ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 16079-1— 2021

Контроль состояния и диагностика машин

ВЕТРОГЕНЕРАТОРЫ

Часть 1

Общее руководство

(ISO 16079-1:2017, Condition monitoring and diagnostics of wind turbines — Part 1: General guidelines, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2022

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Закрытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (ЗАО «НИЦ КД») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

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

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 ноября 2021 г. № 1639-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 16079-1:2017 «Контроль состояния и диагностика ветрогенераторов. Часть 1. Общее руководство» (ISO 16079-1:2017 «Condition monitoring and diagnostics of wind turbines — Part 1: General guidelines», IDT).

Международный стандарт разработан Техническим комитетом ISO/TC 108 «Вибрация, удар и контроль состояния», подкомитетом SC 5 «Контроль состояния и диагностика машинных систем».

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5—2012 (пункт 3.5).

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

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

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

© ISO, 2017
© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2022

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

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 1
4 Организация контроля состояния и диагностирования 3
5 Процедура FMECA 5
5.1 Общее описание 5
5.2 Определение показателя f_{CR} узла ветрогенератора 6
5.3 Определение показателя приоритета вида отказа f_{FMP} 7
5.4 Расчет числа приоритета n_{MP} 8
Приложение А (справочное) P-F-интервал, оценка времени до отказа и остаточный ресурс 10
Приложение В (справочное) Пример процедуры FMECA для трансмиссии ветрогенератора 12
Приложение С (справочное) Перечень узлов и конструктивных элементов ветроэнергетической установки и соответствующих видов отказов 15
Приложение D (справочное) Краткое введение в FMECA 18
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным и межгосударственным стандартам 20
Библиография 21

Введение

Общее замечание

Настоящий документ является первым в серии стандартов, посвященных применению методов контроля состояния ветрогенераторов. Он основан на рекомендациях и практических примерах, изложенных в базовых стандартах по контролю состояния и диагностике машин.

Краткая характеристика объекта стандартизации

Ветровая энергетика демонстрирует стабильный рост на мировом энергетическом рынке. Вследствие этого устойчивость производства ветровой энергии приобретает такое же большое значение, как и устойчивость производства энергии ее традиционными источниками. Как и для традиционных источников, программа эффективного обслуживания ветроэнергетических установок играет значительную роль в обеспечении надежных и предсказуемых поставок электроэнергии. Важную часть такой программы составляет контроль технического состояния ветрогенераторов, позволяющий:

a) обеспечить стабильность производства электроэнергии и тем самым избежать штрафных санкций от владельцев электросетей за недопоставку энергии;

b) поддержать уверенность инвесторов в эффективности вложенных ими средств в ветровую энергетику и тем самым способствовать привлечению новых инвестиций;

c) снизить затраты на техническое обслуживание ветрогенераторов за счет:

1) недопущения развития повреждений до критических состояний,

2) предотвращения развития последующих повреждений,

3) обеспечения возможности планировать необходимые работы по техническому обслуживанию;

d) снизить общие затраты в течение жизненного цикла ветрогенератора за счет:

1) повышения его готовности,

2) обеспечения возможности его работы при умеренных повреждениях (возможно, с введением некоторых ограничений),

3) поддержки исследований по анализу повреждений в типовых ситуациях.

В общем случае контроль состояния машин, в том числе контроль состояния ветрогенераторов, предусматривает:

- установление надежных уровней предупреждения. Сигнал предупреждения должен появляться только в ситуациях, когда достоверность диагноза и связанного с ним прогноза состояния высока. Ветроэнергетические установки расположены в удаленных местах, иногда за пределами береговой линии, и доступ к ним обслуживающего персонала может быть ограничен или связан с высокими затратами;

- оценивание времени до отказа. Это необходимо для эффективного планирования мероприятий по техническому обслуживанию, включая доставку подъемных кранов, персонала, заказ запасных узлов и т.п.;

- корректное измерение контролируемых параметров. Помимо внутренних сил, вызывающих вибрацию машины, на нее действуют также внешние силы. При близком расположении вибрация одного узла может быть подвержена влиянию вибрации другого узла;

- выявление неисправности в системе сбора данных. Сбор данных является основой системы надежного контроля состояния, но следует иметь в виду, что любое оборудование подвержено отказам. В связи с этим важно своевременно выявлять отказавшее оборудование в системе сбора данных, чтобы не допустить его влияния на процесс контроля состояния;

- комплексное применение информационно-коммуникационных технологий. Система контроля состояния может включать в себя мониторинг тысяч ветроэнергетических установок, связанных с единым центральным сервером через глобальную сеть передачи данных. (Данное требование выходит за область применения настоящего стандарта.)

Однако по сравнению с контролем состояния других машин контроль состояния ветрогенераторов предъявляет ряд специальных требований:

- доступ к гондоле ветроэнергетической установки во время ее работы затруднен, потенциально опасен и в ряде стран может быть даже запрещен на законодательном уровне, что исключает традиционные методы измерений с помощью щупа и требует применения удаленной системы контроля;

- нагрузка ветрогенератора существенно изменяется со временем и не может быть воспроизведена по желанию исследователя, что требует принятия специальных мер для подтверждения повторяемости измерений;

- возможность самовозбуждения колебаний ветрогенератора, работы в условиях экстремальных температур и разрядов молний налагает жесткие требования на устойчивость работы всей системы контроля;

- объединение системы контроля в единую сеть, связанное с удаленными расположениями ветроэнергетических установок, должно предусматривать возможность продолжения работы системы при потере сетевых соединений.

Назначение стандартов серии ИСО 16079

Цель настоящего стандарта и других частей ИСО 16079 состоит в том, чтобы:

a) обеспечить изготовителей ветрогенераторов, операторов ветроэнергетических установок и изготовителей систем контроля состояния единой терминологией и общим пониманием проблем обеспечения надежной и бесперебойной работы ветрогенераторов;

b) дать пользователю документа общую методологию выбора задач и способов контроля с точки зрения обеспечения его максимальной эффективности в отношении

1) стоимости;
2) способности обнаружения неисправности;
3) комплексности системы контроля и применяемых методов;
4) ресурсов и квалификаций операторов.

В то же время следует понимать, что настоящий стандарт и последующие части ИСО 16079 не могут охватить все возможные аспекты системы мониторинга.

Опыт практических исследований

Стратегии контроля состояния, описанные в стандартах серии ИСО 16079, основаны на опыте долговременных практических исследований и включают только хорошо зарекомендовавшие себя методы. При этом ряд отказов с нетипичным поведением и описываемые нетипичными признаками неисправности могут оказаться вне рассмотрения этими стандартами. Предполагается, что стандарты будут обновляться по мере развития соответствующих технологий контроля.

Связь с базовыми стандартами в области контроля вибрационного состояния, контроля технического состояния и диагностики

Настоящий стандарт развивает общую методологию, установленную ИСО 17359, в котором дана общая процедура организации программы контроля состояния машин и указаны основные этапы реализации этой программы. ИСО 17359 рассматривает контроль состояния как целенаправленную деятельность по выявлению причин отказов и описывает общий подход к установлению критериев вибрационного состояния, проведению и повышению достоверности процедур диагностирования и прогнозирования, которые находят дальнейшее развитие в других документах. Элементы контроля состояния разных машин представлены только в самом общем виде.

Более развернутый анализ систем контроля состояния и применяемых методов обработки сигнала вибрации и представления данных содержится в ИСО 13373 (все части), ИСО 13374 (все части) и ИСО 13379-1. Указанные стандарты составляют основу настоящего стандарта. На рисунке 1 показана связь между базовыми документами в области контроля состояния и методов измерений с документами, в которых эти вопросы рассматриваются в отношении ветрогенераторов.

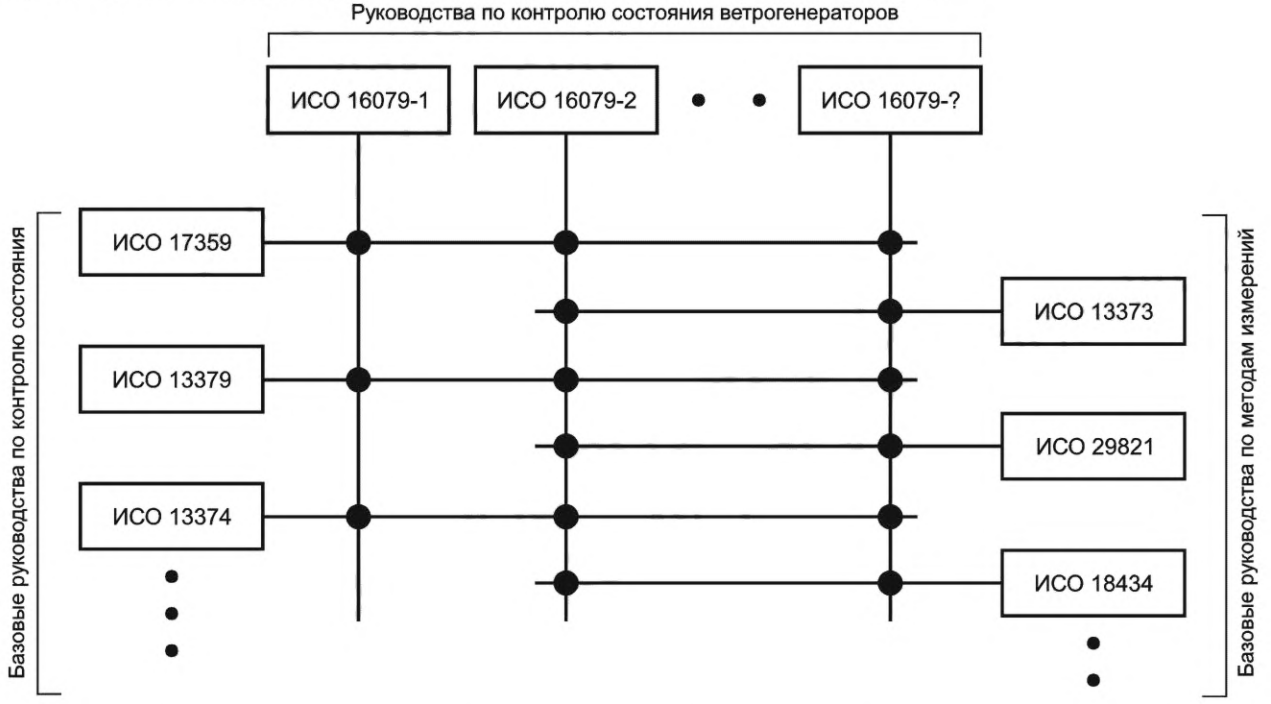


Рисунок 1 — Связь стандартов по контролю состояния ветрогенераторов с базовыми стандартами в области контроля состояния и измерений

Другие документы и руководства по ветрогенераторам

Ниже перечислены стандарты и руководства, которые хотя и выходят за рамки рассмотрения настоящего стандарта, связаны с его различными аспектами.

- ИСО 10816-21 [1] устанавливает метод измерений вибрации ветрогенераторов и границы зон вибрационного состояния. В приложении к стандарту приведены примеры таких границ для наземных ветроэнергетических установок мощностью менее 3 МВт. Вибрацию, измеренную на ветрогенераторе, сопоставляют с границами зон. Однако для контроля технического состояния и диагностики ветрогенераторов необходимы более развитые методы анализа.

- МЭК 61400-25-6 [10], входящий в серию стандартов МЭК 61450-25, устанавливает информационную модель в отношении контроля состояния ветрогенераторов и методы обмена данными, связанные с этой моделью. Задачей стандартов серии ИСО 16079 является определение контролируемых параметров для обнаружения отказов разных видов. МЭК 61400-25-6 дополняет эти стандарты в части включения этих параметров в модель данных.

Модель данных организует элементы данных и связь этих элементов между собой. Она позволяет с помощью одной компьютерной программы считывать данные от нескольких систем контроля состояния ветрогенераторов, в которых данная модель реализована. МЭК 61400-25-6 описывает коды датчиков, их типов и местоположений, режим работы ветрогенератора и предлагает систематизированные названия для типов контролируемых параметров.

- Руководство [11] устанавливает требования к сертификации систем контроля состояния ветрогенераторов и органам, осуществляющим этот контроль. Руководство устанавливает требования к документации на систему контроля состояния и к процедурам, выполняемым персоналом органа. Руководство устанавливает места размещения датчиков и диапазон частот измерений, а также требования к применению определенных процедур анализа. Однако требования к методам обнаружения отказов и к измерениям соответствующих контролируемых параметров в нем не установлены.

Связь со стандартами серии ИСО 55000

Процедуры управления активами, рассматриваемые в стандартах серии ИСО 55000, непосредственно связаны с контролем состояния машин. Любая организация, включая ветровую электростанцию, располагает портфелем активов и стратегией достижения заданных целей развития. Активы используют для достижения этих целей. Эффективный контроль и управление активами являются существенным элементом для достижения баланса затрат, риска и возможностей в деятельности организации.

Что касается ветровых электростанций, то внедрение системы контроля состояния можно рассматривать как ключевой элемент программы управления активами с точки зрения их гарантирования, позволяющего избежать непредвиденных потерь из-за отказов ветрогенераторов.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Контроль состояния и диагностика машин

ВЕТРОГЕНЕРАТОРЫ

Часть 1

Общее руководство

Condition monitoring and diagnostics of machines. Wind turbines. Part 1. General guidelines

Дата введения — 2022—06—01

1 Область применения

Настоящий стандарт содержит руководство по выбору методов контроля состояния, обнаружения неисправностей, диагностирования и прогнозирования состояния оборудования ветроэнергетических установок.

2 Нормативные ссылки

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

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

ISO 13372:2012, Condition monitoring and diagnostics of machines — Vocabulary (Контроль состояния и диагностика машин. Словарь)

ISO 13379-1:2012, Condition monitoring and diagnostics of machines — Data interpretation and diagnostics techniques — Part 1: General guidelines (Контроль состояния и диагностика машин. Методы интерпретации данных и диагностирования. Часть 1. Общее руководство)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ИСО 2041 и ИСО 13372, а также следующие термины с соответствующими определениями.

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

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

3.1 **предупреждение** (alarm): Сигнал или сообщение, извещающее персонал об обнаруженной аномалии (см. 3.2) или логической совокупности аномалий, требующей принятия корректирующих действий.

[ИСО 13372:2012, пункт 4.2]

3.2 **аномалия** (anomaly): Отклонение или нестабильность работы системы.

[ИСО 13372:2012, пункт 4.4]

Издание официальное

3.3 **узел (ветрогенератора)** (component; sub-component; component part): Часть ветрогенератора (обычно это опорный подшипник, коробка передач или электрогенератор).

Примечание 1 — В строгом смысле данного определения каждый из узлов также состоит из отдельных частей (например, подшипник электрогенератора, планетарная передача коробки передач).

3.4 **вторичное повреждение** (consequential damage): Явление, при котором один *узел* (см. 3.3) может вызвать *повреждение* (см. 3.7) другого узла.

Примечание 1 — Иногда называют «последующим повреждением».

3.5 **контролируемый параметр** (descriptor): Информационный элемент, совпадающий с каким-либо параметром или получаемый в результате преобразований параметров или формируемый по наблюдениям за системой.

Примечание 1 — Контролируемые параметры используют для определения *признаков неисправностей* (см. 3.15) или *аномалий* (см. 3.2). Контролируемые параметры, используемые в целях контроля состояния и диагностирования, обычно получают от системы контроля. Однако в качестве контролируемых параметров могут использоваться также параметры режима работы ветровой установки и другие результаты измерений.

[ИСО 13372:2012, пункт 6.2 с изменением (добавлены примечания)]

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

[ИСО 13381-1:2015, пункт 3.8]

3.7 **отказ** (failure): Утрата *узлом* (см. 3.3) или машиной способности выполнять требуемую функцию.

Примечание 1 — Отказ является событием в отличие от неисправности (см. 3.10), которая является состоянием.

[ИСО 13372:2012, пункт 1.7 с изменением]

3.8 **точка отказа** (functional failure), **F**: Момент времени, когда машина перестает выполнять требуемую функцию.

3.9 **вид отказа** (failure mode): Характер работы машины или оборудования, способный привести к *отказу* (см. 3.7).

Примечание 1 — У машины могут наблюдаться разные виды отказов, такие как трение между движущимися поверхностями, выкрашивание поверхностей в области контакта, неуравновешенность ротора, повреждение электрическим разрядом, ослабление в соединении и т.д. С видом отказа связаны *признаки неисправности* (см. 3.15), указывающие на наличие *неисправности* (см. 3.10).

3.10 **неисправность** (fault): Состояние машины, когда один из ее *узлов* (см. 3.3) или несколько узлов проявляют признаки деградации или нарушения работы, что может привести к *отказу* (см. 3.7) машины.

Примечание 1 — См. также «*точка потенциального отказа*» (3.12).

Примечание 2 — Неисправность может быть следствием отказа, но может иметь место и при его отсутствии.

[ИСО 13372:2012, пункт 1.8 с изменением примечаний]

3.11 **P-F-интервал** (P-F interval): Оценка периода времени от момента обнаружения *неисправности* (см. 3.10) [т.е. *точки потенциального отказа* P (см. 3.12)] до точки отказа F (см. 3.8).

Примечание 1 — P-F-интервал больше или равен *оценке времени до отказа* (см. 3.6).

Примечание 2 — Для эффективного планирования мероприятий по техническому обслуживанию полезно знать P-F-интервал для каждого вида отказа (см. приложение А).

3.12 **точка потенциального отказа** (potential failure), **P**: Момент времени, когда *неисправность* (см. 3.10) становится обнаруживаемой.

3.13 **остаточный ресурс** (remaining useful life, RUL): Оценка периода времени от текущего момента до момента, когда работающая система достигнет предельного состояния, определяемого через доверительный интервал для *оценки времени до отказа* (см. 3.6) и приемлемый уровень риска.

Примечание 1 — Определение остаточного ресурса является целью прогнозирования.

Примечание 2 — См. приложение А.

3.14 **основная причина (отказа)** (root cause): Совокупность условий или действий, имевших место в начале событий, результатом которых явился данный *вид отказа* (см. 3.9).

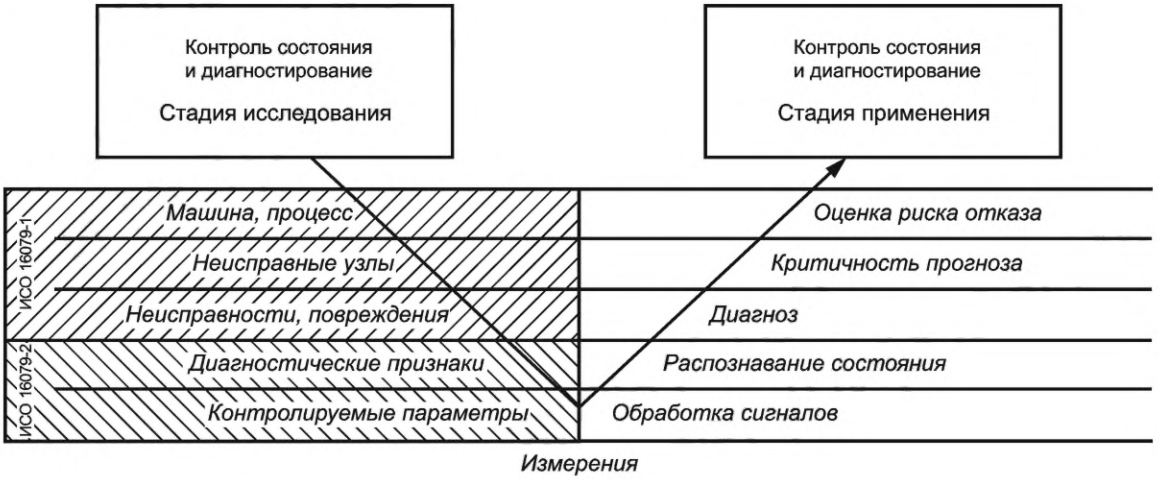
[ИСО 13372:2012, пункт 8.9]

3.15 **признак неисправности** (symptom): Сделанное на основе субъективного наблюдения за работой машины и по результатам измерений *контролируемых параметров* (см. 3.5) заключение о возможном наличии одной или нескольких неисправностей (см. 3.10) с заданной вероятностью.

[ИСО 13372:2012, пункт 9.4 с изменением (добавлено «с заданной вероятностью»]

4 Организация контроля состояния и диагностирования

Для применения процедур контроля состояния и диагностирования, соответствующих неисправностям, характерным для ветрогенераторов, рекомендуется использовать V-образную диаграмму из ИСО 13379-1 (см. рисунок 2).



Примечание — Источник: ИСО 13379-1:2012 (рисунок 1).

Рисунок 2 — Цикл исследования потребности в диагностировании и его применения

Левая ветвь диаграммы соответствует стадии предварительных исследований, в ходе которых получают необходимые данные для организации контроля состояния и диагностирования конкретной машины. Правая ветвь диаграммы соответствует работам по контролю технического состояния и диагностированию, которые обычно проводят после приемки машины в эксплуатацию. Важным моментом в организации систем контроля состояния и диагностирования является сокращение поступающей информации до минимально необходимой. Этот процесс начинается со стадии предварительных исследований, на которой определяют приоритетность видов отказов, подлежащих последующему наблюдению.

Согласно ИСО 13379-1 рекомендуется, чтобы предварительные исследования проводились с использованием следующих процедур (см. рисунок 3):

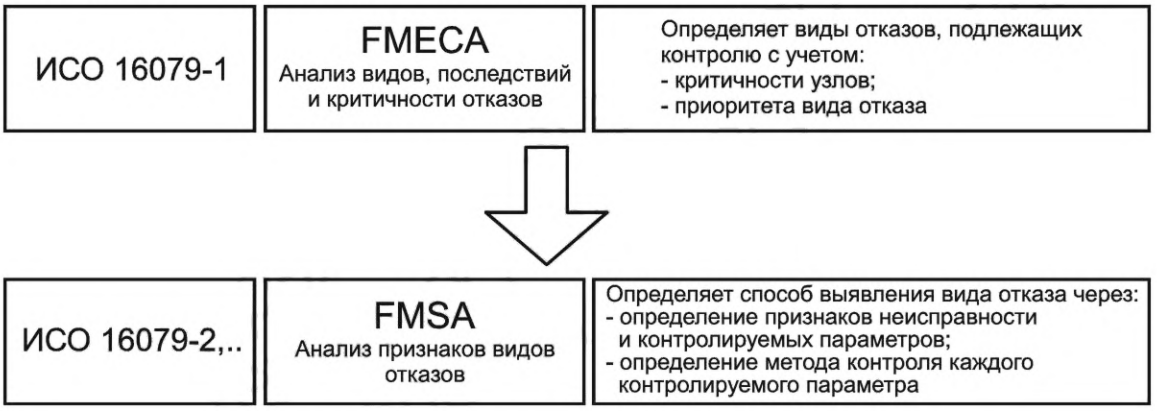


Рисунок 3 — Совместное применение FMECA и FMSA

a) FMECA (анализ видов, последствий и критичности отказов) (рассматривается в настоящем стандарте);

b) FMSA (анализ признаков видов отказов) (подлежит рассмотрению в ИСО 16079-2 и других стандартах серии).

Применительно к ветровым турбинам процедура FMECA включает в себя следующие этапы:

a) составление перечня основных узлов ветрогенератора;

b) определение показателя критичности каждого узла с учетом его влияния на рабочий процесс ветрогенератора, сложности и времени ремонта, стоимости и наличия запасных частей, риска вторичных повреждений, расположения ветрогенератора и скорости развития неисправности (если такая информация доступна);

c) идентификация видов отказов для каждого узла и их ранжирование в целях мониторинга (определение показателя приоритетности мониторинга) с учетом возможности их обнаружения и оценки времени до отказа;

d) принятие решения о том, какие виды отказов подлежат выявлению и диагностированию с учетом критичности соответствующего узла и экономической эффективности контроля отказов разных видов.

Примечание — Краткое изложение основ FMECA дано в приложении D.

Этапы процедуры FMSA, описанные в ИСО 16079-2, включают в себя:

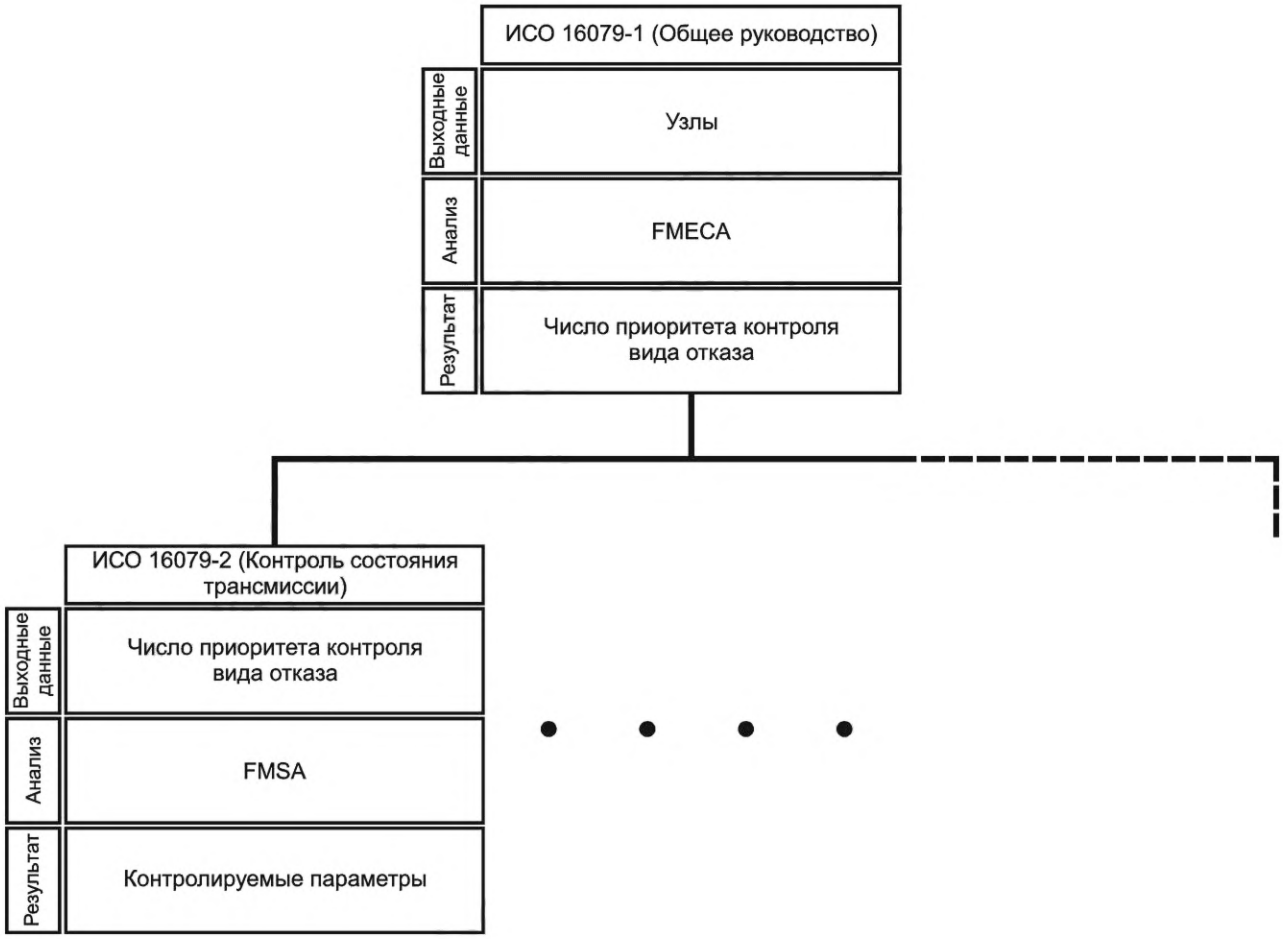
a) определение режимов работы ветрогенератора, на которых может быть обеспечено наилучшее диагностирование для неисправностей разного вида, и выбор режима для контроля;

b) выбор признаков неисправностей для анализа технического состояния ветрогенератора и последующего диагностирования;

c) составление перечня контролируемых параметров, на основе которых должны быть получены признаки неисправностей;

d) выбор методов измерения и преобразователей, которые должны быть использованы для получения значений контролируемых параметров (непосредственно в результате измерений или после обработки данных измерений на компьютере).

Связь процедур анализа, рассматриваемых в настоящем стандарте и в ИСО 16079-2, а также в последующих стандартах данной серии, показана на рисунке 4.



Примечание — Выходные данные процедуры FMECA являются входными данными процедуры FMSA.

Рисунок 4 — Связь настоящего стандарта с ИСО 16079-2

5 Процедура FMECA

5.1 Общее описание

Результатом процедуры FMECA должно быть присвоение чисел приоритета контроля n_{MP} каждому узлу и каждому виду отказа ветрогенератора. Знание n_{MP} позволяет сконцентрировать усилия по контролю состояния там, где они наиболее эффективны, и в сочетании с процедурой FMSA для каждого узла ветрогенератора установить требования к системе контроля состояния.

Число приоритета контроля n_{MP} определяют по формуле

$$n_{MP} = f_{CR} \times f_{FMP}, \quad (1)$$

где f_{CR} — показатель критичности узла ветровой турбины;

f_{FMP} — показатель приоритета вида отказа.

Значения f_{CR} и f_{FMP}, необходимые для вычисления n_{MP}, находят с использованием таблиц 1 и 2. При этом процедуру FMECA можно представить в виде следующей последовательности шагов:

a) составляют перечень узлов, включенных в FMECA;

b) по таблице 1 определяют значение f_{CR} для каждого узла;

c) по таблице 2 определяют значение f_{FMP} для каждого вида отказа;

d) завершают процедуру FMECA расчетом n_{MP} по формуле (1).

Общий вид алгоритма процедуры FMECA показан на рисунке 5.

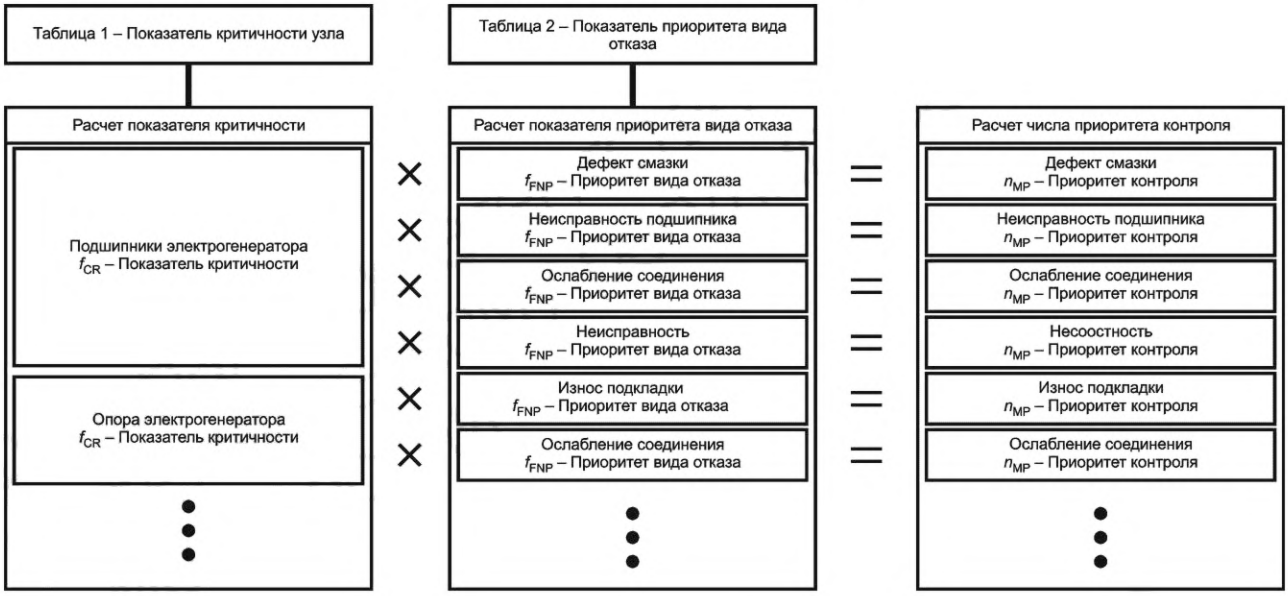


Рисунок 5 — Схема FMECA

5.2 Определение показателя f_{CR} узла ветрогенератора

Показатель критичности f_{CR} определяют с использованием четырех частных показателей критичности по формуле

$$f_{CR} = f_{LP} + f_{RE} + f_{CD} + f_{FR}, \quad (2)$$

где f_{LP} — показатель производственных потерь;

f_{RE} — показатель затрат на ремонт;

f_{CD} — показатель вторичных повреждений;

f_{FR} — показатель частоты наблюдения отказов.

Каждый из четырех показателей критичности узла определяют с использованием таблицы 1.

Таблица 1 — Показатель критичности f_{CR} узла ветрогенератора

Уровень показателя	Описание уровня	Значение показателя
Показатель производственных потерь f_{LP}		
Критические потери	Немедленная потеря производительности после наступления отказа (либо прекращение производства продукции, либо снижение номинальной мощности ветрогенератора)	3
Существенные потери	Может вызвать ухудшение производительности после отказа, требующее уменьшения номинальной мощности ветрогенератора	2
Несущественные потери	Не вызывает снижения производительности после отказа	1
Показатель затрат на ремонт f_{RE}		
Высокие затраты	Ремонт либо слишком труден для проведения на месте, либо требует специального оборудования и персонала. Запасные части могут быть недоступны либо из-за их уникальности, либо из-за прекращения их производства и должны быть специально изготовлены. Как следствие — высокая стоимость ремонта, длительный простой машины или высокая стоимость запасных частей	3

Окончание таблицы 1

Уровень показателя	Описание уровня	Значение показателя
Средние затраты	Ремонт либо затруднен, либо требует сложного и длительного демонтажа. Запчасти требуют специального заказа у изготовителя, что вызывает простой машины	2
Низкие затраты	Ремонт обычно может быть выполнен на месте стандартными инструментами, имеющимися в наличии, и не требует значительной разборки оборудования. Запчасти готовы для установки	1
Показатель вторичных повреждений f_{CD}		
Серьезные повреждения	Повреждение с большой вероятностью вызывает существенные повреждения сопряженных узлов	3
Ограниченные повреждения	Повреждение вызывает ограниченные повреждения сопряженных узлов	2
Нет повреждений	Опыт показывает отсутствие или незначительность повреждений сопряженных узлов	1
Показатель частоты наблюдения отказов f_{FR}		
Высокая частота	Опыт показывает, что средний срок службы узла составляет менее 20 % обычного срока службы ветрогенератора	3
Средняя частота	Опыт показывает, что средний срок службы узла составляет от 20 % до 80 % обычного срока службы ветрогенератора	2
Малая частота	Опыт показывает, что средний срок службы узла составляет более 20 % обычного срока службы ветрогенератора	1

Примечание — Практический пример оценки f_{CR} для трансмиссии ветровой турбины приведен в приложении В.

5.3 Определение показателя приоритета вида отказа f_{FMP}

Показатель приоритета вида отказа f_{FMP} определяют с использованием шести частных показателей по формуле

$$f_{FMP} = f_{FMT} + f_{EFD} + f_{RFMS} + f_{EA} + f_{EDA} + f_{P\text{-}F}, \quad (3)$$

где f_{FMT} — тип вида отказа;

f_{EFD} — сложность обнаружения вида отказа;

f_{RFMS} — повторяемость признаков неисправности для отказа данного вида;

f_{EA} — сложность автоматического контроля;

f_{EDA} — сложность детального анализа;

$f_{P\text{-}F}$ — протяженность P-F-интервала.

Каждый из шести показателей критичности узла определяют с использованием таблицы 2. Данные, собранные в таблицу 2, отражают точку зрения, что правильные оценки видов отказов будут способствовать инвестициям в развитие систем контроля состояния. В связи с этим приоритет отдается контролю отказов тех видов, которые наиболее просты для обнаружения, обеспечиваются простыми средствами и не предъявляют слишком высоких требований к квалификации обслуживающего персонала. Попытка обнаружить нетипичные виды отказов часто ведет к появлению ложных сигналов предупреждения и, как следствие, к неоправданным посещениям ветроэнергетической установки бригадой обслуживания, что в конечном итоге повышает стоимость обслуживания ветрогенератора.

На показатель приоритета влияет также значение P-F-интервала для отказа данного вида. При малых значениях P-F-интервала отказ данного вида требует большего внимания, чтобы не допустить повреждения узла и возможных вторичных повреждений.

Примечание — Практический пример оценки f_{FMP} для трансмиссии ветровой турбины приведен в приложении В.

Таблица 2 — Показатель приоритета вида отказа f_{FMP}

Уровень показателя	Описание уровня	Значение показателя
Тип вида отказа f_{FMP}		
Стандартный отказ	Неисправность документирована и понятна	3
Редкий отказ	Неисправность не документирована или специфична для конкретного ветрогенератора	2
Необычный отказ	Неисправность не документирована и не характерна для ветрогенераторов	1
Сложность обнаружения вида отказа f_{EFD}		
Ясные признаки	Есть легко определяемые признаки неисправности	3
Нечеткие признаки	Среди возможных признаков неисправностей только некоторые относятся к рассматриваемой	2
Отсутствие признаков	Нет признаков неисправности данного вида	1
Повторяемость признаков неисправности для отказа данного вида f_{RFMS}		
Высокая повторяемость	Признаки неисправности обладают хорошей повторяемостью и не зависят от режима работы машины	3
Средняя повторяемость	Признаки неисправности обладают хорошей повторяемостью, но несколько изменяются с изменением режима работы	2
Низкая повторяемость	Признаки неисправности не обладают повторяемостью и существенно зависят от изменений режима работы	1
Сложность автоматического контроля f_{EA}		
Простой контроль	Признаки неисправности хорошо подходят для автоматического контроля тренда контролируемых параметров	3
Затрудненный контроль	Признаки неисправности демонстрируют вариативность и случайный разброс, что затрудняет наблюдение тренда. Могут быть спутаны с признаками другой неисправности	2
Сложный контроль	Возможность построить тренд параметров отсутствует	1
Сложность детального анализа f_{EDA}		
Простой анализ	Признаки неисправности легко выделить простыми методами анализа (формы сигнала, спектра и т.п.)	3
Затрудненный анализ	Необходимо использование продвинутых методов анализа. Затрудненное разделение признаков для неисправностей разного вида	2
Сложный анализ	Анализ не позволяет выделить признаки, например вследствие сильной зашумленности сигнала (требуется применение специальных датчиков)	1
Протяженность P-F-интервала $f_{P\text{-}F}$		
Короткий интервал	P-F-интервал обычно менее 14 дней	3
Средний интервал	P-F-интервал обычно от 14 дней до двух месяцев	2
Длинный интервал	P-F-интервал обычно более двух месяцев	1

5.4 Расчет числа приоритета n_{MP}

Число приоритета контроля n_{MP} для конкретного узла ветрогенератора и соответствующего ему вида отказа определяется сочетанием критичности узла и способности обнаружения отказа данного вида для данного узла. Число приоритета отражает экономическую выгоду контроля конкретного узла и вида отказа, т.е. показывает, где можно ожидать максимального эффекта от внедрения системы контроля состояния.

Расчет числа приоритета выполняют по формуле (1).

Пример 1 — Критичный узел, отказ которого вызывает немедленную потерю производительности ветрогенератора, характеризуемый высокими затратами на ремонт, высоким риском вторичных

повреждений и медленным развитием неисправности, но с легко определяемым видом отказа, измеримыми и повторяемыми признаками неисправности и длинным P-F-интервалом, описывается следующими значениями f_{CR} и f_{FMP}, полученными из таблиц 1 и 2 соответственно:

$f_{CR} = 3 + 3 + 3 + 1 = 10$;

$f_{FMP} = 3 + 3 + 3 + 3 + 3 + 1 = 16$.

Тогда $n_{MP} = f_{CR} \times f_{FMP} = 10 \times 16 = 160$.

Число приоритета можно нормировать на его максимально возможное значение, получаемое из произведения максимально возможных значений для f_{CR} (как следует из таблицы 1, $f_{CR,max} = 12$) и f_{FMP} (как следует из таблицы 1, $f_{FMP,max} = 18$):

$$n_{MP,rel} = \frac{n_{MP}}{f_{CR,max} \times f_{FMP,max}} = \frac{160}{216} = 0,74.$$

Относительное число приоритета контроля $n_{MP,rel}$ облегчает сравнение чисел приоритета.

Пример 2 — Критичный узел, отказ которого вызывает немедленную потерю производительности ветрогенератора с низким уровнем затрат на ремонт, риском серьезных вторичных повреждений и медленным развитием неисправности, но с легко определяемым видом отказа, измеримыми и повторяемыми признаками неисправности, а также коротким P-F-интервалом, описывается следующими значениями f_{CR} и f_{FMP}, полученными из таблиц 1 и 2 соответственно:

$f_{CR} = 3 + 3 + 3 + 1 = 10$;
$f_{FMP} = 3 + 3 + 3 + 3 + 3 + 3 = 18$.

Тогда $n_{MP} = f_{CR} \times f_{FMP} = 10 \times 18 = 180$,

$$n_{MP,rel} = \frac{n_{MP}}{f_{CR,max} \times f_{FMP,max}} = \frac{180}{216} = 0,83.$$

Приложение А
(справочное)

P-F-интервал, оценка времени до отказа и остаточный ресурс

А.1 Общие положения

P-F-интервал включает в себя развитие неисправности от точки потенциального отказа до точки отказа. Рисунок А.1 иллюстрирует последовательное ухудшение состояния узла со временем вплоть до порога отказа. Достижение точки отказа не означает немедленных катастрофических последствий для машины, но свидетельствует о невозможности ее дальнейшего функционирования с заданной производительностью.

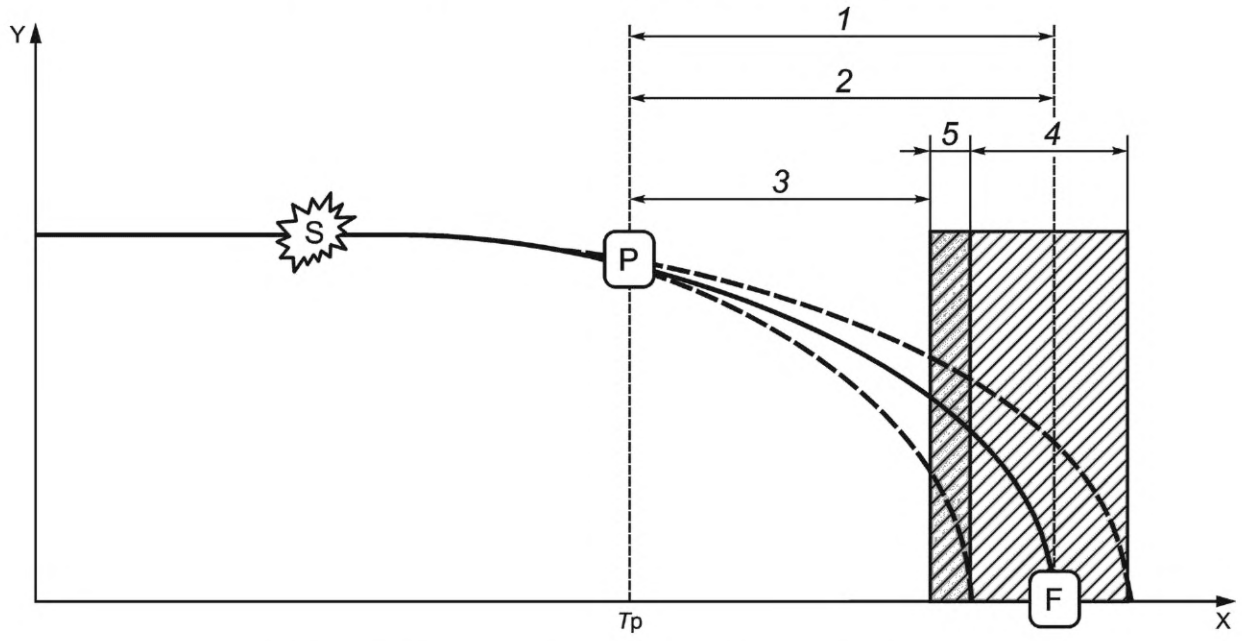
А.2 Пояснения к рисунку А.1

Рисунок А.1 показывает, как соотносятся между собой P-F-интервал, оценка времени до отказа и остаточный ресурс. Примером рассматриваемого узла может быть дефект наружного кольца подшипника качения, который характеризуется длительным P-F-интервалом (обычно от шести месяцев до года).

Точка Tp на рисунке А.1 (a) показывает момент времени, когда неисправность обнаружена. Для этого момента времени P-F-интервал совпадает с оценкой времени до отказа. Остаточный ресурс меньше оценки времени до отказа, поскольку учитывает доверительный интервал для прогнозируемого времени отказа, к которому добавлена некоторая зона гарантии безопасности, размер которой зависит от риска, связанного с отказом данного вида. Штриховые линии на рисунке показывают интервал для показателя состояния машины Y в каждый момент времени с учетом доверительного интервала.

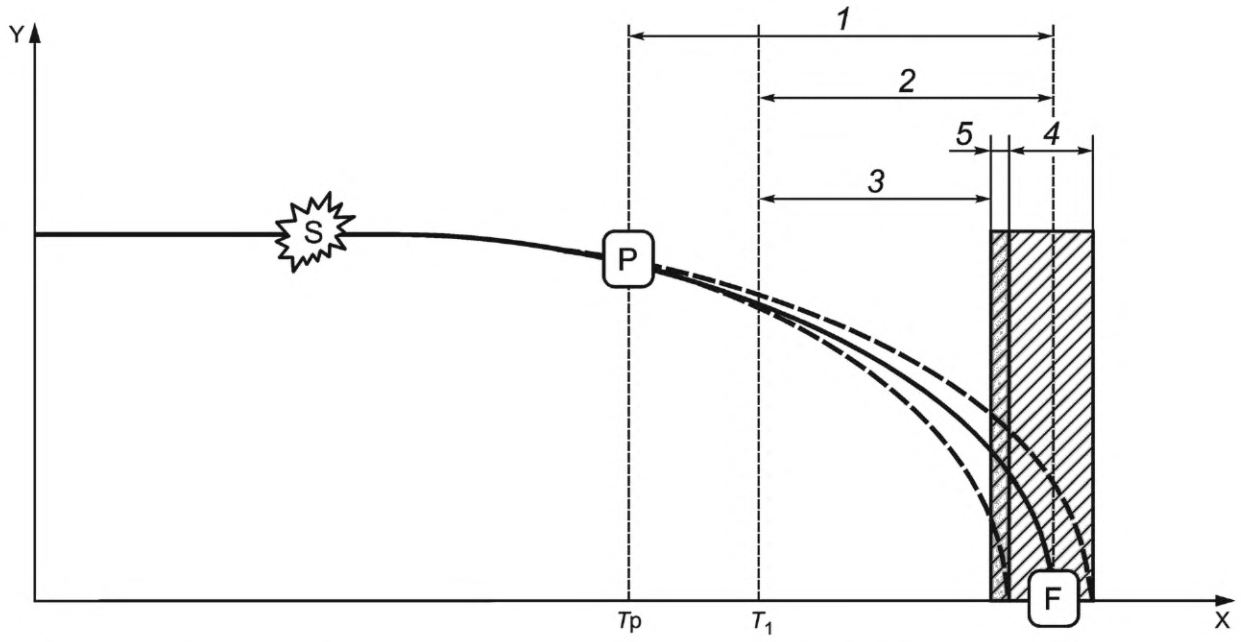
Точка T1 на рисунке А.1 (b) показывает некоторый момент времени после обнаружения неисправности, когда повреждение достигло определенной стадии развития. В этой точке получают новые значения оценки времени до отказа и остаточного ресурса на основе информации от системы контроля состояния. По мере развития повреждения прогноз момента отказа может уточняться, а доверительный интервал уменьшаться, что влияет на оценку времени до отказа. Сокращается и зона гарантии безопасности, вследствие чего «растягивается» остаточный ресурс.

Регулярная оценка доверительного интервала системой контроля состояния после того, как неисправность обнаружена, позволяет контролировать риск отказа и может существенно продлить остаточный ресурс.



а) Неисправность подшипника: неисправность обнаружена (момент времени *Tp*)

Рисунок А.1 — Иллюстрация понятий P-F-интервала, оценки времени до отказа, остаточного ресурса и риска, лист 1



b) Неисправность подшипника: неисправность прогрессирует (момент времени T_1) S — начало развития неисправности; P — точка потенциального отказа; F — точка отказа; X — время; Y — состояние машины; *1* — P-F-интервал; *2* — оценка времени до отказа; *3* — остаточный ресурс; *4* — доверительный интервал прогноза; *5* — риск

Рисунок А.1, лист 2

Приложение В
(справочное)

Пример процедуры FMECA для трансмиссии ветрогенератора

В.1 Общие положения

В настоящем приложении приведен пример процедуры FMECA с использованием показателей из таблиц 1 и 2.

В.2 Расчет показателя критичности узла

Процедура расчета состоит в следующем:

a) составляют перечень узлов ветрогенератора и их частей, которые должны быть рассмотрены в рамках процедуры FMECA (см. таблицу В.1). Выбор узлов и их частей может быть расширен (см. приложение С);

b) с использованием таблицы 1 оценивают показатель критичности для каждой части каждого узла.

Таблица В.1 — Расчет показателя критичности f_{CR} для каждого узла ветрогенератора

Узел	Часть узла	f_{LP}	f_{RE}	f_{CD}	f_{FR}	f_{CR}
Ротор электрогенератора; механическая часть	Подшипники	3	1	3	2	9
	Вал	3	2	3	1	9
	Бандаж	3	2	2	1	8
	Вентилятор	2	1	2	1	6
	Опора	2	1	1	1	5
Ротор электрогенератора; электрическая часть	Обмотка	3	3	3	1	10
	Токосъемное кольцо	2	1	1	3	7
Соединительная муфта		3	1	2	1	7
Коробка передач	Корпус	3	3	3	1	10
	Подвеска	3	1	2	1	7
Коробка передач; червячная передача	Зубчатое колесо	3	1	2	2	8
	Подшипник	3	1	2	2	8
	Червячное колесо	3	1	2	2	8
	Вал	3	1	3	1	8
Коробка передач, планетарная передача	Водило	3	2	2	1	8
	Подшипник сателлита	3	2	2	1	8
	Сателлит	3	2	2	1	8
	Коронная шестерня	3	2	2	1	8
	Солнечная шестерня	3	2	2	1	8
Опорный подшипник		3	2	2	1	8

В.3 Расчет показателя приоритета вида неисправности и числа приоритета

Процедура расчета состоит в следующем:

a) составляют перечень узлов ветрогенератора, их частей и соответствующих видов отказов для каждой части;

b) с использованием таблицы 2 оценивают показатель приоритета для каждого вида неисправности. Если соответствующие сведения отсутствуют, то поля таблицы для f_{FMP} и n_{MP} оставляют незаполненными. Незаполненные поля также несут важную информацию, поскольку показывают, какие виды отказов не следует рассматривать в последующей процедуре FMSA. Соответствующие виды отказов не будут подлежать обнаружению системой мониторинга. Незаполненные поля, кроме того, мотивируют на продолжение исследований, которые обеспечат возможность обнаружения этих видов отказа. Дальнейшие исследования целесообразны также для видов отказов с большими значениями f_{CR}, но малыми значениями n_{MP};

c) вычисляют числа приоритета n_{MP}, умножая показатель f_{CR}, полученный из таблицы В.1, на показатель приоритета вида отказа, и относительные числа приоритета $n_{MP,rel}$, нормируя полученное значение n_{MP} на его максимально возможное значение, равное 216.

Таблица В.2 — Расчет показателя критичности f_{CR} для каждого узла ветрогенератора

Узел	Часть узла	Вид отказа	f_{FMT}	f_{EFD}	f_{RFMS}	f_{EA}	f_{EDA}	$f_{P\text{-}F}$	f_{FMP}	f_{CR}	n_{MP}	$n_{MP,rel}$
Электрогенератор; механическая часть	Подшипники	Неисправность подшипника	3	3	3	3	3	1	16	9	144	0,67
		Дефект смазки	2	2	2	2	2	3	13	9	117	0,54
		Несоосность	3	3	3	3	3	1	16	9	144	0,67
		Ослабление посадки	3	3	3	3	3	1	16	9	144	0,67
	Вал	Трещина	3	3	3	2	3	2	16	9	144	0,67
	Бандаж	Разрыв	—	—	—	—	—	—	—	8	—	—
	Вентилятор	Разрушение	—	—	—	—	—	—	—	6	—	—
	Опора	Ослабление соединения	3	3	3	3	3	1	16	5	80	0,7
		Износ подкладки	3	3	3	3	3	1	16	5	80	0,37
Электрогенератор; электрическая часть	Обмотка	Утеря пазовых клиньев	—	—	—	—	—	—	—	10	—	—
		Ослабление креплений	—	—	—	—	—	—	—	10	—	—
		Межвитковые замыкания	—	—	—	—	—	—	—	10	—	—
	Токосъемное кольцо	Износ	—	—	—	—	—	—	—	7	—	—
Соединительная муфта		Несоосность	3	3	3	3	3	1	16	7	112	0,52
		Ослабление соединения	3	3	3	3	3	3	18	7	126	0,58
		Износ	3	3	3	3	3	1	16	7	112	0,52
Коробка передач	Корпус	Трещина	1	1	1	1	1	3	8	10	80	0,37
	Подвеска	Ослабление	3	3	3	3	3	1	16	7	112	0,52
Коробка передач; червячная передача	Зубчатое колесо	Дефект зуба	3	3	3	3	3	1	16	8	128	0,59
	Подшипник	Неисправность подшипника	3	3	3	3	3	1	16	8	128	0,9
	Червячное колесо	Дефект зуба	3	3	3	3	3	1	16	8	128	0,59
	Вал	Трещина	2	2	2	1	1	3	11	8	88	0,41
Коробка передач, планетарная передача	Водило	Неисправность подшипника	3	2	1	2	2	1	11	8	88	0,41
	Подшипник сателлита	Неисправность подшипника	2	2	2	2	2	2	12	8	96	0,44
	Сателлит	Дефект зуба	3	2	3	3	3	2	16	8	128	0,59
	Коронная шестерня	Дефект зуба	3	2	3	3	3	2	16	8	128	0,59
	Солнечная шестерня	Дефект зуба	3	2	3	3	3	2	16	8	128	0,59
Опорный подшипник		Неисправность подшипника	2	2	2	2	2	1	11	8	88	0,41

В процессе применения FMECA может быть, например, принято решение, что дальнейшему исследованию видов отказа с анализом признаков неисправности будут подвергнуты только те из них, для которых $n_{MP,rel} \geq 0,5$. Включение в анализ видов отказа с меньшим значением n_{MP} может увеличить расходы как на создание, так и на функционирование системы контроля. Выбор контролируемых видов отказов в соответствии с процедурой FMECA повышает эффективность работы системы контроля.

Пример, приведенный в настоящем приложении, основан преимущественно на опыте применения обычных преобразователей вибрации, таких как акселерометры. Результат анализа мог бы быть иным при возможности получения данных от дополнительных специализированных преобразователей. Однако дополнительные преоб-

разователи и другое оборудование ведут к дополнительным расходам, поэтому всегда рекомендуется выполнять расчет экономической эффективности контроля каждого вида отказа на основе полученного значения n_{MP}.

Процедура FMECA показала также, что число приоритета контроля n_{MP} может быть рассчитано не для всех частей узлов ветрогенератора и видов отказов даже при больших значениях f_{CR} . Причиной этого может быть отсутствие соответствующих преобразователей или методов контроля состояния. Такая ситуация должна мотивировать к проведению дальнейших исследований, которые позволили бы создать систему контроля с более высокими значениями f_{FMP} для конкретных видов отказов.

Приложение С
(справочное)

Перечень узлов и конструктивных элементов ветроэнергетической установки и соответствующих видов отказов

Настоящее приложение содержит обзор узлов ветрогенератора, их частей, конструктивных элементов ветроэнергетической установки и соответствующих видов отказов для наиболее распространенных конструкций ветрогенератора. Соответствующие данные приведены в таблице С.1 и могут служить основой для проведения процедуры FMECA подобно тому, как это было показано в примере приложения В.

Таблица С.1 — Узлы и конструктивные элементы ветроэнергетической установки и соответствующие виды отказов

Узел или конструктивный элемент	Часть узла или конструктивного элемента	Вид отказа
Электрогенератор; механическая часть	Подшипники	Неисправность подшипника
		Дефект смазки
		Несоосность
		Ослабление посадки
	Вал	Трещина
	Бандаж	Разрыв
	Вентилятор	Разрушение
	Опора	Ослабление соединения
		Износ подкладки
Электрогенератор; электрическая часть	Обмотка ротора	Утеря пазовых клиньев
		Ослабление креплений
		Межвитковые замыкания
	Статор	Межвитковые замыкания
		Замыкание на корпус
	Система охлаждения статора	Засорение
		Повышенный нагрев
	Токосъемное кольцо	Износ
		Повышенный нагрев
Соединительная муфта		Несоосность
		Ослабление соединения
		Износ
Высокооборотный вал		Трещина
Коробка передач	Корпус	Трещина
	Подвеска	Износ
		Ослабление
	Упор	Износ
		Ослабление
	Система смазки	Потеря смазки
		Загрязнение смазки
		Старение смазки
		Повреждение системы смазки
		Повреждение смазочного насоса
		Засорение фильтров
		Засорение форсунок

Продолжение таблицы С.1

Узел или конструктивный элемент	Часть узла или конструктивного элемента	Вид отказа
Коробка передач; червячная передача	Зубчатое колесо	Дефект зуба
		Дефект смазки
	Подшипник	Неисправность подшипника
		Дефект смазки
	Червячное колесо	Дефект зуба
		Дефект смазки
	Вал	Трещина
Коробка передач, планетарная передача	Водило	Дефект подшипника
		Дефект смазки
	Подшипник сателлита	Дефект подшипника
		Дефект смазки
	Сателлит	Дефект зуба
		Дефект смазки
	Коронная шестерня	Дефект зуба
		Дефект смазки
	Солнечная шестерня	Дефект зуба
		Дефект смазки
Опорный подшипник		Неисправность подшипника
		Несоосность
		Дефект смазки
Низкооборотный вал		Трещина
		Изгиб
Турбина	Лопасть	Механическая неуравновешенность
		Аэродинамическая неуравновешенность
	Система управления шагом лопастей	Неисправность подшипника
		Неисправность электродвигателя
		Неисправность гидравлического насоса
		Неисправность зубчатой передачи
Гондола	Система управления азимутальным приводом	Неисправность подшипника
		Износ кольца
		Неисправность зубчатой передачи
		Деформация или повреждение кольца
		Неисправность двигателя
		Неисправность тормозной системы
		Заклинивание тормоза
		Несоосность
Гидросистема	Электродвигатель	Дефект обмотки
		Повышенный нагрев
	Насос	Повышенный нагрев
		Нарушение уплотнения
	Клапан давления	Нарушение уплотнения
	Фильтр	Засорение

Окончание таблицы С.1

Узел или конструктивный элемент	Часть узла или конструктивного элемента	Вид отказа
Мачта		Усталость конструкции
		Коррозия
Фундамент	Монофундаментный столб	Размыв грунта
		Эрозия
		Коррозия
	Треножная опора	Эрозия
		Коррозия
	Гравитационный фундамент	Размыв грунта
		Эрозия
	Переходный элемент (от фундамента к мачте)	Сдвиги в цементном слое
		Разрушения цементного слоя
	Кронштейн домкрата	Усталость конструкции
	Болтовое соединение	Усталость конструкции
		Эрозия
		Коррозия
Трансформатор	Обмотка	Повреждение обмотки
		Повышенный нагрев
	Сердечник	Повышенный нагрев
	Масляная система	Старение масла
		Повышенный нагрев
Коммутационное оборудование	Повреждение автомата защиты сети	
Система управления	Нет данных	
Система контроля состояния	Повреждение преобразователя	
	Обрыв соединения	

Приложение D
(справочное)

Краткое введение во FMECA

D.1 Три типа FMECA

Различают три разных объекта FMECA:

a) целью FMECA проекта является предупреждение отказов оборудования на стадии его проектирования с учетом всех видов отказов, которые могут иметь место на протяжении жизненного цикла;

b) FMECA процесса проводят для решения проблем, проистекающих из особенностей изготовления оборудования, его эксплуатации и технического обслуживания;

c) FMECA системы проводят с целью поиска потенциальных проблем и узких мест более крупных процессов, таких как полный технологический процесс производства продукции.

В настоящем стандарте рассматривается FMECA процесса [перечисление b)].

D.2 Два подхода FMECA

Различают два подхода в рамках процедуры FMECA:

a) анализ «снизу вверх». Этот подход используют, когда необходимо принять решение о построении системы. Каждый элемент системы изучают последовательно, начиная с низшего уровня. Анализ завершается после рассмотрения всех элементов системы;

b) анализ «сверху вниз». Этот подход обычно используют на ранних стадиях проектирования прежде чем принять решение о структуре всей системы. Анализ является функционально ориентированным. Он начинается с рассмотрения основных функций системы с точки зрения их возможных сбоев. Приоритет при анализе отдается отказам, влекущим за собой наиболее серьезные последствия. При этом нет необходимости в доскональном анализе всех элементов системы. Анализ «сверху вниз» может быть применен в отношении уже существующих систем с точки зрения возможных проблем в их работе.

В настоящем стандарте рассматривается анализ «сверху вниз» [перечисление b)].

D.3 Ранжирование

D.3.1 Общий принцип FMECA

Целью FMECA является определение риска отказа конкретного вида для системы, что достигается через использование чисел приоритета риска n_{RP}.

Ранжирование рисков осуществляют по шкале от 1 до 10. Чем меньше значение, тем меньше риск.

Значение n_{RP} вычисляют по формуле

$$n_{RP} = r_{OFM} \times r_{SFM} \times r_{LFD}, \quad (D.1)$$

где r_{OFM} — ранг появления данного вида отказа;

r_{SFM} — ранг последствий данного вида отказа;

r_{LFD} — ранг вероятности обнаружения отказа данного вида, прежде чем система достигнет предельного состояния.

D.3.2 Применение FMECA в настоящем стандарте

Применительно к настоящему стандарту результатом FMECA будет определение числа приоритета контроля для отказов разных видов, определяемое по формуле

$$n_{MP} = f_{CR} \times f_{FMP}, \quad (D.2)$$

где f_{CR} — показатель критичности узла ветровой турбины;

f_{FMP} — показатель приоритета вида отказа с учетом его обнаруживаемости и оценки времени до отказа.

Оценку показателей f_{CR} и f_{FMP} осуществляют по таблицам 1 и 2 для каждого узла ветрогенератора.

D.3.3 Рассмотрение частоты отказов в рамках FMECA

Число приоритета контроля зависит от частоты наблюдения отказов разных узлов машины. Если на основе наблюдения за работой большого числа ветрогенераторов появляется возможность достаточно точно определить срок службы узла (величина, обратная частоте отказов), то отпадает необходимость в скрупулезном контроле изменения его состояния. В этом случае соответствующее значение f_{FR} в таблице 1 принимают равным нулю.

Предполагается, что больший экономический эффект приносит контроль узлов с высокой частотой отказов, поскольку это позволяет сократить время простоя ветрогенератора и предотвратить появление вторичных отказов.

Частота отказов узла зависит от типа ветрогенератора и, как правило, является конфиденциальной информацией. В связи с этим в данном документе приведены только грубые оценки этого показателя.

Вклад n_{MPFR} показателя частоты отказов в общее значение n_{MP} может быть рассчитан по формуле

$$n_{MPFR} = f_{FR} + f_{FMP}. \quad (D.3)$$

Расчет частоты отказов каждый владелец и поставщик ветрогенератора осуществляют самостоятельно.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным и межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального, межгосударственного стандарта
ISO 2041	IDT	ГОСТ Р ИСО 2041—2012 «Вибрация, удар и контроль технического состояния. Термины и определения»
ISO 13372:2012	IDT	ГОСТ Р ИСО 13372—2013 «Контроль состояния и диагностика машин. Термины и определения»
ISO 13379-1:2012	IDT	ГОСТ Р ИСО 13379-1—2015 «Контроль состояния и диагностика машин. Методы интерпретации данных и диагностирования. Часть 1. Общее руководство

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

- IDT — идентичные стандарты.

Библиография

[1] ISO 10816-21, Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 21: Horizontal axis wind turbines with gearbox

[2] ISO 13373 (all parts), Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring

[3] ISO 13374 (all parts), Condition monitoring and diagnostics of machine systems — Data processing, communication and presentation

[4] ISO 13381-1:2015, Condition monitoring and diagnostics of machines — Prognostics — Part 1: General guidelines

[5] ISO 16079-2, Condition monitoring and diagnostics of wind turbines— Part 2: Detection of mechanical faults of the drive train

[6] ISO 17359, Condition monitoring and diagnostics of machines — General guidelines

[7] ISO 18434, Condition monitoring and diagnostics of machines — Thermography

[8] ISO 29821-1, Condition monitoring and diagnostics of machines — Ultrasound — Part 1: General guidelines

[9] ISO 55000, Asset management — Overview, principles and terminology

[10] IEC 61400-25-6, Wind energy generation systems — Part 25-6: Communications for monitoring and control of wind powerplants — Logical node classes and data classes for condition monitoring

[11] DNV•GL, Guideline for the Certification of Condition Monitoring Systems for Wind Turbines — Edition 2013

УДК 534.322.3.08:006.354 ОКС 27.180

Ключевые слова: ветроэнергетические установки, ветрогенераторы, система контроля состояния, FMECA

Редактор *В.Н. Шмельков*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *И.Ю. Литовкиной*

Сдано в набор 02.12.2021. Подписано в печать 11.01.2022. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,26. Уч-изд. л. 2,77.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «РСТ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

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

gost.e-ecolog.ru