ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 55263— 2012 (ИСО 7919-2:2009)

Вибрация

КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ МАШИН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ ВИБРАЦИИ НА ВРАЩАЮЩИХСЯ ВАЛАХ

Часть 2

Стационарные паровые турбины и генераторы мощностью более 50 МВт с рабочими частотами вращения 1500, 1800, 3000 и 3600 мин$^{-1}$

ISO 7919-2:2009
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 1500 r/min, 1800 r/min, 3000 r/min and 3600 r/min
(MOD)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2014

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Автономной некоммерческой организацией «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (АНО «НИЦ КД») на основе собственного аутентичного перевода на русский язык международного 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 29 ноября 2012 г. № 1382-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению международному стандарту ИСО 7919-2:2009 «Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерения вибрации на вращающихся валах. Часть 2. Стационарные паровые турбины и генераторы мощностью более 50 МВт с рабочими частотами вращения 1500, 1800, 3000 и 3600 мин$^{-1}$» (ISO 7919-2:2009 «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 1500 r/min, 1800 r/min, 3000 r/min and 3600 r/min») путем внесения технических отклонений, объяснение которых приведено во введении к настоящему стандарту

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). 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.ru)

© Стандартинформ, 2014

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 Измерения вибрации 2
4 Критерии оценки 3
Приложение А (обязательное) Границы зон состояния 9
Приложение В (справочное) Соотношение между границами зон состояния и зазором в подшипнике 10
Библиография 11

Введение

Общие требования к контролю вибрационного состояния машин разных видов по результатам измерений вибрации на вращающихся валах установлены ГОСТ ИСО 7919-1. Настоящий стандарт распространяет рекомендации ГОСТ ИСО 7919-1 на оценку вибрационного состояния крупных паровых турбин и генераторов по результатам измерений радиальной вибрации вала в точках внутри подшипников или в максимальной близости от них. Результаты измерений в этих точках способны достаточно полно характеризовать общее вибрационное состояние машин. Установленные стандартом критерии оценки вибрационного состояния обобщают опыт эксплуатации машин данного вида.

Настоящим стандартом установлены два критерия оценки вибрационного состояния машины, работающей в установившемся режиме: на основе абсолютных значений вибрации и на основе изменения этих значений. Кроме того, приведены критерии оценки вибрационного состояния по результатам измерений в неустановившемся (переходном) режиме работы машины.

Вибрацию на вращающихся валах не следует рассматривать в качестве единственного источника информации о вибрационном состоянии машины. При контроле состояния крупных паровых турбин и генераторов измерения на вращающихся валах принято дополнять измерениями вибрации на невращающихся частях. Требования к таким измерениям установлены в [4] и [5].

Методы оценки, установленные настоящим стандартом, основаны на измерении вибрации в широкой полосе частот. По мере совершенствования технологий контроля состояния машин все большее распространение получают измерения в узких полосах частот и спектральный анализ вибрации. Однако в настоящем стандарте критерии оценки вибрационного состояния по измерениям узкополосной вибрации не установлены. Более подробная информация о контроле состояния машин по различным характеристикам вибрации приведена в [11] и [12].

По сравнению с примененным международным стандартом ИСО 7919-2:2009 настоящий стандарт дополнен следующими положениями, учитывающими отечественный опыт эксплуатации машин данного вида:

- рекомендацией измерять вибрацию вала машин мощностью свыше 500 МВт с двух сторон протяженного подшипника (раздел 3);
- определением понятия установившегося режима работы машины (примечание в подразделе 4.1);
- числовым критерием допустимости наведенной вибрации (подраздел 4.1);
- установлен предельный срок превышения вибрацией уровня ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ (подпункт 4.2.3.1);
- значение максимально допустимого порогового уровня ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ снижено со значения, в 1,25 раза превосходящего значение границы между зонами B и C, до значения границы между этими зонами (подпункт 4.2.3.2);
- значение максимально допустимого порогового уровня ОСТАНОВ снижено со значения, в 1,25 раза превосходящего значение границы между зонами C и D, до значения границы между этими зонами (подпункт 4.2.3.3).

Внесенные дополнения выделены курсивом.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Вибрация

КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ МАШИН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ ВИБРАЦИИ НА ВРАЩАЮЩИХСЯ ВАЛАХ

Часть 2

Стационарные паровые турбины и генераторы мощностью более 50 МВт с рабочими частотами вращения 1500, 1800, 3000 и 3600 мин$^{-1}$

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 1500 r/min, 1800 r/min, 3000 r/min and 3600 r/min

Дата введения — 2013—12—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает руководство по оценке вибрационного состояния машин на месте их установки по результатам измерений широкополосной вибрации вала в радиальном (т. е. перпендикулярном к его оси) направлении внутри радиальных подшипников или в максимальной близости от них. При оценке вибрационного состояния контролю подлежат:

- вибрация в нормальном установившемся режиме работы машины;
- вибрация в неустановившихся (переходных) режимах, включая разгон и выбег, начальное нагружение и изменения нагрузки;
- изменения вибрации при работе машины в нормальном установившемся режиме.

Настоящий стандарт распространяется на стационарные паровые турбины и генераторы выходной мощностью более 50 МВт с рабочими частотами вращения 1500, 1800, 3000 или 3600 мин$^{-1}$. Он распространяется также на паровые турбины или генераторы, непосредственно соединенные с газовыми турбинами (например, в составе парогазовых энергоблоков). В этом случае критерии, установленные настоящим стандартом, применяют только к результатам измерений вибрации паровых турбин или генераторов (включая муфты сцепления).

Для общей оценки вибрационного состояния машины кроме результатов измерений, полученных в соответствии с настоящим стандартом, обычно необходимо также знать результаты измерений вибрации на невращающихся частях. Требования к таким измерениям установлены в [4] и [5].

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующий стандарт:

ГОСТ ИСО 7919-1—2002 Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на вращающихся валах. Общие требования (ИСО 7919-1:1996, IDT)

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

Издание официальное

3 Измерения вибрации

Общие требования к методам и средствам измерений вибрации вала в целях контроля состояния машин установлены ГОСТ ИСО 7919-1.

Изначально сбор данных о вибрации паровых турбин и генераторов осуществлялся с помощью контактных датчиков-зондов, позволяющих измерять абсолютную вибрацию вала. Позднее, по мере развития бесконтактных способов измерения вибрации, большее распространение получили измерения относительной вибрации вала. В этом случае при необходимости абсолютная вибрация вала могла быть определена векторным суммированием сигналов бесконтактного датчика и установленного на том же основании инерционного датчика, измеряющего вибрацию опорной конструкции. Для целей настоящего стандарта в равной степени допустимы измерения как относительной, так и абсолютной вибрации. Однако следует иметь в виду, что использование контактного датчика-зонда ограничивает частотный диапазон измерений.

Измерительная система должна обеспечивать выполнение измерений широкополосной вибрации в диапазоне частот, нижняя граница которого 10 Гц, а верхняя не менее чем в три раза превышает максимальную частоту вращения ротора, но не ниже 125 Гц. Однако если эту измерительную систему используют кроме целей контроля состояния также и для диагностирования, то она должна обеспечивать выполнение измерений в более широком диапазоне частот, а также проведение спектрального анализа вибрации. В особых случаях, когда на машину может воздействовать низкочастотная вибрация сторонних источников, например, в сейсмически опасных районах, следует предусмотреть использование, например, фильтрации низкочастотного отклика или задержку сигнала. Если предполагается сравнивать результаты измерений для разных машин, то следует убедиться, что измерения проведены в одном и том же диапазоне частот.

Точки измерений выбирают таким образом, чтобы измеряемая вибрация содержала достаточную информацию о колебаниях вала в радиальном направлении. В связи с этим следует избегать размещения датчиков в узлах мод собственных колебаний вала. Кроме того, следует убедиться, что средства измерений не подвергаются чрезмерным внешним воздействиям, например, воздушного шума. Обычно измерения проводят в двух ортогональных направлениях внутри каждого радиального подшипника или в непосредственной близости от него. *Для ответственных машин большой мощности (свыше 500 МВт) на подшипниках большой протяженности измерения рекомендуется проводить на обоих концах подшипника*. Направления измерений допускается выбирать произвольно, но обычно измерения проводят в горизонтальном и вертикальном направлениях или под углами $\pm 45°$ к вертикальному направлению.

Допускается проводить измерения только в одном радиальном направлении с использованием одного датчика вибрации при условии, что это позволит получать достаточно полную информацию о вибрации вала. При этом следует учитывать, что выбранная ориентация датчика может не позволить наблюдать максимальное значение контролируемого параметра вибрации вала в данной плоскости измерений.

Измерений осевой вибрации вала для паровых турбин и генераторов, как правило, не проводят.

Характеристики измерительной системы должны быть определены с учетом влияния:

- колебаний температуры;
- магнитных полей;
- акустического шума;
- колебаний напряжения питания;
- электрического импеданса и длины соединительного кабеля;
- ориентации датчика;
- жесткости поверхности установки датчика.

Особое внимание следует уделять правильной установке датчика и тому, чтобы средства крепления датчика не ухудшали точность измерений (см., например, [10]).

Поверхность вала в месте измерения должна быть гладкой, не иметь нарушений геометрической формы, неоднородности материала и остаточного намагничивания, способных привести к искажениям сигнала (так называемым «электрическим биениям» вала). Электрические и механические биения вала, измеренные с помощью датчика, не должны в совокупности превышать 25 % значения границы между зонами А и В на рабочей частоте вращения (см. таблицу А.1 приложения А).

Перед пуском паровой турбины или генератора могут быть проведены измерения перемещения вала при его медленном проворачивании. В этом случае характеристики измерительной системы должны обеспечивать точные измерения в области очень низких частот. Такие измерения обычно не могут дать достоверные сведения о биении вала на рабочей частоте вращения, поскольку на их результаты

могут повлиять, например, наличие временного прогиба вала, неравномерность движения цапф вала в зазоре подшипника или движения вала в осевом направлении. Поэтому следует соблюдать осторожность при попытке компенсировать биение вала векторным вычитанием из результата измерений вибрации в рабочем режиме машины результата измерений при проворачивании ротора. Если влияющие факторы не учтены должным образом, то такая математическая операция может привести к ухудшению точности измерений и неправильной оценке вибрационного состояния машины (см. ГОСТ ИСО 7919-1).

4 Критерии оценки

4.1 Общие положения

В ГОСТ ИСО 7919-1 установлены два общих критерия оценки вибрационного состояния машин различных классов по измерениям вибрации вала. Один критерий — для интегрального параметра вибрации в широкой полосе частот, другой — для изменений этого параметра безотносительно к направлению изменений (в большую или меньшую сторону).

Установленные настоящим стандартом числовые значения критериев получены обобщением большого массива результатов измерений для машин данного вида, и можно ожидать, что соблюдение рекомендаций настоящего стандарта позволит обеспечить нормальное функционирование машины.

Критерии настоящего стандарта установлены для машины, работающей в установившемся режиме в заданном диапазоне нагрузок на рабочей частоте вращения. При этом для генератора допускаются обычные небольшие колебания электрической нагрузки.

Примечание — Понятие установившегося режима связано с приходом в равновесное состояние всех физических полей, от которых зависит вибрация машины. Как правило, режим считают установившимся, если при данной нагрузке все контролируемые эксплуатационные параметры сохраняют постоянное значение. Однако особенности конструкции, установки и функционирования конкретных машин могут потребовать задания дополнительных условий установившегося режима, которые определяют, например, на основе опыта эксплуатации.

Кроме этих критериев настоящим стандартом установлен критерий для работы машины в неустановившемся (переходном) режиме. Использование указанных критериев позволит избежать неоправданных затрат на снижение вибрации, создаваемой машиной, а также предъявления чрезмерно завышенных требований к ее вибрационному состоянию. Данные критерии могут служить также основой требований приемочных испытаний (см. 4.2.2.3).

Все критерии предполагают измерение вибрации, создаваемой машиной, а не передаваемой на машину извне. Если есть основания ожидать существенного влияния наведенной вибрации (длительной или кратковременной), то рекомендуется провести измерения на остановленной машине. Если результаты измерений окажутся неприемлемо высокими *(например, более трети вибрации машины, работающей в заданном режиме)*, то необходимо принять меры для устранения влияния наведенной вибрации.

Для получения общей оценки вибрационного состояния машины измерения вибрации вала часто дополняют измерениями вибрации на невращающихся частях.

4.2 Критерий 1 (для абсолютного значения контролируемого параметра)

4.2.1 Общие положения

Данный критерий связан с определением границ для абсолютного значения контролируемого параметра вибрации вала из условия допустимых динамических нагрузок на подшипники, допустимых значений радиального зазора в подшипнике и допустимой вибрации, передаваемой на опорную конструкцию и фундамент.

4.2.2 Вибрация машины в установившемся режиме с рабочей частотой вращения

4.2.2.1 Общие положения

Максимальное значение контролируемого параметра, полученное по измерениям на каждом подшипнике или опоре, сравнивают с границами зон вибрационного состояния, установленными на основе анализа практики эксплуатации машин данного вида.

4.2.2.2 Зоны вибрационного состояния

Для оценки вибрационного состояния машины, работающей в установившемся режиме на рабочей частоте вращения, и принятия решений о необходимых действиях в конкретной ситуации установлены следующие зоны:

Зона А — 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 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.

4.2.2.3 Критерии приемки

Критерии приемки изготовленной или восстановленной машины всегда являются предметом соглашения между ее поставщиком и потребителем. При формировании этих критериев целесообразно учитывать установленные настоящим стандартом зоны вибрационного состояния.

Примечание — По сложившейся практике для новых или восстановленных машин приемочные значения устанавливают в пределах зоны А или в пределах зоны В, но не превышающими значение границы между зонами А и В более чем в 1,25 раза.

4.2.2.4 Границы зон вибрационного состояния

Значения границ зон вибрационного состояния приведены в таблицах А.1 и А.2 приложения А. Их применяют к результатам измерений радиальной вибрации вала внутри или вблизи подшипников при работе машины в установившемся режиме с рабочей частотой вращения. Числовые значения границ зон определены по данным эксплуатации, предоставленным изготовителями и пользователями машин. Несмотря на неизбежный большой разброс в данных подобного рода, значения, приведенные в таблицах А.1 и А.2, могут служить хорошим ориентиром при оценке вибрационного состояния машины, позволяющим избежать завышенных требований к вибрации машин и излишних расходов на ее снижение.

Допустим более высокий уровень вибрации, если она измерена в других точках (не внутри или вблизи подшипниковых опор), а также в переходном режиме работы машины.

Как правило, руководствуясь значениями, приведенными в таблицах А.1 и А.2, можно с большим основанием утверждать, что зазор в подшипнике, а также динамические силы, передаваемые на подшипниковую опору машины и ее фундамент, будут в допустимых пределах. Но возможны ситуации, когда особенности конструкции машины или опыт эксплуатации машин данного типа требует установления иных (более высоких или более низких) границ зон вибрационного состояния, например:

a) когда на вибрацию машины существенное влияние оказывает способ ее установки и способ соединения с приводными машинами. В частности, в случае жесткой подшипниковой опоры можно ожидать более высокую относительную вибрацию вала. Наоборот, относительная вибрация будет меньше в случае податливой опоры, но при этом можно ожидать более высокую абсолютную вибрацию. В этом случае опыт наблюдений за такой машиной может привести к решению установить иные значения границ зон;

b) когда особого внимания требует контроль зазора в подшипнике. Более того, границы допустимой вибрации вала могут зависеть от диаметра цапфы ротора, поскольку обычно подшипники большего диаметра требуют и большего зазора. Если вибрацию вала контролируют в подшипнике малого зазора, то значения, приведенные в таблице А.1, могут быть уменьшены. Степень возможного уменьшения зависит от типа подшипника (кольцевой цилиндрический, эллиптический, самоустанавливающийся сегментный и т. п.) и угла между направлением измерений и направлением, в котором зазор минимален. В связи с этим точные рекомендации по коррекции границ зон вибрационного состояния дать невозможно, но в приложении В приведен типичный пример для кольцевого цилиндрического подшипника скольжения;

c) когда подшипниковая опора имеет относительно малое нагружение (например, выносной подшипник ротора возбудителя или подшипник муфты сцепления) или другие подшипники обладают высокой податливостью. В этом случае могут быть установлены другие критерии, основанные на анализе конструкции машины;

d) когда измерения возможны только в точке, далеко отстоящей от подшипниковой опоры.

Примечание 1 — Для разных подшипников одного валопровода могут быть установлены разные границы зон вибрационного состояния.

Обычно установление более высоких значений границ зон вибрационного состояния по сравнению с приведенными в таблицах А.1 и А.2 требует детального технического обоснования, позволяющего убедиться в том, что повышенная вибрация вала не приведет к ухудшению показателей надежности. Таким обоснованием может быть учет конструктивных особенностей машины или успешный опыт эксплуатации машин аналогичной конструкции с аналогичными опорами.

Примечание 2 — В настоящем стандарте границы зон вибрационного состояния установлены безотносительно к типу фундамента (жесткому или податливому) паровой турбины или генератора. Это согласуется с [5], где оценку вибрационного состояния тех же машин осуществляют по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. В будущем для разных типов фундамента могут быть установлены разные критерии, если анализ данных эксплуатации машин данного вида даст к этому основания.

4.2.3 Пороговые уровни для установившегося режима работы

4.2.3.1 Общие положения

Полученное в результате измерений в установившемся режиме работы значение контролируемого параметра обычно сравнивают с пороговыми значениями, определяющими ограничение на эксплуатацию машины. Эти ограничения имеют формы ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ и ОСТАНОВА.

Достижение контролируемым параметром вибрации или изменения вибрации уровня ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ свидетельствует о том, что машина нуждается в проведении восстановительных работ. Как правило, при достижении уровня ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ допускается работа машины в течение некоторого периода времени, пока проводят исследования причин изменения вибрации (например, выясняют, не связаны ли эти изменения с изменениями нагрузки, частоты вращения или других эксплуатационных параметров) и определяют комплекс восстановительных мероприятий. *Рекомендуется, чтобы период исследований и восстановительных мероприятий, после которого должно произойти снижение вибрации, не превышал 30 суток.*

Достижение контролируемым параметром вибрации уровня ОСТАНОВ свидетельствует о том, что дальнейшая работа машины может привести к ее повреждению. При превышении уровня ОСТАНОВ следует принять незамедлительные меры по снижению вибрации или остановить машину.

4.2.3.2 Задание уровней ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ

Уровни ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ могут меняться от машины к машине. Обычно этот уровень устанавливают относительно некоторого базового значения (базовой линии), определяемого для заданной точки и направления измерений по опыту эксплуатации конкретной машины.

Рекомендуется устанавливать уровень ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ выше базовой линии на 25 % значения границы между зонами B и C, *но не выше значения границы между зонами B и C*. Если базовое значение мало, то уровень ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ может находиться ниже указанной границы.

Если базовая линия не определена, например, для новых машин, то начальную установку уровня ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ следует проводить либо исходя из опыта эксплуатации аналогичных машин, либо относительно согласованного приемлемого значения. При отсутствии достаточной информации уровень ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ для установившегося режима работы машины с рабочей частотой вращения устанавливают не превышающим границу между зонами B и C. Спустя некоторое время по наблюдениям за вибрацией машины следует установить постоянную базовую линию и соответствующим образом скорректировать уровень ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ.

Если вибрация машины в установившемся режиме работы существенно нестационарна, то в определении контролируемого параметра должна быть предусмотрена соответствующая процедура усреднения.

Изменение базовой линии (например, вследствие капитального ремонта машины) может потребовать соответствующего изменения уровня ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ. Для разных точек измерений могут быть установлены разные уровни ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ, что отражает неодинаковость действующих динамических нагрузок на подшипники и жесткостей подшипниковых опор.

Пример установления уровня ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ приведен в [5] (приложение B).

4.2.3.3 Задание уровней ОСТАНОВА

Уровень ОСТАНОВ обычно связывают с сохранением механической целости машины, которая, в свою очередь, определяется конструктивными особенностями машины, отражающими ее способность противостоять действию аномальных динамических сил. Поэтому уровень ОСТАНОВ, как правило, будет одним и тем же для машин аналогичных конструкций, и в то же время он не будет связан с базовой линией.

Вследствие многообразия конструкций машин не представляется возможным дать универсальное руководство по заданию уровня ОСТАНОВ. Обычно уровень ОСТАНОВ устанавливают *не выше границы между зонами C и D*. Однако опыт эксплуатации конкретной машины может послужить основанием для задания иного уровня ОСТАНОВ.

Работа паровых турбин и генераторов часто контролируется с помощью автоматических систем управления, которые останавливают машину, если ее вибрация превышает уровень ОСТАНОВ. Чтобы избежать необоснованных остановов машины, связанных с паразитными сигналами (помехами), на практике часто используют логические схемы управления с несколькими датчиками вибрации и устанавливают время задержки для сигнала останова. В этом случае превышение уровня ОСТАНОВ при-

ведет к соответствующей реакции системы управления только при условии подтверждения такого превышения от двух независимых датчиков вибрации после заданного времени задержки. Обычно время задержки выбирают в диапазоне от 1 до 3 с. Иногда целесообразным может оказаться задание дополнительного уровня предупреждения между имеющимися уровнями ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ и ОСТАНОВ, превышение которого подготавливало бы оператора к тому, что вибрация вскоре достигнет уровня ОСТАНОВ, и позволяло бы ему заблаговременно применить соответствующие корректирующие действия (например, снизить нагрузку).

4.2.4 Вибрация в неустановившихся (переходных) режимах работы

4.2.4.1 Общие положения

Значения границ зон состояния, приведенные в приложении А, предназначены для использования при долговременной работе машины в заданном установившемся режиме. При разгоне и выбеге, а также в режиме работы на рабочей частоте вращения, но в условиях, когда тепловое равновесие в механической системе еще не достигнуто, допустима более высокая вибрация. Такая вибрация может превышать заданные для установившегося режима работы уровни ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ и ОСТАНОВА (см. 4.2.3). В этом случае возможно применение повышающего коэффициента (см. 4.2.4.4), автоматически повышающего уровни ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ и ОСТАНОВА на то время, пока установившийся режим работы не будет достигнут.

Возможны ситуации, когда для паровой турбины или генератора характерен неустановившийся режим работы, что обычно бывает связано с температурными колебаниями (например, вследствие изменений температуры пара или тока в обмотке ротора при начальном нагружении и изменениях нагрузки), с глубиной вакуума в конденсаторе или с изменением частоты вращения ротора (например, при разгоне и выбеге).

Как и в случае вибрации в установившемся режиме работы машины, любые критерии приемки по результатам измерений в неустановившихся режимах должны быть предметом соглашения между поставщиком и потребителем. Однако следование рекомендациям настоящего пункта позволит избежать необоснованных затрат на снижение вибрации, создаваемой машиной, а также предъявления чрезмерно завышенных требований к ее вибрационному состоянию.

4.2.4.2 Вибрация в переходных режимах работы на рабочей частоте вращения

Такие режимы работы включают в себя работу без нагрузки, начальное нагружение или быстрое изменение нагрузки, изменение коэффициента мощности, а также любые другие кратковременные рабочие процессы в машине. Для таких режимов обычно полагают, что создаваемая машиной вибрация может считаться приемлемой, если не превышена граница между зонами C и D. Соответствующим образом задают уровни ОСТАНОВА и ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ.

4.2.4.3 Вибрация в процессе разгона, выбега и при работе на повышенных частотах вращения

Перед пуском машины рекомендуется, по возможности, провести измерения вибрации вала при медленном проворачивании ротора. Это позволит оценить биение вала, когда на результат измерений не оказывают влияние такие факторы, как низкочастотный резонанс механической системы, нестабильность масляного клина или центробежные эффекты. Наряду с другими контролируемыми параметрами, указанными в разделе 1, перемещение вала на низкой частоте вращения также должно поддерживаться в пределах, установленных на основе опыта эксплуатации машины. Такой контроль позволяет убедиться, насколько удовлетворительным может быть признано состояние валопровода (например, имеет ли место временный прогиб ротора или несоосность валов). Кроме того, рекомендуется, чтобы во время разгона машины проводились измерения вибрации вала до достижения критической частоты вращения ротора, чтобы иметь возможность сравнить их результаты с результатами аналогичных измерений во время предшествующих успешных пусков. При наличии существенных расхождений целесообразно принять соответствующие меры (например, прекратить рост частоты вращения или даже снизить ее до стабилизации вибрации или возвращения ее параметров к прежним значениям; провести более детальные исследования, в том числе, проверить значения эксплуатационных параметров).

Если измерения при медленном проворачивании ротора невозможны, то поставщиком машины может быть предложен другой способ контроля, которым следует руководствоваться.

В процессе разгона машины может оказаться необходимой задержка на определенной частоте вращения (например, в целях температурной стабилизации ротора). В этом случае необходимо убедиться, что эта частота вращения находится достаточно далеко от какой-либо критической частоты вращения, на которой наблюдается значительный рост вибрации.

Задание пороговых уровней вибрации для разгона, выбега и для работы на повышенных (выше рабочей) частотах вращения зависит от конструктивных особенностей машины и конкретных эксплуатационных требований. Например, для машины с базисной нагрузкой, не предполагающей частых пус-

ков, может быть допустима более высокая вибрация, в то время как для машин, у которых регулярно чередуются режимы работы и ожидания и для которых могут быть заданы определенные временные ограничения на достижение требуемой выходной мощности, уровни допустимой вибрации могут быть снижены. Кроме того, вибрация, наблюдаемая при прохождении ротором машины критических частот вращения во время разгона и выбега, существенно зависит от демпфирования в механической системе и от скорости изменения частоты вращения ротора (вопросы чувствительности машины к дисбалансу рассматриваются в [3]).

Уровни ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ, задаваемые для разгона, выбега и работы на повышенных частотах вращения, отличаются от аналогичного уровня, заданного для работы в установившемся режиме. Обычно эти уровни устанавливают относительно некоторых значений, определенных из наблюдений за работой машины в указанных переходных режимах. Рекомендуется, чтобы уровни ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ превышали эти значения на величину, равную 25 % значения границы между зонами B и C.

В тех случаях, когда данные, основанные на наблюдениях, отсутствуют, уровни ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ для разгона, выбега и работы на повышенной частоте вращения задают:

a) не превышающими значения границы между зонами C и D на рабочей частоте вращения в случае, когда частота вращения составляет не менее 0,9 рабочей частоты вращения;

b) не превышающими более чем в 1,5 раза значения границы между зонами C и D на рабочей частоте вращения в случае, когда частота вращения составляет менее 0,9 рабочей частоты вращения.

Как следует из 4.2.2.4, для подшипников с малым зазором могут быть установлены иные уровни ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ (см. приложение B).

При установлении для разгона и выбега уровня ОСТАНОВ исходят из иных соображений. При нарастании вибрации во время разгона выше допустимого значения предпочтительнее может оказаться не останов, а снижение частоты вращения ротора. При нарастании вибрации во время выбега ротора останов машины имеет мало смысла, поскольку данный режим сам по себе приводит к ее останову. Однако при наличии автоматической системы управления работой машины может оказаться необходимым установить уровень ОСТАНОВ для разгона и выбега. В этом случае для задания данного уровня используют более высокий повышающий коэффициент, чем для задания уровня ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ.

Примечание — При разгоне и выбеге максимальная вибрация обычно наблюдается при прохождении критических частот вращения.

4.2.4.4 Использование повышающего коэффициента

Если работа паровой турбины или генератора контролируется автоматической системой управления, то эта система остановит машину при превышении вибрацией уровня ОСТАНОВ. Чтобы избежать необоснованных остановов машины при ее работе в неустановившихся (переходных) режимах, допускающих более высокую вибрацию, часто используют повышающий коэффициент, автоматически увеличивающий уровни ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ и ОСТАНОВА при работе машины в неустановившемся (переходном) режиме согласно рекомендациям 4.2.4.2 и 4.2.4.3.

Обычно повышающий коэффициент действует при возрастании частоты вращения ротора или при ее уменьшении относительно рабочей частоты вращения (но не при поддержании какой-либо постоянной частоты вращения), а также, при необходимости, на рабочей частоте вращения в начальный период нагружения и в ограниченный промежуток времени, необходимый для достижения температурной стабилизации после скачкообразных существенных изменений нагрузки. Значение повышающего коэффициента может варьироваться от машины к машине и должно задаваться на основе опыта ее безопасной эксплуатации. Более того, исходя из этого опыта возможно задание разных повышающих коэффициентов для разных режимов работы машины.

4.3 Критерий 2 (для изменения значений параметров вибрации)

Данный критерий основан на сравнении изменения контролируемого параметра вибрации относительно предварительно установленного опорного значения для конкретного установившегося режима работы машины. Значительное увеличение или уменьшение вибрации вала может потребовать принятия соответствующих мер даже в случае, когда граница зоны C по критерию 1 еще не достигнута. Такие изменения могут быть быстрыми или постепенно нарастающими во времени и указывают на наличие повреждения, приближающийся отказ или другие отклонения в работе машины. Установившийся режим работы, для которого применяют критерий 2, включает в себя возможные небольшие колебания эксплуатационных параметров, таких как выходная мощность машины, но не включает в себя режим с существенными быстрыми изменениями этих параметров. В последнем случае следует руководствоваться рекомендациями 4.2.4.2.

Критерий 2 следует с осторожностью применять для машин с муфтами сцепления, у которых скачкообразные изменения вибрации являются обычным явлением, связанным с осевым расширением ротора.

Опорным значением для данного критерия является типичное, воспроизводимое значение контролируемого параметра, определенное по предшествующим измерениям для конкретного режима работы. Если изменение параметра существенно (обычно таковым считают изменение более чем на 25 % значения границы между зонами B и C), то необходимо принять меры по выявлению его причин. Эти меры следует принять вне зависимости от того, повысилась вибрация или уменьшилась. Решение по дальнейшим действиям зависит от того, насколько велико изменившееся значение контролируемого параметра и стабилизировалось ли поведение машины после такого изменения. В частности, если вибрация изменяется быстро, то соответствующие меры следует принять незамедлительно, пусть даже эти изменения не достигли вышеуказанного предельного значения. Для подшипников с малым зазором предельные значения следует скорректировать соответствующим образом.

При использовании критерия 2 сравнению подлежат результаты измерений, полученные в одной и той же точке машины и по возможности в одних и тех же рабочих условиях.

Возможности применения критерия 2 несколько ограничены тем, что весьма значительные изменения отдельных составляющих вибрации могут слабо проявлять себя в широкополосном сигнале (см. ГОСТ ИСО 7919-1). Например, рост трещины в роторе может сопровождаться последовательным изменением высших гармоник оборотной частоты, которые, тем не менее, могут остаться незаметными на фоне первой гармоники. Вследствие этого выявление вышеуказанного повреждения по наблюдениям только широкополосной вибрации затруднено. Поэтому, хотя контроль изменения широкополосной вибрации дает некоторую полезную информацию о возможном ухудшении технического состояния машины, во многих случаях он должен быть дополнен оценкой изменений отдельных частотных составляющих с использованием соответствующей измерительной аппаратуры. Сложность такой аппаратуры может существенно превышать ту, что необходима для контроля широкополосной вибрации, а ее применение требует соответствующей квалификации. Критерии для изменений составляющих вибрации в настоящем стандарте не рассматриваются.

4.4 Дополнительные процедуры и критерии

Оценка вибрационного состояния машины по настоящему стандарту может быть дополнена оценкой по результатам измерений вибрации подшипниковой опоры (см. [5]). Однако простого способа рассчитать вибрацию подшипниковой опоры по вибрации вала (и, наоборот, вибрацию вала по вибрации опоры) не существует. Разность между абсолютной и относительной вибрацией вала связана с вибрацией подшипниковой опоры, но, как правило, не равна ей. Это неравенство обусловлено наличием относительной динамической жесткости масляного клина и опорной конструкции на частоте вращения, разными точками измерений вибрации вала и подшипника и влиянием фазовых сдвигов между сигналами вибрации. Таким образом, при совместном применении критериев по настоящему стандарту и по [5] необходимо выполнить независимые измерения вибрации вала и корпуса (опоры) подшипника. В случае, когда применение разных критериев дает разные оценки вибрационного состояния, из них обычно выбирают ту, что устанавливает более жесткие ограничения на возможности эксплуатации машины (если только опыт ее использования не рекомендует иное решение).

4.5 Оценка вибрационного состояния на основе векторного представления информации

Оценки, рассматриваемые в настоящем стандарте, ограничены использованием широкополосной вибрации без учета частотных составляющих или фазовых соотношений. Во многих случаях это соответствует требованиям испытаний при приемке продукции и эксплуатационного контроля. Однако для долговременного контроля или диагностирования желательно использовать информацию о составляющих вибрации в векторной форме для обнаружения и идентификации изменений в динамическом состоянии машины. Такие изменения могут остаться необнаруженными при использовании только измерений широкополосной вибрации [см. [5] (приложение D)].

Анализ соотношений между отдельными частотными составляющими и их фазами находит все большее применение в системах контроля состояния и диагностики. Однако критерии оценки вибрационного состояния на основе изменения векторных составляющих в настоящем стандарте не рассматриваются. Более подробные сведения по данному вопросу приведены в [11] и [12].

Приложение А
(обязательное)

Границы зон состояния

Значения, приведенные в таблицах А.1 и А.2 для относительной и абсолютной вибрации вала соответственно, применяют для сопоставления с ними результатов измерений радиальной вибрации вала внутри или вблизи подшипников, полученных при работе машины в установившемся режиме с рабочей частотой вращения. В ряде случаев особенности конструкции конкретных машин могут потребовать применения других границ зон состояния (см. 4.2.2.4). Например, особое внимание следует уделять тому, чтобы относительная вибрация вала не превышала допустимого зазора в подшипнике (см. приложение В). При измерениях вибрации в других точках машины, а также во время переходных режимов допустимы значения, превышающие указанные в таблицах А.1 и А.2 (см. 4.2.4).

Таблица А.1 — Рекомендуемые значения границ зон вибрационного состояния для относительного перемещения, мкм, валов паровых турбин или генераторов

Граница зон	Частота вращения ротора, $мин^{-1}$			
	1500	1800	3000	3600
A/B	100	95	90	80
B/C	200	185	165	150
C/D	320	290	240	220

Таблица А.2 — Рекомендуемые значения границ зон вибрационного состояния для абсолютного перемещения, мкм, валов паровых турбин или генераторов

Граница зон	Частота вращения ротора, $мин^{-1}$			
	1500	1800	3000	3600
A/B	120	110	100	90
B/C	240	220	200	180
C/D	385	350	300	270

С граничными значениями, приведенными в таблицах А.1 и А.2, сравнивают результаты измерений размаха перемещения вала в заданной плоскости измерений [см. метод В по ГОСТ ИСО 7919-1 (приложение В)]. Если сигналы с пары датчиков, установленных ортогонально друг другу в одной плоскости измерений, используют для получения мгновенного значения перемещения вала S_{max} [см. метод С по ГОСТ ИСО 7919-1 (приложение В)], то значения границ зон должны быть снижены, причем коэффициент уменьшения зависит от формы орбиты движения вала. В качестве общей рекомендации для корректировки значений таблицы А.1 можно использовать коэффициент 1,85.

Примечание — Обычно в качестве приемочных критериев используют значения в пределах зон А или В, но не превышающие значение границы между этими зонами более чем на 25 % (см. 4.2.2.3).

Приложение В
(справочное)

Соотношение между границами зон состояния и зазором в подшипнике

Для машин с гидродинамическими 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 таблице А.1, 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 настоящем приложении приведен типичный пример коррекции границ зон вибрационного состояния.

Предположим, что опорой ротора высокого давления паротурбинного агрегата с рабочей частотой вращения 3000 мин$^{-1}$ служит цилиндрический подшипник диаметром 180 мм с номинальным зазором 0,1 %. В этом случае зазор в подшипнике равен 180 мкм.

Из таблицы А.1 можно получить следующие значения границ зон вибрационного состояния:

A/B 90 мкм;

B/C 165 мкм;

C/D 240 мкм.

При этом значение границы между зонами B и C будет меньше указанного зазора, а значение границы между зонами C и D его превысит. В таких случаях необходима коррекция границ зон вибрационного состояния. Рекомендуется установить новые границы зон в долях зазора в подшипнике, например, следующим образом:

A/B 0,4 зазора, т. е. 72 мкм (округленно 75 мкм);

B/C 0,6 зазора, т. е. 108 мкм (округленно 110 мкм);

C/D 0,7 зазора, т. е. 126 мкм (округленно 130 мкм).

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 потребителем.

В настоящем примере рассматривается случай, когда относительную вибрацию вала измеряют в подшипнике или в непосредственной близости от него. В других точках, где радиальные зазоры больше, могут быть использованы более высокие значения границ зон состояния.

Библиография

[1] ISO 2041, Mechanical vibration, shock and condition monitoring — Vocabulary[1)]

[2] ISO 5348, Mechanical vibration and shock — Mechanical mounting of accelerometers[2)]

[3] ISO 10814, Mechanical vibration — Susceptibility and sensitivity of machines to unbalance[3)]

[4] ISO 10816-1:1995, Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on nonrotating parts — Part 1: General guidelines[4)]

[5] ISO 10816-2:2009, Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on nonrotating parts — Part 2: Land-based steam turbines and generators in excess of 50 MW with normal operating speeds of 1500 r/min, 1800 r/min, 3000 r/min and 3600 r/min[5)]

[6] ISO 10816-3, Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on nonrotating parts — Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15000 r/min when measured in situ[6)]

[7] ISO 10816-4, Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on nonrotating parts — Part 4: Gas turbine sets with fluid-film bearings[7)]

[8] ISO 10816-5, Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on nonrotating parts — Part 5: Machine sets in hydraulic power generating and pumping plants

[9] ISO 10816-7, Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on nonrotating parts — Part 7: Rotodynamic pumps for industrial applications, including measurements on rotating shafts[8)]

[10] ISO 10817-1, Rotating shaft vibration measuring systems — Part 1: Relative and absolute sensing of radial vibration[9)]

[11] ISO 13373-1, Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring — Part 1: General procedures[10)]

[12] ISO 13373-2, Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring — Part 2: Processing, analysis and presentation of vibration data[11)]

---

1) Соответствует ГОСТ Р ИСО 2041—2012 «Вибрация, удар и контроль технического состояния».

2) Соответствует ГОСТ ИСО 5348—2002 «Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров».

3) Соответствует ГОСТ 31186—2002 (ИСО 10814:1996) «Вибрация. Подверженность и чувствительность машин к дисбалансу».

4) Соответствует ГОСТ ИСО 10816-1—97 «Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 1. Общие требования».

5) Соответствует ГОСТ Р 55265.2—2012 (ИСО 10816-2:2009) «Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 2. Стационарные паровые турбины и генераторы мощностью более 50 МВт с рабочими частотами вращения 1500, 1800, 3000 и 3600 мин$^{-1}$».

6) Соответствует ГОСТ ИСО 1086-3—2002 «Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 3. Промышленные машины номинальной мощностью более 15 кВт и номинальной скоростью от 120 до 15000 мин$^{-1}$».

7) Соответствует ГОСТ ИСО 10816-4—2002 «Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 4. Газотурбинные установки».

8) Соответствует ГОСТ Р 55265.7—2012 (ИСО 10816-7—2009) «Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 7. Насосы динамические промышленные».

9) Соответствует ГОСТ ИСО 10817-1—2002 «Вибрация. Системы измерений вибрации вращающихся валов. Часть 1. Устройства для снятия сигналов относительной и абсолютной вибрации».

10) Соответствует ГОСТ Р ИСО 13373-1—2009 «Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 1. Общие методы».

11) Соответствует ГОСТ Р ИСО 13373-2—2009 «Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 2. Обработка, анализ и представление результатов измерений вибрации».

УДК 534.322.3.08:006.354 ОКС 17.160
27.040
29.160.40 Т34

Ключевые слова: паровая турбина, генератор, контроль состояния, вибрация, скорость, перемещение, ускорение

Редактор *Б.Н. Колесов*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Сдано в набор 21.03.2014. Подписано в печать 31.03.2014. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,48. Тираж 88 экз. Зак. 580.

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.

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

gost.e-ecolog.ru