ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 13381-1— 2011

Контроль состояния и диагностика машин

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Часть 1

Общее руководство

ISO 13381-1:2004
Condition monitoring and diagnostics of machines — Prognostics — Part 1: General guidelines
(IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2012

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения национальных стандартов Российской Федерации — ГОСТ Р 1.0—2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Автономной некоммерческой организацией «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (АНО «НИЦ КД») на основе собственного аутентичного перевода на русский язык международного стандарта, указанного в пункте 4

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

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 ноября 2011 г. № 553-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 13381-1:2004 «Контроль состояния и диагностика машин. Прогнозирование. Часть 1. Общее руководство» (ISO 13381-1:2004 «Condition monitoring and diagnostics of machines — Prognostics — Part 1: General guidelines»).

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

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

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «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

© Стандартинформ, 2012

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 . . . 1
4 Исходные данные для прогнозирования . . . 2
5 Понятия, связанные с прогнозированием . . . 3
6 Модели повреждения и отказа, используемые для прогнозирования . . . 9
7 Общая процедура прогнозирования . . . 10
8 Отчет о прогнозировании . . . 11
Приложение А (справочное) Схема процесса контроля состояния . . . 13
Приложение В (справочное) Пример формы для определения доверительного уровня прогноза . . . 14
Приложение С (справочное) Методы моделирования отказа . . . 15
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации . . . 16
Библиография . . . 17

Введение

Полный цикл контроля состояния машины включает в себя пять этапов:

- обнаружение отклонения в поведении машины;
- выявление неисправностей и их причин;
- прогнозирование развития неисправностей;
- принятие рекомендаций по корректирующим действиям;
- анализ состояния после останова машины.

Очевидно, что прогнозирование технического состояния машины (требующее предсказания, в какой степени работоспособность машины сохранится в будущем), основанное на статистическом подходе, не предполагает безошибочных решений. Поэтому стандартизация в этой области носит характер рекомендаций и концепций, а не строго предписанных действий.

Для прогнозирования развития неисправности требуется знание возможных видов отказов, которые могут случиться в данной машине, и досконального понимание связей между рабочими состояниями машины и видами отказов. Поэтому прежде чем выполнять операции экстраполирования и прогнозирования, необходимо собрать данные об имевших место режимах работы машины, изменениях эксплуатационных параметров и параметров технического состояния.

В настоящее время появляется все большее число моделей, описывающих зарождение неисправности того или иного вида. Используемые системы мониторинга должны предусматривать включение в свой состав и тех моделей, что уже разработаны, и тех, что появятся в будущем.

С развитием компьютерной техники, позволяющей проводить анализ большого объема данных, возможность надежного предсказания начала развития неисправности, приводящей к отказу данного вида, становится вполне реальной при условии, что известны критерии зарождающейся неисправности для параметров, характеризующих отказ данного вида, а также связь изменения значений этих параметров с изменениями технического состояния машины.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Контроль состояния и диагностика машин

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Часть 1

Общее руководство

Condition monitoring and diagnostics of machines. Machine condition prognosis.
Part 1. General guidelines

Дата введения — 2012–12–01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает руководство по разработке процедур прогнозирования технического состояния машин с целью:

- сформировать среди пользователей и разработчиков систем мониторинга технического состояния машин единые представления о прогнозировании развития неисправностей;
- обеспечить возможность сбора пользователями необходимых данных о характеристиках и поведении машин в целях точного прогнозирования технического состояния;
- установить общие подходы к составлению прогнозов технического состояния;
- способствовать применению прогнозирования в разрабатываемых системах мониторинга технического состояния машин и включению вопросов прогнозирования в программы обучения персонала.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

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

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

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ИСО 13372, а также следующие термины с соответствующими определениями.

3.1 **прогнозирование** (prognosis): Оценивание риска наступления отказов одного или нескольких видов и времени до их наступления.

3.2 **доверительный уровень** (confidence level): Количественный показатель степени правильности диагноза или прогноза.

Примечание 1 — Данную величину выражают в процентах.

Примечание 2 — Данная величина отражает суммарное влияние источников неопределенности на степень уверенности в точности диагноза или прогноза. Она может быть рассчитана по определенному алгоритму или представлять собой выходное значение автоматизированной системы диагностирования (например, нейронной сети).

Издание официальное

3.3 **основная причина (отказа)** (root cause): Совокупность условий, приводящих к цепи событий, результатом которых является отказ данного вида.

3.4 **анализ видов и последствий отказов (FMEA)** [failure modes effects analysis (FMEA)]: Исследование, проводимое на стадии проектирования и разработки машины, для определения возможных последовательностей событий, результатом которых является отказ данного вида, а также оценки влияния такого отказа на машину.

Примечание — Метод FMEA описан в [6].

3.5 **анализ видов, последствий и критичности отказов (FMECA)** [failure modes effects criticality analysis (FMECA)]: Метод, основанный на FMEA и дополняющий его анализом экономических аспектов и вопросов безопасности в целях принятия решений по техническому обслуживанию.

Примечание — Метод FMECA описан в [5].

3.6 **анализ признаков видов отказов (FMSA)** [failure modes symptoms analysis (FMSA)]: Метод, основанный на FMECA и дополняющий его выбором диагностических признаков для отказов каждого вида, методами определения вида отказа и контроля состояния в целях формирования оптимальной стратегии мониторинга

Примечание — Метод FMSA описан в [3].

3.7 **оценка времени до отказа** [estimated time to failure (ETTF)]: Оценка периода времени от текущего момента до момента, когда в наблюдаемой машине ожидается наступление отказа.

4 Исходные данные для прогнозирования

Общее понятие о контроле состояния машин дано в ИСО 17359. В настоящем стандарте устанавливаются основные принципы прогнозирования технического состояния и необходимые исходные данные для этой процедуры, в число которых входят следующие:

a) перечень агрегатов, машин и узлов, подлежащих контролю;

b) все контролируемые параметры;

c) записи эксплуатационных параметров, данных технического обслуживания и записи об имевших место отказах;

d) условия работы и технического обслуживания контролируемых объектов;

e) первоначальный диагноз, включая идентификацию всех развивающихся неисправностей;

f) процедуры моделирования отказов, которые могут включать в себя статистические характеристики, влияющие факторы, критерии зарождения неисправностей и точки отказов для всех контролируемых параметров;

g) методы обработки кривых (подгонка, проектирование, наложение);

h) уровни предупреждения;

i) уровни останова;

j) результаты расследований отказов;

k) параметры надежности, готовности, ремонтопригодности и безопасности;

l) данные о зарождающихся неисправностях;

m) данные о прогрессирующих неисправностях.

Целями сбора данных о характеристиках надежности, связанных с текущим техническим состоянием и показателями работы машины, являются:

- установление показателей фактической надежности, составление прогноза их изменения, сопоставление с эксплуатационными данными и моделями развития неисправностей и, в конечном итоге, уточнение прогноза технического состояния;

- улучшение показателей надежности данной машины и проектируемых машин.

Целями сбора данных о текущих эксплуатационных нагрузках и нагрузках, действовавших на период эксплуатации машины, являются:

- установление связи между показателями фактической надежности и работой, произведенной машиной, для сопоставления моделей зарождения и развития неисправностей с эксплуатационными данными;

- уточнение моделей оценки повреждений для данной машины и проектируемых машин;
- расширение области применений моделей оценивания повреждений.

Целями сбора данных о производственных потерях, потерях из-за вторичных отказов, затратах на мониторинг машин, техническое обслуживание и в связи с необходимостью резервирования машин и их узлов являются:

- установление соотношения между затратами и получаемой выгодой для разных вариантов технического обслуживания;
- повышение качества решений, принимаемых в связи с техническим обслуживанием машин;
- сокращение затрат, связанных с функционированием и техническим обслуживанием данной машины и проектируемых машин;
- оптимальная организация и управление (на основе совместного анализа данных о затратах, данных мониторинга, данных об эксплуатационных параметрах и нагрузках машины) операциями технического обслуживания (по состоянию, планово-предупредительного, для устранения неисправностей), обслуживающим персоналом, хранением запасных узлов и т. д.

5 Понятия, связанные с прогнозированием

5.1 Основные понятия

Прогнозирование, смысл которого интуитивно понятен из опыта, представляет собой оценивание времени до отказа и риска отказа вследствие имеющихся повреждений или повреждений, ожидаемых в будущем. Прогнозирование обычно эффективно для таких неисправностей, у которых описывающие их характеристики известным образом изменяются со временем (лучше всего по линейному закону). Труднее всего прогнозировать случайные отказы.

Отказы определяют по контролируемым параметрам. Одних данных мониторинга для составления прогноза недостаточно. Общая процедура составления прогноза включает в себя следующие основные моменты:

a) определение конечной точки (обычно точки останова машины);
b) определение текущего технического состояния;
c) наблюдение изменения параметров и оценка скорости развития повреждения;
d) получение оценки времени до отказа.

Важно отличать прогнозирование от диагностирования. Если диагностирование по своей природе ретроспективно, т. е. основывается на имеющихся данных в конкретный момент времени, то прогнозирование имеет дело с данными в будущем и должно учитывать:

- имеющиеся отказы и скорости развития неисправностей;
- критерии зарождения неисправностей разных видов;
- влияние имеющихся отказов на возможность будущих отказов;
- взаимосвязь между развивающимися неисправностями, скоростью их развития и будущими отказами;
- чувствительность процедур мониторинга к обнаружению развивающихся неисправностей и будущих отказов и к изменениям технического состояния;
- возможность изменения процедуры мониторинга для лучшего учета существенных факторов;
- влияние операций по техническому обслуживанию и условий работы машины (условия и допущения, при которых прогноз достоверен).

Соотношения между основными понятиями могут быть графически представлены в виде дерева причинно-следственных связей, изображенного на рисунке 1 («FM» обозначает вид отказа).

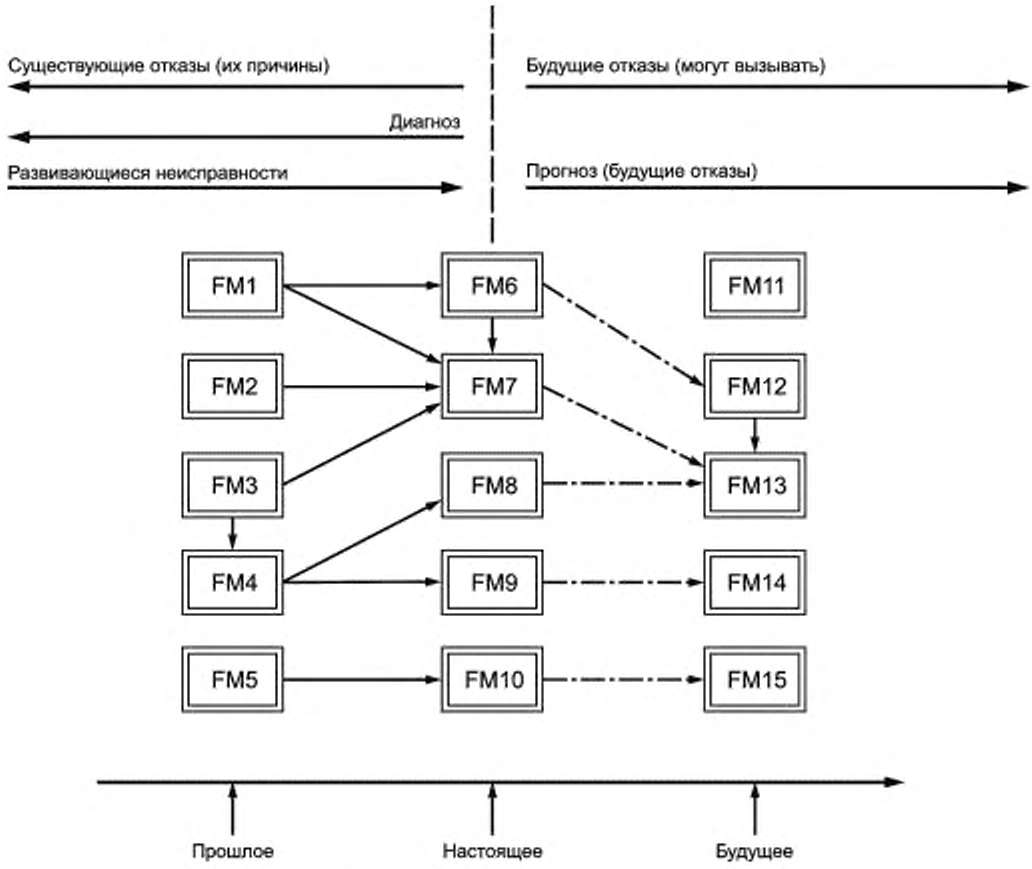
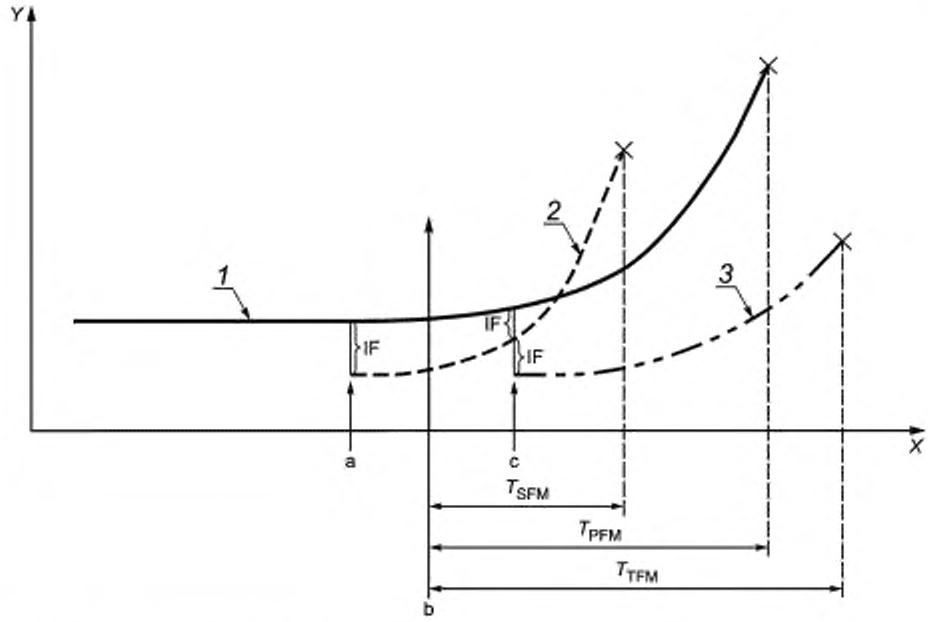


Рисунок 1 — Дерево причинно-следственных связей

5.2 Влияющие факторы

Каждый влияющий фактор может рассматриваться в качестве признака будущего отказа. На рисунке 1 он представлен в виде сплошной стрелки, показывающей тенденцию развития неисправности до отказа. Влияющие факторы предопределяют также существование настоящих и наступление будущих отказов (см. рисунок 2).

На рисунке 2 показан пример, когда усилившаяся вследствие повреждения подшипника масляного насоса (причины первичного отказа) вибрация вызвала повреждение уплотнения (причины вторичного отказа), развивающееся быстрее, чем начальное повреждение подшипника. По мере разрушения уплотнения и связанной с этим утечкой масла происходило падение давления подачи масла, что повлекло за собой медленно развивающееся повреждение крыльчатки насоса (причины третичного отказа).



X — время; *Y* — контролируемый параметр; *1* — первичный отказ (сплошная линия); *2* — вторичный отказ (пунктирная линия); *3* — третичный отказ (штрихпунктирная линия); IF — влияющий фактор; T_{PFM} — оценка времени до первичного отказа; T_{SFM} — оценка времени до вторичного отказа; T_{TFM} — оценка времени до третичного отказа; a — момент зарождения вторичного отказа; b — текущее время; c — момент зарождения третичного отказа

Рисунок 2 — Влияющие факторы

5.3 Установка уровней предупреждения (уведомления) и останова

Точка отказа для контролируемого параметра — это значение параметра, при достижении которого объект выходит из строя. Эту точку обычно определяют на основе опыта предшествующих наблюдений отказов.

Уровень останова для того же параметра, при достижении которого машину останавливают, обычно лежит ниже точки отказа. Это значение обычно определяют на основе стандартов, руководств изготовителя и опыта эксплуатации машин данного вида. Данный уровень обычно используют для индикации отказа. Однако, поскольку данный уровень находится ниже точки отказа, то его достижение еще не свидетельствует о наступившем полном отказе машины, что дает возможность избежать разрушительных повреждений.

Уровни предупреждения (уведомления) обычно устанавливают ниже уровня останова, исходя из резерва времени, в течение которого появится возможность провести техническое обслуживание. Однако при принятии решения о выборе уровня предупреждения необходимо располагать данными о:

a) доверительном уровне прогноза;

b) требованиях к производительности машины;

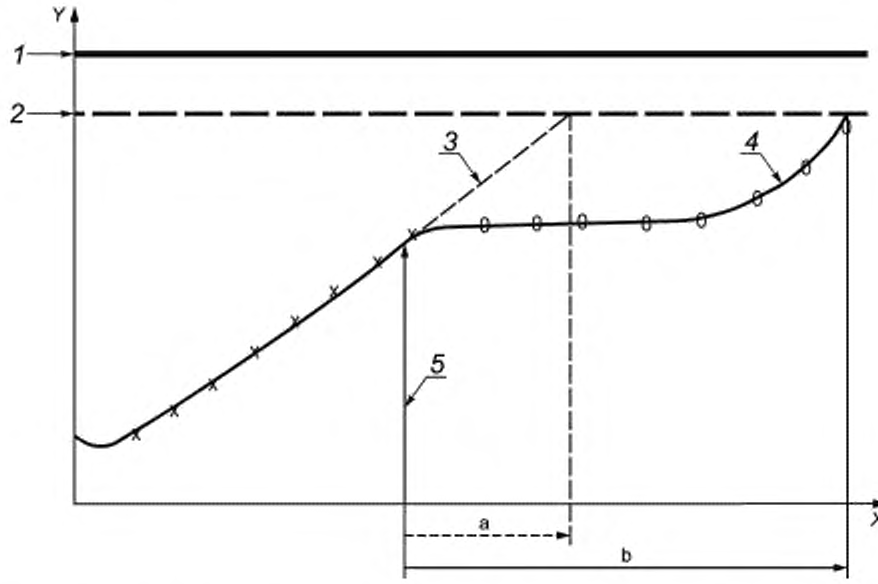
c) времени на доставку запасных узлов;

d) времени, необходимом для организации технического обслуживания;

e) объеме работ, необходимом для установления причины неисправности;

f) экстраполяционных и проектных трендах контролируемых параметров.

Основное различие между экстраполяционным и проектным трендами заключается в том, что построение проектного тренда требует модели для оценки параметра в будущем, а экстраполяционный тренд подгоняется под уже известные данные (см. рисунок 3). В настоящее время большинство используемых прогнозных кривых по своей природе являются экстраполяционными.



X — время; *Y* — контролируемый параметр; x - · известная точка; o — предсказанная точка; *1* — точка отказа, *2* — уровень предупреждения; *3* — экстраполяция; *4* — прогноз; *5* — текущее время; a — время до отказа по экстраполяционному тренду; b — время до отказа по проектному тренду

Рисунок 3 — Прогнозные тренды

Процедура построения тренда требует знания поведения набора контролируемых параметров при развитии неисправности данного вида в данных рабочих условиях. При этом для построения проектного тренда необходимо знать уравнение движения, показывающее, как будет изменяться параметр, характеризующий повреждение данного вида, в заданных условиях.

Примером может служить уравнение изменения ускорения общей вибрации корпуса опорного шарикового подшипника с глубоким желобом модели 6316, смазываемого минеральным маслом с кинематической вязкостью 220 сСт, на частоте вращения 3000 мин$^{-1}$ при 80 °С. Если оно известно, то построенная по нему кривая даст гораздо более точный прогноз поведения контролируемого параметра, чем экстраполяция.

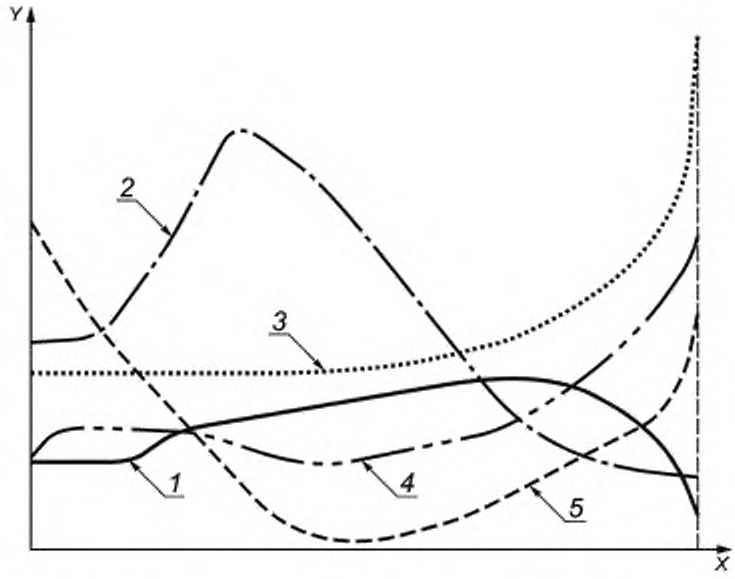
5.4 Многофакторный анализ

Прогноз может быть составлен по одному или нескольким параметрам. Многофакторный анализ включает в себя одновременное отображение всех данных одной системой мониторинга. Такой способ анализа предпочтителен при прогнозировании технического состояния, поскольку позволяет не только наблюдать отдельные контролируемые параметры, но и сопоставлять их изменения.

Особенно это важно, когда есть основания предполагать взаимосвязь между разными контролируемыми параметрами, как, например, между температурой подшипника и вязкостью масла (см. рисунок 4).

Одним из принципов многофакторного анализа является одновременное отслеживание изменений как исходных параметров, так и параметров, полученных в результате обработки исходных данных. Так, использование узкополосных фильтров позволяет разбить исходный спектр вибрации на отдельные частотные составляющие, изменения амплитуд которых могут служить предметом анализа и сопоставляться с точками отказа — предельно допустимыми значениями каждой из составляющих.

Если построить график, откладывая по одной оси значения амплитуд каждой частотной составляющей, а по другой, например, какой-нибудь иной параметр вибрации, результаты анализа частиц износа в масле или одну из эксплуатационных характеристик машины, то это позволит установить наличие взаимосвязи между контролируемыми параметрами.



X — независимый параметр, *Y* — зависимые контролируемые параметры; *1* — первый параметр; *2* — второй параметр; *3* — третий параметр; *4* — четвертый параметр; *5* — пятый параметр

Рисунок 4 — Пример одновременного отображения комплекса параметров

Одна из проблем многофакторного анализа состоит в том, что каждая переменная имеет собственную единицу измерения. Дополнительная трудность появляется, если переменная в процессе эксплуатации может несколько раз приобретать одно и то же значение (см. рисунок 4). Кроме того, построение трендов и установка уровней предупреждения в многофакторном анализе усложняются, если при неисправности значение переменной (например, расход или давление жидкости) приобретает нулевое значение.

Принципиальным различием между стандартной процедурой анализа комплекса параметров в процессе мониторинга и многофакторным анализом в целях диагностирования является то, что последний требует откладывания данных по единой оси, показывающей степень развития неисправности.

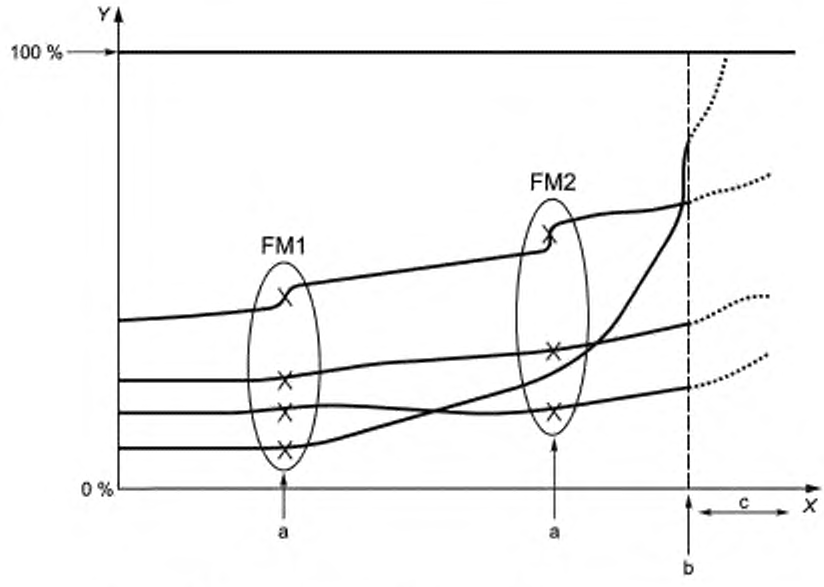
В качестве простого примера по такой оси можно откладывать процент выработанного ресурса, когда 0 % соответствует машине, не введенной в эксплуатацию, а 100 % — машине после ее отказа. В этом случае параметры, значение которых при отказе падает до нуля (такие, как расход или давление жидкости), должны быть инвертированы.

При составлении прогноза важно, чтобы для каждого параметра, используемого в многофакторном анализе, было известно:

- начальное значение, соответствующее 100 % оставшегося ресурса или новой машине (узлу);
- конечное значение, соответствующее 0 % оставшегося ресурса или машине (узлу) после отказа;
- каким образом изменение параметра связано с наступлением отказа данного вида и сокращением времени до отказа.

5.5 Критерии наступления отказов

Для прогнозирования будущих отказов прежде всего следует определить критерии их наступления через влияющие факторы, принимая во внимание, что один и тот же параметр может служить в качестве влияющего фактора для наступающего отказа и использоваться в качестве признака зарождения неисправности, приводящей к будущему отказу. При этом основная причина отказа данного вида может быть определена через набор параметров критерия, значения которых прямо или косвенно указывают на степень развития неисправности (см. рисунок 5).



X — время; *Y* — оставшийся ресурс (0 % — полный ресурс, 100 % — отказ); FM1 — основная причина отказа в форме события, FM2 — основная причина отказа в форме условия и события, a — параметры критерия зарождения неисправности; b — текущее время; c — период экстраполяции

Рисунок 5 — Критерий зарождения неисправности

Примером прямой меры развития неисправности может быть положение клапана, а косвенной — изменение температуры.

5.6 Прогнозирование зарождения неисправности

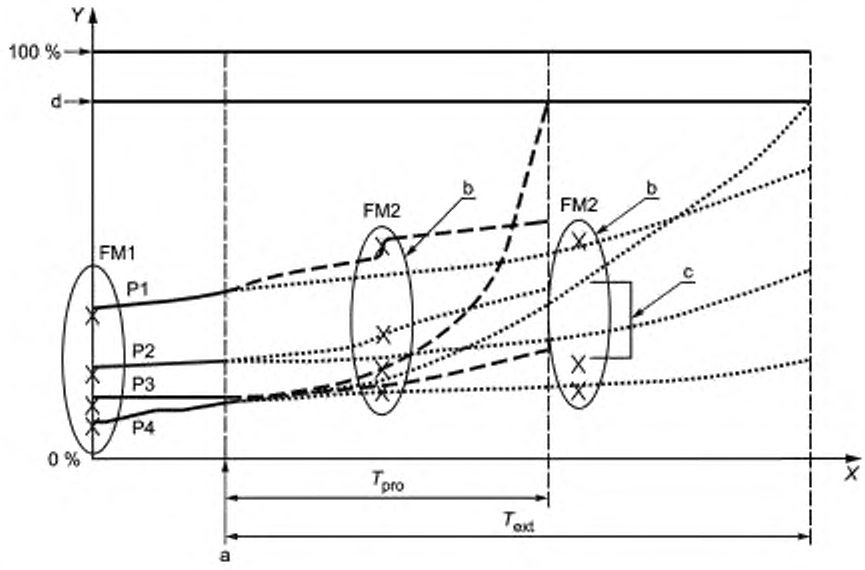
Зарождение неисправности следует всегда отслеживать назад во времени в поисках основной причины отказа. Эта основная причина может быть описана через набор условий и событий. При этом с условиями обычно связывают изменения контролируемых параметров с некоторой скоростью, а с событиями — скачкообразные изменения параметров (см. рисунок 5).

Наличие условий, событий и взаимосвязи между ними легко проследить с помощью многофакторного анализа. При достижении или превышении значений контролируемых параметров, установленных в качестве критерия зарождения неисправности, инициируется сигнал предупреждения о начале развития неисправности данного вида.

Таким образом, прогнозирование отказа основывается на установлении критериев зарождения неисправности и использовании методов построения трендов контролируемых параметров. Точность прогноза в значительной степени будет зависеть от того, являются ли эти тренды экстраполяционными или проектными (см. рисунок 6).

Прогнозирование отказа требует глубокого понимания:

- принципов установления критериев зарождения неисправности на основе анализа временных рядов и статистической информации;
- многофакторного анализа с применением широкого набора контролируемых параметров;
- взаимных зависимостей между отказами разных видов;
- рабочих условий на момент зарождения неисправности;
- поведения контролируемых параметров в различных условиях.



X — время; *Y* — оставшийся ресурс (0 % — полный ресурс, 100 % — отказ), – – — проектный тренд, ... — экстраполяционный тренд, P — контролируемый параметр, FM — вид отказа; T_{pro} — время до отказа по проектному тренду; T_{ext} — время до отказа по экстраполяционному тренду, a — текущее время; b — критерий зарождения отказа; c — превышение критерия; d — уровень останова

Рисунок 6 — Прогнозирование зарождения отказа (по проектным и экстраполяционным трендам)

6 Модели повреждения и отказа, используемые для прогнозирования

6.1 Принципы моделирования

Процесс прогнозирования должен быть основан на методологии, включающей в себя, например, следующие известные модели развития неисправностей:

- анализ видов, последствий и критичности отказов (FMECA);
- анализ дерева причинно-следственных связей развития неисправности;
- методы оценки риска отказа;
- модели зарождения и развития неисправностей;
- методы построения экстраполяционных и проектных трендов.

С помощью указанных моделей можно получить данные о видах отказов и взаимосвязях между ними, степени и скорости развития неисправности, риске отказа данного вида.

После того как обнаружена неисправность и выполнено диагностирование, одной из основных проблем остается получение оценки времени до отказа. Хотя определение этой оценки в целом является экспертной процедурой, основанной на интуиции, вынесение экспертного заключения может быть облегчено применением соответствующих элементов каждой из моделей.

Для получения оценки времени до отказа обычно используют несколько источников информации, таких как:

- данные мониторинга;
- данные испытаний;
- данные об эксплуатации машины;
- данные о надежности и готовности;
- документация изготовителя;
- данные мониторинга других машин данного вида;
- значения эксплуатационных параметров.

6.2 Типы моделирования

Эксперт, выполняющий прогнозирование, может в той или иной степени использовать модели разных типов. Для составления прогноза могут обоснованно использоваться классические диагностические модели. При этом особенно важна глубина анализа, поскольку рассмотрению подвергаются гипотетические события в будущие моменты времени.

7 Общая процедура прогнозирования

7.1 Уровни доверия прогноза

В приложении А показана общая схема процедуры контроля состояния, включающей в себя прогнозирование. На этой схеме отражены этапы, предполагающие наличие подэтапов, таких как определение уровней доверия и итеративная процедура подтверждения диагноза.

Уровень доверия представляет собой числовую характеристику того, с какой степенью определенности можно утверждать о правильности диагноза или прогноза.

Эта величина отражает собой суммарный эффект влияния всех источников ошибок на точность окончательного заключения. Она может быть получена по заданному алгоритму либо посредством процедуры взвешенного оценивания.

Данная процедура включает в себя учет с определенными весовыми коэффициентами всех негативных влияний на источники используемой при составлении прогноза информации, в число которых входят (этот список не является исчерпывающим):

a) история технического обслуживания машины;

b) конструкция машины и характерные для нее виды отказов;

c) характеристики методов анализа (их чувствительность к обнаружению аномального состояния и изменениям состояния);

d) установленные предельные значения контролируемых параметров;

e) интервал между измерениями;

f) структура базы данных;

g) процедура сбора данных;

h) процедура оценивания критичности значений контролируемых параметров;

i) построение тренда контролируемых параметров;

j) процедура составления диагноза;

k) процедура составления прогноза.

Следует отметить, что весовые коэффициенты источников ошибок, установленные для процедур диагностирования и прогнозирования, могут различаться между собой, поскольку вклад каждого из них в конечный результат зависит от вида процедуры. Пример формы для оценки доверительного уровня прогноза на основе весовых коэффициентов приведен в приложении В.

7.2 Процедура прогнозирования

7.2.1 Общие положения

Общая процедура прогнозирования включает в себя четыре основные стадии: предварительную подготовку данных, прогнозирование отказов по развивающимся неисправностям, прогнозирование будущих отказов, прогнозирование последствий принятых мер. Эти стадии обычно проходят последовательно в соответствии с 7.2.2—7.2.5.

7.2.2 Предварительная подготовка данных

Эта стадия включает в себя:

a) проведение диагностирования для выявления развивающихся неисправностей;

b) определение влияний между отказами разных видов;

c) определение уровней останова для всех признаков и контролируемых параметров;

d) определение потенциальных отказов, их критериев и точек отказа;

e) выбор подходящей модели прогнозирования отказа (см. приложение С).

7.2.3 Прогнозирование отказов по развивающимся неисправностям

Эта стадия включает в себя:

a) оценку степени развития неисправностей и значений соответствующих контролируемых параметров относительно уровня останова;

b) построение проектного тренда для контролируемых параметров до уровня останова;

c) определение отказа, наступление которого ожидается прежде других;

d) уточнение (по возможности) оценки времени до отказа посредством итераций до тех пор, пока уровень доверия прогноза не будет в пределах допустимых значений.

7.2.4 Прогнозирование будущих отказов

Эта стадия включает в себя:

a) оценку критериев зарождения будущих неисправностей и определение отказов, наступление которых в будущем наиболее вероятно;

b) определение влияющих факторов между существующими и будущими отказами;

c) определение точки зарождения будущей неисправности, тенденции (тренда) ее развития и оценка времени до отказа с учетом всех влияющих факторов и уровня останова;

d) выбор наиболее критичного отказа с наименьшим значением оценки времени до отказа и составление для него предварительного прогноза с соответствующим уровнем доверия и определением условий проверки прогноза.

В связи с составленным прогнозом может потребоваться принятие ряда решений по необходимым мерам. Простейшим из таких решений, которое можно в определенных обстоятельствах использовать для малокритичных машин, является решение о непринятии каких-либо мер.

Предварительный прогноз должен установить критичные виды отказов для развивающихся в настоящее время неисправностей с соответствующими оценками времени до отказа и уровня доверия прогноза, а также критичные отказы по будущим неисправностям с соответствующими оценками времени до отказа и уровня доверия прогноза, если существует большой риск появления этих отказов или большой риск, связанный с последствиями этих отказов. Составленный прогноз должен сопровождаться условиями его проверки.

7.2.5 Прогнозирование последствий принятых мер

Эта стадия включает в себя:

a) определение мер, позволяющих задержать, ослабить или устранить развивающиеся неисправности, приводящие к критичным отказам, а также предотвратить зарождение будущих неисправностей;

b) пересмотр моделей прогнозирования отказа и повторение процедур прогнозирования [этапы от перечисления b) 7.2.2 до перечисления b) 7.2.4 включительно] с учетом последствий принятых мер;

c) составление прогноза после принятых мер с указанием соответствующего уровня доверия и условий проверки прогноза.

Может оказаться целесообразным рассмотреть возможность промежуточного технического обслуживания, позволяющего замедлить приближение отказов и предотвратить зарождение будущих неисправностей. Такие промежуточные меры обычно осуществляют безразборным способом (например, заменой смазки подшипника).

Должна быть также рассмотрена возможность и более кардинальных мер, в число которых входят замена узлов и капитальный ремонт машины. В этом случае прогноз последствий принятых мер обычно основывают на имеющихся данных о характеристиках надежности при эксплуатации машин данного вида.

Составленный на данной стадии прогноз указывает критические приближающиеся отказы (с учетом эффекта от принятых мер) с оценками времени до отказа и уровня доверия и критические будущие отказы с оценками времени до отказа и уровня доверия, если вероятность таких отказов велика или если этим отказам соответствует высокое значение риска.

Прогноз должен сопровождаться указанием условий его проверки.

Рекомендации по принимаемым мерам (их отсутствию, промежуточному или полному техническому обслуживанию) должны основываться на оценке рисков с учетом возможных потерь: финансовых, для окружающей среды, для безопасности производства и пр.

8 Отчет о прогнозировании

Полный отчет о прогнозировании должен включать в себя отчет о диагностировании по ГОСТ Р ИСО 13379 и, по меньшей мере, следующую информацию:

a) серийный номер машины;

b) описание машины;

c) условия работы машины на момент измерений;

d) перечень (или ссылка на соответствующий документ) точек измерений, контролируемых параметров и средств измерений, применяемых в целях прогнозирования;

e) диагноз, включая данные о всех развивающихся неисправностях;

f) предварительный прогноз (для приближающихся и будущих отказов), уровень доверия прогноза, условия его проверки и оценка риска отказа (при отсутствии принимаемых мер);

g) дополнительные испытания, необходимые для повышения уровня доверия;

h) рекомендуемые меры, прогноз с учетом этих мер (для приближающихся и будущих отказов), уровень доверия прогноза, условия его подтверждения и оценка риска отказа;

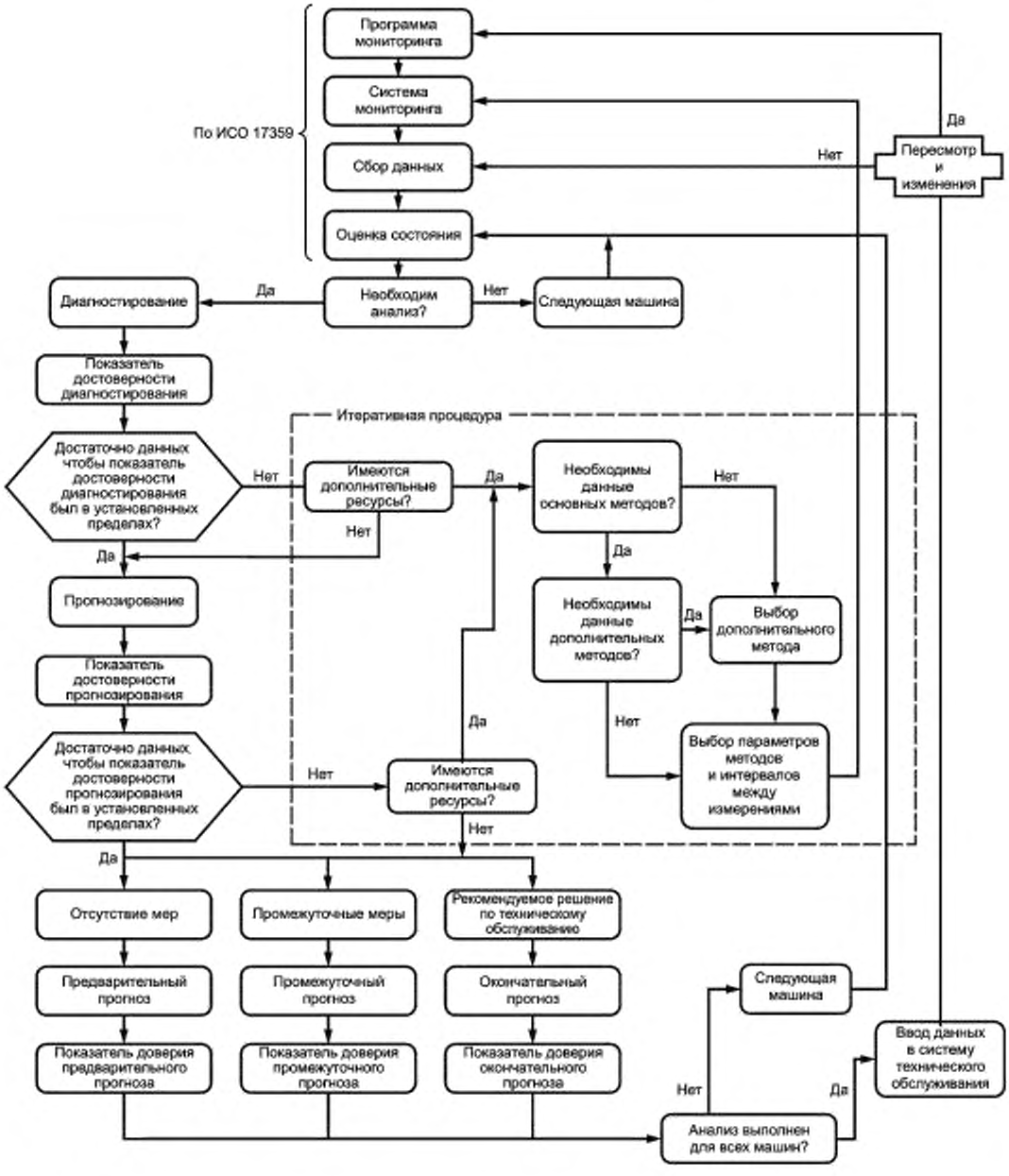
i) другие возможные меры, прогноз с учетом этих мер (для приближающихся и будущих отказов), уровень доверия прогноза, условия его подтверждения и оценка риска отказа.

Отчет может ограничиться включением в себя только кратких сведений об обследуемых машинах и узлах с указанием тех из них, в которых зафиксировано развитие неисправностей. Для них представляется более развернутая информация с указанием условий работы, диагнозов, требуемых дополнительных испытаний, рекомендуемых и альтернативных мер, возможных будущих отказов и связанных с ними прогнозов и других данных.

Может оказаться полезным включение в отчет значений индикаторов состояний и индикаторов трендов, поскольку это позволяет быстро распознать критичные состояния и значимые изменения, а также ситуации, когда эти состояния и изменения могут быть достигнуты до следующего момента сбора данных.

Приложение А
(справочное)

Схема процесса контроля состояния



Приложение В
(справочное)

Пример формы для определения доверительного уровня прогноза

Таблица В.1

Этап построения прогноза	Источники ошибок прогноза	Весовой коэффициент	Доверительный уровень этапа, %	Взвешенный доверительный уровень, %
1	История машины	0,15		
2	Анализ отказов узлов машины	0,10		
3	Контролируемые параметры	0,15		
4	Предельные уровни	0,10		
5	Интервал между измерениями	0,10		
6	Структура базы данных	0,05		
7	Процедура сбора данных	0,05		
8	Оценка параметров	0,05		
9	Составление диагноза	0,10		
10	Составление прогноза	0,15		
			Общий доверительный уровень	

Примечание — Общий доверительный уровень равен сумме взвешенных доверительных уровней этапов.

Приложение С
(справочное)

Методы моделирования отказа

С.1 Математические модели для заданных условий эксплуатации

Соответствующие модели бывают следующих видов:
- феноменологические;
- статистические;
- вероятностные;
- искусственные нейронные сети.

С.2 Оценка ожидаемого срока службы

Долговечность отдельных узлов машины можно оценить в отношении риска ухудшения технического состояния в процессе контроля и риска отказа в процессе работы машины на основе:
- оценивания показателей надежности;
- оценивания технического состояния (с помощью статистического или детерминистского анализа, экспертных оценок, результатов испытаний, моделей развития неисправностей).

С.3 Экспертные системы

Экспертные системы включают в себя следующие модели:
- вывод на основе системы правил по данным о признаках (неисправностях);
- дерево причинно-следственных связей (см. ИСО 17359);
- суждение по аналогии.

Последний принцип предполагает вынесение суждения на основе анализа аналогичных ситуаций и обстоятельств, которые уже наблюдались на практике и нашли свое разрешение (например, в отношении конкретной неисправности). Такая модель предполагает наличие этапа обучения на основе обширного опыта, включающего детальное описание типовых ситуаций.

С.4 Математические модели

Данные модели подразделяются на:
- феноменологические (описание изменения количественных или качественных показателей на основе физических принципов);
- статистические (анализ Парето с использованием статистических гистограмм для оценивания вероятности наступления одного или нескольких отказов);
- вероятностные (модели для расчета вероятности отказа на основе вероятности зарождения неисправности);
- искусственные нейронные сети (автоматизированные системы, действующие по принципу нейронной сети, для расчета вероятности наступления события).

Примечание — Основным принципом работы математических моделей является получение оценок на основе входной числовой информации о текущем состоянии машины. Как и в случае экспертных систем, для таких моделей необходим этап обучения.

С.5 Модели надежности

Такие модели обеспечивают получение информации о показателях надежности в виде случайных величин, изменяющихся со временем. Расчет позволяет получить оценку среднего времени до отказа.

Анализ надежности и времен отказов позволяет учесть повышение частоты отказов вследствие старения узлов, а также выхода их из строя в начальный период эксплуатации.

Показатели надежности могут быть привязаны к данным мониторинга и условиям эксплуатации машины. Это позволит получить показатели надежности конкретной машины.

С.6 Модели изменения технического состояния

Такие модели используют для оценивания зарождения и развития повреждений (износа, трещин, коррозии и пр.).

В них могут быть использованы данные о том или ином виде технического состояния, полученные в результате проверок или по опыту эксплуатации аналогичных машин. Сопоставление расчетов с расчетами для нормального поведения машины позволяет прогнозировать будущее ухудшение технического состояния.

С.7 Проверка модели

Целью данной проверки является сопоставление изменения технического состояния, известного по результатам контроля, с тем, что предсказано моделью. Процедура проверки может включать также подтверждение связи измеренных контролируемых параметров с наблюдаемым повреждением.

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 13372	—	*
ИСО 17359	IDT	ГОСТ Р ИСО 17359—2009 «Контроль состояния и диагностика машин. Общее руководство по организации контроля состояния и диагностирования»

* 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 стандарта:

- IDT — идентичный стандарт.

Библиография

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

[2] ISO 13374-1, Condition monitoring and diagnostics of machines — Data processing, communication and presentation — Part 1: General guidelines

[3] ISO 13379, Condition monitoring and diagnostics of machines — General guidelines on data interpretation and diagnostic techniques[2)]

[4] ISO 13380, Condition monitoring and diagnostics of machines — General guidelines on using performance parameters[3)]

[5] IEC 60812, Analysis techniques for system reliability — Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)[4)]

[6] BS 5760-5:1991, Reliability of systems, equipment and components — Guide to failure modes, effects and criticality analysis (FMEA and FMECA)

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

[2)] Соответствует ГОСТ Р ИСО 13379—2009 «Контроль состояния и диагностика машин. Руководство по интерпретации данных и методам диагностирования».

[3)] Соответствует ГОСТ 30848—2003 (ИСО 13380:2002) «Диагностирование машин по рабочим характеристикам. Общие положения».

[4)] Соответствует ГОСТ Р 51901.12—2007 (МЭК 60812:2006)«Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов».

УДК 534.322.3.08:006.354 ОКС 17.160 Т34

Ключевые слова: контроль состояния, отказы, неисправность, диагностирование, прогнозирование, доверительный уровень

Редактор *Б.Н. Колесов*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *В.И. Варенцова*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 27.06.2012. Подписано в печать 09.08.2012. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,20. Тираж 106 экз. Зак. 681.

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru)@gostinfo.ru
Набрано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» на ПЭВМ.
Отпечатано в филиале ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» — тип. «Московский печатник», 105062 Москва, Лялин пер., 6.