ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 20816-9— 2023

Вибрация

ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ И ОЦЕНКА ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ МАШИН

Часть 9

Зубчатые редукторы

(ISO 20816-9:2020, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2024

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Обществом с ограниченной ответственностью «Электронные технологии и метрологические системы» (ООО «ЭТМС») и Закрытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (ЗАО «НИЦ КД») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

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

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 декабря 2023 г. № 1661-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 20816-9:2020 «Вибрация. Измерения вибрации и оценка вибрационного состояния машин. Часть 9. Зубчатые редукторы» (ISO 20816-9:2020 «Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 9: Gear units», IDT).

ИСО 20816-9:2022 разработан Техническим комитетом ТК 108 «Вибрация, удар и контроль состояния», подкомитетом ПК 2 «Измерения и оценка вибрации и ударов применительно к машинам, транспортным средствам и сооружениям» Международной организации по стандартизации (ИСО).

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

5 ВЗАМЕН ГОСТ Р ИСО 8579-2—99

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

© ISO, 2020
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2024

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

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 2
3 Термины и определения 2
4 Общие принципы измерений и оценки вибрации 2
4.1 Условия работы редуктора 2
4.2 Влияние системы на вибрацию редуктора 2
4.3 Два способа измерений вибрации 2
5 Средства измерений 3
5.1 Типы средств измерений 3
5.2 Диапазон частот измерений 3
5.3 Инструментальная погрешность 3
5.4 Подтверждение характеристик измерительной цепи 3
6 Измерения вибрации 4
6.1 Измерения вибрации вала 4
6.2 Измерения вибрации корпуса 4
6.3 Единицы измерений 4
7 Испытания 5
7.1 Общие положения 5
7.2 Виды испытаний 5
7.3 Условия испытаний 5
8 Критерии оценки вибрационного состояния 5
8.1 Общие положения 5
8.2 Зоны вибрационного состояния 6
8.3 Критерии приемки 6
8.4 Границы зон вибрационного состояния 6
8.5 Классификация редукторов по их типу 8
9 Протокол испытаний 8
9.1 Общие положения 8
9.2 Изготовитель 8
9.3 Условия испытаний 9
9.4 Описание установки 9
9.5 Средства измерений 9
9.6 Результаты измерений 9
9.7 Результаты приемочных испытаний 9
Приложение А (рекомендуемое) Предельные кривые для классов по перемещению и скорости 10
Приложение В (справочное) Факторы, влияющие на вибрацию редуктора 14
Приложение С (справочное) Средства измерений 15
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным и межгосударственным стандартам 17
Библиография 18

Введение

Общие требования к контролю вибрационного состояния машин разных видов по измерениям вибрации на вращающихся и невращающихся частях установлены в [6].

Настоящий стандарт устанавливает специальное руководство по оценке вибрации понижающих и повышающих редукторов, выполненных в виде отдельных механизмов в собственном корпусе. Оно может быть использовано при приемочных испытаниях данных механизмов, при заключении соглашений на их поставку, а также в ходе контроля работы механизмов на месте их применения.

Руководство распространяется на оценку вибрации в установившемся режиме работы редуктора и не распространяется на его работу в переходных режимах.

Установленные стандартом критерии оценки вибрационного состояния основаны на измерениях широкополосной вибрации. По мере совершенствования технологий контроля все более широкое применение находят измерения в узких полосах частот и спектральный анализ сигналов, в первую очередь в целях контроля состояния и диагностирования, однако критерии на основе таких измерений в настоящем стандарте не рассматриваются (см. [3]).

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Вибрация

ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ И ОЦЕНКА ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ МАШИН

Часть 9

Зубчатые редукторы

Mechanical vibration. Measurement and evaluation of machine vibration. Part 9. Gear units

Дата введения — 2025—03—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает методы оценки вибрационного состояния повышающих и понижающих зубчатых передач, выполненных в виде отдельных механизмов в собственном герметичном корпусе (редукторов), на основе измерений вибрации на корпусах (подшипников, редуктора) и валах, включая критерии приемки.

Настоящий стандарт не распространяется на измерения и оценку крутильных колебаний валов редуктора.

Оценка вибрационного состояния в соответствии с настоящим стандартом осуществляется в ходе приемочных испытаний на стенде изготовителя в заданных режимах работы (частот вращений валов, нагрузок, температур, условий смазки), соответствующих назначению редуктора. По согласованию между поставщиком и заказчиком оценка вибрационного состояния может быть проведена на месте установки редуктора и в условиях его применения.

Настоящий стандарт распространяется на редукторы номинальной мощностью от 10 кВт до 100 МВт и номинальными частотами вращения валов от 30 до 12 000 мин$^{-1}$ (от 0,5 до 200 Гц).

Настоящий стандарт не распространяется на зубчатые передачи в составе специальных или вспомогательных механизмов привода, например на встроенные приводы компрессоров, насосов, турбин и т. д., а также на зубчатые муфты сцепления, используемые в турбогенераторах с комбинированным циклом, и механизмы отбора мощности.

Установленные стандартом критерии вибрационного состояния применяют в отношении подшипников всех валов редуктора: входного, выходного и промежуточных. Они не предназначены для оценки технического состояния редуктора, которая требует применения специальных методов, не рассматриваемых в настоящем стандарте.

Для оценки вибрационного состояния редуктора применяют измерения вибрации в нормальном установившемся режиме работы:

a) на корпусах и опорах опорных подшипников в радиальном направлении;

b) корпусах упорных подшипников в осевом направлении;

c) валах в опорных подшипниках или в непосредственной близости от них в радиальном направлении;

d) корпусе редуктора.

Примечание — Вибрация в переходных режимах работы, таких как разгон и выбег, начальное нагружение и снятие нагрузки, в настоящем стандарте не рассматривается.

Издание официальное

2 Нормативные ссылки

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

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

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

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

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применяют термины и определения по ИСО 2041, а также следующий термин с соответствующим определением.

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

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

3.1 **(зубчатый) редуктор** (gear unit): Отдельный механизм, предназначенный для передачи вращения с входного на выходной вал, в состав которого входит по крайней мере одна зубчатая передача.

4 Общие принципы измерений и оценки вибрации

4.1 Условия работы редуктора

При испытаниях на стенде завода-изготовителя следует создать условия испытаний, влияние которых на вибрацию испытуемого редуктора было бы минимальным (см. приложение В). При испытаниях на месте применения редуктора тот соединен с приводом и приводным устройством, которые, наряду с другими факторами, такими как условия установки, могут влиять на вибрацию редуктора. Измерения и оценку вибрации привода и приводного устройства (машины) выполняют в соответствии со стандартами на данный вид оборудования.

4.2 Влияние системы на вибрацию редуктора

Вибрация редуктора на месте применения может возрастать из-за влияния ряда факторов (см. приложение В). Поэтому целесообразно на самой начальной стадии проектирования оценивать вибрацию всей системы (машинного агрегата), в составе которой работает редуктор, и ее влияние на вибрацию редуктора. Работы по оцениванию должны быть распределены между заинтересованными сторонами.

4.3 Два способа измерений вибрации

Известны два способа оценить вибрацию машины — через вибрацию корпуса или вибрацию вала. Измерения вибрации корпуса предпочтительны для редукторов с подшипниками качения, когда зазор в подшипниках и относительные перемещения вала относительно корпуса малы.

Для механизмов с подшипниками скольжения применяют измерения вибрации как корпуса, так и вала. Измерение вибрации вала позволяет получить информацию, которую трудно получить при измерении только вибрации корпуса, но в ограниченном диапазоне частот (обычно от 0 до 500 Гц).

Выбор средств измерений должен соответствовать способу измерения вибрации, виду редуктора и условиям его работы (см. приложение С). Для определения абсолютной вибрации вала применяют сочетание систем измерений вибрации вала и корпуса.

Если условия приемочных испытаний существенно отличаются от условий применения редуктора в составе системы, это необходимо принимать во внимание при оценке результатов измерений вибрации, полученных во время этих испытаний.

5 Средства измерений

5.1 Типы средств измерений

5.1.1 Общие требования

Средства измерений вибрации должны обеспечивать получение контролируемых параметров широкополосной вибрации, выраженных в единицах перемещения, скорости или ускорения, в заданном диапазоне частот измерений (см. 5.2).

Следует свести к минимуму влияние на результаты измерений:

- изменений температуры окружающего воздуха и объекта измерений;
- электромагнитных полей;
- чистоты обработки поверхности, вибрацию которой измеряют;
- изменений питания;
- длины сигнальных кабелей;
- ориентации преобразователей вибрации.

Особое внимание следует уделять правильной установке преобразователей вибрации, чтобы она не ухудшала точность измерений. Средства измерений вибрации корпуса должны удовлетворять требованиям ИСО 2954, средства измерений вибрации вала — ИСО 10817-1. Желательно, чтобы средства измерений предусматривали возможность анализа сигналов во временной и частотной областях.

5.1.2 Средства измерений вибрации вала

Для измерений вибрации вала рекомендуется использовать датчик бесконтактного типа.

Измерительная система должна обеспечивать измерение размаха или пикового значения перемещения.

Примечание — Датчики контактного типа для измерений вибрации вала постепенно выходят из употребления, но при их наличии могут быть использованы при условии, что частота вращения вала менее 3000 мин$^{-1}$, частота сигнала менее 200 Гц, скорость движения поверхности вала в месте ее контакта с датчиком менее 30 м/с.

5.1.3 Средства измерений вибрации корпуса

Для измерений вибрации корпуса рекомендуется использовать датчик инерционного типа (акселерометр или велосиметр). Измерительная система должна обеспечивать получение среднеквадратичных значений скорости, мм/с, и пиковых значений ускорения, м/с^2. Частотная характеристика преобразователя вибрации зависит от способа его крепления, поэтому предпочтительно устанавливать преобразователь на шпильку, на клей или с помощью болтового соединения. Допускается крепление на магните, если частота зубчатого зацепления не превышает 2000 Гц. Измерения с помощью ручного щупа для целей оценки вибрационного состояния в приемочных испытаниях не применяют.

Примечание — Подробнее о креплении преобразователей вибрации см. [1] и ИСО 13373-1 (см. [3]).

5.2 Диапазон частот измерений

Средства измерений должны обеспечивать выполнение измерений в диапазоне частот, нижняя граница которого равна половине минимальной частоты вращения вала, а верхняя граница не менее чем в 3,5 раза превышает максимальную частоту зацепления зубьев.

Диапазон частот измерений перемещения вала — от 2 до по крайней мере 500 Гц. Диапазон частот измерений скорости вибрации на корпусе — от 10 до по крайней мере 2000 Гц. Диапазон измерений ускорения вибрации на корпусе — от 10 до 5000 Гц. Если какая-либо значительная гармоника частоты вращения или зубчатого зацепления выходит за пределы указанных диапазонов, то диапазон частот измерений может быть уточнен по согласованию между изготовителем редуктора и заказчиком.

5.3 Инструментальная погрешность

Погрешность показаний значения контролируемого параметра сигнала для измерительной цепи, включающей преобразователь вибрации, не должна превышать ±10 % во всем диапазоне частот измерений.

Примечание — Рекомендации по выбору преобразователя вибрации приведены в ИСО 13373-1 см. [3]).

5.4 Подтверждение характеристик измерительной цепи

При проведении приемочных испытаний измерительную цепь необходимо проверять с применением опорного сигнала вибрации до и после каждой серии измерений.

Средства измерений, применяемые для оценивания вибрации редуктора на месте его применения, должны проходить периодическую поверку в соответствии с указаниями изготовителя. Обычно свидетельство о поверке может выдаваться на срок от одного года до пяти лет.

Примечание 1 — Калибровка преобразователя вибрации методом сравнения — см. [4].

Примечание 2 — Калибровка преобразователя вибрации на месте его применения — см. [5].

6 Измерения вибрации

6.1 Измерения вибрации вала

Перемещения вала в радиальном направлении измеряют внутри или вблизи подшипника скольжения относительно его корпуса с помощью пары бесконтактных датчиков с ортогональным расположением осей чувствительности. Для упорных подшипников вибрация вала может быть измерена также в осевом направлении. Число датчиков и места их установки должны быть согласованы между изготовителем и заказчиком. Руководство по установке бесконтактного датчика вибрации приведено в ИСО 10817-1.

Прежде чем испытывать редуктор на номинальной частоте вращения, рекомендуется выполнить измерения перемещения при проворачивании вала с малой скоростью. Это возможно, если измерительная система способна выполнять измерения низкочастотной вибрации (например, на частотах менее 5 Гц). Такие измерения обычно не позволяют оценить биение вала на рабочих частотах вращения, поскольку на их результаты могут повлиять, например, наличие остаточного прогиба вала, нерегулярные движения цапф вала в зазоре подшипника или движения вала в осевом направлении. Поэтому внесение поправки на биение вала вычитанием из перемещения, полученного на рабочей частоте, перемещения, полученного при медленном проворачивании вала, можно выполнять только после детального анализа влияния перечисленных факторов.

Совокупные механические и электрические биения не должны превышать большего из следующих значений: 25 % допустимого перемещения на частоте вращения вала или 6 мкм.

6.2 Измерения вибрации корпуса

Вибрацию корпуса следует измерять на подшипнике или участке корпуса, жестко с ним связанном. Измерения необходимо проводить в трех взаимно перпендикулярных направлениях, два из которых лежат в плоскости, перпендикулярной оси вращения вала. Если зона действия нагрузки подшипника известна, предпочтительно выбирать одно из радиальных направлений совпадающим с направлением на эту зону. В противном случае измерения проводят в горизонтальном, вертикальном и осевом направлениях. Измерения в осевом направлении могут давать дополнительную информацию о возможных неисправностях, таких как несоосность или дисбаланс зубчатых колес.

Рекомендуется проводить измерения на всех подшипниках, к которым имеется доступ. Если доступ отсутствует, то можно использовать точку на корпусе, расположенную как можно ближе к данному подшипнику с учетом свойств пути распространения вибрации от подшипника к этой точке. Число преобразователей вибрации и места их установки должны быть согласованы между изготовителем и заказчиком.

6.3 Единицы измерений

Предпочтительные единицы измерений приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Единицы измерений

Величина	Единица измерений
Перемещение (размах)	мкм
Скорость (среднеквадратичное значение)	мм/с
Ускорение (пиковое значение)	$м/с^2$
Частота	Гц

7 Испытания

7.1 Общие положения

Измерения вибрации редуктора проводят:

a) на стенде изготовителя в процессе разработки продукции;

b) в ходе приемочных испытаний;

c) на месте применения оборудования, в состав которого входит редуктор.

Каждый из перечисленных видов испытаний предъявляет свои требования к их выполнению. Методы измерений и критерии оценки вибрационного состояния должны быть согласованы между изготовителем и заказчиком на возможно более ранней стадии.

7.2 Виды испытаний

7.2.1 Испытания на стенде изготовителя

Способ привода редуктора во время таких испытаний должен быть определен изготовителем, если иное не предусмотрено его соглашением с заказчиком.

Соединения редуктора с приводом и устройством нагружения должны быть такими же, как и в условиях применения. Если это невозможно, то по крайней мере такими же должны быть консольные массы со стороны привода и нагрузки. Для стабилизации работы редуктора его испытания могут проводиться без нагрузки или с малой нагрузкой, или в соответствии с 7.3.

7.2.2 Приемочные испытания

Приемочные испытания должны быть выполнены для редуктора в составе оборудования, с которым он будет применен, в конфигурации, согласованной между изготовителем и заказчиком.

7.2.3 Контроль на месте применения оборудования

Измерения выполняют для конфигурации редуктора в составе оборудования, согласованной между изготовителем и заказчиком.

7.3 Условия испытаний

Если иное не согласовано между изготовителем и заказчиком, то испытания должны быть проведены с соблюдением следующих условий:

a) испытания проводят на номинальной частоте вращения редуктора, а если его конструкция предполагает работу в некотором диапазоне частот вращения — то на минимальной, максимальной и средней частоте диапазона;

b) направление вращения вала должно соответствовать назначению редуктора, а в случае обратимого редуктора испытания проводят для каждого направления вращения отдельно;

c) нагрузка редуктора должна быть в заданном диапазоне нагрузок;

d) при испытаниях используют ту же систему смазки редуктора, что будет применяться в рабочих условиях, со смазкой заданного типа и вязкости;

e) температура редуктора во время испытаний должна находиться в заданном диапазоне.

8 Критерии оценки вибрационного состояния

8.1 Общие положения

Критерии оценки вибрационного состояния применяют к вибрации, измеренной в установившемся режиме работы редуктора на номинальной частоте вращения с номинальной нагрузкой, допускающем медленные изменения выходной мощности. Числовые значения критериев могут служить руководством, позволяющим избежать чрезмерно завышенных и нереалистичных требований к вибрации редуктора, и быть использованы в качестве основы для приемочных критериев.

Значения критериев определены, исходя из накопленного опыта наблюдений за вибрацией механизмов данного типа. Предполагается, что оценивание вибрации на основе предложенных критериев будет способствовать долговременной надежной работе редукторов.

Установленные критерии распространяются на вибрацию, производимую самим редуктором, и не учитывают вибрацию, передаваемую на редуктор извне. Если есть основания предполагать, что в вибрацию редуктора значительный вклад дают сторонние источники (стационарные или нестационарные), то измерения следует повторить при неработающем редукторе, чтобы подтвердить или опровер-

гнуть данное предположение. Если передаваемая извне вибрация слишком высока, то следует принять меры, обеспечивающие проведение оценки вибрационного состояния при малом вкладе сторонних источников.

8.2 Зоны вибрационного состояния

Оценка вибрации заключается в сопоставлении максимального из абсолютных значений контролируемых параметров по всем точкам и направлениям измерений с границами четырех зон вибрационного состояния.

Зоны вибрационного состояния предназначены для качественной оценки вибрации машины в установившемся режиме работы на номинальной частоте вращения и принятия решения о необходимых мерах.

Зона A — в эту зону попадают, как правило, новые машины, только что введенные в эксплуатацию.

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

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

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

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

Примечание 2 — Рекомендации по установлению предельных уровней вибрации вида ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ и ОСТАНОВ приведены в [6].

8.3 Критерии приемки

Критерии приемки всегда являются предметом соглашения между поставщиком и заказчиком, которое должно быть достигнуто, по возможности, на максимально ранней стадии выполняемых работ по договору.

Зоны вибрационного состояния могут служить основой такого соглашения при приемке новых или восстановленных машин, но численные значения границ этих зон не предназначены для непосредственного использования в качестве критериев приемки. Исходя из исторического опыта, обычно критерий приемки для новых машин устанавливают в пределах зоны A или B, но, как правило, не выше значения границы между этими зонами, умноженного на 1,25. При этом машинам разной конструкции с учетом опыта их применения могут быть назначены разные критерии.

Приемочные испытания проводят в течение заранее согласованного времени при условиях работы с заданными характеристиками, такими как нагрузка, температура, смазка. Для машин, поступивших после технического обслуживания или ремонта, учитывают характер выполненных сервисных услуг и предшествующее вибрационное поведение машины.

8.4 Границы зон вибрационного состояния

Таблицы 2—4 определяют классификацию редукторов по производимой ими вибрации с указанием границ зон вибрационного состояния для каждого класса.

Таблица 2 — Границы зон вибрационного состояния, определяемого через перемещения вала

Класс по перемещению (DR)	Границы зон вибрационного состояния, определенные через размах относительного перемещения вала, мкм		
	A/B	B/C	C/D
31,5	20,0	31,5	50,0
50,0	31,5	50,0	80,0
80,0	50,0	80,0	125,0

Окончание таблицы 2

Класс по перемещению (DR)	Границы зон вибрационного состояния, определенные через размах относительного перемещения вала, мкм		
	A/B	B/C	C/D
125,0	80,0	125,0	200,0
200,0	125,0	200,0	315,0
Примечание — Классификация редукторов по производимой вибрации (определение класса по перемещению) описана в приложении А (см. рисунок А.1).			

Таблица 3 — Границы зон вибрационного состояния, определяемого через скорость вибрации корпуса

Класс по скорости (VR)	Границы зон вибрационного состояния, определенные через среднеквадратичное значение скорости вибрации корпуса, мм/с		
	A/B	B/C	C/D
3,15	2,0	3,15	5,0
5,0	3,15	5,0	8,0
8,0	5,0	8,0	12,5
12,5	8,0	12,5	20,0
20,0	12,5	20,0	31,5
Примечание — Классификация редукторов по производимой вибрации (определение класса по скорости) описана в приложении А (см. рисунок А.2).			

Таблица 4 — Границы зон вибрационного состояния, определяемого через ускорение вибрации корпуса

Класс по ускорению (AR)	Границы зон вибрационного состояния, определенные через пиковое значение ускорения вибрации корпуса, м/с^2		
	A/B	B/C	C/D
5,0	3,15	5,0	8,0
8,0	5,0	8,0	12,5
12,5	8,0	12,5	20,0
20,0	12,5	20,0	31,5
31,5	20,0	31,5	50,0
50,0	31,5	50,0	80,0
80,0	50,0	80,0	125,0
125,0	80,0	125,0	200,0
200,0	125,0	200,0	315,0
Примечание — Классификация редукторов по производимой вибрации (определение класса по ускорению) получена из соответствующих кривых VR (см. рисунок А.2).			

Границы зон вибрационного состояния установлены для вибрации редукторов в установившемся режиме работы на номинальной частоте вращения. Числовые значения границ зон были получены на основе представительных данных от изготовителей и пользователей оборудования.

В большинстве случаев приведенные значения границ согласованы с приемлемыми динамическими нагрузками, передаваемыми на подшипники и фундамент, а также с допустимыми зазорами в соединениях. Однако в некоторых случаях особенности конструкции редуктора или имеющийся опыт

применения механизмов схожего вида могут потребовать изменения границ зон (в большую или меньшую сторону). Например, обычно не допускают, чтобы относительные перемещения вала превышали 70 % номинального зазора в подшипнике.

Примечание — В таблицах 2 и 3 показаны классы вибрации по перемещению и скорости в соответствии с рисунками А.1 и А.2. Аналогичные классы по ускорению ранее не применялись. В настоящем стандарте они построены на основе рисунка А.2 преобразованием среднеквадратичного значения скорости в пиковое значение ускорения на частоте 280 Гц.

В зависимости от мощности и применения редуктора, а также при выборе других точек измерений или измерений в переходных режимах работы возможны более высокие значения вибрации. В приложении А приведен пример ориентировочной интерпретации границ зон вибрационного состояния с учетом типа и мощности редуктора.

8.5 Классификация редукторов по их типу

Таблица 5 показывает ориентировочную (неполную) классификацию редукторов по их типу (назначению), а также связь этой классификации с классами редукторов по производимой вибрации.

Класс редуктора может быть согласован между изготовителем и заказчиком на основе опыта применения.

9 Протокол испытаний

9.1 Общие положения

Протокол испытаний должен включать в себя ссылку на настоящий стандарт, сведения по 9.2—9.7, а также все наблюдавшиеся отклонения от обычной практики оценивания вибрационного состояния.

9.2 Изготовитель

Указывают тип и характеристики редуктора.

Таблица 5 — Классификация редукторов по их типу (назначению)

Класс	Подкласс	Примеры	Мощность	Класс по вибрации		
				DR	VR	AR
I	a)	Специального назначения, с косозубыми колесами (обычными или шевронными) высокой точности зацепления, одно- или двухступенчатые, повышающие или понижающие, с параллельными валами	Любая	31,5	3,15	50,0
	b)	Промышленного назначения, для морских судов и т. п. [a]	Малая	31,5	3,15	[b]
			Большая	50,0	5,0	[b]
II	a)	Общего назначения, одно- или многоступенчатые, с параллельными валами или конической/гипоидной передачей	Любая	50,0	5,0	80,0
	b)	Высокоскоростные (свыше 3600 мин$^{-1}$). Промышленного назначения, для морских судов и т. п. [a]	Малая	50,0	5,0	[b]
			Большая	80,0	8,0	[b]
III	a)	Общего назначения, одно- или двухступенчатые понижающие, включая планетарную передачу	Любая	80,0	8,0	125,0
	b)	Промышленного назначения, для морских судов и т. п. [a]	Малая	80,0	8,0	[b]
			Большая	125,0	12,5	[b]

Окончание таблицы 5

Класс	Подкласс	Примеры	Мощность	Класс по вибрации		
				DR	VR	AR
IV	a)	Общего назначения, одно- или многоступенчатые понижающие с прямозубыми колесами (в каландрах, экструдерах и т. п.)	Любая	125,0	20,0	125,0
	b)	В прокатных станах и т. п. Промышленного назначения, для морских судов и т. п. [a]	Малая	125,0	12,5	[b]
			Большая	200,0	20,0	[b]

[a] См. рисунок А.3.

[b] Данные отсутствуют.

9.3 Условия испытаний

Указывают все условия испытаний, включая способ установки, привода и нагружения редуктора, характеристики подшипниковых опор.

Особо отмечают отклонения от условий испытаний по 7.3.

9.4 Описание установки

Описывают положение и направление осей всех точек измерений в соответствии с 6.1 и 6.2 с приложением чертежа и указанием всех размеров.

9.5 Средства измерений

Приводят перечень всего используемого в процессе испытаний измерительного оборудования с указанием типа и изготовителя.

9.6 Результаты измерений

Приводят результаты измерений для каждой измерительной точки, включая

a) значения интегральных характеристик вибрации (см. А.2.3);
b) основные частотные составляющие вибрации и их амплитуды;
c) узкополосный спектр вибрации;
d) временные реализации сигналов вибрации.

Флуктуирующие показания должны быть усреднены.

9.7 Результаты приемочных испытаний

Протокол приемочных испытаний должен включать в себя:

a) место проведения испытаний;
b) дату проведения испытаний;
c) имя, должность и квалификацию сотрудников, проводивших испытания;
d) подпись ответственного лица.

Приложение А
(рекомендуемое)

Предельные кривые для классов по перемещению и скорости

А.1 Общие положения

На рисунках А.1 и А.2 в графическом виде представлены классы вибрации редукторов по перемещению вала и скорости на корпусе, которые дают общую основу для оценивания вибрационного состояния. По согласованию между изготовителем и заказчиком на возможно более ранней стадии выполнения договора выбирают класс вибрации из представленных на рисунках кривых. Решение о приемке может быть принято на основе одного критерия для вибрации всего редуктора или по нескольким критериям для отдельных валов или точек измерений.

Пример выбора класса по вибрации на основе информации о классе редуктора приведен в А.3.

А.2 Предельные кривые разных классов по вибрации

А.2.1 Общие положения

Частотно зависимые предельные кривые классов вибрации (рисунки А.1 и А.2) построены для составляющих вибрации в узких полосах частот. При наличии составляющих на разных частотах вибрацию считают допустимой, если ни одна из таких составляющих не превышает границу, определяемую соответствующей кривой. Применение данного критерия требует наличия оборудования для частотного анализа вибрации. Предполагается, что вибрация редукторов имеет преимущественно линейчатый спектр, и применяемое оборудование должно обеспечить разрешение, достаточное для выделения значимых линий спектра.

А.2.2 Инструментальные настройки

Изменение в настройках оборудования, например БПФ-анализатора, может привести к разным результатам оценки вибрации. Это зависит от частоты выборки, числа выборок, максимальной частоты анализируемого сигнала и шумового пьедестала в сигнале вибрации. Сравнение между разными результатами измерений возможно только в том случае, если они были выполнены для одних и тех же настроек оборудования.

А.2.3 Интегральные характеристики

При отсутствии возможности получить спектр вибрации, ее оценку можно выполнить одним из следующих способов:

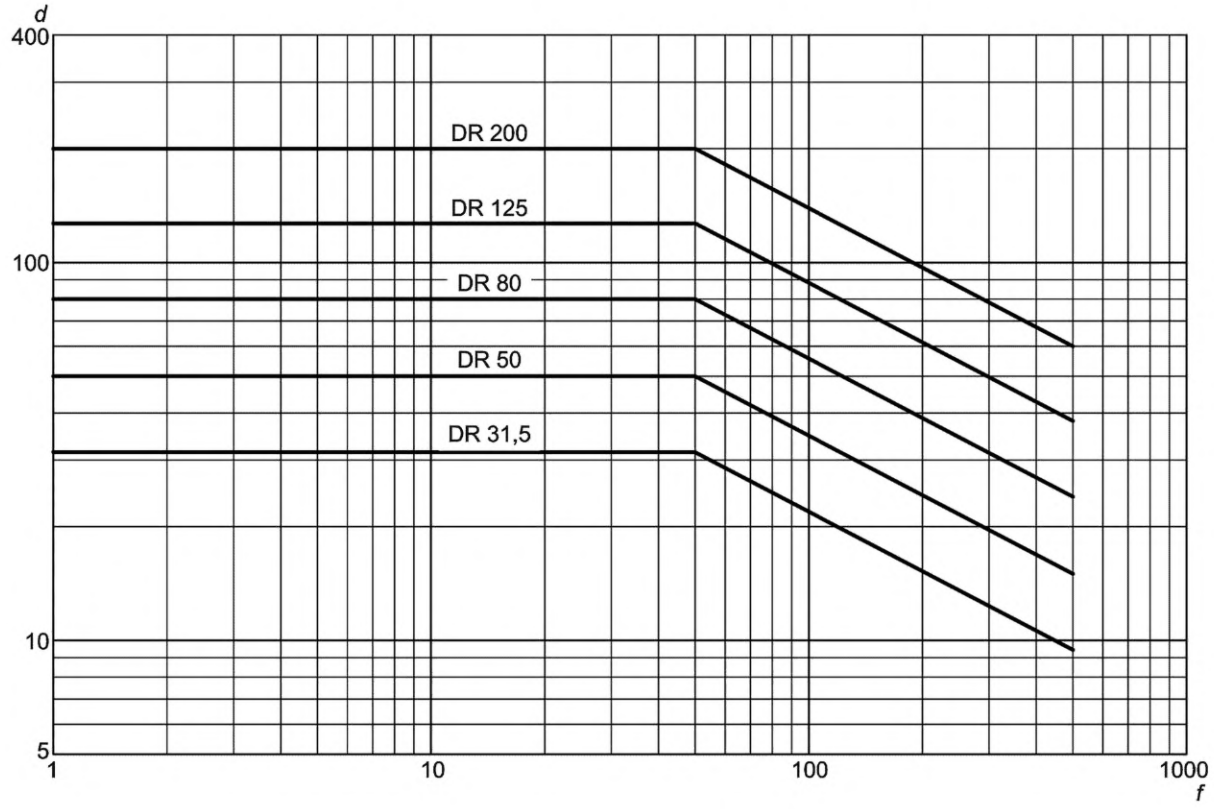
a) вибрацию считают допустимой, если среднеквадратичное значение скорости широкополосной вибрации не превышает значение предельной кривой для данного класса (см. рисунок А.2);

b) перемещение вала сопоставляют с предельным значением из рисунка А.1 для частоты, равной частоте вращения вала.

Примечание — Сопоставление с предельными кривыми, показанными на рисунках А.1 и А.2, интегральных характеристик вместо соответствующих характеристик в узких полосах частот предъявляет более жесткие требования к допустимой вибрации, если только измеряемая вибрация не сосредоточена преимущественно в одной или двух спектральных составляющих.

А.2.4 Классы по перемещению

Классы по перемещению установлены для размаха перемещения вала в узких полосах частот в соответствии с рисунком А.1. Класс по перемещению для данной точки и направления измерений определяется по кривой с минимальным значением из всех, превышающих значения указанных контролируемых параметров. Общий класс по перемещению для данного редуктора определяется как класс с максимальным значением по всем точкам и направлениям измерений.



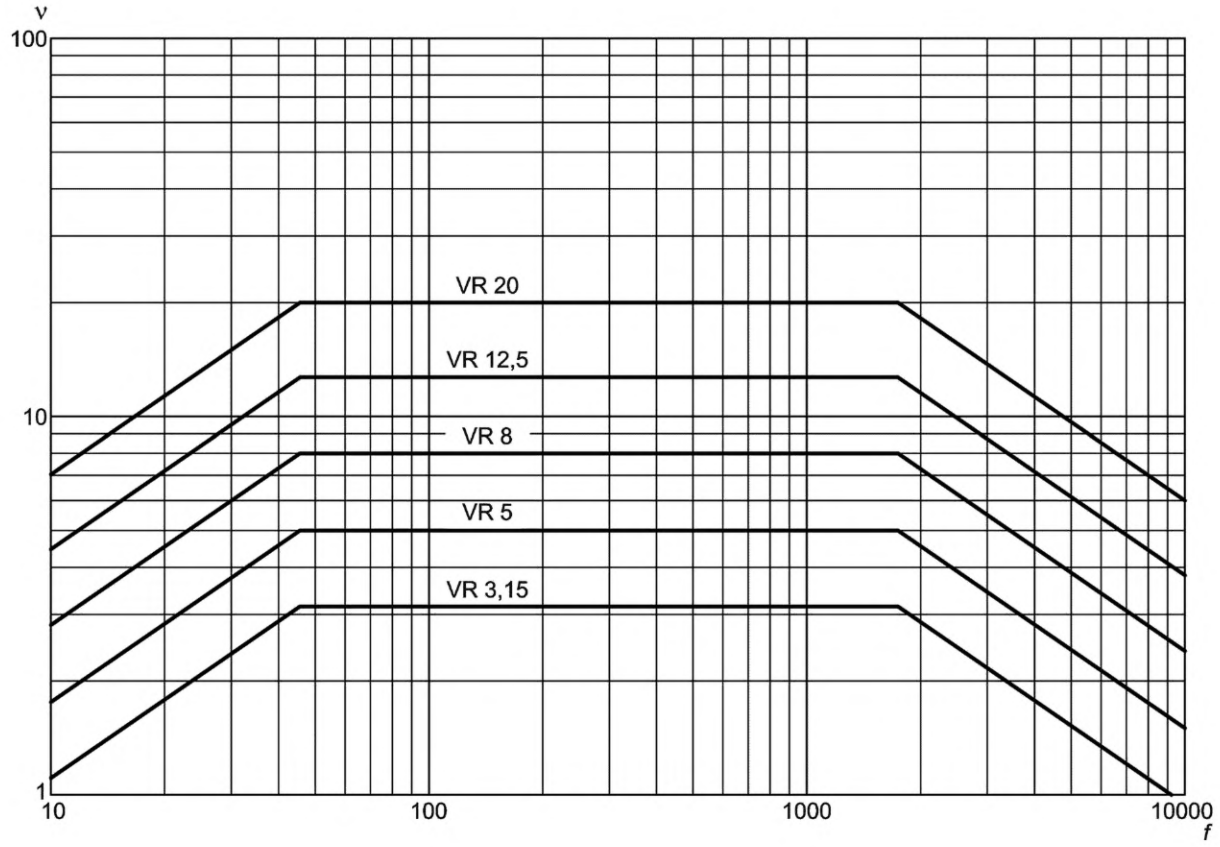
f — частота, Гц; *d* — размах перемещения, мкм; DR — класс по перемещению

Примечание — Класс по перемещению DR соответствует значению предельной кривой на частотах до 50 Гц. Выше этой частоты предельная кривая спадает со скоростью 10 дБ на октаву.

Рисунок А.1 — Предельные кривые для классов по перемещению

А.2.5 Классы по скорости

Классы по скорости установлены для среднеквадратичных значений скорости вибрации корпуса в узких полосах частот в соответствии с рисунком А.2. Класс по скорости для данной точки и направления измерений определяется по кривой с минимальным значением из всех, превышающих значения указанных контролируемых параметров. Общий класс по скорости для данного редуктора определяется как класс с максимальным значением по всем точкам и направлениям измерений.



f — частота, Гц; *v* — среднеквадратичное значение скорости, мм/с; VR — класс по скорости

Примечание — Класс по скорости VR соответствует значению предельной кривой на частотах от 45 до 1590 Гц. Выше и ниже этих частот предельная кривая спадает со скоростью 14 дБ на октаву.

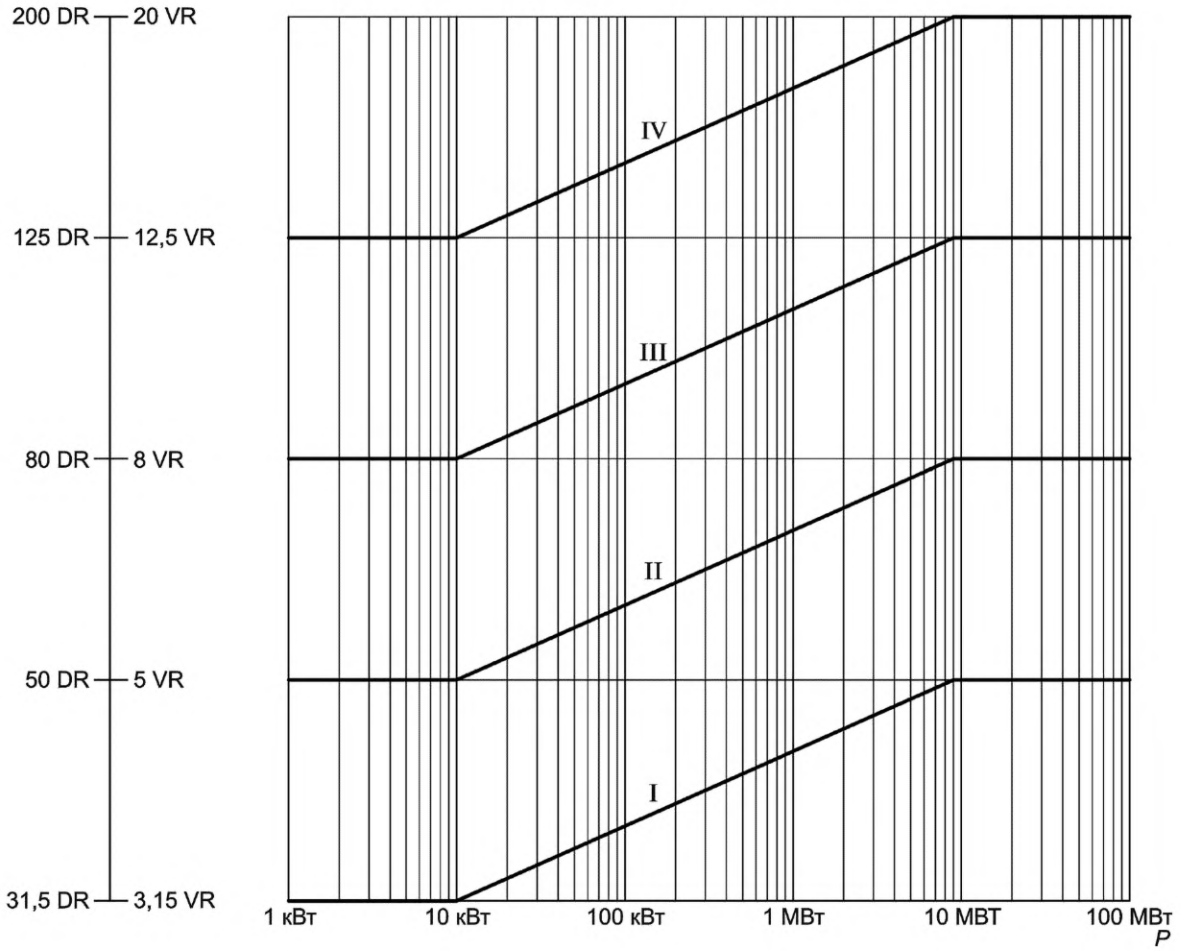
Рисунок А.2 — Предельные кривые для классов по скорости

А.3 Ориентировочное определение класса вибрации по типу редуктора

А.3.1 Общие положения

Вибрация редуктора зависит от его конструкции, размера и назначения. Вибрация, допустимая для крупного низкооборотного редуктора прокатного стана может оказаться чрезмерно высокой для высокоскоростного привода или редуктора, предназначенного для применения на морских судах. И, наоборот, попытка снизить вибрацию редуктора прокатного стана до значений, характерных для высокоскоростного привода с высокой точностью зацепления может потребовать несоразмерно больших затрат. Поэтому выбор класса вибрации для задания критериев приемочных испытаний должен быть надлежащим образом обоснован.

На рисунке А.3 показано приблизительное соответствие класса вибрации разным классам редукторов, различающимся по типу и мощности.



P — мощность; DR — класс по перемещению; VR — класс по скорости

Примечание — Классы редукторов I—IV — в соответствии с таблицей 5.

Рисунок А.3 — Сопоставление классов вибрации классам редукторов по их типу

А.3.2 Пример

В настоящем примере рассматривается определение допустимой вибрации редуктора общего назначения в целях приемочных испытаний на стенде завода-изготовителя.

Испытуемый редуктор промышленного назначения спроектирован для передачи мощности 3700 кВт при максимальной скорости вращения вала 1500 мин$^{-1}$. Требуемый класс вибрации был выбран следующим образом.

Согласно рисунку А.3 точка пересечения заданной мощности 3700 кВт (3,7 МВт) с кривой, соответствующей классу редуктора III, лежит чуть ниже уровня, соответствующего классу вибрации DR 125/VR 12,5. Экономически обоснованным будет выбор в качестве приемочного критерия DR 125 и/или VR 12,5. Однако из соображений обеспечения некоторого запаса по вибрации в целях приемочных испытаний целесообразно выбрать классы DR 80 и/или VR 8.

Приложение В
(справочное)

Факторы, влияющие на вибрацию редуктора

В.1 Общие положения

Вибрация редуктора, помимо созданной самим редуктором, включает в себя также вибрацию, переданную извне. Результаты измерений будут зависеть от того, насколько сильно усиливается или ослабляется вибрация от сторонних источников на пути своего распространения к точке измерений. В настоящем приложении указан ряд факторов, которые следует принимать во внимание при оценке вибрационного состояния редуктора.

В.2 Типичные факторы, влияющие на вибрацию редуктора

В.2.1 Общие положения

Рассматриваемые факторы, помимо того, что они влияют на результат измерений вибрации во время приемочных испытаний, могут также влиять на вибрацию редуктора на месте его применения в составе некоторой системы (машинного агрегата). Изготовитель не может нести ответственность за влияние этих факторов на месте применения редуктора за исключением случаев, когда их рассмотрение и учет предусмотрен на начальной стадии проектирования.

В.2.2 Привод

a) Двигатель внутреннего сгорания в качестве привода.
b) Гидравлический двигатель в качестве привода.

В.2.3 Изменяющаяся нагрузка

a) Изменение нагрузки с изменением скорости (вентиляторы, мешалки и т. п.).
b) Пульсирующая нагрузка (пропеллеры, поршневые компрессоры и насосы и т. п.).
c) Случайные ударные нагрузки (рудодробилки, экструдеры и т. п.).

В.2.4 Дефекты сборки

a) Несоосность в соединениях элементов системы.
b) Неуравновешенность сборки в целом, а также ее частей и отдельных элементов.

В.2.5 Крутильные колебания в системе

a) Жесткость соединений.
b) Жесткость при кручении.
c) Момент инерции вращающихся элементов.
d) Демпфирование в соединениях.

В.2.6 Массо-жесткостные характеристики системы

a) Подвижность основания.
b) Способы крепления.
c) Податливость элементов системы.
d) Масса элементов.

В.2.7 Нагрузка и частота вращения

a) Направление вращения.
b) Скорость вращения.
c) Значение нагрузки.

В.3 Учет влияющих факторов на стадии проектирования

На начальной стадии проектирования системы, в состав которой входит редуктор, следует оценить ее возможное влияние на вибрацию редуктора и определить лицо, ответственное за выполнение этой работы. О выполняемой оценке следует поставить в известность поставщиков компонентов системы.

Приложение С
(справочное)

Средства измерений

С.1 Общие положения

В настоящем приложении рассматриваются особенности средств измерений, применяемых при оценивании вибрации редукторов.

С.2 Средства измерений вибрации корпуса и вала

Достоверные результаты оценки вибрационного состояния редукторов могут быть получены с применением средств измерений вибрации как корпуса, так и вала. В некоторых случаях желательно использовать преобразователи инерционного типа для измерения скорости вибрации корпуса и датчики относительной вибрации вала совместно. Требования к средствам измерений вибрации корпуса установлены ИСО 2954, вибрации вала — ИСО 10817-1.

Хотя измерения этих двух видов взаимосвязаны, они предоставляют разную информацию о вибрационных силах внутри редуктора и требуют правильной интерпретации.

С.3 Измерения вибрации корпуса

Вибрация, измеряемая на корпусах подшипников (или на корпусе редуктора в непосредственной близости от подшипника), несет информацию о вибрационном состоянии редуктора в заданных условиях испытаний. Опорную конструкцию, используемую при испытаниях, следует выбирать так, чтобы ее свойства были аналогичны свойствам основания на месте применения редуктора. В ходе испытаний следует избегать возбуждения резонансов конструкции.

Вибрационное состояние редуктора зависит от качества соединений его вращающихся элементов, а также соединений валов с подшипниками. В случае применения подшипников качения возникающие в соединении динамические силы непосредственно передаются на корпус подшипника. В случае применения подшипников скольжения значительная часть движения вала демпфируется слоем масла. Поскольку жесткостные свойства демпфирующего слоя зависят от частоты вращения вала, момента нагрузки и применяемой смазки, при оценке вибрационного состояния редуктора следует учитывать возможные изменения этих факторов.

В частности, силы, действующие со стороны вращающегося вала и вызывающие появление в спектре вибрации первой и второй гармоник частоты вращения (обычно вследствие дисбаланса и несоосности) могут слабо передаваться на корпус подшипника при низком моменте вращения, но вызывать сильную вибрацию корпуса, когда момент вращения высок. Также на корпус подшипника может без значительных потерь передаваться и быть доминирующей высокочастотная вибрация зубцовой частоты.

Для измерений вибрации корпуса используют акселерометр или велосиметр. Диапазон, в котором частотная характеристика велосиметра постоянна, зависит от его типа, но обычно составляет от 10 до 2500 Гц, чего может быть недостаточно, чтобы захватить зубцовую частоту высокоскоростного редуктора. В этом случае необходимо применять акселерометр с верхней границей диапазона частот измерений не менее 10 кГц.

Акселерометр применяют совместно с устройством формирования сигнала. Если сигнал акселерометра подлежит интегрированию для получения сигнала скорости, то следует учитывать погрешности, связанные с низкочастотным шумом. Кроме того, следует обращать внимание на то, чтобы способ крепления преобразователя не уменьшил его диапазон частот измерений. Дополнительные сведения о креплении акселерометра можно найти в [1] и ИСО 13373-1 (см. [3]).

С.4 Измерения перемещения вала

Перемещения вала могут быть измерены с применением датчика бесконтактного типа или контактного датчика-зонда. У датчика контактного типа со временем наступает износ наконечника вследствие его непрерывного трения о поверхность вала. Такой датчик чувствителен к вихревым явлениям в слое масла и имеет малый диапазон частот измерений (только до 200 Гц). Его применяют только в случаях, когда частота вращения вала не превышает 3000 мин$^{-1}$, а скорость поверхности, по которой движется наконечник зонда, не превышает 30 м/с.

Бесконтактные датчики могут быть разных типов — обычно это емкостные, индуктивные или вихретоковые преобразователи. Последние получили наибольшее распространение при измерении вибрации редукторов из-за своих малых размеров (относительно диапазона измеряемых перемещений), а также сравнительно низкой чувствительности к изменениям внешних факторов.

Обычно бесконтактные датчики используют для измерения относительных перемещений между валом и корпусом подшипника. С помощью двух таких датчиков, ортогонально установленных в одной измерительной плоскости, можно определить траекторию движения (орбиту) вала. Бесконтактные датчики (обычно вихретокового типа) позволяют определить положение вала внутри подшипникового зазора и угол подъема вала для всего диапазона условий работы редуктора.

Хотя диапазон частот измерений вихретокового датчика весьма широк (обычно до 10 кГц), обычно с его помощью не удается извлечь полезную информацию о вибрации вала на частотах свыше 500 Гц. Поэтому такой преобразователь может не подходить для оценки вибрации зубцовой частоты.

Бесконтактные преобразователи полезны тогда, когда необходимо оценить вибрацию на низких частотах, например связанную с дисбалансом или погрешностями машинной обработки поверхностей (механическими биениями, некруглостью вала и т. п.). С их помощью можно оценить степень воздействия на валы радиальных сил в зацеплениях зубчатых передач и реактивных моментов зубчатых колес, передаваемые на валы внешние силы вследствие их несоосности. Также они позволяют выявить проблемы, связанные с подшипниками и нестабильностями вращения валов.

При установке бесконтактных датчиков важно обеспечить отсутствие относительного движения между местом крепления и подшипником (корпусом). Желательно, чтобы датчик был жестко установлен внутри корпуса подшипника способом, обеспечивающим доступ к нему в целях калибровки или замены без необходимости снимать крышку редуктора.

При применении бесконтактных датчиков важно обеспечить соосность окружности вала, движения точек которой воспринимаются датчиком, с подшипником, а также по возможности отсутствие электрических и механических биений. Хотя существует возможность компенсации электрических биений в сигнале вибрации, она зачастую малоэффективна при необходимости измерять перемещения вала, размах которых менее 10 мкм.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным и межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

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

Библиография

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

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

[3] ISO 13373 (all parts), Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring (Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния)

[4] ISO 16063-21, Methods for the calibration of vibration and shock transducers — Part 21: Vibration calibration by comparison to a reference transducer (Методы калибровки преобразователей вибрации и удара. Часть 21. Вибрационная калибровка сравнением с эталонным преобразователем)

[5] ISO 16063-44, Methods for the calibration of vibration and shock transducers — Part 44: Calibration of field vibration calibrators (Методы калибровки преобразователей вибрации и удара. Часть 44. Калибровка на месте применения преобразователя)

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

УДК 621.9:534.1.08:006.354 ОКС 17.160

Ключевые слова: зубчатые редукторы, вибрация, измерения, вибрационное состояние, классы вибрации, приемочные испытания, контроль

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

Сдано в набор 27.12.2023. Подписано в печать 12.01.2024. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,37.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

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

gost.e-ecolog.ru