в которые входят эти элементы, показаны на рисунке 3.

Примечание — Модель, изображенная на рисунке 3, описывается формулами (А.3) и (А.4) приложения А.

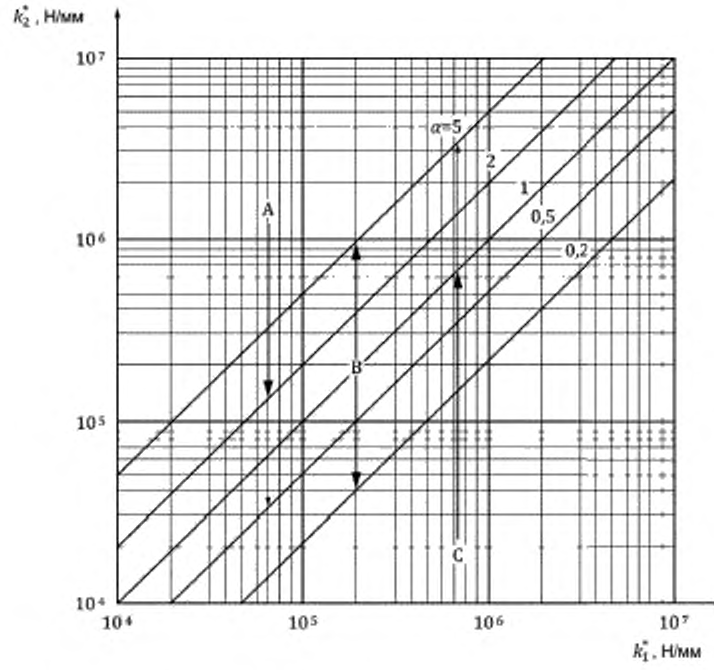
8.2.2 Расчет отклика по характеристикам конструктивных элементов

Отклик системы «ротор — подшипник — опора» определяют следующие характеристики:

a) гибкость ротора;

b) динамическая жесткость подшипника;

c) динамическая жесткость подшипниковой опоры.



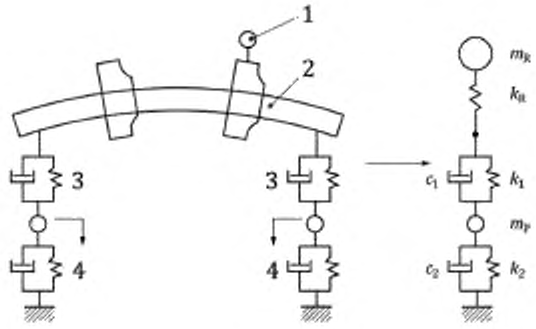
k_1^* — динамическая жесткость подшипника; k_2^* — динамическая жесткость подшипниковой опоры; α — коэффициент динамической жесткости; A — диапазон измерений относительной вибрации вала; B — диапазон измерений абсолютной вибрации вала; C — диапазон измерений вибрации подшипниковой опоры

Примечание — Полужирными стрелками отмечены диапазоны типичных значений α для измерений данного вида, а тонкими стрелками — диапазоны α, когда данный вид измерений используют только в исключительных случаях.

Рисунок 1 — Определение метода измерения вибрации на основе коэффициента динамической жесткости α



Рисунок 2 — Блок-схема выбора стандарта для измерений вибрации



1 — дисбаланс; *2* — ротор; *3* — подшипник; *4* — подшипниковая опора, C_1 — демпфирование подшипника; C_2 — демпфирование подшипниковой опоры; k_1 — жесткость подшипника; k_2 — жесткость подшипниковой опоры; k_R — жесткость ротора; m_P — масса опоры; m_R — масса ротора

Рисунок 3 — Динамическая модель системы «ротор — подшипник — опора»

При оценке вибрации системы необходимо учитывать следующие два основных момента:

- динамическую силу, передаваемую на подшипник;
- относительное перемещение, позволяющее рассчитать зазор между ротором и невращающейся частью машины.

Действующую на подшипник динамическую силу F, определяющую условия его эксплуатации и срок службы, можно измерить двумя косвенными методами.

Первый метод — по измерениям перемещения x_P опоры подшипника с использованием формулы

$$x_P = \frac{F}{k_2^*}, \tag{1}$$

где k_2^* — динамическая жесткость подшипниковой опоры.

Соответствующие измерения проводят в соответствии со стандартами серии ИСО 10816.

Второй метод — по измерениям относительного перемещения вала x_B с использованием формулы

$$x_B = \frac{F}{k_1^*}, \tag{2}$$

где k_1^* — динамическая жесткость подшипника.

Абсолютное перемещение вала x_{SA} представляет собой сумму перемещения подшипниковой опоры x_P и относительного перемещения вала x_B

$$x_{SA} = x_P + x_B = \frac{F}{k_1^*} + \frac{F}{k_1^*} = \frac{F}{k_{tot}^*}, \tag{3}$$

где $k_{tot}^* = \frac{k_1^* k_2^*}{k_1^* + k_2^*}$ — общая динамическая жесткость.

Примечание — Общая динамическая жесткость более подробно рассмотрена в приложении D.

Перемещения, определяемые формулами (2) и (3), могут содержать погрешность, обусловленную смещением вала в плоскости измерений. Последнее включает в себя смещение вала относительно центра подшипника, связанное с изгибом вала, а также смещение центральной плоскости подшипника относительно плоскости измерений. В случае достаточно жестких роторов этой погрешностью можно пренебречь. Однако если ротор при своем вращении проявляет гибкие свойства, то в формулы (2) и (3) необходимо добавить слагаемое x_t, описывающее влияние деформации вала (см. таблицу 1).

Таблица 1 — Вибрации в подшипниковой системе

Вид вибрации	Учитываемое перемещение	
	Жесткий ротор	Гибкий ротор
Вибрация подшипниковой опоры	$x_Р$	$x_Р$
Относительная вибрация вала	$x_В$	$x_В + x_f$
Абсолютная вибрация вала	$x_Р + x_В$	$x_Р + x_В + x_f$

Приложение А
(справочное)

Динамика подшипника

А.1 Обозначения

Ниже приведены обозначения величин, используемые при аналитическом описании динамики подшипника.

x, y — относительные перемещения шейки вала в подшипнике;

$\dot{x}$, $\dot{y}$ — относительные скорости шейки вала в подшипнике;

$\ddot{x}$, $\ddot{y}$ — относительные ускорения шейки вала в подшипнике;

F_x — сила, действующая на подшипник в направлении x;

F_y — сила, действующая на подшипник в направлении y;

m_{xx}, m_{xy}, m_{yx}, m_{yy} — приведенные массы масляной пленки в подшипнике;

c_{xx}, c_{xy}, c_{yx}, c_{yy} — коэффициенты демпфирования масляной пленки в подшипнике;

k_{xx}, k_{xy}, k_{yx}, k_{yy} — коэффициенты жесткости масляной пленки в подшипнике;

$k^* = k + i\omega c$ — комплексная динамическая жесткость подшипника и опоры.

В общем случае динамическое поведение подшипника можно описать формулой

$$\begin{bmatrix} m_{xx} & m_{xy} \\ m_{yx} & m_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_{xx} & c_{xy} \\ c_{yx} & c_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_{xx} & k_{xy} \\ k_{yx} & k_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \end{bmatrix}. \quad (A.1)$$

За исключением подшипников с жидкой смазкой (например, гидродинамических) влиянием приведенной массы смазки можно пренебречь. Это позволяет упростить модель до вида

$$\begin{bmatrix} c_{xx} & c_{xy} \\ c_{yx} & c_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_{xx} & k_{xy} \\ k_{yx} & k_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \end{bmatrix}. \quad (A.2)$$

За исключением случая подшипников скольжения с цельным вкладышем перекрестными членами матриц также можно пренебречь, что позволяет еще более упростить модель

$$\begin{bmatrix} c_{xx} & 0 \\ 0 & c_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_{xx} & 0 \\ 0 & k_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \end{bmatrix}. \quad (A.3)$$

Но даже для подшипников скольжения с цельным вкладышем формула (А.3) может быть использована для описания некоторых эффектов, например для описания отклика системы на дисбаланс.

Аналогичным образом может быть представлена динамика подшипниковой опоры. Ее упрощенный анализ проводят с использованием формулы

$$\begin{bmatrix} m_{xx} & 0 \\ 0 & m_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_{xx} & 0 \\ 0 & c_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_{xx} & 0 \\ 0 & k_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \end{bmatrix}. \quad (A.4)$$

А.2 Динамическая жесткость подшипника

Динамическая жесткость подшипника зависит от его типа. Для оценки динамической жесткости следует знать две характеристики, одна из которых зависит от частоты вращения ротора, а вторая — от частоты возбуждения при данной частоте вращения ротора. Ниже приведен анализ динамической жесткости подшипников разных типов.

a) Подшипник качения

Для данного типа подшипников характерна высокая жесткость, зависящая от нагрузки, и низкое значение коэффициента демпфирования. Обе эти характеристики практически не зависят от частоты вращения ротора и частоты возбуждения, что показано прямыми линиями на рисунках А.1 и А.2.

b) Подшипник скольжения с сегментным вкладышем

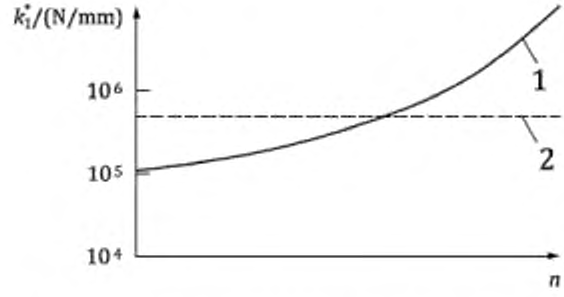
Частота вращения и нагрузка влияют на жесткость данного подшипника, а зависимость от частоты возбуждения имеет вид гладкой функции, как показано на рисунках А.1 и А.2.

Подшипники данного типа обладают стабильными характеристиками и умеренно хорошими демпфирующими свойствами.

c) Подшипник скольжения с цельным вкладышем

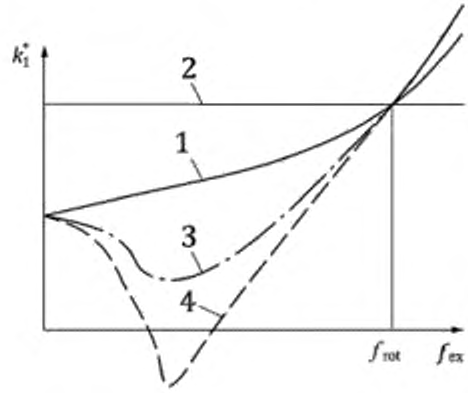
Данный подшипник обладает сложными характеристиками. Его зависимость от нагрузки и частоты вращения подобны тем, что наблюдают для подшипника с сегментным вкладышем. Однако зависимость динамической жест-

кости от частоты возбуждения на заданной частоте вращения менее гладкая, чем для других типов подшипников, особенно вблизи границы зоны устойчивости. Из рисунка 2 можно видеть, что динамическая жесткость такого подшипника становится очень низкой, если частота возбуждения составляет приблизительно половину частоты вращения ротора.



k_1^* — динамическая жесткость подшипника (модуль); *n* — скорость вращения ротора; *1* — подшипник скольжения с сегментным вкладышем; *2* — подшипник качения

Рисунок А.1 — Изменение динамической жесткости подшипника в зависимости от частоты вращения



k_1^* — динамическая жесткость подшипника (модуль); f_{ex} — частота возбуждения; f_{rot} — частота вращения ротора; *1* — подшипник скольжения с сегментным вкладышем; *2* — подшипник качения; *3* — подшипник скольжения с цельным вкладышем в стабильном режиме работы; *4* — подшипник скольжения с цельным вкладышем в нестабильном режиме работы

Рисунок А.2 — Изменение динамической жесткости подшипника в зависимости от частоты возбуждения

Подводя итог, можно сказать, что подшипники качения обладают высокой жесткостью и очень низким демпфированием, не зависящими от скорости вращения ротора. Подшипники скольжения с сегментным вкладышем имеют средние характеристики жесткости и демпфирования. Подшипники скольжения с цельным вкладышем также обладают средними характеристиками жесткости и демпфирования на частоте вращения, но изменяющимися по сложному закону в зависимости от частоты возбуждения.

По мере убывания значений соответствующих характеристик подшипники разных типов можно упорядочить следующим образом:

- жесткость: максимальная у подшипников качения, меньше у подшипников скольжения с сегментным вкладышем и минимальная у подшипников скольжения с цельным вкладышем;

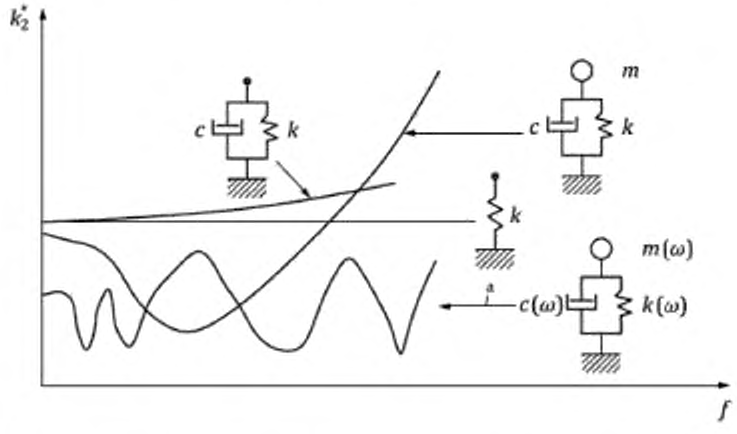
- демпфирование: максимальное у подшипников скольжения с цельным вкладышем, меньше у подшипников скольжения с сегментным вкладышем и минимальное у подшипников качения;

- комплексная жесткость на половине частоты вращения ротора: максимальная у подшипников качения, меньше у подшипников скольжения с сегментным вкладышем и минимальная (почти равная нулю на границе зоны устойчивости) у подшипников скольжения с цельным вкладышем.

Приложение В
(справочное)

Динамическая жесткость подшипниковой опоры

Динамическая жесткость конструкции под подшипником может быть разной, как схематично показано на рисунке В.1.



k_2^* — динамическая жесткость опоры подшипника (модуль) в логарифмическом масштабе;
f — частота ($\omega = 2\pi f$); " — частотно-зависимая характеристика

Рисунок В.1 — Динамическая жесткость подшипниковой опоры

При оценке динамической жесткости подшипниковой опоры необходимо принимать во внимание следующее:

a) в самом простом случае конструкцию под подшипником можно представить в виде пружины с малым демпфированием;

b) большинство подшипниковых опор требует полного описания в виде пружинно-массово-демпферной системы;

c) для систем с частотно-зависимыми характеристиками комплексная жесткость опоры имеет сложную зависимость от частоты, включая многочисленные резонансы.

Значительная вибрация подшипника может наблюдаться на резонансе подшипниковой опоры. Однако при этом относительные колебания вала останутся сравнительно небольшими.

Приложение С
(справочное)

Типичные значения динамических жесткостей подшипников и опор

В таблице С.1 показаны некоторые типичные значения жесткости подшипников и подшипниковых опор, а также их отношение α для машин некоторых видов.

Таблица С.1 — Примеры динамических жесткостей подшипника и подшипниковой опоры

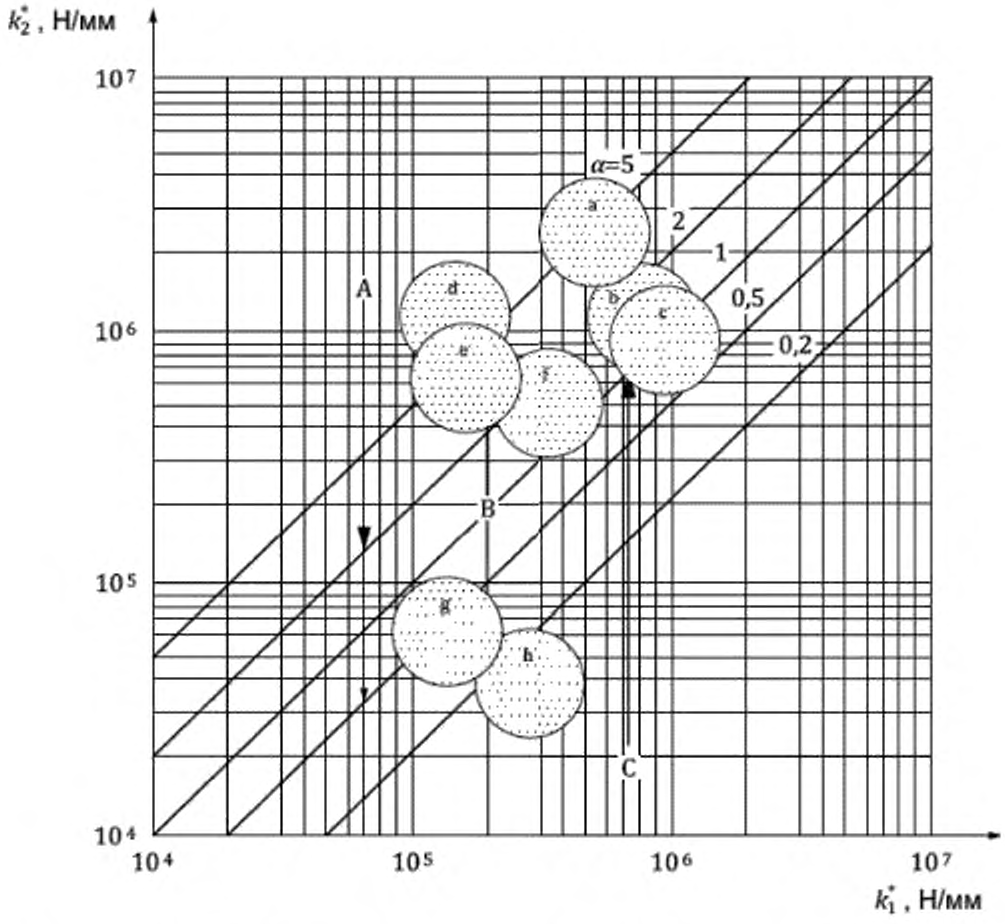
Тип машины	Жесткость опоры, Н/мм	Жесткость подшипника, Н/мм	Отношение жесткостей α
Паровая турбина высокого давления	3,4E+0,6	4,7E+0,5	7,4
Паровая турбина низкого давления	5,1E+0,6	1,7E+0,6	3
	3,2E+0,6	1,8E+0,6	1,8
Генератор мощностью 100 МВт	2,5E+0,6	4,2E+0,6	0,6
Газотурбинный генератор	8,3E+0,4	2,5E+0,5	0,3
Крупная газовая турбина	1,4E+0,5	4,3E+0,5	0,3
	2,0E+0,5	8,9E+0,4	2,3

В таблице С.2 приведены некоторые типичные значения α для машин некоторых видов с указанием пригодности соответствующих стандартов для оценки вибрационного состояния.

Таблица С.2 — Примеры выбора стандарта для оценки вибрационного состояния

Машина	Отношение жесткостей α	Выбор ИСО 10816 (опора)	Выбор ИСО 7919 (вал)
Паровая турбина высокого давления	4	средний	хороший
Паровая турбина низкого давления	2	средний/хороший	хороший
Крупный генератор	1,5	средний/хороший	хороший
Центробежный компрессор высокого давления	5	плохой	хороший
Крупный вентилятор	0,67	хороший	средний
Малый вентилятор и насос	0,33	хороший	средний
Вертикальный насос	0,10	хороший	плохой
Крупная газовая турбина	1,0	хороший	средний

На рисунке С.1 показаны типичные примеры жесткостей подшипников и их опор для разных видов машин с указанием диапазонов выбора метода измерений.



k_1^* — динамическая жесткость подшипника; k_2^* — динамическая жесткость подшипниковой опоры; α — коэффициент динамической жесткости; A — диапазон относительной вибрации вала; B — диапазон абсолютной вибрации вала; C — диапазон вибрации подшипниковой опоры; a — турбина высокого давления; b — крупный генератор, c — турбина низкого давления; d — центробежный компрессор высокого давления; e — центробежный компрессор среднего давления, f — крупный вентилятор; g — малый вентилятор и насос; h — вертикальный насос

Примечание — Полужирными стрелками отмечены диапазоны типичных значений α для измерений данного вида, а тонкими стрелками — диапазоны α, когда данный вид измерений используют только в исключительных случаях.

Рисунок С.1 — Типичные диапазоны динамических жесткостей для машин разных видов

Приложение D
(справочное)

Динамическая жесткость подшипника вместе с опорой

Общая динамическая жесткость для модели, изображенной на рисунке D.1, $k^*_{tot} = k_{tot} + i\omega c_{tot}$, может быть определена по формулам:

$$k_{tot} = \frac{(k_1 + k'_2)(k_1 k'_2 - c_1\omega c_2\omega) + (k_1 c_2\omega + k'_2 c_1\omega)(c_1\omega + c_2\omega)}{(k_1 + k'_2)^2 + (c_1\omega + c_2\omega)^2}, \quad (D.1)$$

$$c_{tot}\omega = \frac{(k_1 + k'_2)(k_1 c_2\omega + k'_2 c_1\omega) - (k_1 k'_2 - c_1\omega c_2\omega)(c_1\omega + c_2\omega)}{(k_1 + k'_2)^2 + (c_1\omega + c_2\omega)^2}, \quad (D.2)$$

где $k'_2 = k_2 - m_p\omega^2$.

Примечание — Обозначения величин те же, что и на рисунке 3.

Динамические жесткости вместе с отношением вибрации r_{vib} показаны на рисунке D.2 как функции коэффициента динамической жесткости α.

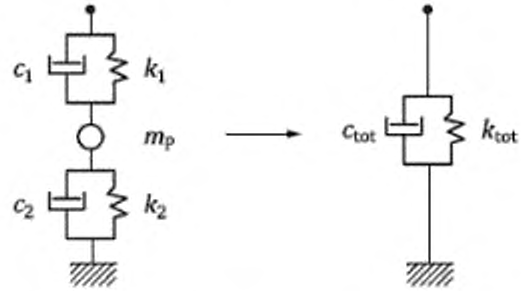
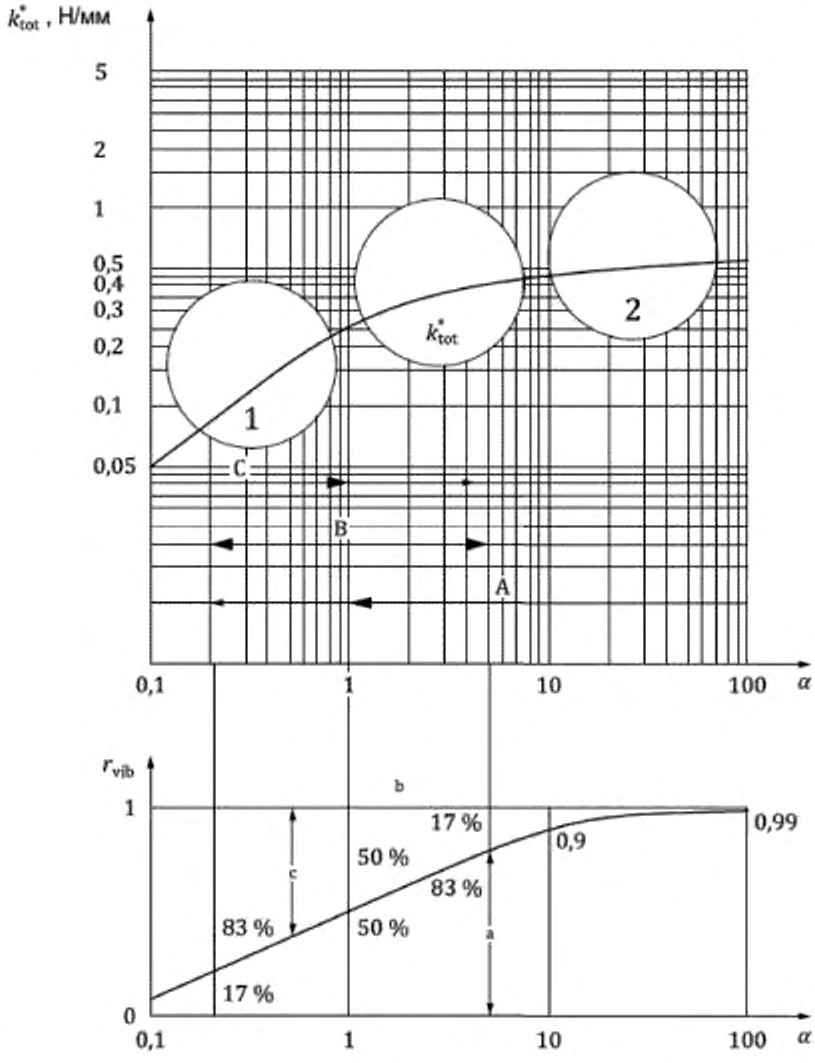


Рисунок D.1 — Модель общей динамической жесткости $k^*_{tot} = k_{tot} + i\omega c_{tot}$



k_{tot} — общая динамическая жесткость; r_{vib} — отношение вибрации (относительной и абсолютной вибрации вала); α — коэффициент динамической жесткости; A — диапазон относительной вибрации вала; B — диапазон абсолютной вибрации вала; C — диапазон вибрации подшипниковой опоры; *1* — податливая опора; *2* — жесткая опора; a — относительная вибрация вала; b — абсолютная вибрация вала; c — вибрация опоры

Примечание — Полужирными стрелками отмечены диапазоны типичных значений α для измерений данного вида, а тонкими стрелками — диапазоны α_x, когда данный вид измерений используют только в исключительных случаях.

Рисунок D.2 — Общая динамическая жесткость и отношение вибрации как функции коэффициента динамической жесткости α

Приложение Е
(справочное)

Стандарты оценки вибрационного состояния для конкретных приложений

Большинство стандартов, рассматриваемых в настоящем стандарте, перечислено в таблице Е.1.

Таблица Е.1 — Международные стандарты по вибрации машин и область их применения

Обозначение стандарта	Наименование стандарта	Область применения стандарта					
		Общая	Измерения вибрации		Движение машины		Обучение
			корпуса	вала	вращательное	возвратно-поступательное	
ИСО 2954:2012	Вибрация машин вращательного и возвратно-поступательного действия. Требования к средствам измерений для оценки вибрационного состояния		✓				
ИСО 3046-5:200*	Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Характеристики. Часть 5. Крутильная вибрация					✓	
ИСО 7919-1:1996	Вибрация машин без возвратно-поступательного движения. Измерения на вращающихся валах и критерии оценки. Часть 1. Общее руководство	✓		✓	✓		
ИСО 7919-2:2009	Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений на вращающихся валах. Часть 2. Стационарные паровые турбины и генераторы мощностью свыше 50 МВт с номинальными скоростями вращения 1500, 1800, 3000 и 3600 мин$^{-1}$			✓	✓		
ИСО 7919-3:2009	Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений на вращающихся валах. Часть 3. Промышленные машинные агрегаты			✓	✓		
ИСО 7919-4:2009	Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений на вращающихся валах. Часть 4. Газотурбинные установки с гидродинамическими подшипниковыми опорами			✓	✓		
ИСО 7919-5:2005	Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений на вращающихся частях. Часть 5. Установки гидроэлектростанций и насосных станций			✓	✓		

Продолжение таблицы Е.1

Обозначение стандарта	Наименование стандарта	Область применения стандарта					
		Общая	Измерения вибрации		Движение машины		Обучение
			корпуса	вала	вращательное	возвратно-поступательное	
ИСО 8528-9:1995	Электроагрегаты генераторные переменного тока с приводом от двигателя внутреннего сгорания. Часть 9. Измерение вибрации и оценка вибрационного состояния		✓			✓	
ИСО 10816-1:1995	Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 1. Общее руководство	✓	✓		✓		
ИСО 10816-2:2009	Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 2. Стационарные паровые турбины и генераторы мощностью свыше 50 МВт с номинальными скоростями вращения 1500, 1800, 3000 и 3600 мин$^{-1}$		✓		✓		
ИСО 10816-3:2009	Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 3. Промышленные машины номинальной мощностью свыше 15 кВт с номинальными скоростями вращения от 120 до 15 000 мин$^{-1}$ при измерениях на месте эксплуатации		✓		✓		
ИСО 10816-4:2009	Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 4. Газотурбинные установки с гидродинамическими подшипниковыми опорами		✓		✓		
ИСО 10816-5:2000	Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 5. Установки гидроэлектростанций и насосных станций		✓		✓		
ИСО 10816-6:1995	Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 6. Машины возвратно-поступательного действия номинальной мощностью свыше 100 кВт		✓			✓	
ИСО 10816-7:2009	Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 7. Промышленные динамические насосы, включая измерения на вращающихся валах		✓	✓	✓		

Продолжение таблицы Е.1

Обозначение стандарта	Наименование стандарта	Область применения стандарта					
		Общая	Измерения вибрации		Движение машины		Обучение
			корпуса	вала	вращательное	возвратно-поступательное	
ИСО 10816-8:2014	Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 8. Поршневые компрессорные агрегаты		✓			✓	
ИСО 10817-1:1998	Системы измерений вибрации вращающихся валов. Часть 1. Устройства для снятия сигналов относительной и абсолютной вибрации			✓			
ИСО 13373-1:2002	Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния. Часть 1. Общие методы	✓	✓	✓	✓		
ИСО 13373-2:2005	Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния. Часть 2. Обработка, анализ и представление результатов измерений вибрации	✓					
ИСО 13373-3:2015	Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния. Часть 3. Руководство по вибрационному диагностированию	✓					
ИСО 14694:2003	Вентиляторы промышленные. Требования к производимой вибрации и качеству балансировки		✓		✓		
ИСО 14695:2003	Вентиляторы промышленные. Методы измерений вибрации вентиляторов		✓		✓		
ИСО 14839-1:2002	Вибрация. Вибрация машин вращательного действия с активными магнитными подшипниками. Часть 1. Словарь				✓		
ИСО 14839-2:2004	Вибрация. Вибрация машин вращательного действия с активными магнитными подшипниками. Часть 2. Оценка вибрационного состояния				✓		
ИСО 14839-3:2006	Вибрация. Вибрация машин вращательного действия с активными магнитными подшипниками. Часть 3. Определение запаса устойчивости				✓		
ИСО 14839-4:2012	Вибрация. Вибрация машин вращательного действия с активными магнитными подшипниками. Часть 4. Техническое руководство				✓		

Окончание таблицы Е.1

Обозначение стандарта	Наименование стандарта	Область применения стандарта					
		Общая	Измерения вибрации		Движение машины		Обучение
			корпуса	вала	вращательное	возвратно-поступательное	
ИСО 18436-2:2014	Контроль состояния и диагностика машин. Требования к квалификации и оценке персонала. Часть 2. Вибрационный контроль состояния и диагностика						✓
ИСО 20283-4:2012	Вибрация. Измерения вибрации на судах. Часть 4. Измерения и оценка вибрации судового движителя				✓	✓	
ИСО 22266-1:2009	Вибрация. Крутильная вибрация машин вращательного действия. Часть 1. Стационарные паротурбинные и генераторные установки мощностью свыше 50 МВт				✓		
МЭК 60034-14:2003	Машины электрические вращательного действия. Часть 14. Вибрация машин с высотой вала 56 мм и более. Измерения, оценка и границы зон вибрационного состояния		✓	✓	✓		

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам и действующим в этом качестве межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального, межгосударственного стандарта
ISO 7919-1	IDT	ГОСТ ИСО 7919-1—2002 «Вибрация машин без возвратно-поступательного движения. Измерения на вращающихся валах и критерии оценки. Часть 1. Общее руководство»
ISO 7919-2	MOD	ГОСТ Р 55263—2012 (ИСО 7919-2:2009) «Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений на вращающихся валах. Часть 2. Стационарные паровые турбины и генераторы мощностью свыше 50 МВт с номинальными скоростями вращения 1500, 1800, 3000 и 3600 мин$^{-1}$»
ISO 7919-3	—	*
ISO 7919-4	—	*
ISO 7919-5	—	*
ISO 10816-1	IDT	ГОСТ ИСО 10816-1—97 «Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 1. Общее руководство»
ISO 10816-2	MOD	ГОСТ Р 55265.2—2012 (ИСО 10816-2:2009) «Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений на невращающихся частях. Часть 2. Стационарные паровые турбины и генераторы мощностью свыше 50 МВт с номинальными скоростями вращения 1500, 1800, 3000 и 3600 мин$^{-1}$»
ISO 10816-3	—	*
ISO 10816-4	—	*
ISO 10816-5	—	*
ISO 10816-6	—	*
ISO 10816-7	MOD	ГОСТ Р 55265.7—2012 (ИСО 10816-7:2009) «Вибрация. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерений на невращающихся частях. Часть 7. Насосы динамические промышленные»
ISO 10816-8	—	*
ISO 3046-5	IDT	ГОСТ Р ИСО 3046-5—2004 «Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Характеристики. Часть 5. Крутильные колебания»
ISO 8579-2	IDT	ГОСТ ИСО 8579-2—2002 «Вибрация. Контроль вибрационного состояния зубчатых механизмов при приемке»
ISO 13373-1	IDT	ГОСТ Р ИСО 13373-1—2009 «Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 1. Общие методы»
ISO 13373-2	IDT	ГОСТ Р ИСО 13373-2—2009 «Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 2. Обработка, анализ и представление результатов измерений вибрации»
ISO 13373-3	—	*
ISO 14694	MOD	ГОСТ 31350—2007 (ИСО 14694:2003) «Вибрация. Вентиляторы промышленные. Требования к производимой вибрации и качеству балансировки»
ISO 14695	MOD	ГОСТ 31351—2007 (ИСО 14695:2003) «Вибрация. Вентиляторы промышленные. Измерения вибрации»
ISO 1925	—	*
ISO 2041	IDT	ГОСТ Р ИСО 2041—2012 «Вибрация, удар и контроль технического состояния. Термины и определения»
ISO 2954	IDT	ГОСТ Р ИСО 2954—2014 «Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Требования к средствам измерений»

Окончание таблицы ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального, межгосударственного стандарта
ISO 5348	IDT	ГОСТ ИСО 5348—2002 «Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров»
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 21940-31	—	*

* Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его принятия рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта.

Примечание — В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов:

- IDT — идентичные стандарты;
- MOD — модифицированные стандарты.

Библиография

[1] ISO 1940-1 Mechanical vibration — Balance quality requirements for rotors in a constant (rigid) state — Part 1: Specification and verification of balance tolerances

[2] ISO 8528-9 Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets — Part 9: Measurement and evaluation of mechanical vibrations

[3] ISO 11342 Mechanical vibration — Methods and criteria for the mechanical balancing of flexible rotors

[4] ISO 13381-1 Condition monitoring and diagnostics of machines — Prognostics — Part 1: General guidelines

[5] ISO 14839-1 Mechanical vibration — Vibration of rotating machinery equipped with active magnetic bearings — Part 1: Vocabulary

[6] ISO 14839-2 Mechanical vibration — Vibration of rotating machinery equipped with active magnetic bearings — Part 2: Evaluation of vibration

[7] ISO 14839-3 Mechanical vibration — Vibration of rotating machinery equipped with active magnetic bearings — Part 3: Evaluation of stability margin

[8] ISO 14839-4 Mechanical vibration — Vibration of rotating machinery equipped with active magnetic bearings — Part 4: Technical guidelines

[9] ISO 15242 Rolling bearings — Measuring methods for vibration (all parts)

[10] ISO 17359 Condition monitoring and diagnostics of machines — General guidelines

[11] ISO 19499 Mechanical vibration — Balancing — Guidance on the use and application of balancing standards

[12] ISO 20283-4 Mechanical vibration — Measurement of vibration on ships — Part 4: Measurement and evaluation of vibration of the ship propulsion machinery

[13] ISO 21940-13 Mechanical vibration — Rotor balancing — Part 13: Criteria and safeguards for the in-situ balancing of medium and large rotors

[14] ISO 21940-14 Mechanical vibration — Rotor balancing — Part 14: Procedures for assessing balance errors

[15] ISO 22266-1 Mechanical vibration — Torsional vibration of rotating machinery — Part 1: Landbased steam and gas turbine generator sets in excess of 50 MW

[16] IEC 60034-14 Rotating electrical machines — Part 14: Mechanical vibration of certain machines with shaft heights 56 mm and higher — Measurement, evaluation and limits of vibration severity

[17] IEC 60994 Guide for field measurement of vibrations and pulsations in hydraulic machines (turbines, storage pumps and pump-turbines)

[18] IEC 81400-4 Wind turbines — Part 4: Design requirements for wind turbine gearboxes

[19] VDI 3836 Measurement and evaluation of mechanical vibration of screw-type compressors and Roots blowers — Addition to DIN ISO 10816-3

[20] VDI 3838 Measurement and evaluation of mechanical vibration of reciprocating piston engines and piston compressors with power ratings above 100 kW — Addition to DIN ISO 10816-6

[21] VDI 3839 Instructions on measuring and interpreting the vibrations of machines (all parts)

[22] VDI 3840 Vibration analysis for machine sets

УДК 534.322.3.08:006.354 ОКС 17.160

Ключевые слова: контроль состояния, диагностика, вибрационное состояние, стандарты, выбор метода оценки

Редактор переиздания *Г.Н. Симонова*
Технические редакторы *В.Н. Прусакова, И.Е. Черепкова*
Корректор *Е.И. Рычкова*
Компьютерная верстка *Д.В. Кардановской*

Сдано в набор 26.09.2019. Подписано в печать 25.10.2019. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,72. Уч.-изд. л. 3,55.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ИД «Юриспруденция», 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, 11.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

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

Поправка к ГОСТ Р 56646—2015/ISO/TR 19201:2013 Вибрация. Руководство по выбору критериев оценки вибрационного состояния машин

В каком месте	Напечатано	Должно быть
Титульный лист, первая страница стандарта. Колонтитул	**ГОСТ Р 56646—2015/ИСО/ТР 19201:2013**	**ГОСТ Р 56646—2015/ISO/TR 19201:2013**

(ИУС № 5 2016 г.)

gost.e-ecolog.ru