ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 13373-5— 2022

Контроль состояния и диагностика машин

ВИБРАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ

Часть 5

Методы диагностирования вентиляторов и воздуходувок

(ISO 13373-5:2020, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2022

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН 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 2 сентября 2022 г. № 860-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 13373-5:2020 «Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния. Часть 5. Методы диагностирования вентиляторов и воздуходувок» (ISO 13373-5:2020 «Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring — Part 5: Diagnostic techniques for fans and blowers», IDT).

Международный стандарт разработан Техническим комитетом ИСО/ТК 108 «Вибрация, удар и контроль состояния», подкомитетом ПК 2 «Измерения и оценка вибрации и ударов применительно к машинам, транспортным средствам и сооружениям».

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 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

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

© ISO, 2020
© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2022

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

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Измерения 2
4.1 Измерения вибрации 2
4.2 Измерения рабочих характеристик машины 2
5 Начальный анализ 2
6 Особенности анализа для вентиляторов и воздуходувок 2
Приложение А (обязательное) Структурный подход к анализу вибрации вентиляторов и воздуходувок 4
Приложение В (рекомендуемое) Методология диагностирования вентиляторов и воздуходувок по параметрам вибрации 10
Приложение С (справочное) Примеры диагностирования вентиляторов и воздуходувок 13
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным и межгосударственным стандартам 21
Библиография 22

Введение

В настоящем стандарте рассмотрены методы, которые могут быть использованы при проведении диагностирования вентиляторов и воздуходувок по параметрам вибрации. Он может быть использован специалистами в области вибрационного диагностирования, инженерами и техниками, обслуживающими соответствующее оборудование. В числе рассматриваемых методов — составление структурных схем диагностирования, таблицы процессов и неисправностей.

Критерии оценки и зоны вибрационного состояния для машин разных видов и размеров, как новых, так и находящихся в эксплуатации, установлены стандартами серии ИСО 7919 (по измерениям вибрации валов), ИСО 10816 (по измерениям вибрации на невращающихся частях) и ИСО 20816 (по измерениям вибрации обоих видов).

В ИСО 13373-1 представлены основные процедуры, используемые при анализе вибрационных сигналов в узких полосах частот. Они включают в себя выбор преобразователей и мест их размещения, организацию непрерывного и периодического контроля состояния, анализ потенциальных проблем в работе машины.

В ИСО 13373-2 рассматриваются такие вопросы системы контроля состояния, как формирование сигнала вибрации, методы его представления во временной и частотной областях, описание формы сигналов и признаков, которым могут быть поставлены в соответствие типичные неисправности или особенности работы машины.

В ИСО 13373-3 установлена методология определения причинно-следственных связей при анализе вибрации машин с вращающимися роторами всех типов. В нем рассматриваются систематический подход к анализу вибрации, применяемые типовые средства диагностирования, выбор средств диагностирования в зависимости от задачи контроля, рекомендации по применению этих средств для машин и узлов разных видов.

Согласно ИСО 17359 процедуры диагностирования могут:

- следовать за обнаружением изменений в работе машины по результатам контроля параметров вибрации;
- выполняться параллельно с контролем параметров вибрации.

В настоящем стандарте рассматривается первый подход, когда основанием для диагностирования служит выявление аномалии в работе машины.

Методология структурных схем диагностирования и таблиц процессов представляет собой структурированный подход к поиску и анализу неисправностей. Логически выстроенная последовательность шагов облегчает специалисту в области диагностирования обнаружение связи между наблюдаемыми аномалиями в поведении машины и причинами, их вызывающими.

Таблица неисправностей представляет собой перечень наиболее частых неисправностей, случающихся в изделиях машиностроения, в их связи с характеристиками вибрации. При совместном использовании со структурной схемой диагностирования эта таблица облегчает идентификацию неисправностей.

Анализ проблем, связанных с повышением уровня вибрации и изменением ее характера, требует продуманного и систематизированного подхода. Настоящий стандарт, применяемый совместно с ИСО 13373-3, направлен на реализацию такого подхода, обеспечивая специалистов руководством по выбору и применению средств измерений и анализа, а также выполнению последовательности действий по диагностированию вентиляторов и воздуходувок разных типов.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Контроль состояния и диагностика машин

ВИБРАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ

Часть 5

Методы диагностирования вентиляторов и воздуходувок

Condition monitoring and diagnostics of machines. Vibration condition monitoring.
Part 5. Diagnostic techniques for fans and blowers

Дата введения — 2022—12—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает процедуры, выполняемые при диагностировании вентиляторов и воздуходувок разных типов.

Он предназначен для применения специалистами в области вибрационного диагностирования, инженерами и техниками, обслуживающими соответствующее оборудование, и обеспечивает их пошаговым руководством к выявлению неисправностей на основе измерений вибрации. В нем приведен также ряд примеров, показывающих связь диагностических признаков с неисправностями машин и их узлов.

Данный подход основан на хорошо зарекомендовавших себя практиках работ по диагностированию, что не исключает возможность применения других подходов и методов. Рекомендуемые действия в каждом случае диагностирования зависят от особенностей конкретной задачи, надежности диагноза (т.е. правильно поставленных диагнозов во время предшествующих обследований машины), опыта работ данного вида, виде и критичности неисправности с учетом экономических аспектов диагностирования. Дать рекомендации по диагностированию для всех возможных ситуаций невозможно, и это не является целью настоящего стандарта.

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 13372, Condition monitoring and diagnostics of machines — Vocabulary (Контроль состояния и диагностика машин. Словарь)

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

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

Издание официальное

ISO 13373-3:2015, Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring — Part 3: Guidelines for vibration diagnosis (Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния. Часть 3. Руководство по диагностированию по параметрам вибрации)

ISO 21940-2, Mechanical vibration — Rotor balancing — Part 2: Vocabulary (Вибрация. Балансировка роторов. Часть 2. Словарь)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ИСО 2041, ИСО 13372 и ИСО 21940-2.

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

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

4 Измерения

4.1 Измерения вибрации

Измерения могут быть выполнены с применением преобразователей двух типов:

- бесконтактных преобразователей (индуктивных, емкостных, вихретоковых) для измерений вибрации вала;
- преобразователей инерционного типа (акселерометров, велосиметров) для измерений вибрации на невращающихся частях, таких как корпус подшипника.

Для оценки вибрационного состояния машин по результатам указанных измерений могут быть использованы стандарты серий ИСО 7919, ИСО 10816 и ИСО 20816.

При выборе преобразователей вибрации и систем измерений вибрации следует руководствоваться рекомендациями ИСО 13373-1 и ИСО 13373-2.

4.2 Измерения рабочих характеристик машины

Вибрация машины и соответствующие диагностические признаки в значительной степени зависят от конструктивного исполнения (вертикальная или горизонтальная ось вращения) и опоры (жесткая или податливая), а также значений рабочих характеристик машины, таких как частота вращения ротора, приложенная нагрузка, температура, которые необходимо измерять наряду с параметрами вибрации. Измерения проводят для всех заданных режимов работы машины — как установившихся, так и переходных.

5 Начальный анализ

Начальный анализ проводят в соответствии с ИСО 13373-3:2015 (приложение А). В ходе такого анализа рассматривают аспекты, связанные с безопасной работой машины, включая наличие повышенной вибрации и вибрационное состояние (если оценивается), историю предшествующей эксплуатации, влияние на вибрацию рабочих характеристик машины, последствия задержки корректирующих действий и необходимость останова вентилятора. Анализ выполняют с учетом таких факторов, как тип опоры, расположение относительно других вращающихся машин, конструкция помещения, условия окружающей среды и пр. Общие неисправности машин и дефекты подшипников рассматриваются в ИСО 13373-3:2015 (приложения B—D).

6 Особенности анализа для вентиляторов и воздуходувок

В настоящем стандарте рассматривается диагностирование по параметрам вибрации вентиляторов и воздуходувок типичных конструкций. Признаки наиболее часто встречающихся неисправностей, способных вызвать повышенную вибрацию машины, приведены в приложении А. В нем не учтены признаки, связанные с дефектами гидродинамических подшипников и подшипников качения и рассматриваемые в ИСО 13373-3:2015 (приложения C и D соответственно).

Систематизированный подход, установленный ИСО 13373-3, предполагает использование таблиц неисправностей и пошаговую постановку диагноза. В настоящем стандарте таблица неисправностей приведена в приложении А, а методология диагностирования рассмотрена в приложении В. Примеры использования таблиц неисправностей и структурного подхода к диагностированию вентиляторов и воздуходувок приведены в приложении С.

Вопросы вибрации вентиляторов разных конструкций, включая вентиляторы с приводом от другого вала, с консольным или межопорным расположением колеса, рассмотрены в [4], [5] и [9].

Приложение А
(обязательное)

Структурный подход к анализу вибрации вентиляторов и воздуходувок

А.1 Таблица неисправностей

Структурный подход к анализу вибрации вентиляторов и воздуходувок представлен таблицами (таблицы А.1 и А.2), включающими в себя основные неисправности и соответствующие диагностические признаки (их перечень не исчерпывающий). Неисправности вентиляторов и воздуходувок, связанные с дефектами подшипников, рассмотрены в ИСО 13373-5:2015, приложения С и D. Некоторые неисправности имеют схожие признаки, и для их различения требуются дополнительные исследования.

Таблица А.1 — Таблица неисправностей для вентиляторов и воздуходувок

Неисправность	Основной признак	Другие признаки	Примечания
Несоосность (расцентровка) вала	1-я или 1-я и 2-я, иногда 3-я гармоники частоты вращения	Направленная сила, имеющая сдвиг фазы на 180° при прохождении через соединение. При параллельной несоосности характерен сдвиг для силы в радиальном направлении, при угловой несоосности появляется сдвиг для силы в осевом направлении	Различают два вида несоосности: параллельную и угловую. На практике в большинстве случаев присутствуют оба этих вида
Ослабления механических соединений	Пики, следующие с частотой вращения, в сигнале вибрации. Гармоники частоты вращения, амплитуда которых спадает с ростом номера гармоники	Ослабления могут быть в посадке подшипника, рамной опоре, болтовых соединениях. Место ослабления определяют по изменению соотношения амплитуд и фаз разных частей соединения	Ослабления в подшипниковой опоре могут быть связаны с неправильной посадкой подшипника
Увеличенный зазор в подшипнике	1-я гармоника частоты вращения. Небольшие высшие гармоники для подшипников качения	Направленная сила	Может быть связан с износом элементов подшипника или истончением жидкостной пленки
Напряжение в трубопроводе	1-я гармоника частоты вращения	Направленная сила, клиппирование временного сигнала	Устранить натяжение во фланцевых соединениях
«Мягкая» опора	1-я гармоника частоты вращения и 2-я гармоника сетевой частоты в электродвигателе	Проверка мягкой опоры	«Мягкая опора» — состояние машины, когда не все ее опоры (лапы) установлены одинаково
Задевания вала	Клиппирование временного сигнала, 1-я и высшие гармоники частоты вращения. Легкое задевание может вызвать вращающиеся векторы гармоник		Нехарактерная неисправность для вентилятора
Дисбаланс	1-я гармоника частоты вращения	Сдвиг фаз в разных частях соединения зависит от моды вибрации (для цилиндрической моды сдвиг отсутствует, для конической равен 180°). Обычно сдвиг фаз между горизонтальной и вертикальной вибрацией в одном сечении составляет 90°	Часто вызван эрозией лопаток или осаждениями на лопатки. Для консольных вентиляторов может потребоваться уравновешивание в двух плоскостях, для межопорных обычно достаточно одной плоскости коррекции

Окончание таблицы А.1

Неисправность	Основной признак	Другие признаки	Примечания
Изгиб вала	1-я гармоника частоты вращения, как при дисбалансе. Проявляет себя при медленном прокручивании вала	На определенных частотах вращения может компенсироваться дисбалансом	Нехарактерная неисправность для вентилятора
Деформация корпуса	1-я, иногда 2-я гармоника частоты вращения	Сдвиг фазы на 180° на разных концах вала	Важна только для конструкции с подшипниками, встроенными в корпус
Резонанс	Высокая вибрация на определенной частоте	Собственная частота, полученная в ходе испытаний на резонанс	Избегать работы на резонансе, при необходимости изменяя частоту вращения или частоту резонанса (увеличением жесткости, добавлением массы). Иногда требуется увеличение демпфирования
Наклон фундамента	Высокая 1-я гармоника частоты вращения, не обусловленная дисбалансом, несоосностью, изгибом вала или эксцентриситетом	«Качающаяся» форма ODS для 1-й гармоники частоты вращения	Для лучшего понимания проблемы требуется ODS-анализ
Аэродинамические силы	Лопастная частота	Могут вызывать сильный шум	Обычно имеют место при работе вентилятора в режиме, далеком от рабочей точки
Дефект ремня	Основная ременная частота	Ниже 1-й гармоники частоты вращения	Обычно из-за износа ремня, несоосности или неправильного натяжения
Резонанс ременной передачи	Частота резонанса ременной передачи	Обычно ниже 1-й гармоники частоты вращения	Обычно при недостаточном натяжении ремня
Чрезмерное натяжение ремня	1-я гармоника частоты вращения	Направленная сила	Признаки схожи с признаками несоосности
Эксцентриситет ременного шкива	Обычно направленная вибрация на 1-й гармонике частоты вращения, иногда на 1-й и 2-й гармониках	Иногда можно наблюдать визуально по вращению шкива	
Примечание — ODS — изгибные колебания работающей машины.			

А.2 Некоторые испытания в соответствии с таблицей А.2

А.2.1 Проверка мягкой опоры

По очереди ослабляют анкерные болты, крепящие машину к основанию. После ослабления соединения оценивают образовавшийся зазор между опорой и основанием машины, применяя при необходимости набор измерительных щупов. Затягивают ослабленное соединение, после чего переходят к другой опоре и процедуру проверки выполняют заново. Если после ослабления одной или нескольких опор между ними и основанием образовались зазоры, то это свидетельствует о деформировании корпуса машины при затягивании соединений. В обнаруженные во время проверки зазоры вставляют прокладки нужной толщины с последующим затягиванием болта, что позволяет решить проблему мягкой опоры.

А.2.2 Определение места ослабления соединений

Проводят измерения амплитуды и фазы вибрации в местах болтовых соединений подшипников, корпуса машины и опорной рамы в поисках того соединения, при переходе через которое амплитуда и/или фаза вибрации претерпевают значительное изменение. Такие изменения свидетельствуют об ослаблении данного соединения.

А.2.3 ODS-анализ

Проводят измерения амплитуды и фазы на частоте вращения в заданных узлах сетки на обследуемой поверхности в поисках форм изгибных колебаний. Исследуют возможные причины обнаруженных высоких значений механической подвижности или податливости.

А.3 Комментарии к неисправности в таблице А.2

В таблице А.2 рассматривается увеличенный зазор в подшипнике, который имеет разный смысл и разную причину для разных конструкций подшипников:

- для подшипников скольжения это увеличенный зазор между валом и внутренней поверхностью подшипника;
- в подшипнике скольжения под данной неисправностью может пониматься ослабление посадки кольца в корпусе подшипника;
- в подшипнике качения также может иметь место ситуация, когда слишком велик зазор между дорожками и элементами качения. Причиной этому может быть неправильный выбор размера подшипника или сильный износ дорожек и элементов качения.

Таблица А.2 — Диагностические признаки для типичных неисправностей

Неисправности	Повышение уровня вибрации					Фазовые и временные признаки				Другие факторы		Типичные корректирующие действия
	Субгармоника частоты вращения	1-я гармоника частоты вращения	2-я гармоника частоты вращения	1-я гармоника сетевой частоты	высшие гармоники	Сдвиг 90° (вертикаль/горизонталь)	Сдвиг 180° через соединение	данные ODS-анализа	Клиппирование сигнала	Проверка мягкой опоры	Другие наблюдения/испытания	
Несоосность (расцентровка) вала		●	○		○		●				Сдвиг фазы через соединение в осевом или радиальном направлении	Выровнять вал(ы)
Ослабления механических соединений	○	●	●		●						Определить место ослабления (А.2.2)	Устранить источник (например, затянуть анкерный болт)
Увеличенный зазор в подшипнике		●	○		○							Отремонтировать/заменить подшипник
Напряжение в трубопроводе		●							●		Проверить зазор при отсоединении трубы. Вибрация может быть направленной	Обеспечить соединение без натяжения
Мягкая опора		●		○							2-я гармоника сетевой частоты может указывать на смещение статора или рамы	Измерить зазоры и выполнить регулировки
Задевания вала		●	●		●				●			Определить место и устранить причину
Дисбаланс		●				○					Типичен сдвиг 90° для вибрации в вертикальном и горизонтальном направлениях	Устранить причину (например, очистить лопатки), выполнить балансировку ротора

Продолжение таблицы А.2

Неисправности	Повышение уровня вибрации					Фазовые и временные признаки				Другие факторы		Типичные корректирующие действия
	Субгармоника частоты вращения	1-я гармоника частоты вращения	2-я гармоника частоты вращения	1-я гармоника сетевой частоты	высшие гармоники	Сдвиг 90° (вертикаль/горизонталь)	Сдвиг 180° через соединение	данные ODS-анализа	Клиппирование сигнала	Проверка мягкой опоры	Другие наблюдения/испытания	
Изгиб вала		●									Осевая вибрация; сдвиг фаз между подшипниками	Не устраняется балансировкой для консольного ротора
Деформация корпуса		●	○				●					Устранить причину деформации
Резонанс	○	●			○			●			Сильная вибрация на частоте, некратной частоте вращения	Изменить частоту вращения или резонанса
Наклон фундамента		●						●			Обычно неровные уровни изоляции или грунта, плохое распределение масс	Консультация инженера-строителя
Невыровненная опорная рама		●						●				Выровнять раму
Аэродинамические силы			●								Вибрация случайная или на лопастной частоте	Исправить поток (например, изменив угол заслонки)
Дефект ремня	●	○									Основная ременная частота	Выровнять или заменить ремень, отрегулировать натяжение
Резонанс ременной передачи	●										Частота резонанса ременной передачи	Обычно устраняется регулировкой натяжения

Окончание таблицы А.2

Неисправности	Повышение уровня вибрации					Фазовые и временные признаки				Другие факторы		Типичные корректирующие действия
	Субгармоника частоты вращения	1-я гармоника частоты вращения	2-я гармоника частоты вращения	1-я гармоника сетевой частоты	высшие гармоники	Сдвиг 90° (вертикаль/горизонталь)	Сдвиг 180° через соединение	данные ODS-анализа	Клиппирование сигнала	Проверка мягкой опоры	Другие наблюдения/испытания	
Чрезмерное натяжение ремня	○	●									Направленная вибрация на частоте вращения	Исправить натяжение
Эксцентриситет ременного шкива		●	○								Направленная вибрация на частоте вращения	Устранить эксцентриситет и выровнять шкив
Несоосность ременной передачи		●									Вибрация в осевом направлении	Выровнять шкивы в одной плоскости

● Данный признак почти всегда присутствует при наличии данной неисправности.
○ Данный признак может присутствовать или не присутствовать при наличии данной неисправности.

Приложение В
(рекомендуемое)

Методология диагностирования вентиляторов и воздуходувок по параметрам вибрации

Вентиляторы и воздуходувки относятся к числу машин довольно простой конструкции. В большинстве случаев их исполнительное устройство приводится в действие приводом через муфту или ременную передачу, однако существуют также машины с приводом от коробки передач.

Примечание — Неисправности, связанные с работой коробки передач, в настоящем стандарте не рассматриваются.

Большинство неисправностей вентиляторов и воздуходувок могут быть отнесены к одному из следующих четырех типов:

a) неисправности, связанные с установкой машины;
b) дефекты подшипников;
c) дисбаланс;
d) действие аэродинамических сил.

Методология диагностирования этих машин, показанная в виде структурной схемы на рисунках В.1 и В.2, представляет собой пошаговое руководство по процедуре диагностирования. В части неисправностей, связанных с установкой машины, эта процедура ссылается на ИСО 13373-3:2015, приложение В, а в части обнаружения дефектов подшипников — на ИСО 13373-3:2015, приложения С и D.

Вентиляторы, применяемые в ряде производств, например в производстве цемента, требуют частой балансировки ротора. Дисбаланс проявляет себя в виде повышенной первой гармоники частоты вращения вибрации в радиальном направлении без изменения фазового угла при переходе точки измерений через соединительную муфту. Для подтверждения наличия дисбаланса можно выполнить измерения горизонтальной и вертикальной вибрации в плоскости одного подшипника, для которых разность фаз обычно составляет 90°. В случае консольного ротора дисбаланс может приводить к повышению составляющей на частоте вращения в осевом направлении. Прежде чем выполнять процедуру балансировки, рекомендуется очистить лопасти вентилятора. Перед балансировкой следует также убедиться в том, что повышение уровня составляющей на частоте вращения не обусловлено другими неисправностями, такими как несоосность, ослабления в механических соединениях, увеличенный зазор в подшипниках.

У ряда машин может наблюдаться повышенная вибрация на лопастной частоте, равной произведению частоты вращения на число лопастей колеса. Такое явление обычно обусловлено действием аэродинамических сил, появление которых, в свою очередь, связано с неправильным положением воздушной заслонки вентилятора. Неисправность устраняют выбором соответствующего углового положения заслонки.

Для вентиляторов с ременным приводом (см. рисунок В.2) имеют место свои неисправности. Дефект ремня проявляет себя на частоте ниже частоты вращения. При обнаружении данной неисправности ремень следует заменить. Проблемы могут быть связаны также с натяжением ремня. Слишком слабое натяжение может вызвать резонансные колебания ремня на частоте, обычно лежащей ниже частоты вращения. Слишком сильное натяжение вызывает направленную вибрацию на частоте вращения. В обоих случаях для устранения проблемы следует соответствующим образом изменить натяжение ремня.

Кроме того, неисправности машин с ременным приводом могут быть связаны с ременными шкивами. Если плоскости шкивов не совпадают, возможно появление первой или первой и второй гармоник частоты вращения в спектре вибрации. Иногда выявить проблему со шкивами можно визуально.

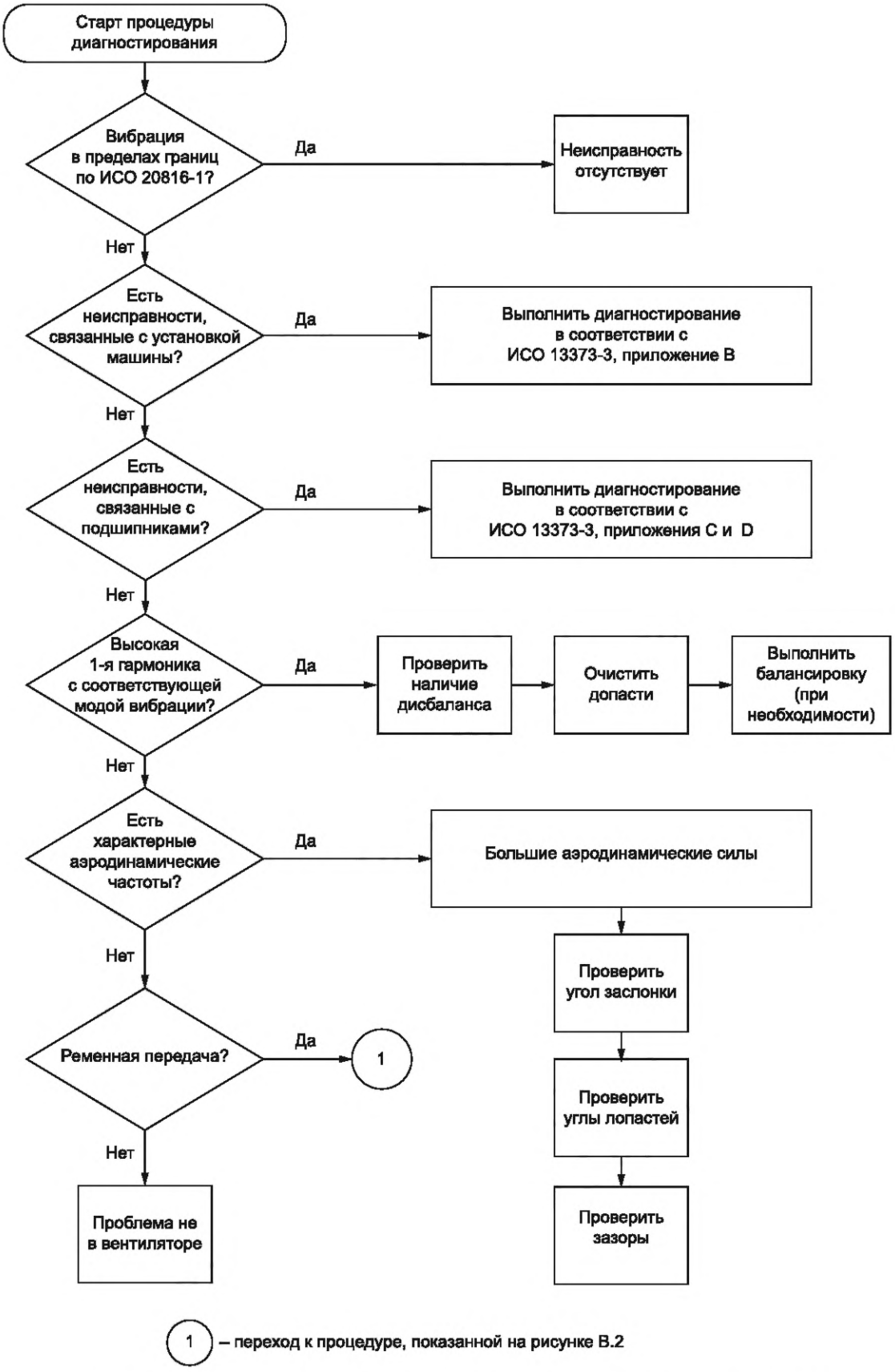


Рисунок B.1 — Схема вибрационного диагностирования вентиляторов и воздуходувок

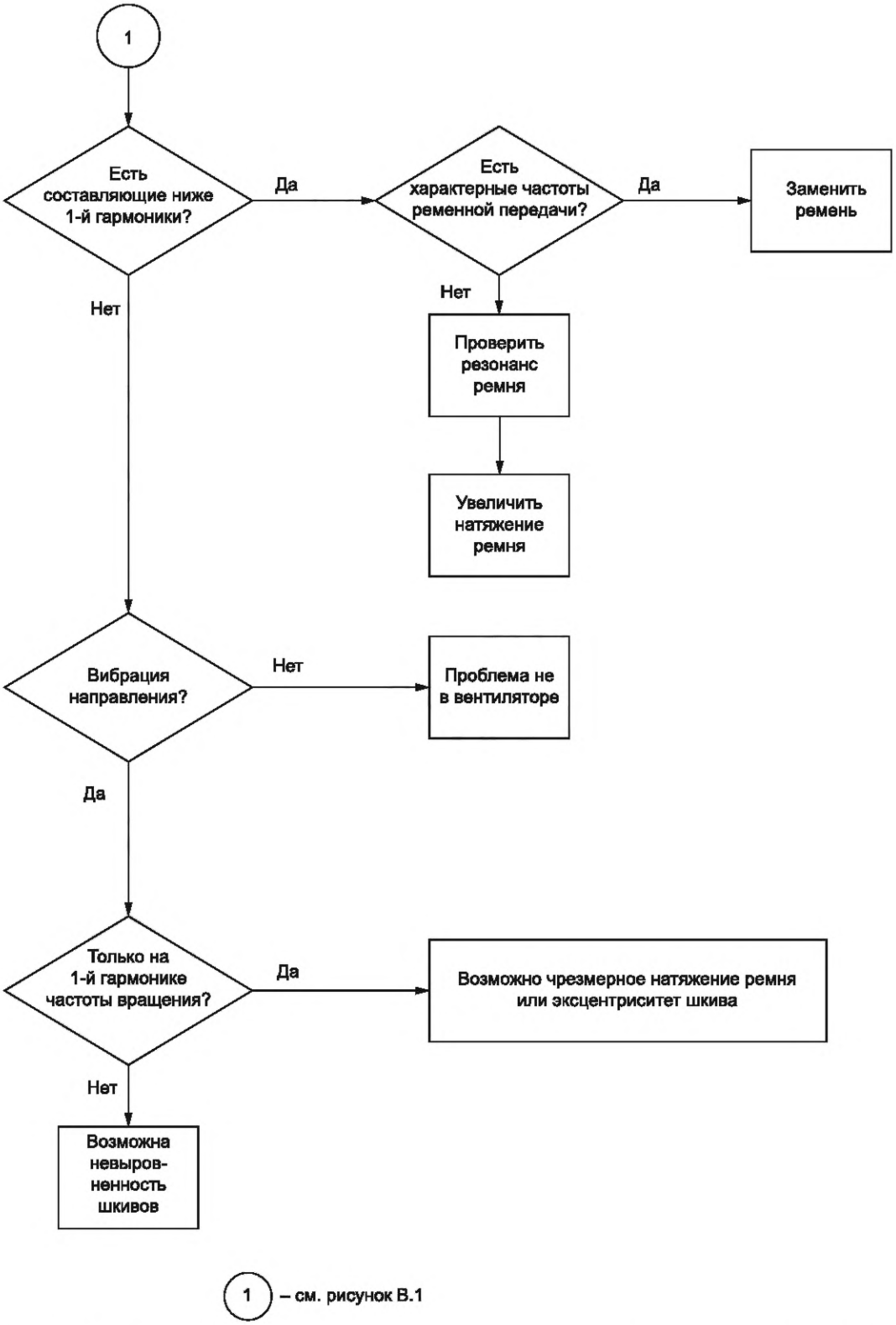


Рисунок В.2 — Схема вибрационного диагностирования ременной передачи вентиляторов и воздуходувок

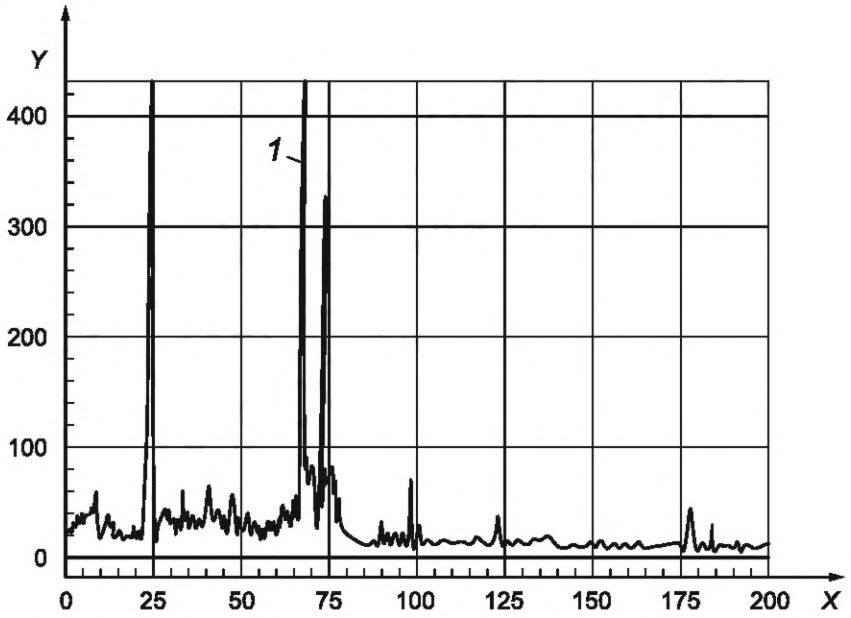
Приложение С
(справочное)

Примеры диагностирования вентиляторов и воздуходувок

С.1 Пример спектрального анализа вибрации

За два года эксплуатации главной воздуходувки в составе установки по производству серы у нее наблюдались неоднократные неисправности подшипника электродвигателя. Этот 600-ваттный двигатель переменного тока с номинальной частотой вращения 1500 мин$^{-1}$ был установлен на двух подшипниковых опорах. На радиально-упорном подшипнике с неприводного конца вала наблюдалась значительная осевая вибрация, в то время как частым повреждениям был подвержен подшипник на приводном конце. Как правило, эти повреждения имели вид сдвиговой деформации сепаратора. При разборках двигателя причину неисправности установить не удалось.

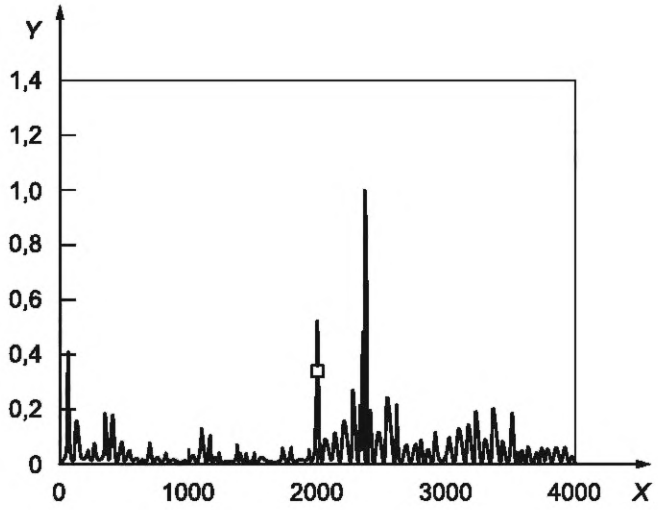
Исследование поведения машины показало, что неисправность появляется спустя две-три недели после установки нового подшипника. Анализ спектра не показал каких-либо отклонений в работе двигателя, но осевая вибрация на частоте вращения ротора воздуходувки была заметно выше обычной. На рисунке С.1 показан спектр вибрации подшипника с приводной стороны двигателя, на котором видна высокая составляющая на частоте вращения. Двигатель был соединен с ротором воздуходувки через гибкую муфту и редуктор с повышающей передачей, установленный на подшипниках скольжения. Привод ротора воздуходувки от редуктора осуществлялся на частоте 4000 мин$^{-1}$ через гибкую муфту. Этот ротор консольного типа также был установлен на двух подшипниках скольжения. Была отмечена высокая осевая вибрация на частоте вращения ротора как на его подшипниках, так и на подшипниках редуктора.



X — частота, Гц; *Y* — скорость вибрации в осевом направлении, мкм/с; *1* — составляющая на частоте вращения ротора воздуходувки

Рисунок С.1 — Спектр вибрации на приводном конце двигателя

На рисунке С.2 показан типичный спектр вибрации на подшипниках редуктора. Видна высокая составляющая на зубцовой частоте 1996 Гц. Кроме того, отчетливо выделяются составляющие на частоте 2365 Гц и ее гармониках с боковыми полосами. Было сделано предположение, что в машине существуют ударные процессы, возбуждающие вибрацию на собственной частоте 2365 Гц. Эта вибрация была максимальной в вертикальном и осевом направлениях. Максимальное среднеквадратичное значение скорости вибрации на подшипниках составило 5,2 мм/с.



X — частота, Гц; *Y* — среднеквадратичное значение скорости вибрации в осевом направлении, мм/с

Рисунок С.2 — Спектр вибрации редуктора

Поставленный диагноз был таков. Конструкция машины чувствительна к дисбалансу. Моментная неуравновешенность ротора воздуходувки является причиной ударных воздействий в осевом направлении на редуктор, что приводит к смещению зубчатых колес в зацеплении. Эта же сила передается на подшипник электродвигателя, вызывая его повреждения. Было рекомендовано проверить состояние редуктора и выполнить балансировку ротора воздуходувки.

После разборки редуктора было обнаружено, что подшипник на стороне привода полностью разрушен. На упорном кольце подшипника редуктора и на подшипниках ротора были отчетливые следы ударов. У подшипников ротора был увеличен зазор, и наблюдалось задевание ротора о поверхности подшипников.

Была осуществлена замена редуктора, ротора вместе с подшипниками и подшипников двигателя. Это привело к существенному снижению уровня вибрации, но все же была дана рекомендация выполнить балансировку ротора. Для определения коэффициентов влияния был использован пробный груз массой 10 г. Для окончательной балансировки потребовался корректирующий груз массой 3 г. После этого среднеквадратичное значение скорости снизилось до 12, мм/с, и жалоб на повреждения подшипника больше не поступало.

Данный пример показывает возможности установления причины повышенной вибрации по анализу спектра. Источник проблем был выявлен до проведения балансировки машины. При этом была использована структурная схема диагностирования, показанная на рисунке В.1. В спектре не были обнаружены характерные составляющие подшипниковых частот, но были ясно видны нарушения в работе зубчатой передачи и дисбаланс ротора. Следует отметить, что такая повышенная вибрация на частоте вращения в осевом направлении характерна только для роторов консольного типа. Эта осевая вибрация передавалась на двигатель и была ключевым элементом в диагностировании всех сопряженных узлов воздуходувки.

С.2 Пример балансировки и ODS-анализа

Данный пример связан с высокой вибрацией печного вентилятора, применявшегося при производстве цемента. Вентилятор эксплуатировался в течение 12 лет. На этот период пришелся один полный отказ машины и существенная модификация ее конструкции в попытке решить имеющуюся проблему. В последние годы повышенная вибрация вентилятора привела к тому, что для ее снижения приходилось снижать частоту вращения ротора, что негативно сказывалось на технологическом процессе.

Обследуемая машина представляла собой крупный консольный вентилятор массой 10,5 т на подшипниках качения с диаметром крыльчатки 5 м и приводом от двигателя постоянного тока мощностью 1600 кВт. Максимальная частота вращения вентилятора составляла 490 мин$^{-1}$. Технологический процесс требовал работы машины на частоте вращения, равной 95 % ее максимального значения, но в силу повышенной вибрации приходилось использовать режим работы вентилятора с частотой вращения, не превышавшей 82 % ее максимального значения. На фундаменте машины высотой 4 м были видимые трещины. Измерения показали, что скорость вибрации на подшипнике с неприводного конца вала составляет 290 мм/с, и эта вибрация сосредоточена в основном на частоте вращения.

Структурный подход в соответствии с рисунком В.1 не выявил неисправностей подшипника. Было очевидно, что внимания требует фундамент машины, однако в силу производственной необходимости было принято решение выполнить балансировку ротора. Это нельзя назвать вполне обоснованным решением, поскольку обычно перед проведением балансировки рекомендуется исключить другие возможные источники неисправности, однако

ситуация на заводе требовала срочного принятия мер, и это заставило отложить на потом анализ состояния опорной рамы и фундамента.

Перед балансировкой была проведена очистка лопастей вентилятора, после чего вибрация снизилась до 50 мм/с. Для обнаружения возможных резонансов и уменьшения нежелательного влияния опорной рамы и фундамента была проведена запись вибрации в процессе разгона ротора. Результаты испытания приведены в таблице С.1.

Таблица С.1 — Изменения вибрации при разгоне ротора печного вентилятора

Частота вращения, $мин^{-1}$	Подшипник приводного конца вала		Подшипник неприводного конца вала	
	Среднеквадратичное значение скорости, мм/с	Фазовый угол, градус	Среднеквадратичное значение скорости, мм/с	Фазовый угол, градус
284	6,74	–160	7,27	–159
309	3,36	–149	5,67	–144
355	3,52	173	2,72	172
380	3,74	162	5,2	155
415	3,73	140	10,9	135
425	5,8	126	16,5	125
440	10,6	112	31,8	111

Из данных таблицы С.1 видно, что по мере увеличения частот вращения машина приближается к состоянию резонанса. Компьютерный расчет показал, что частота резонанса совпадает с максимальной частотой вращения ротора. Форма колебаний ротора показана на рисунке С.3. Тем не менее было принято решение выполнить балансировку машины. Из результатов измерений при разгоне видно, что вибрация на обоих подшипниках совпадает по фазе практически на всех частотах вращения при конической форме резонансных колебаний ротора.

С учетом совпадения фазы колебаний было решено, что балансировку достаточно провести в одной плоскости. Для получения достаточного отклика машины и определения коэффициента чувствительности был использован пробный груз массой 2 кг. Корректирующий груз (после удаления пробного) составил 6,1 кг (см. рисунок С.4). Вибрация снизилась до 2,7 мм/с и оставалась удовлетворительной. Спектры вибрации до и после балансировки показаны на рисунке С.5.

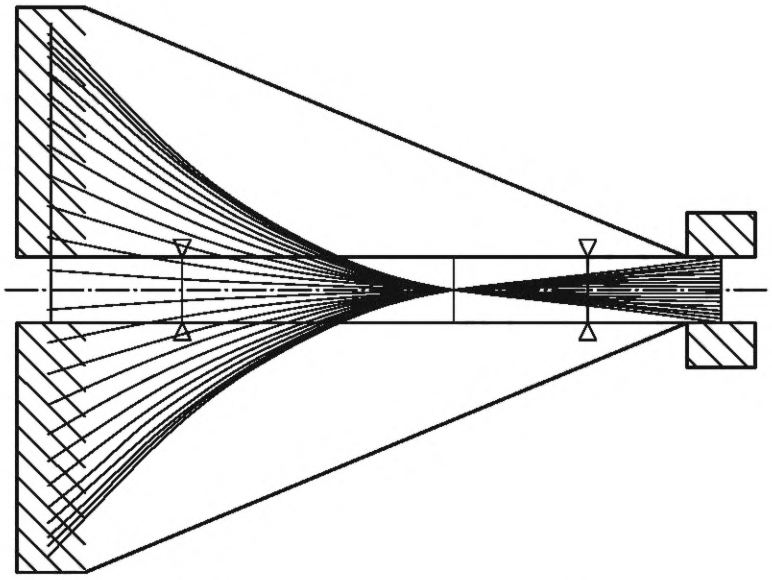
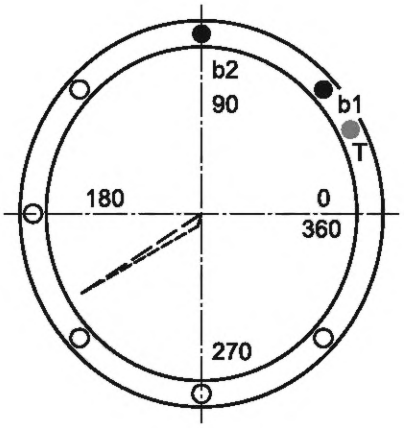
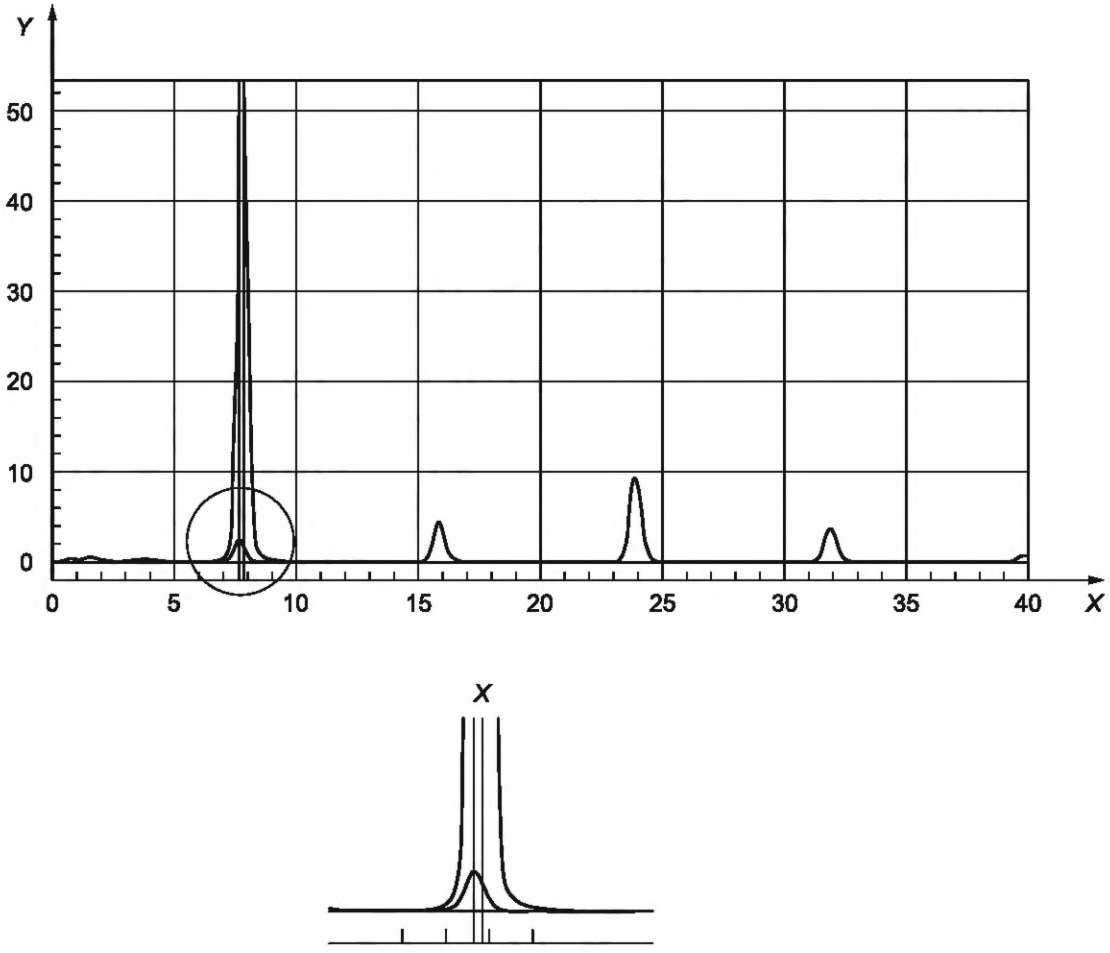


Рисунок С.3 — Форма изгибных колебаний ротора вентилятора



b1, b2 — корректирующие грузы; T — пробный груз

Рисунок С.4 — Статическая балансировка вентилятора



X — частота, Гц; *Y* — скорость вибрации, мм/с

Рисунок С.5 — Спектр вибрации до и после балансировки ротора

После успешно проведенной балансировки ротора нужно было решать проблему резонанса рамы. Были проведены измерения для получения ODS (см. рисунки С.6 и С.7). Из рисунка С.6 видно наличие качательного движения рамы в вертикальном направлении, а из рисунка С.7 — раскачивание рамы в горизонтальной плоскости. Амплитуда раскачивания возрастала с увеличением частоты вращения ротора машины и ее приближением к резонансу. По-видимому, длительный период эксплуатации вентилятора с развитым дисбалансом ротора привел

к тому, что армирующие пруты железобетонной конструкции фундамента, расположенные на глубине 0,8 м от его поверхности под опорной рамой машины, отделились от бетонной массы. Было использовано моделирование методом конечных элементов динамики опорной рамы и фундамента, чтобы получить (и применить на практике) характеристики опорной конструкции, позволяющие избежать раскачиваний рамы и повышающие частоту резонанса до значения, далеко отстоящего от рабочей частоты вращения.

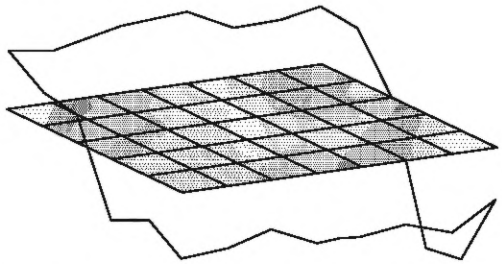


Рисунок С.6 — Вертикальное раскачивание опорной рамы

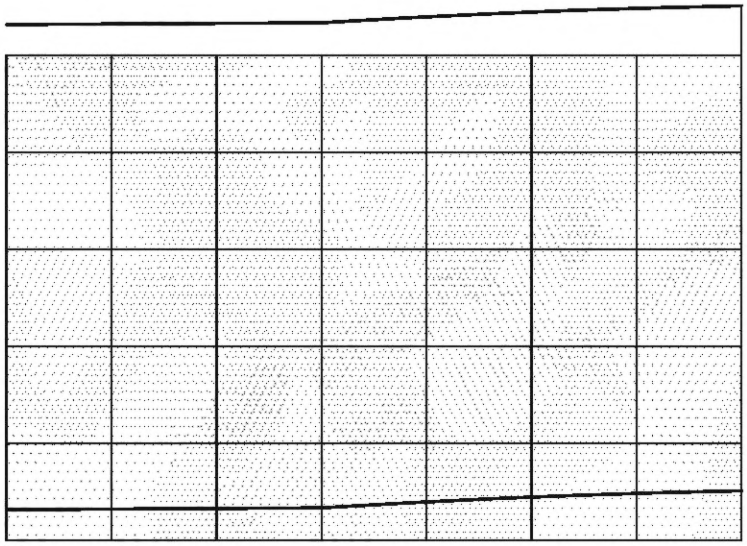
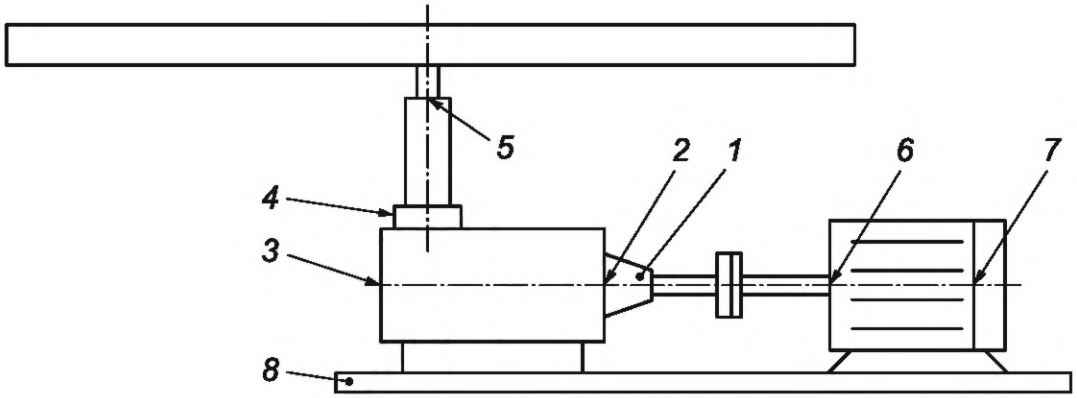


Рисунок С.7 — Смещения опорной рамы в горизонтальной плоскости

С.3 Пример ODS-анализа

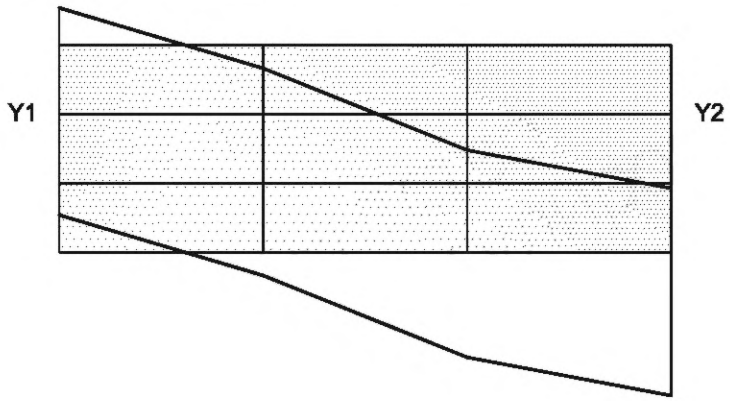
В данном примере из нефтехимической отрасли рассматривается вибрация опорной плиты вертикального вентилятора воздушного охлаждения, расположенной на общей для 12 аналогичных вентиляторов поднятой стальной раме. Эти вентиляторы обеспечивали охлаждение трех газовых турбин мощностью 9 МВт каждая. В состав вентилятора входил электродвигатель с горизонтальным расположением вала и редуктор с коническими колесами (см. рисунок С.8). При эксплуатации машины наблюдались частые повреждения в виде сдвиговой деформации входного вала редуктора в месте его соединения с валом электродвигателя. Изготовитель предложил использовать входной вал большего размера, однако это привело к ускоренному износу редуктора.

Процедура диагностирования была осуществлена в соответствии со структурной схемой, показанной на рисунке В.1, в результате чего по анализу спектра вибрации было установлено отсутствие дефектов подшипника и дисбаланса, но наличие значительной составляющей на шестой гармонике частоты вращения, т. е. на лопастной частоте вентилятора. Исследование условий работы вентилятора показало, что углы наклона лопастей и зазоры между лопастями были установлены правильно. Это дало возможность исключить из рассмотрения причин повышенной вибрации возбуждение аэродинамической природы. Было проведено также испытание на воздействие ударом, которое, однако, не позволило прийти к определенным выводам из-за помех от распространения вибрации по общей раме и невозможности одновременного отключения всех вентиляторов воздушного охлаждения. Более эффективным средством оказался ODS-анализ вибрации опорной плиты на шестой гармонике частоты вращения, результаты которого показаны на рисунках С.9 и С.10.



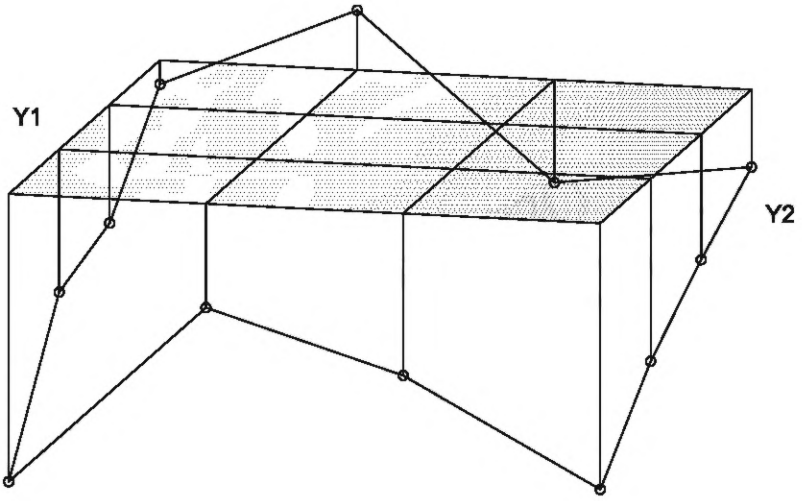
1 — 1-й подшипник редуктора; *2* — 2-й подшипник редуктора; *3* — 3-й подшипник редуктора; *4* — 4-й подшипник редуктора; *5* — подшипник колеса вентилятора; *6* — подшипник приводного конца вала электродвигателя; *7* — подшипник неприводного конца вала электродвигателя; *8* — опорная плита

Рисунок С.8 — Схематическое изображение конструкции вентилятора



Y1 — сторона редуктора; Y2 — сторона электродвигателя

Рисунок С.9 — ODS-анализ опорной плиты в горизонтальной плоскости



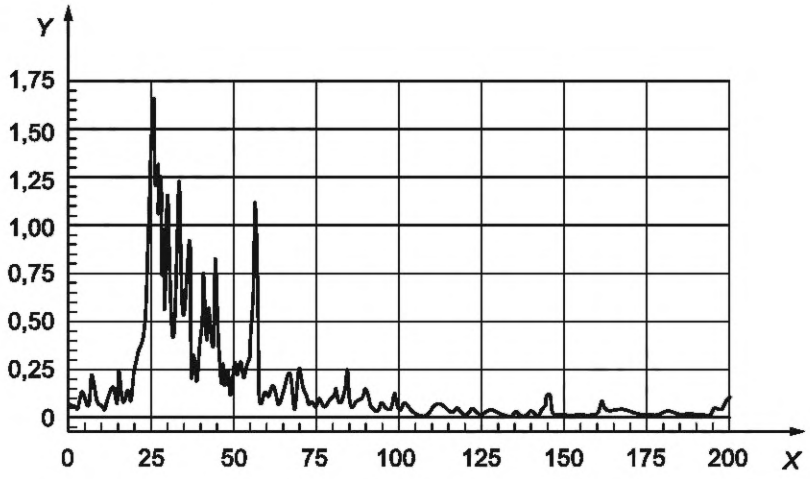
Y1 — сторона редуктора; Y2 — сторона электродвигателя

Рисунок С.10 — ODS-анализ опорной плиты в вертикальном направлении

Из рисунков видно, что основные смещения как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях имели место посередине опорной плиты, т. е. в том месте, где и наблюдались повторяющиеся повреждения. Таким образом, причиной неисправностей была недостаточная жесткость опорной плиты в месте расположения входного вала редуктора, что приводило к его повреждениям. При этом увеличение диаметра вала приводило к тому, что возбуждение передавалось внутрь редуктора, вызывая ускоренный износ его частей. В качестве корректирующего действия было предложено усилить жесткость опорной плиты.

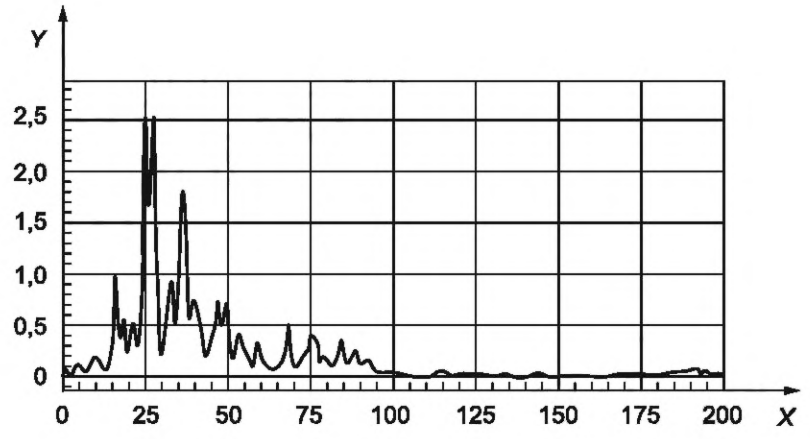
С.4 Пример дефекта подшипника

В данном примере описано нехарактерное повреждение. Во время приемочных испытаний на цементном заводе была выявлена относительно высокая вибрация нового вентилятора с подшипниками качения. Спектры вибрации показаны на рисунках С.11 и С.12.



X — частота, Гц; *Y* — скорость вибрации, мм/с

Рисунок С.11 — Спектр вибрации подшипника с приводного конца вала



X — частота, Гц; *Y* — скорость вибрации, мм/с

Рисунок С.12 — Спектр вибрации подшипника с неприводного конца вала

Диагностирование по схеме на рисунке В.1 показало, что в спектре отсутствуют составляющие на характерных подшипниковых частотах, нет признаков неисправностей из-за неправильной установки машины и дисбаланса. Не наблюдалось также вибрации на лопастной частоте вентилятора. Однако при этом работа подшипников была очень шумной. Спектры вибрации, подобные показанным на рисунках С.11 и С.12, обычно не связывают с повреждениями подшипников. При наблюдаемом общем высоком уровне вибрации ее мощность распределена по широкому диапазону частот без выделения составляющих на частотах, характерных для дефектного подшипника, таких как частота перекатывания тел по наружному кольцу (f_{BPO}), частота перекатывания тел по внутреннему кольцу (f_{BPI}), частота вращения тел качения (f_{BS}) или частота вращения сепаратора (f_{FT}).

После беседы с сотрудниками завода выяснилось, однако, что в непосредственной близости от вентилятора проводились сварочные работы. Это заставило пересмотреть результаты проведенного анализа. Причиной вибрации, показанной на рисунках С.11 и С.12, могли быть электрические разряды в подшипниках, вызванные сварочными работами, если они проводились без должной электрической защиты. Разборка подшипников показала отчетливо видимые следы электрических разрядов. После замены подшипников вентилятор успешно прошел процедуру приемки.

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 13372:2012	IDT	ГОСТ Р ИСО 13372—2013 «Контроль состояния и диагностика машин. Термины и определения»
ISO 13373-1	IDT	ГОСТ Р ИСО 13373-1—2009 «Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 1. Общие методы»
ISO 13373-2	IDT	ГОСТ Р ИСО 13373-2—2009 «Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 2. Обработка, анализ и представление результатов измерений вибрации»
ISO 13373-3:2015	IDT	ГОСТ Р ИСО 13373-3—2016 «Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 3. Руководство по диагностированию по параметрам вибрации»
ISO 21940-2	NEQ	ГОСТ 19534—74 «Балансировка вращающихся тел. Термины»

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

- IDT — идентичные стандарты;
- NEQ — неэквивалентные стандарты.

Библиография

[1] ISO 7919 (all parts) Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on rotating shafts (Вибрация. Оценка вибрации машин по измерениям на вращающихся валах)

[2] ISO 10816 (all parts) Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts (Вибрация. Оценка вибрации машин по измерениям на невращающихся частях)

[3] ISO 133791 Condition monitoring and diagnostics of machines — Data interpretation and diagnostics techniques — Part 1: General guidelines (Контроль состояния и диагностика машин. Методы интерпретации данных и диагностирования. Часть 1. Общее руководство)

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

[5] ISO 14695 Industrial fans — Method of measurement of fan vibration (Вентиляторы промышленные. Метод измерений вибрации вентиляторов)

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

[7] ISO 20816 (all parts) Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration (Вибрация. Измерения вибрации и оценка вибрационного состояния машин)

[8] ISO 21940 (all parts) Mechanical vibration — Rotor balancing (Вибрация. Балансировка роторов)

[9] VDI 3839 Instructions on measuring and interpreting the vibrations of machines — Part 4: Typical vibration patterns with fans and blowers for gases (Инструкции по измерениям вибрации машин и интерпретации их результатов. Часть 4. Типичные вибрационные характеристики для вентиляторов и воздуходувок)

[10] El-Shafei A. Fan diagnosis in the field. I. Mech. E. International Conference on Vibrations in Rotating Machines, Exeter, UK, 2008

УДК 534.322.3.08:006.354 ОКС 17.160

Ключевые слова: вентиляторы, воздуходувки, контроль технического состояния, диагностирование, вибрация, таблицы процессов, таблицы неисправностей

Редактор *В.Н. Шмельков*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *О.В. Лазарева*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 05.09.2022. Подписано в печать 13.09.2022. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 2,93.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «РСТ»
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