ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 18436-2— 2015

Контроль состояния и диагностика машин

ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ И ОЦЕНКЕ ПЕРСОНАЛА

Часть 2

Вибрационный контроль состояния и диагностика

ISO 18436-2:2014
Condition monitoring and diagnostics of machines — Requirements for qualification and assessment of personnel — Part 2: Vibration condition monitoring and diagnostics
(IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2016

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (АО «НИЦ КД») на основе собственного перевода на русский язык 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 5 ноября 2015 г. № 1704-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 18436-2:2014 «Контроль состояния и диагностика машин. Требования к квалификации и оценке персонала. Часть 2. Вибрационный контроль состояния и диагностика» (ISO 18436-2:2014 «Condition monitoring and diagnostics of machines — Requirements for qualification and assessment of personnel — Part 2: Vibration condition monitoring and diagnostics»).

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

5 ВЗАМЕН ГОСТ Р ИСО 18436-2—2005

*Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, 2016

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 Нормативная ссылка ... 1
3 Термины и определения ... 1
4 Классификация персонала в области вибрационного контроля состояния и диагностики машин ... 1
5 Допуск к процедуре оценки компетентности ... 4
6 Квалификационные экзамены ... 5
Приложение А (обязательное) Содержание учебного курса для персонала в области вибрационного контроля состояния и диагностики машин ... 6
Приложение В (обязательное) Международные стандарты в области вибрационного контроля состояния и диагностики машин ... 29
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации ... 31
Библиография ... 32

Введение

Технологии безразборного контроля состояния и диагностирования машин включают в себя анализ вибрации, инфракрасную термографию, анализ масла и частиц износа, метод акустической эмиссии, ультразвуковой контроль и анализ параметров тока двигателя.

Аккуратное и последовательное применение вышеперечисленных методов позволяет в значительной степени окупить затраты на их введение. Однако эффективность выполнения программ технического обслуживания в значительной степени зависит от квалификации персонала, выполняющего измерения и анализ данных.

Программа обучения, устанавливаемая настоящим стандартом, разработана в целях оценки компетентности персонала, включая теоретические знания и практические навыки, в области вибрационного анализа машин (контроля состояния и диагностирования). При подтверждении компетентности от заявителя требуется также подтверждение имеющегося опыта работы в данной области.

Заявители должны ясно представлять себе, что оценка компетентности может быть осуществлена различными способами. При этом, как правило, работодатели и потенциальные заказчики склонны больше доверять оценке, сделанной независимым третьим лицом (сертификация). Несколько ниже степень доверия к оценке, выполненной второй стороной. Наконец, заявитель может применить данный стандарт в целях самооценки и декларирования компетентности, однако ожидаемое доверие к такой оценке со стороны работодателей и потенциальных заказчиков будет наименьшим.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Контроль состояния и диагностика машин

ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ И ОЦЕНКЕ ПЕРСОНАЛА

Часть 2

Вибрационный контроль состояния и диагностика

Condition monitoring and diagnostics of machines.
Requirements for qualification and assessment of personnel.
Part 2. Vibration condition monitoring and diagnostics

Дата введения — 2016—12—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает общие требования к квалификации, опыту работы и обучению персонала, выполняющего работы по контролю состояния и диагностированию машин на основе измерений вибрации, а также метод оценки компетентности персонала.

Полученный сертификат или иное свидетельство компетентности является подтверждением способности получивших их лиц проводить измерения и анализ вибрации в целях контроля состояния и диагностирования с применением широкого диапазона средств измерений.

Стандарт устанавливает четыре категории сертификации, при этом каждой категории соответствует свой уровень знаний.

2 Нормативная ссылка

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ИСО 1925 Вибрация. Балансировка. Словарь (ISO 1925, Mechanical vibration — Balancing — Vocabulary)

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

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

ИСО 18436-1 Контроль состояния и диагностика машин. Требования к квалификации и оценке персонала. Часть 1. Требования к органам по оценке и процедурам оценки (ISO 18436-1, Condition monitoring and diagnostics of machines — Requirements for qualification and assessment of personnel — Part 1: Requirements for assessment bodies and the assessment process)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ИСО 1925, ИСО 2041, ИСО 13372 и ИСО 18436-1.

4 Классификация персонала в области вибрационного контроля состояния и диагностики машин

4.1 Общие положения

Кандидат может претендовать на подтверждение его компетентности по одной из категорий, установленных в настоящем стандарте, в зависимости от квалификации (см. 4.2—4.5). Им должна быть продемонстрирована компетентность в вопросах вибрационного контроля состояния машин и диагностики в пределах соответствующей классификационной категории, как указано в приложении А.

Издание официальное

Классификация специалистов всех категорий осуществляется в пределах заявленной области деятельности и ограничений органов по оценке. Допуск таких специалистов к работе осуществляется работодателем или заказчиком. Кандидат должен предъявлять рекомендации, основанные на полученном им обучении и опыте выполненных им работ. Подтвержденная в соответствии с настоящим стандартом компетентность не дает специалисту право самостоятельно принимать решения или давать рекомендации в отношении планирования производства, безопасности и эффективности применяемых производственных технологий без консультаций с соответствующими специалистами, менеджерами и операторами. Степень свободы специалиста в принимаемых им решениях должна быть предметом соглашения с работодателем или заказчиком.

Требования к категории специалиста, а также дополнительные требования к его знаниям в области обслуживаемого вида машин, должны быть предметом соглашения между заказчиком и поставщиком услуг. Имеющаяся категория подтверждает наличие у специалиста достаточных знаний, способность проводить измерения и интерпретировать их результаты в пределах данной категории. Заказчик может потребовать дополнительных доказательств от специалиста (основанных на предшествующем опыте работы и обучении) способности выполнять вибрационный контроль состояния и диагностирование машин конкретного вида, поскольку обслуживание таких машин может требовать специальных знаний и навыков.

При наличии специальных знаний о проведении анализа вибрации для машин конкретного вида специалист может быть допущен к их обслуживанию по решению работодателя или заказчика в пределах, превышающих его категорию.

В 4.2—4.5 перечислены в общем виде основные требования к знаниям и умениям специалистов разных категорий. Более подробные рекомендации приведены в таблицах А.1 и А.2.

4.2 Категория I

Лицо, удовлетворяющее требованиям категории I, должно уметь выполнять простейший, обычно одноканальный контроль состояния машин в соответствии с установленными процедурами. Выполняемые им работы должны осуществляться под наблюдением со стороны более опытных сотрудников.

Такой специалист должен обладать, по крайней мере, следующими знаниями и умениями:

a) знать природу и основные особенности появления вибрации машин, иметь представление о единицах измерения параметров вибрации;

b) обеспечивать надежный сбор данных;

c) уметь обнаруживать аномалии в собранных данных;

d) уметь восстанавливать заданные установки используемого оборудования для сбора данных, передавать данные в компьютеризованную систему анализа;

e) уметь сравнивать общий уровень вибрации или значение одного из ее параметров с предварительно установленными значениями для предупреждения аварийных ситуаций;

f) уметь обнаруживать отклонения от обычных значений параметра вибрации и выявлять тренд такого параметра;

g) составлять отчет о результатах визуального контроля обследуемого оборудования.

Специалист категории I не может нести ответственность за:

– выбор преобразователя вибрации, выбор метода анализа или диагностирования;

– оценку результатов анализа, за исключением сравнения полученных данных с предварительно установленными значениями (например, в целях идентификации соответствия условиям приемки или состояний предупреждения и останова).

4.3 Категория II

Лицо, удовлетворяющее требованиям категории II, является квалифицированным специалистом, способным выполнять измерения вибрации машин и знающим базовые процедуры анализа результатов одноканальных измерений (с использованием или без использования датчика фазы). От него требуется владение знаниями и навыками, которыми обладает специалист категории I, и, кроме того, оно должно:

a) определять действия, которые должен совершать специалист категории I при сборе данных в рамках плановых процедур мониторинга;

b) знать основные принципы анализа сигналов и уметь определять условия сбора и анализа данных в целях вибрационного контроля состояния;

c) уметь проводить простые (одноканальные) испытания на удар с целью определения собственных частот конструкции машины;

d) уметь классифицировать, интерпретировать и давать оценку результатам испытаний (включая приемочные испытания) на соответствие требованиям технических условий и стандартов;

e) уметь определять общие неисправные состояния машины и давать рекомендации относительно основных корректирующих действий в пределах опыта работы с машинами данного вида, включая проведение одноплоскостной балансировки жестких роторов (с учетом и без учеты фазы сигнала);

f) осуществлять инструктаж и общее руководство работой специалистов категории I.

4.4 Категория III

Лицо, удовлетворяющее требованиям категории III, обладает знаниями, опытом и умениями, требуемыми от специалистов категорий I и II и, кроме того, должно:

a) составлять и внедрять программы планового контроля состояния и внеплановых исследований в целях обнаружения неисправностей;

b) определять требуемое аппаратурное и программное обеспечение стационарных и переносных систем контроля вибрации;

c) иметь глубокие знания принципов и методов вибрационного анализа машин и уметь выполнять начальное диагностирование для редко встречающихся неисправностей с применением процедур анализа спектров, временных реализаций и орбит, передаточных характеристик, форм изгибных колебаний, огибающих сигнала как в установившемся, так и в переходном режимах работы машины с использованием и без использования сигнала с датчика фазы;

d) управлять программами вибрационного контроля, оценивать установленные уровни предупреждения, составлять рабочие процедуры контроля и процедуры приемочного контроля по показателям вибрации;

e) инициировать и проверять выполнение корректирующих действий, включая двухплоскостную балансировку жестких роторов;

f) предлагать рекомендации по ограничениям работы машин;

g) понимать и при необходимости применять альтернативные технологии контроля состояния для подтверждения выводов, полученных при плановом сборе данных, или для дополнительных исследований;

h) осуществлять инструктаж и техническое руководство специалистами категорий I и II, а также, по согласованию с работодателем или заказчиком, признавать способность этих специалистов выполнять работы, выходящие за пределы их обычных обязанностей.

Работодатель или заказчик несут ответственность за признание того, что специалист категории III обладает необходимыми способностями в управленческой деятельности, включая составление бюджетов, экономических обоснований, управлением квалификацией персонала.

4.5 Категория IV

Лицо, удовлетворяющее требованиям категории IV, обладает знаниями, опытом и умениями, требуемыми от специалистов категорий I, II и III. Кроме того, оно должно управлять стратегиями контроля состояния и проверять их выполнение.

Работодатель должен рассматривать специалистов категории IV как обладающих обширными техническими знаниями и опытом работ в отношении широкого класса машин, возможных ситуаций в их работе и обслуживании, а также способностями выбора наиболее подходящих процедур мониторинга.

От специалиста категории IV требуется, как минимум:

a) умение применять теорию и методы вибрационных измерений и анализа, включая многоканальные измерения, вычисления взаимных спектров, передаточных функций, функций когерентности, фазовых соотношений;

b) понимание методов анализа сигнала в частотной и временной областях вместе с ограничениями этих методов и способность применять их на практике;

c) умение определять собственные частоты, формы изгибных колебаний и коэффициенты демпфирования систем и подсистем;

d) способность определять формы изгибных колебаний машин и присоединенных конструкций и давать рекомендации по их коррекции;

e) умение применять общепризнанные современные методы вибрационного анализа, идентификации параметров и обнаружения неисправностей;

f) знать основные принципы динамики системы "ротор — подшипники" и применять их в целях диагностирования;

g) способность проводить двухплоскостную балансировку для устранения статического и динамического дисбалансов ротора, в том числе с использованием коэффициентов влияния;

h) способность давать рекомендации по проведению корректирующих действий или внесению изменений в конструкцию машины, включая замену отдельных частей или их ремонт, установку виброизоляции, увеличение демпфирования, изменение жесткости или распределения масс;

i) умение интерпретировать и оценивать методы, установленные в технических условиях, стандартах и иных документах;

j) способность распознавать вибрацию, обусловленную пульсацией газа (например, в машинах возвратно-поступательного действия или винтовых компрессорах), измерять параметры, связанные с пульсацией, и определять меры по ее уменьшению;

k) способность устанавливать рекомендации по внесению изменений в опорную систему машины и решать другие проблемы, связанные с опорой и фундаментом.

5 Допуск к процедуре оценки компетентности

5.1 Общие положения

Чтобы удовлетворить требованиям настоящего стандарта, кандидат должен обладать соответствующим образованием, опытом работы, пройти курс обучения в подтверждение способности понимать и использовать основные принципы и методы измерения и анализа вибрации машин согласно требованиям раздела 4 и приложения А.

5.2 Образование

От кандидатов не требуется формальных свидетельств полученного образования. Все кандидаты должны уметь использовать калькулятор с математическими функциями и быть знакомыми с принципами работы на персональном компьютере. Кандидат, претендующий на сертификацию по Категории III или IV, должен быть знаком с современными технологиями анализа вибрации машин. Для таких кандидатов крайне желательно успешное завершение, по крайней мере, первых двух лет обучения в высшем учебном заведении технического профиля или университете.

5.3 Обучение

5.3.1 Основной курс

Для допуска к процедуре подтверждения компетентности в соответствии с настоящим стандартом кандидат должен предъявить свидетельство об успешном обучении, основанном на требованиях приложения А. Обучение проводят в форме лекций, демонстраций, практических занятий или в форме контролируемой самоподготовки. Преподаватель должен контролировать успешность освоения кандидатом предлагаемого материала. Рекомендуемые минимальные сроки обучения приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Минимальная длительность обучения (в часах)

Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV
32	70	110	174

Обучение может быть разбито на отдельные этапы, но при этом должны выполняться требования приложения А. Рекомендуемые источники технической информации приведены в приложении В и библиографии[1)]. Рекомендуется, чтобы после завершения обучения кандидаты сдавали экзамены, подтверждающие усвоение пройденного материала.

5.3.2 Дополнительный курс по машинному оборудованию

Помимо основного курса (таблица 1 и приложение А) рекомендуется, чтобы кандидат прошел обучение по курсу «Машины и элементы машин», время обучения по которому составляло, по крайней мере, половину времени, указанного в таблице 1.

Указанный курс может быть организован на базе высшего учебного заведения или иной учебной организации, организации, предоставляющей услуги по дополнительному обучению, а также работодателем в целях повышения квалификации своих сотрудников. В этом курсе должны быть рас-

[1)] Для удобства пользователей библиография дополнена учебной литературой отечественных авторов [22]—[29].

смотрены вопросы проектирования, применения, функционирования и технического обслуживания машин и их узлов, виды их отказов и причины их появления, а также то, каким образом отказы и неисправности разного вида влияют на создаваемую машиной вибрацию. Прохождение дополнительного курса должно быть подтверждено соответствующими письменными свидетельствами.

5.4 Опыт работы

Для получения допуска к процедуре сертификации в соответствии с настоящим стандартом кандидату следует продемонстрировать, что он имеет достаточный опыт работы в области контроля состояния машин и диагностики. В отношении кандидата на присвоение категории IV могут быть сделаны запросы другим лицам, имеющим ту же категорию, или их работодателям.

Минимальные требования к опыту работы показаны в таблице 2.

Таблица 2 — Рекомендуемый минимум практического опыта работы кандидата (в месяцах)

Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV
6	18	36	60

Для подтверждения компетентности по категории II кандидату необязательно предварительно получать категорию I, однако при подтверждении компетентности по категории III или IV, кандидат должен обладать свидетельством категории II или III соответственно. С повышением уровня классификационной категории широта и глубина практического опыта кандидата должны возрастать.

6 Квалификационные экзамены

6.1 Содержание экзамена

Сдавая экзамены по каждой категории, кандидат отвечает на ряд вопросов в течение заданного периода времени, как показано в таблице 3. Вопросы должны отвечать темам, указанным в приложении А, и быть выбраны из общей базы данных, действующей на время проведения экзамена. Вопросы должны быть составлены техническим комитетом соответствующего органа по оценке компетентности.

Таблица 3 — Примерные условия экзаменов

Категория	Число вопросов	Время, ч	Проходной балл (доля правильных ответов), %
Категория I	60	2	70
Категория II	100	3	70
Категория III	100	4	70
Категория IV	60	5	70

Вопросы должны быть практического характера даже в том случае, когда они направлены на проверку знания кандидатом общих представлений и основ проведения анализа вибрации машин.

Некоторые вопросы могут требовать истолкования графиков и диаграмм. В ходе экзамена кандидат должен продемонстрировать умение выполнять простые математические расчеты с использованием калькулятора с математическим функциями. Вместе с экзаменационными вопросами по решению органа по оценке кандидату может быть предоставлена сводка основных формул.

Вопросы для кандидатов на категории III и IV могут требовать как содержательного ответа, так и выбора из нескольких предлагаемых вариантов ответа.

Содержание экзаменационных вопросов должно соответствовать содержанию курса по приложению А и длительности обучения по каждой теме курса.

Орган по оценке компетентности может предложить условия размещения кандидатов за установленную им плату.

6.2 Проведение экзамена

Экзамен проводят в соответствии с ИСО 18436-1 и процедурами, установленными органом по оценке.

Приложение А
(обязательное)

Содержание учебного курса для персонала в области вибрационного контроля состояния и диагностики машин[1)]

Таблица А.1 — Сводная таблица учебных тем

Тема	Учебные часы			
	Категория			
	I	II	III	IV
1 Основы вибрации	6	3	1	4
2 Сбор данных	6	4	2	2
3 Обработка сигналов	2	4	4	8
4 Контроль состояния	2	4	3	1
5 Анализ неисправностей	4	5	6	6
6 Корректирующие действия	2	4	6	16
7 Машинное оборудование	6	4	4	–
8 Приемочные испытания	2	2	2	–
9 Испытания оборудования и диагностика	–	2	4	4
10 Ссылочные стандарты	–	2	2	2
11 Составление отчетов и документация	–	2	2	4
12 Определение степени развития повреждения	–	2	2	3
13 Динамика системы "ротор — подшипники"	–	–	–	14
Общее число часов обучения для данной категории	**30**	**38**	**38**	**64**

Примечание — Указанные в таблице часы по каждой учебной теме являются ориентировочными. Органы по обучению и оценке могут самостоятельно оценить важность каждой из учебных тем. Содержание разных тем может частично перекрываться.

[1)] Учебные центры имеют право расширить программу обучения, в том числе, включить в программу обучения национальные стандарты Российской Федерации.

Таблица А.2 — Содержание учебных тем и часы обучения

Номер темы/ подтемы	Тема/Подтема	Категория				Рекомендуемое содержание подтем			
		I	II	III	IV	Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV
1	Основы вибрации	6	3	1	4				
1.01	Виды вибрации	•	•	•		Общее представление о вибрации и понимание природы гармонических колебаний	Понимание суперпозиции гармонических колебаний, систем с одной степенью свободы	Понимание демпфированных свободных колебаний, самовозбуждения системы, установившихся и переходных состояний системы, систем с многими степенями свободы	
1.02	Период и частота колебаний	•	•	•		Общее представление о сигнале вибрации: время, период, частота. Применение единиц измерения Гц и мин$^{-1}$	Понимание соотношения между периодом и частотой сигнала. Частота биения	Понимание требований к выбору соответствующих периодов времени и частоты. Понятие об анализе в октавных полосах частот	
1.03	Энергетические параметры: пиковое значение, размах, среднеквадратичное значение	•	•	•		Общее представление о параметрах вибрационного сигнала: амплитуде, пиковом значении, размахе, среднеквадратичном значении	Понимание соотношений между параметрами сигнала: пиковым значением, размахом, среднеквадратичным значением	Понимание причин применения разных параметров сигнала: пикового значения, размаха, среднеквадратичного значения	
1.04	Измеряемые величины: перемещение, скорость, ускорение	•	•	•		Общее представление о величинах, описывающих вибрацию: перемещении, скорости, ускорении	Понимание применения разных величин для описания вибрации: перемещения, скорости, ускорения	Понимание причин выбора величины для описания вибрации: перемещения, скорости или ускорения	
1.05	Единицы измерений и соотношения между ними	•	•	•		Общее представление о разных единицах измерения и их преобразованиях	Понимание способов преобразования единиц измерения и интегрирования сигнала	Представление о влиянии процессов интегрирования и дифференцирования на частотный состав сигнала	
1.06	Представление вибрации в частотной и временной областях	•	•	•		Представление о временной и частотной областях анализа сигнала	Представления об огибающей, полосовом фильтре, демодуляции, пик-факторе	Понимание метода анализа орбит, применения фигур Лиссажу и оконной техники	

Продолжение таблицы А.2

Номер темы/ подтемы	Тема/Подтема	Категория				Рекомендуемое содержание подтем			
		I	II	III	IV	Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV
1.07	Векторы, модуляция			•	•			Общее представление о векторах, модуляции	Сбор данных для модального анализа
1.08	Фаза колебания		•	•	•		Единицы измерения фазы, отметка фазы	Метод детектирования фазы сигнала	Взаимное влияние каналов, когерентность
1.09	Собственная частота, резонанс, критические скорости	•	•	•	•	Общее представление о резонансе, его влиянии на вибрацию	Основная собственная мода колебаний, система с одной степенью свободы. Общее представление о параметрах системы: частоте, жесткости, массе, демпфировании, виброизоляции	Критические скорости вращения, системы с двумя степенями свободы, амортизатор вибрации. Общее представление о методах модального анализа и модах изгибных колебаний	Добротность, системы со многими степенями свободы. Углубленное понимание методов модального анализа и мод изгибных колебаний
1.10	Сила, отклик, демпфирование, жесткость			•	•			Понимание характеристик подвижности и податливости	Применение графиков подвижности, жесткости, импеданса, ускоряемости
1.11	Неустойчивость, нелинейность				•				Системы с неупругим креплением
2	Сбор данных	6	4	2	2				
2.01	Средства измерений	•	•	•	•	Общее представление о ручном одноканальном плановом сборе данных, измерениях в реальном масштабе времени и системах контроля	Двухканальный сбор данных в реально и не в реальном масштабах времени, системы контроля и анализа, включая анализ фаз	Многоканальный сбор данных в реальном и не в реальном масштабах времени, системы контроля и анализа, включая анализ фаз	Многоканальный сбор данных, включая данные для модального анализа и поиска неисправностей
2.02	Динамический диапазон, отношение сигнал/шум			•	•			Понятие динамического диапазона и отношения сигнал/шум. Автоматическая настройка диапазона, интегрирование, системные ошибки, улучшение разрешения	Методы улучшения разрешения и повышения точности. Методы подавления шума с последующей обработкой сигнала

Продолжение таблицы А.2

Номер темы/ подтемы	Тема/Подтема	Категория				Рекомендуемое содержание подтем			
		I	II	III	IV	Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV
2.03	Преобразователи	•	•	•		Общее представление о преобразователях перемещения, скорости и ускорения. Понятие активных и пассивных преобразователей	Представление о бесконтактных датчиках перемещения, преобразователях скорости, акселерометрах, включая преобразователи с встроенными схемами интегрирования. Требования к диапазону частот преобразователя, компенсации механических биений, калибровке	Понимание критериев выбора преобразователей, в том числе с учетом характерных частот неисправностей машины. Понимание основных методов компенсации биений при использовании бесконтактных датчиков. Понимание требований к калибровке и способность их сформулировать	
2.04	Крепление датчиков, собственная частота установленного датчика	•	•	•		Общее представление о влиянии способа установки преобразователя (на шпильку, на магнит, через ручной щуп) на диапазон частот измерений	Понимание способов крепления акселерометра и их влияния на диапазон частот измерений. Представление о разнообразных способах крепления. Понятие об оси чувствительности преобразователя и трибоэлектрическом эффекте	Понимание требований международных стандартов к проведению измерений, представление о требованиях к измерениям на осевых упорных подшипниках, частотной характеристики установленного датчика и его резонансах, времени отвердевания клеев	
2.05	Максимальная частота анализа, период выборки		•	•			Понимание максимальной частоты анализа, функции увеличения масштаба по частоте, определение разрешения по частоте, соотношение между максимальной частотой анализа и периодом выборки	Понимание основных вопросов, связанных с быстрым преобразованием Фурье (БПФ), соотношений выборки, частоты дискретизации, наложения спектров	
2.06	Бесконтактные датчики		•	•			Общее представление об измерениях бесконтактными датчиками: напряжение в зазоре, ортогональное расположение осей датчиков, механические биения поверхности	Контроль калибровки в полевых условиях, измерения на осевых упорных подшипниках, компенсация механических биений	

Продолжение таблицы А.2

Номер темы/ подтемы	Тема/Подтема	Категория				Рекомендуемое содержание подтем			
		I	II	III	IV	Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV
2.07	Синхронизация		•	•			Понятие об использовании информации о фазе сигнала: вихретоковые датчики, фотоэлементы, следящие фильтры	Понимание синхронной фильтрации сигнала, способов использования синхронизации при балансировке валов	
2.08	Планирование испытаний		•	•	•		Способность планировать проведение вибрационного контроля состояния	Управление программами контроля состояния	Разработка специализированных методов испытаний
2.09	Методы испытаний	•	•	•	•	Способность следовать установленным процедурам сбора данных в системах в реальном масштабе времени или при выполнении плановых процедур мониторинга. Общие представления о точках измерений для машин разных видов. Способность определить некачественные данные и условия предупреждения. Понимать необходимость проведения калибровки	Способность установить систему сбора данных для анализа вибрации: определить контролируемые машины и точки контроля, установить настройки систем сбора и оповещения (предупреждения), проводить измерения и контролировать их проведение, составлять основные отчеты, выполнять калибровку	Управление программами вибрационного контроля, установление процедур калибровки. Расширенный отчет о контроле состояния. Поиск неисправностей	Разработка методов испытаний и калибровки. Разработка стандартов
2.10	Форматы представления данных		•	•			Представление об общих единицах и форматах представления данных: построение трендов, спектров, каскадных спектров, фазовых характеристик	Понимание различных форматов представления данных: построение трендов, спектров, каскадных спектров, фазовых характеристик, диаграмм Боде, Найквиста, Кэмпбелла	
2.11	Загрузка/выгрузка данных в базу данных на компьютере	•				Представление об основных функциях базовой системы обработки и устройства сбора данных			
2.12	Признаки неправильно проведенных измерений	•	•	•		Общее представление об основных неисправностях: подъем спектра вблизи нулевой частоты, отсутствие сигнала, неисправность соединительного кабеля	Ошибки крепления, неисправности кабеля, трибоэлектрические эффекты, напряжение смещения и время установления	Ошибки, связанные с обработкой сигнала. Неправильное определение верхней частоты диапазона анализа, параметров выборки, интегрирования	

Продолжение таблицы А.2

Номер темы/ подтемы	Тема/Подтема	Категория				Рекомендуемое содержание подтем			
		I	II	III	IV	Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV
3	Обработка сигналов	2	4	4	8				
3.01	Определение среднеквадратичного/пикового значения				•				Понимание особенностей и условий определения среднеквадратичного и пикового значений сигнала
3.02	Аналого-цифровое преобразование				•				Понимание требований к аналого-цифровому преобразованию сигнала. Общее представление о ключевых этапах получения оцифрованных данных
3.03	Аналоговая выборка, цифровая выборка		•	•	•		Общее представление об основных функциях и схеме аналого-цифрового преобразования. Понимание эффектов насыщения и ограничения сигналов, утечки спектра	Понимание процедуры БПФ, требований к диапазону частот анализа, синхронной выборке, отметчику фазы сигнала, частоте выборки	Понимание требований к формированию аналоговой и цифровой выборок сигнала. Понимание ключевых моментов формирования выборок
3.04	Вычисление БПФ			•	•			Общее представление о схеме реализации БПФ (преобразователь, устройство формирования сигнала, фильтр для защиты от наложения спектров, аналого-цифровое преобразование, применение временных окон)	Углубленное понимание процедуры БПФ и дискретного преобразования Фурье (ДПФ), включая функции элементов схемы преобразования ((преобразователь, устройство формирования сигнала, фильтр для защиты от наложения спектров, аналого-цифровое преобразование, применение временных окон, вычисление кепстра)

Продолжение таблицы А.2

Номер темы/ подтемы	Тема/Подтема	Категория				Рекомендуемое содержание подтем			
		I	II	III	IV	Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV
3.05	Применение БПФ	•	•			Общее представление о процедуре БПФ и связанной с ней терминологией (число линий спектра, максимальная частота анализа, длительность выборки)	Сопоставление требований к БПФ с типичными спектрами характерных неисправностей машины. Понимание требований к числу линий в спектре, максимальной частоте анализа, частоте выборки. Общее понимание других элементов преобразования (защиты от наложения спектров, применения окон, усреднения)		
3.06	Временные окна: прямоугольное, хэннинг, плосковершинное		•	•			Общее представление об окне Хана (хэннинге) и его влиянии на выборку (уменьшение утечки спектра, изменение амплитуды составляющих спектра)	Общее представление о других оконных функциях (прямоугольной, плосковершинной Хэмминга) и их влиянии на выборку (уменьшение утечки спектра, изменение амплитуды составляющих спектра)	
3.07	Фильтры: низких частот, высоких частот, полосовые, следящие		•	•	•		Общее представление о фильтрах для сигналов вибрации (нижних частот, верхних частот, полосовых)	Представление о работе фильтров нижних частот, верхних частот, полосовых. Общее представление о пропускающих и режекторных фильтрах, следящих фильтрах	Общее представление о фильтрах других типов: Бесселя, Баттерворта, Чебышева, Гаусса, Каузра). Общее представление об основных характеристиках фильтров (полюсах, передаточной функции)
3.08	Защита от наложения спектров		•	•	•		Общее представление о требованиях к фильтру защиты от наложения спектров	Понимание требований к фильтрам с наложением и без наложения спектров	Общие понимание требований к проектированию фильтров защиты от наложения спектров

Продолжение таблицы А.2

Номер темы/ подтемы	Тема/Подтема	Категория				Рекомендуемое содержание подтем			
		I	II	III	IV	Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV
3.09	Ширина полосы, разрешение		•	•	•		Общее представление о ширине полосового фильтра, разрешении БПФ, длительности сигнала, разрешении линий спектра, длительности выборки анализатора, длительности выборки для БПФ	Понимание понятий разрешения по частоте, искажений, расчетов параметров выборки	Понимание понятий шума, случайной вибрации, передаточных характеристик цепи
3.10	Подавление шума		•	•	•		Общие представления о методах фильтрации и усреднения для подавления шума	Понимание требований к подавлению шума. Аналоговая и цифровая фильтрация	Понимание и умение применять методы подавления шума (увеличение разрешения по частоте, синхронное усреднение, выбор средств измерений с низким уровнем собственных шумов)
3.11	Усреднение: линейное, синхронное, экспоненциальное		•	•	•		Общие представления об усреднении в частотной области	Понимание линейного усреднения и синхронного накопления сигнала. Усреднение наложенных колебаний	Понимание понятия скользящей средней сигнала
3.12	Динамический диапазон		•	•	•		Общие представления о динамическом диапазоне	Понимание требований к динамическому диапазону	Умение выполнять расчеты динамического диапазона
3.13	Отношение сигнал/шум				•				Общие представления о методах определения отношения сигнал/шум и установлении требований к этому отношению
3.14	Спектральные диаграммы			•	•			Общие представления о каскадном спектре (частота вращения ротора, резонансные частоты)	Представления о каскадном спектре, диаграмме Кэмпбелла, спектрограммах

Продолжение таблицы А.2

Номер темы/ подтемы	Тема/Подтема	Категория				Рекомендуемое содержание подтем			
		I	II	III	IV	Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV
4	Контроль состояния	2	4	3	1				
4.01	Создание и ведение компьютерной базы данных			•				Процедуры установления параметров измерений, мест измерений и частот измерений. Обслуживание компьютерной базы данных	
4.02	Выбор объектов контроля		•				Умение провести обследование оборудования и установить требования к контролю		
4.03	Составление программы контроля		•	•	•		Умение установить программу вибрационного контроля в соответствии с ИСО 17359 и ИСО 13373	Ознакомление со стандартами на методы вибрационного анализа и контроля, включая ИСО 17359 и ИСО 13373, и умение выполнить анализ видов и последствий отказов для установления требований к программе контроля	Ознакомление со стандартами на методы вибрационного анализа и контроля и умение сформулировать задание и выполнить анализ видов и последствий отказов для установления требований к программе контроля
4.04	Установка уровня предупреждения: в узких полосах частот			•				Умение оценивать вибрационное состояние с применением соответствующих стандартов, устанавливать и применять пределы предупреждения в полосах частот	
4.05	Установка базового уровня, отслеживание изменений		•	•			Определение базового уровня, в том числе по ИСО 10816, ИСО 7919, ИСО 14694, ИСО 8528-9 и др.	Умение устанавливать базовый уровень с применением соответствующих стандартов	

Продолжение таблицы А.2

Номер темы/ подтемы	Тема/Подтема	Категория				Рекомендуемое содержание подтем			
		I	II	III	IV	Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV
4.06	Планирование мониторинга		•	•			Умение устанавливать процедуры планового вибрационного контроля оборудования	Умение устанавливать оптимальные процедуры планового вибрационного контроля	
4.07	Альтернативные методы анализа: анализ масла, инфракрасная термография, контроль параметров тока электродвигателя, метод акустической эмиссии			•	•			Общие представления об альтернативных методах анализа: термографии, методе акустической эмиссии, ультразвуковом контроле, анализе смазки и частиц износа, контроле параметров тока	Представление о контроле состояния по рабочим характеристикам машины. Контроль состояния подшипников
4.08	Выявление неисправного состояния	•	•			Представление о заданных условиях неисправности (дисбаланс, несоосность, ослабление соединений, шум и повреждения подшипников)	Углубленное понимание возможных условий неисправности (дисбаланс, несоосность, ослабление соединений, шум и повреждения подшипников, повреждения зубьев, неисправности статора и стержня ротора, неисправности приводных ремней, резонансы)		
5	Анализ неисправностей	4	5	6	6				
5.01	Спектральный анализ, гармоники, боковые полосы		•	•	•		Представление о гармониках, боковых полосах и шумовом пьедестале в спектре. Понятие огибающей спектра	Понимание природы гармонических составляющих и боковых полос в спектре, понятий модуляции и шума, октавных полос	Понимание принципов кепстрального анализа, анализа в октавных полосах частот
5.02	Анализ временной формы сигнала		•	•	•		Понимание принципов использования временной формы сигнала для анализа	Представление о требованиях в временной выборке, длительности выборки для разных практических задач	Умение проводить анализ временного сигнала для разных практических задач

Продолжение таблицы А.2

Номер темы/ подтемы	Тема/Подтема	Категория				Рекомендуемое содержание подтем			
		I	II	III	IV	Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV
5.03	Анализ фазы		•	•	•		Представление об использовании фазы сигнала в целях анализа	Понимание основных методов анализа временных сигналов. Умение использовать информацию о фазе сигнала для подтверждения несоосности, наличия статического и динамического дисбаланса. Построение диаграмм Боде и Найквиста	Применение анализа временных форм сигнала для обнаружения неисправностей машины. Фазовый анализ вибрации элементов конструкций, модальный анализ. Отклик систем и конструкций
5.04	Анализ переходных процессов			•	•			Диаграмма выбега (диаграмма Боде)	Понимание методов анализа вибрации при изменяющейся частоте сигнала, анализа сигнала при выбеге
5.05	Анализ траекторий движения точки		•	•	•		Основные понятия анализа орбит	Понимание связи формы орбиты с возможными неисправностями машины. Понимание отличия орбит для отфильтрованного и неотфильтрованного сигнала. Понимание процедур сглаживания орбит	Понимание методов анализа орбит движения точек, резонансов вала, нестабильности движения вала на слое масла, применения диаграмм Найквиста
5.06	Анализ данных о положении центра вала		•	•	•		Понятие диаграммы положений центра вала	Понимание данных диаграммы положений центра вала	Умение интерпретировать данные диаграммы положений центра вала
5.07	Анализ огибающей		•	•	•		Понимание возможностей применения данных об огибающей сигнала	Понимание методов анализа огибающей и методов сбора данных для правильного выделения огибающей	Понимание процедур демодуляции сигнала и требований к ним
5.08	Дисбаланс		•	•			Представление о статическом и динамическом дисбалансе, остаточном дисбалансе, начальном дисбалансе	Представление о подверженности машины к росту дисбаланса и чувствительности к дисбалансу, погрешностях балансировки, источниках дисбаланса	

Продолжение таблицы А.2

Номер темы/ подтемы	Тема/Подтема	Категория				Рекомендуемое содержание подтем			
		I	II	III	IV	Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV
5.09	Дефекты сопряжений		•	•			Общее представление о допусках на несоосность, влиянии несоосности на вид спектра БПФ и временной сигнал	Понимание природы несоосности и методов обнаружения несоосности по спектральной и временной формам сигнала. Понимание требований к несоосности и допусков на несоосность	
5.10	Ослабление соединений		•	•			Общее представление о влиянии ослаблений на спектр БПФ и временной сигнал	Понимание природы ослаблений в соединениях и методов их обнаружения по спектральной и временной формам сигнала	
5.11	Трущиеся части, потеря устойчивости			•	•			Понимание источников контакта поверхностей, его влияния на вибрацию и методов обнаружения по спектральной и временной формам сигнала	Понимание действия источников нестабильности процесса
5.12	Дефекты подшипников: элементы качения, цапфы		•	•			Дефекты элементов подшипников качения, шум подшипников, удары в подшипниках, повреждения подшипников, частоты перекатывания тел качения по внутреннему и наружному кольцу, частота вращения тел качения, основная частота следования импульсов. Временной сигнал и огибающая. Понятие прецессии вала. Представления о связи дефектов подшипника с видом спектра и временного сигнала	Задевания в подшипниках скольжения, субгармоническая вибрация. Понимание динамики прецессии вала и методов ее снижения	

Продолжение таблицы А.2

Номер темы/ подтемы	Тема/Подтема	Категория				Рекомендуемое содержание подтем			
		I	II	III	IV	Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV
5.13	Дефекты электрических машин		•	•	•		Понятия частоты сети и полюсов асинхронного электродвигателя. Анализ характерных частот статора и ротора	Привод с переменной скоростью вращения, широтно-импульсная модуляция. Приводы асинхронного и синхронного двигателей	Температурные эффекты. Приводы от двигателей постоянного тока
5.14	Вибрация, вызванная потоком жидкости или газа			•	•			Представление и общие понятия о природе кавитации. Вращающийся срыв потока	Понимание природы вращающегося срыва, пульсации
5.15	Анализ дефектов зубчатых передач		•	•			Представление о зубцовой частоте и ее боковых полосах в БПФ-спектре, модуляции временного сигнала. Применение метода демодуляции (выделения огибающей)	Усреднение во временной области. Зубцовые частоты и их боковые полосы. Понимание природы огибающей	
5.16	Резонанс и критические скорости		•	•	•		Резонанс и критические скорости вращения жесткого ротора (система с одной степенью свободы)	Резонанс и критические скорости вращения гибкого ротора (система с двумя степенями свободы)	Резонанс и критические скорости вращения гибкого ротора (система с несколькими степенями свободы)
5.17	Турбомашины			•	•			Понимание явлений прецессии вала, задеваний ротора, несоосностей, влияния рабочего процесса	Понимание всех неисправностей турбомашин (прецессия вала, вибрация масляного клина, прогиб и коробление вала, дисбаланс, несоосность, задевания ротора)
5.18	Распознавание основных неисправностей	•				Распознавание характерных частот неисправностей в БПФ-спектре и по временному сигналу (дисбаланс, ослабление в соединениях, несоосность, шум и повреждения подшипника). Общие представления о резонансе и фазе сигнала			

Продолжение таблицы А.2

Номер темы/ подтемы	Тема/Подтема	Категория				Рекомендуемое содержание подтем			
		I	II	III	IV	Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV
6	Корректирующие действия	2	4	6	16				
6.01	Центровка валов		•	•			Понятие центровки валов, допусков на несоосность	Понимание требований к допускам на несоосность (например, в зависимости от скорости вращения ротора)	
6.02	Балансировка на месте		•	•	•		Понимание принципов одноплоскостной балансировки жестких роторов с использованием и без использования информации о фазе сигнала. Умение применять требования к качеству балансировки и допустимому остаточному дисбалансу. Понимание применения пробных грузов при балансировке	Понимание принципов балансировки жестких роторов в двух плоскостях с использованием информации о фазе сигнала. Понятия статического и динамического дисбаланса, главного момента дисбаланса, балансировки на станке, погрешностей балансировки	Понимание требований к балансировке гибких роторов, применение методов анализа фаз и модального анализа. Знание стандартов в области балансировки
6.03	Замена деталей машин			•				Общие представления о требованиях к замене деталей машин на основе сопоставления с допустимыми значениями дисбаланса и несоосности	
6.04	Изменение условий потока			•	•			Понимание соотношения между давлением и скоростью потока, условий возникновения кавитации	Понимание влияния трубопровода или воздуховода на условия движения жидкости или газа
6.05	Изоляция и демпфирование			•	•			Понимание требований к изоляторам для разных практических задач	Понимание требований к изоляторам и их расчет

Продолжение таблицы А.2

Номер темы/ подтемы	Тема/Подтема	Категория				Рекомендуемое содержание подтем			
		I	II	III	IV	Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV
6.06	Отстройка от резонансов			•	•			Знание методов подавления или ослабления резонансов (перераспределение масс, изменение жесткости, изменение частоты возбуждения)	Понимание принципов работы динамических гасителей вибрации. Применение виброизоляторов и демпферов
6.07	Основные мероприятия по техническому обслуживанию	•	•	•		Общее представление о простых мероприятиях по техническому обслуживанию для устранения или уменьшения негативных эффектов неисправностей (смазка, центровка валов)	Знание различных реакций машины на мероприятия по устранению неисправностей (замену узлов, смазку, балансировку в одной или двух плоскостях, центровку, подавление резонанса)	Знание методов устранения неисправностей (замену узлов, балансировку, центровку, подавление дисбаланса, внесение изменений в конструкцию машины)	
7	Машинное оборудование	6	4	4	—				
7.01	Электродвигатели, генераторы и приводы	•	•	•		Общее представление об асинхронных электродвигателях и их неисправностях (шум и повреждения в подшипниках, дисбаланс, ослабления в соединениях, несоосность)	Применение основополагающих стандартов (ИСО 10816-1, ИСО 10816-3) для контроля асинхронных электродвигателей и генераторов. Представление о расчетах крутящего момента, роторных и статорных частот, гармоник привода с переменной скоростью вращения, частоты скольжения	Знание конструкции двигателей переменного и постоянного тока, ветровых турбогенераторов и соответствующих стандартов	
7.02	Насосы, вентиляторы	•	•	•		Общее представление о насосных и вентиляционных установках и их неисправностях (шум и повреждения в подшипниках, дисбаланс, ослабления в соединениях, несоосность)	Применение основополагающих стандартов (ИСО 10816-8 для насосов и ИСО 14694 для вентиляторов). Представление об утечках, кавитации, субгармонической вибрации, эксцентриситете крыльчатки, условиях потока жидкости	Уплотнения в насосах. Основные принципы конструкции, установки и работы насосов. Понимание условий вращающихся срывов потока, конструкции и узлов ветряных турбогенераторов. Знание соответствующих стандартов и технических условий, в том числе основных международных и зарубежных национальных (ИСО, VDI, API)	

Продолжение таблицы А.2

Номер темы/ подтемы	Тема/Подтема	Категория				Рекомендуемое содержание подтем			
		I	II	III	IV	Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV
7.03	Паровые и газовые турбины		•	•			Применение основополагающих стандартов (ИСО 10816, ИСО 7919). Набор основных видов неисправностей: дисбаланс, ослабления в соединениях, несоосность, прецессия ротора, задевания ротора	Установка и калибровка бесконтактных датчиков вибрации, установка уровней предупреждения, температурная асимметрия ротора и асимметрия жесткости опоры. Срыв вакуума в конденсаторе, прогиб и коробление вала, прецессия вала, вибрация масляного клина, задевания ротора. Знание соответствующих стандартов и технических условий, в том числе основных международных и зарубежных организаций по стандартизации (ИСО, API)	
7.04	Компрессоры	•	•	•		Общее представление о центробежных и винтовых компрессорах	Применение основополагающих стандартов (ИСО 10816, ИСО 7919). Вращающиеся части компрессора, характерные частоты компрессора (частота накачки, гармоники частоты вращения ротора)	Конструкция роторных и поршневых компрессоров, характерные частоты компрессора. Влияние на вибрацию условий работы компрессора. Знание соответствующих стандартов, в том числе основных международных и зарубежных организаций по стандартизации (ИСО, API)	
7.05	Машины возвратно-поступательного действия		•	•			Применение основополагающих стандартов (ИСО 10816-6, ИСО 8528-9)	Динамика поршневых машин, стандарты на первичную и вторичную балансировку узлов машин (ИСО, VDI)	
7.06	Прокатные станы, бумагоделательные машины, другое технологическое оборудование	•	•	•		Общее представление о машинах данного вида	Знание узлов машин, их характерных неисправностей, возможностей доступа для контроля и устранения неисправностей	Проведение измерений на бумагоделательных машинах	

Продолжение таблицы А.2

Номер темы/ подтемы	Тема/Подтема	Категория				Рекомендуемое содержание подтем			
		I	II	III	IV	Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV
7.07	Станки	•	•	•		Общее представление о машинах данного вида	Применение основополагающих стандартов (ИСО 10816-3). Использование величин скорости и перемещения для анализа вибрации	Акустическая эмиссия при обработке материалов. Обработка материалов с контролем по крутящему моменту резания	
7.08	Сооружения, трубопроводы	•	•	•		Общее представление о резонансах конструкций	Резонансы, собственные частоты вибрации конструкций	Вибрация и усталостные повреждения трубопроводов	
7.09	Коробки передач	•	•	•		Общее представление о простых зубчатых механизмах	Расчеты скорости вращения вала и зубцовых частот. Влияние несоосности валов и свободного хода передачи на вибрацию механизма. Применение величин ускорения, скорости, перемещения и огибающей сигналов для анализа вибрации	Зубчатые передачи сложной конфигурации, планетарная передача, многоступенчатая передача. Применение спектральных и временных параметров ускорения, кепстра и огибающей при анализе вибрации	
7.10	Подшипники качения		•	•			Характерные подшипниковые частоты, шум и удары в подшипнике, применение пик-фактора	Выделение огибающей сигнала, применение коэффициента эксцесса при анализе вибрации	
7.11	Подшипники скольжения		•	•			Бесконтактный датчик вибрации, механические биения, датчик скорости сейсмического типа, устройства интегрирования сигнала акселерометра, частотный диапазон преобразователей вибрации	Представление об эффектах прецессии вала на масляном клине, вибрации масляного клина, расходе смазочного материала и давлении в нем. Методы компенсации биения вала	
7.12	Зубчатые механизмы		•	•			Расчеты скорости вращения вала и зубцовой частоты	Знание видов и конструкций зубчатых механизмов (ведущая шестерня, косозубая шестерня, шевронная шестерня, ведомая коническая шестерня, планетарная шестерня)	

Продолжение таблицы А.2

Номер темы/ подтемы	Тема/Подтема	Категория				Рекомендуемое содержание подтем			
		I	II	III	IV	Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV
7.13	Муфты, ремни		•	•			Расчет частоты вращения ремня, непрямолинейное движение ремня	Резонансы ременной передачи, влияние натяжения ремня на вибрацию, зубчатый ремень	
8	Приемочные испытания	2	2	2	—				
8.01	Метод испытаний	•	•			Умение применять заданные методы испытаний, знание требований безопасности	Применение методов испытаний		
8.02	Технические условия и стандарты		•	•			Знание соответствующих стандартов и зон вибрационного состояния	Понимание условий применимости соответствующих стандартов, способов установки и интерпретирования зон вибрационного состояния. Разработка методов испытаний	
8.03	Составление отчетов		•	•			Подготовка отчетов о приемочных испытаниях	Управление приемочными испытаниями	
9	Испытания оборудования и диагностика	—	2	4	4				
9.01	Испытания на удар		•	•	•		Способность проводить испытания на удар (без определения фазочастотной характеристики)	Способность проводить испытания на удар в целях модального анализа (с определением фазочастотной характеристики)	Понимание методов испытаний на удар с учетом и без учета фазы отклика. Способность оценить возбужденные моды конструкции
9.02	Испытания с воспроизведением вынужденных колебаний		•	•	•		Общие представления об испытаниях с воспроизведением вибрации	Способность проводить испытания на вибрацию с использованием вибростендов. Определение подвижности, податливости, ускоряемости, коэффициента передачи	Понимание принципов испытаний на вибрацию с использованием вибростендов. Использование понятий когерентности, коэффициента передачи, передаточной функции, подвижности, податливости, ускоряемости

Продолжение таблицы А.2

Номер темы/ подтемы	Тема/Подтема	Категория				Рекомендуемое содержание подтем			
		I	II	III	IV	Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV
9.03	Анализ переходных процессов			•	•			Способность получать диаграммы процесса выбега во временной и частотной областях	Способность определять вид графического представления процесса выбега и получать соответствующие диаграммы
9.04	Передаточные функции			•	•			Общие представления о передаточной функции, когерентности	Передаточная функция, вход и выход системы, применение диаграммы Найквиста
9.05	Оценка демпфирования				•				Оценка демпфирования, испытания виброизоляторов с получением частотной характеристики
9.06	Соотношения фаз, когерентность			•	•			Общие представления о взаимном влиянии каналов, когерентности	Взаимное влияние каналов, когерентность
9.07	Формы изгибных колебаний			•	•			Общие представления о применении данных о форме изгибных колебаний	Понимание принципов модального анализа, динамики отклика конструкции, возбуждения
9.08	Модальный анализ			•	•			Общие представления о модальном анализе	Понимание условий применения разных методов модального анализа, определение отклика конструкции
9.09	Крутильные колебания				•				Знание ИСО 22266-1
10	Ссылочные стандарты	—	2	2	2				
10.01	ИСО		•	•	•		Знание стандартов, указанных в таблице В.1 для категорий I и II	Знание стандартов, указанных в таблице В.1 для категории III	Знание стандартов, указанных в таблице В.1 для категории IV
10.02	МЭК		•	•	•		Знание ссылочных стандартов МЭК в ИСО 17359	Знание ссылочных стандартов МЭК в ИСО 17359	Знание ссылочных стандартов МЭК в ИСО 17359

Продолжение таблицы А.2

Номер темы/ подтемы	Тема/Подтема	Категория				Рекомендуемое содержание подтем			
		I	II	III	IV	Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV
10.03	Национальные стандарты		•	•	•		Знание соответствующих стандартов VDI, API	Знание соответствующих стандартов VDI, API	Знание соответствующих стандартов VDI, API
11	Составление отчетов и документация	–	2	2	4				
11.01	Отчет по результатам контроля состояния		•	•			Умение составлять отчет по результатам вибрационного контроля состояния. Передача данных в историю эксплуатации машины	Управление составлением отчета по результатам вибрационного контроля состояния	
11.02	Отчет по результатам диагностирования		•	•	•		Составление отчета с анализом процедур планового вибрационного мониторинга, округлением результатов, оценкой трендов, включением спектров сигналов и временных реализаций, предложением рекомендаций. Передача данных в историю эксплуатации машины	Управление составлением отчета по результатам диагностирования и прогнозирования. Способность проводить анализ причинно-следственных связей, исследование отказов с составлением отчета	Способность проводить углубленный анализ причин неисправностей, определять формат представления результатов анализа. Способность проводить экспертизу работ по вибрационному анализу машин
12	Определение степени развития повреждения	–	2	2	3				
12.01	Спектральный анализ		•	•	•		Дефекты стержней ротора и статора; зубцовые частоты и их боковые полосы	Диаграмма Бодэ, дефекты стержней ротора и статора, зубцовые частоты и их боковые полосы	Вращающийся аэродинамический срыв; суммарные и разностные частоты

Продолжение таблицы А.2

Номер темы/ подтемы	Тема/Подтема	Категория				Рекомендуемое содержание подтем			
		I	II	III	IV	Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV
12.02	Анализ временной формы сигнала, анализ орбит		•	•	•		Представление об анализе во временной области. Представление о пик-факторе процесса	Представление об анализе во временной области. Представление о пик-факторе процесса. Распознавание проявления основных видов неисправностей (дисбаланса, ослаблений в соединениях, несоосности, прецессии и задеваний ротора) в формах орбит	Применение углубленного анализа орбит движения вала и их связей с неисправностями: дисбалансом, ослаблениями в соединениях, несоосностью валов, прецессией ротора, вибрацией масляного клина, резонансами, критическими скоростями вращения вала, задеваниями (включая развивающимися по схеме Ньюкирка), температурными эффектами
12.03	Уровни вибрации: общий, в узкой полосе частот, гармонических составляющих		•	•			Способность применять уровни предупреждения, установленные для параметров широкополосной вибрации, вибрации в полосах частот и отдельных частотных составляющих	Понимание требований к установлению уровней предупреждения для параметров широкополосной вибрации, вибрации в полосах частот и отдельных частотных составляющих. Умение определять и устанавливать уровни предупреждения и останова	
12.04	Диаграммы границ состояний, графики и формулы		•	•	•		Применение критериев вибрации по ИСО 10816, ИСО 7919, ИСО 8528-9, ИСО 14694 и другим стандартам	Знание стандартов, в которых установлены контролируемые параметры и критерии оценки вибрационного состояния машин разных видов. Умение проводить простой статистический анализ данных по случаям появления сигналов предупреждения	Применение стандартов, в которых установлены контролируемые параметры и критерии оценки вибрационного состояния машин разных видов, стандарты контроля вибрационного состояния. Умение проводить анализ системы контроля и переопределять уровни предупреждения, выполнять расширенный статистический анализ данных контроля состояния

Продолжение таблицы А.2

Номер темы/ подтемы	Тема/Подтема	Категория				Рекомендуемое содержание подтем			
		I	II	III	IV	Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV
13	Динамика системы «ротор — подшипники»	—	—	—	14				
13.01	Характеристики ротора				•				Понимание конструкции и характеристик роторов паровых и газовых турбин. Представление об отклике системы «ротор — опора», видах отказов, характерных частотах, рабочих характеристиках, влиянии смазки
13.02	Характеристики подшипников				•				Понимание конструкции и характеристик подшипников качения, скольжения, магнитных опор. Представление о видах отказов подшипников, их геометрии и характерных частотах, сроках службы, рабочих характеристиках, влиянии смазки

Окончание таблицы А.2

Номер темы/ подтемы	Тема/Подтема	Категория				Рекомендуемое содержание подтем			
		I	II	III	IV	Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV
13.03	Балансировка ротора				•				Понимание требований и методов балансировки жестких и гибких роторов с использованием и без использования данных о фазе сигнала. Балансировка по модам вибрации. Знание стандартов в области балансировки

Примечание 1 —Значок «•» указывает, что данный вопрос должен быть рассмотрен в рамках выделенного учебного времени.

Примечание 2 — Категория II включает в себя знания Категории I, Категория III включает в себя знания Категорий I и II, Категория IV включает в себя знания всех низших категорий.

Примечание 3 — Если значки «•» указаны для нескольких категорий одного вопроса, это означает, что для категории более высокого уровня знания, полученные на предшествующем уровне, должны быть углублены.

Приложение В
(обязательное)

Международные стандарты в области вибрационного контроля состояния и диагностики машин

Таблица В.1

Стандарты ИСО	Категория			
	I	II	III	IV
ИСО 1925 Вибрация. Балансировка. Словарь		•	•	•
ИСО 1940-1 Вибрация. Требования к качеству балансировки жестких роторов. Часть 1. Определение допустимого дисбаланса		•	•	•
ИСО 2017-1 Вибрация и удар. Изоляторы. Часть 1. Применение систем изоляции источника и приемника вибрации				•
ИСО 2041 Вибрация, удар и контроль состояния. Словарь		•	•	•
ИСО 2954 Вибрация машин вращательного и возвратно-поступательного действия. Требования к средствам измерений для оценки вибрационного состояния				•
ИСО 5348 Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров		•	•	•
ИСО 7919-1 Вибрация машин без возвратно-поступательного движения. Измерения на вращающихся валах и критерии оценки состояния. Часть 1. Общее руководство	•	•	•	•
ИСО 7919-2 Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерения вибрации на вращающихся валах. Часть 2. Стационарные паровые турбины и генераторы мощностью более 50 МВт с рабочими частотами вращения 1500, 1800, 3000 и 3600 мин$^{-1}$		•	•	•
ИСО 7919-3 Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерения вибрации на вращающихся валах. Часть 3. Промышленные машинные агрегаты		•	•	•
ИСО 7919-4 Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерения вибрации на вращающихся валах. Часть 4. Газотурбинные установки с гидродинамическими подшипниками		•	•	•
ИСО 7919-5 Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерения вибрации на вращающихся валах. Часть 5. Агрегаты гидроэлектростанций и насосных станций		•	•	•
ИСО 8528-9 Генераторы переменного тока с приводом от двигателей внутреннего сгорания. Часть 9. Измерения и оценка вибрации		•	•	•
ИСО 10816-1 Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 1. Общее руководство	•	•	•	•
ИСО 10816-2 Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 2. Стационарные паровые турбины и генераторы мощностью более 50 МВт с рабочими частотами вращения 1500, 1800, 3000 и 3600 мин$^{-1}$		•	•	•
ИСО 10816-3 Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 3. Промышленные машины номинальной мощностью свыше 15 кВт и номинальной скоростью вращения от 120 до 15000 мин$^{-1}$ на месте их установки		•	•	•
ИСО 10816-4 Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 4. Газотурбинные установки с гидродинамическими подшипниками		•	•	•
ИСО 10816-5 Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 5. Агрегаты гидроэлектростанций и насосных станций		•	•	•

Окончание таблицы В.1

Стандарты ИСО	Категория			
	I	II	III	IV
ИСО 10816-6 Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 6. Машины возвратно-поступательного действия номинальной мощностью свыше 100 кВт		•	•	•
ИСО 10816-7 Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерения вибрации на невращающихся частях. Часть 7. Насосы динамические промышленные, включая измерения на вращающихся валах		•	•	•
ИСО 10816-8 Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 8. Поршневые компрессорные системы		•	•	•
ИСО 10817-1 Системы измерений вибрации вращающихся валов. Часть 1. Устройства для снятия сигналов относительной и абсолютной вибрации в радиальном направлении			•	•
ИСО 11342 Вибрация. Методы и критерии балансировки гибких роторов				•
ИСО 13372 Контроль состояния и диагностика машин. Словарь	•	•	•	•
ИСО 13373-1 Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 1. Общие методы	•	•	•	•
ИСО 13373-2 Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 2. Обработка, анализ и представление результатов измерений вибрации		•	•	•
ИСО 13374-1 Контроль состояния и диагностика машин. Обработка, передача и представление данных. Часть 1. Общее руководство		•	•	•
ИСО 13379-1 Контроль состояния и диагностика машин. Методы интерпретации данных и диагностирования. Часть 1. Общее руководство			•	•
ИСО 14694 Вентиляторы промышленные. Требования к качеству балансировки и уровням вибрации	•	•	•	•
ИСО 14695 Вентиляторы промышленные. Методы измерений вибрации			•	•
ИСО 17359 Контроль состояния и диагностика машин. Общее руководство	•	•	•	•
ИСО 18431-1 Вибрация и удар. Обработка сигналов. Часть 1. Общие положения		•	•	•
ИСО 18431-2 Вибрация и удар. Обработка сигналов. Часть 2. Временные окна для Фурье-анализа сигналов		•	•	•
ИСО 18436-1 Контроль состояния и диагностика машин. Требования к квалификации и оценке персонала. Часть 1. Требования к органам по оценке и процедурам оценки				•
ИСО 18436-3 Контроль состояния и диагностика машин. Требования к квалификации и оценке персонала. Часть 3. Требования к учебным организациям и процессу обучения				•
ИСО 19499 Вибрация. Балансировка. Руководство по применению стандартов в области балансировки				•
ИСО 21940-13 Вибрация. Балансировка роторов. Критерии и меры безопасности при балансировке на месте роторов больших и крупных размеров				•
ИСО 21940-14 Вибрация. Балансировка роторов. Методы оценки погрешностей балансировки			•	•
Примечание — значок «•» указывает, что данный международный стандарт следует использовать при подготовке специалиста данной категории.				

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
ИСО 1925	—	*
ИСО 2041	IDT	ГОСТ Р ИСО 2041–2012 «Вибрация, удар и контроль технического состояния. Термины и определения»
ИСО 13372	IDT	ГОСТ Р ИСО 13372–2013 «Контроль состояния и диагностика машин. Термины и определения»
ИСО 18436-1	IDT	ГОСТ Р ИСО 18436-1–2015 «Контроль состояния и диагностика машин. Требования к квалификации и оценке персонала. Часть 1. Требования к органам по оценке и процедурам оценки»

* Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его утверждения рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта. Перевод данного международного стандарта находится в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов.

Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов:

- IDT — идентичные стандарты.

Библиография

[1] ISO 7626-1, Mechanical vibration and shock — Experimental determination of mechanical mobility — Part 1: Basic terms and definitions, and transducer specifications

[2] ISO 7626-2, Mechanical vibration and shock — Experimental determination of mechanical mobility — Part 2: Measurements using single-point translation excitation with an attached vibration exciter

[3] ISO 7626-5, Vibration and shock — Experimental determination of mechanical mobility — Part 5: Measurements using impact excitation with an exciter which is not attached to the structure

[4] ISO 8579-2, Acceptance code for gears — Part 2: Determination of mechanical vibrations of gear units during acceptance testing

[5] ISO 20283-2, Mechanical vibration — Measurement of vibration on ships — Part 2: Measurement of structural vibration

[6] ISO 21940-32, Mechanical vibration — Rotor balancing — Part 32: Shaft and fitment key convention

[7] Crawford A.R., & Crawford S. The simplified handbook of vibration analysis: Vol. 1, Introduction to vibration analysis; Vol. 2, Applied vibration analysis. Knoxville, TN: Computational Systems, 1992. 175 p.; 344 p.

[8] Ehrich F.F. ed. Handbook of rotordynamics. Malabar, FL: Kreiger, 2004, 480 p.

[9] Eisenmann R .C. S r., & Eisenmann R.C. Jr. Machinery malfunction diagnosis and correction: Vibration analysis and troubleshooting for the process industries. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1998, 817 p.

[10] Eshleman R .L., & Nagle-Eshleman J. Basic machinery vibrations: An introduction to machine testing, analysis, and monitoring. Clarendon Hills, IL: VIPress, 1999

[11] Ewins D.J. Modal testing: Theory, practice, and application. Baldock: Research Studies Press, 2nd edition , 2000. 562 p. (Mechanical Engineering Research Studies, Vol. 10.)

[12] McConnell K .G., & Varoto P.S. Vibration testing: Theory and practice. Hoboken, N J: W iley, Second Edition, 2008, 652 p.

[13] Mills S.R.W. Vibration monitoring and analysis handbook. Northampton: British Institute of Non-Destructive Testing, 2010, 326 p.

[14] Mitchell J.S. Introduction to machinery analysis and monitoring. Tulsa, OK: PennWell, Second Edition, 1993, 566 p.

[15] Piersol A.G., & Paez T.L. eds. Harris' shock and vibration handbook. New York, NY: McGraw-Hill, 2010

[16] Piotrowski J. Shaft alignment handbook. Boca Raton, FL: CRC, Third Edition, 2007, 800 p.

[17] Randall R.B. Vibration-based condition monitoring. Chichester: Wiley, 2011, 308 p.

[18] Taylor J.I. The gear analysis handbook: A practical guide for solving vibration problems in gears. Tampa, FL: VCI, 2000, 256 p.

[19] Taylor J.I. The vibration analysis handbook: A practical guide for solving rotating machinery problems. Tampa, FL: VCI, 2003, 375 p.

[20] Williams J.H., Davies A ., D rake P.R. Condition-based maintenance and machine diagnostics. London: Chapman & Hall, 1994, 187 p.

[21] Wowk V. Machinery vibration: Measurement and analysis. New York, NY: McGraw-Hill, 1991, 358 p.

[22] Неразрушающий контроль: Справочник: в 7 т./Под общ. ред. В.В.Клюева/Т.7. Книга 2. Вибродиагностика. — М.: Машиностроение, 2005

[23] Барков А.В., Баркова Н.А., Азовцев А.Ю. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации. — СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2000. — 169 с.

[24] Гольдин А.С. Вибрация роторных машин. — М.: Машиностроение, 2000. — 344 с.

[25] Барков А.В., Баркова Н.А. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации: Учеб. пособие. — СПб.: СПбГМТУ, 2004. — 156 с.

[26] Карасев В.А., Ройтман А.Б. Доводка эксплуатируемых машин, Вибродиагностические методы. — М.: Машиностроение, 1986. — 192 с.

[27] Русов В. А. Спектральная вибродиагностика: Методическое пособие/Пермь, 1996. — 174 с.

[28] Костюков В.Н., Науменко А.П. Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин: Учеб. пособие/ Под ред. В.Н. Костюкова. — Новосибирск: Издательство СО РАН, 2014. — 378 с.

[29] Вибродиагностика / Под ред. Г.Ш. Розенберга. СПб.: ПЭИПК, 2003. — 284 с.

[30] ГОСТ 32106—2013 Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Вибрация центробежных насосов и компрессорных агрегатов

[31] ГОСТ Р 56233—2014 Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Вибрация стационарных поршневых компрессоров

УДК 534.322.3.08:006.354

ОКС 03.100.30
17.160

Ключевые слова: персонал, оценка компетентности, обучение, экзамены, вибрационный контроль состояния, вибрационная диагностика, машины, квалификационные категории

Редактор *Л.Б. Базякина*
Корректор *Ю.М. Прокофьева*
Компьютерная верстка *А.С. Самарина*

Подписано в печать 08.02.2016. Формат 60x84 $^1/_8$.
Усл. печ. л. 4,65. Тираж 34 экз. Зак. 203.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»

123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru info@gostinfo.ru

gost.e-ecolog.ru