

9. ГОСТ Р 53563–2009. Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Порядок организации. – М.: Стандартинформ, 2010. – 8 с.

10. ГОСТ Р 53564–2009. Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Требования к системе мониторинга. – М.: Стандартинформ, 2010. – 20 с.

О ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЯХ К СИСТЕМАМ ВИБРОКОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТУРБОАГРЕГАТОВ ТЭС И АЭС

Куменко А. И., Кузьминых Н. Ю.

(ООО НПЦ «ДИНАМИКА», г. Омск, Россия)

Аннотация. Выполнен анализ нормативных документов – стандартов ИСО, и аналогичных им российских ГОСТ, в том числе: ISO 13379-2:2014 (ГОСТ Р ИСО 13379-2–2016). Контроль состояния и диагностика машин. Методы интерпретации данных и диагностирования. Часть 2. Подход на основе данных измерений; ISO 13373-3:2015 (ГОСТ Р ИСО 13373-3–2016) Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 3. Руководство по диагностике машин. Вибрационный контролю состоянию по параметрам вибрации; ISO 13373-9:2015 (ГОСТ Р ИСО 13373-9–2016). Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 9. Методы диагностирования электродвигателей. Отмечены недостатки этих документов и сформулированы предложения по их совершенствованию.

Keywords: spectr, the shaft sensors, defects, shafting line, support, turbine unit, oil film, bearings, static and dynamics properties, misalignments of supports, alignments of the rotors, monitoring of technical condition.

О терминологии

Перечисленные стандарты опираются на терминологические словари согласно соответствующим действующим ГОСТ и ИСО [1 – 6]. Анализ содержания общей терминологии этих словарей показывает ряд противоречий, терминологических недомолвок, а так же отсутствие важнейших сегодня понятий. Во-первых, с точки зрения диагностики и контроля технического состояния ряд терминов отсутствует. Во-вторых, ряд терминов по разному трактуется в данных словарях. В-третьих, отдельные термины следует пояснить более глубоко. Приведем для примера некоторые важные термины, которые по-разному трактуются в разных документах или не достаточно корректно отражены в документах (табл. 1, 2).

Отсутствуют многие важные понятия, абсолютная и относительная вибрации вала, всплытие вала, а так же такие как статические и динамические силы в подшипнике, вибрационные напряжения, предельное состояние и др. Не обсуждается тепловое состояние машины, и терминология,

1. Противоречия в нормативной документации

№	Термин	ГОСТ 24346–80	ГОСТ Р ИСО 2041–2012	Комментарий
		ISO 1925:2001	ISO 2041:2009	
1	Колебания	Колебания значений кинематической или динамической величины, характеризующей механическую систему	Изменение, обычно во времени величины в некоторой системе отсчета, когда значение становится то больше, то меньше некоторого заданного значения	Процесс, который характеризуется многократным поочередным возрастанием или убыванием параметра во времени, называется колебательным или просто колебаниями (Справочник по вибрации в технике, т. 1)
2	Вибрация	Движение точки или механической системы, при котором происходят колебания, характеризующие его скалярных величин	Движение механической системы (точки механической системы), при котором происходят периодические или случайные колебания, характеризующей его величины относительно положения равновесия	Вибрация – почти синоним слов механические колебания. Следует упомянуть о малых колебаниях для большинства задач диагностики и оценки технического состояния
3	Динамическая жесткость Dynamic stiffness (комплексная жесткость)	Отношение амплитуды гармонической вынуждающей силы к комплексной амплитуде перемещения при гармонической вынужденной вибрации линейной системы	Отношение комплексной силы в заданной точке механической системы к комплексному перемещению в той же, или иной точке	Хотя матрица жесткости имеет обычно обратную матрицу податливости, определения не соответствуют по смыслу друг другу. Понятия статической динамической жесткости и податливости даны не в терминах механики. Необходимо более общее определение, принятное в механике
4	Динамическая податливость Dynamic compliance (комплексная податливость)	Величина, обратная комплексной жесткости	«Частотно-зависимое отношение спектра (спектральной плотности) перемещения к спектру (спектральной плотности) силы. Недобоваримое определение	

2. Примеры некорректностей в стандартах по диагностике технического состояния.

№	Термин	ГОСТ Р ИСО 13372-2013	Комментарий
		ISO 13372:2012	
1	Рывок (jerk)		В наших справочниках принят термин (резкость)
2	Согласованность осей вращения alignment	+	Термин двузначный, из которого неясно, имеется ввиду несовершенства сборки или расцентровки роторов по полуумфутам. Физический смысл дефектов совершенно различный
3	Портрет критических частот Critical speed map	+	В России принят термин «диаграмма критических частот» (см. учебники)
4	Температурное напряжение	+	Термины напряжений, вызванных другими причинами, отсутствуют
5	Коэффициент готовности	Показатель правильной и эффективной работы машины при ее применении в заданных условиях	Это не определение а пояснение. Правильно: Вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается [ГОСТ 27.002-89, ОСТ 45.153-99]
6	Неисправность fault. Неисправное состояние	Состояние объекта, когда один из его элементов или группа элементов проявляют признаки деградации или нарушения работы, что может привести к отказу машины	Состояние системы тревожной сигнализации, препятствующее реагированию системы на наличие опасности в соответствии с требованиями стандартов. Источник: ГОСТ Р 50775-95 (МЭК 60839-1-1:1988)

сопутствующая расширению деталей – абсолютное расширение, относительное расширение, осевой сдвиг и т.д. Как можно оценить техническое состояние без этих важнейших понятий. Такое впечатление, что не хватает системности, термины надерганы по чьему-то усмотрению.

При оценке технического состояния должны быть критерии надежности, температуры масла, потери на трение, где статические и динамические

минимальные зазоры, которые можно измерить с использованием датчиков вала и многие другие параметры. Нет традиционных для России (см. учебники по вибрации) таких понятий как низкочастотная вибрация (НЧВ), границы устойчивости по частоте вращения, расходу рабочего тела или мощности или по любому параметру системы и т.д.

Понятие субгармонической вибрации и субгармонического резонанса разбросано по документам.

Так, например, из сказанного следуют выводы: терминологические словари неполные и требуют коррекции, а так же согласованности между собой. Документы ISO 13372:2012 и наш соответствующий ГОСТ по диагностике технического состояния требуют существенных дополнений.

Вызывает сомнение необходимость в трех словарях, которые частично пересекаются друг с другом. Вибрационная диагностика и контроль технического состояния требует системного подхода и сквозной единой терминологии. Кроме того, часть вопросов выходит за пределы вибродиагностики, хотя прямо влияют на вибрационное состояние и надежность. Это расцентровки опор, всплытие вала.

О субгармонической вибрации

В документах [1, 2] дано правильное определение субгармонической вибрации (колебаний): «Вынужденные колебания (вибрация) нелинейной системы, частота которых в целое число раз меньше частоты гармонического возбуждения». Но ни причины ни определения субгармонического резонанса не дано. В нормативах [3, 4] это определение дано. Субгармонический резонанс – это отклик механической системы в виде резонансных колебаний с периодом, кратным периоду гармонического возбуждения. Но оно является неясным и не полным. Нигде в литературе не объясняется, какие силы вызывают субгармонический резонанс. В документах [5, 6] дан термин «Oil whip». По-русски – это частота автоколебаний. Но в [5, 6] так же нет четких разъяснений и свалены в кучу два понятия: автоколебания и субгармонические автоколебания. Понятие «Oil whirl» – «субгармонической вибрации» в терминологических словарях ИСО не отсутствует. В нормативах [5, 6] дано так же определение, что такая субсинхронная составляющая (Subsynchronous component).

Это составляющая сигнала вибрации на частоте ниже частоты вращения вала и изменяющаяся с частотой вращения вала. Если это имеется ввиду субгармоническая вибрация, то это неверно. Открываем в интернете энциклопедию Нефти и газа и читаем чушь из двух определений:

1) субгармонический резонанс, при котором колебания происходят с частотой меньше частоты источника;

2) субгармонический резонанс, когда в цепи возникают значительные колебания с частотой меньше частоты источника.

Анализ нормативных документов по диагностике и контролю технического состояния.

Документы [7 – 11] являются главными документами по мониторингу и контролю технического состояния оборудования, они посвящены вопросам мониторинга и диагностики широкого класса машин, в том числе энергетических турбоагрегатов. Стандарт [8] опубликован, стандарты [9 – 11] переведены идентично на русский язык и должны быть приняты в ближайшее время. Они, как обычно, носят рекомендательный характер и допускают применение альтернативных и дополнительных методов диагностирования.

В первом стандарте рассматривается подход для контроля состояния и диагностирования на основе использования данных. Под данными подразумевается некоторое количество информации, поступающей в нейронные сети, хотя об этом прямо не говорится. Указывается, что классические методы контроля уступают место методам, использующим различные процедуры статистического анализа, в которых происходит сопоставление сигналов с разных участков обследуемого оборудования и выходных сигналов моделей. Для использования разработанных моделей предлагается обучение системы. Обнаруживаемые ею неисправности выявляются по аномалиям при отклонениях измеренных данных от прогнозируемых в широком диапазоне режимов работы машины. Предлагается проводить обучение модели на нормально работающем и неисправном агрегатах на этапе разработки методов диагностирования. Стандарт является достаточно гибким, так как отмечается, что предлагаемые методы не исключают применения альтернативных методов диагностирования.

Во втором стандарте в руководстве по диагностированию по параметрам вибрации прежде всего следует отметить системный подход в диагностике причин вибрации, в том числе энергетического оборудования. Системность основана на широте охвата различных дефектов и связанных с ними спектральных характеристик и структурирования подхода к диагностированию. В приложениях имеются масштабные диагностические таблицы, позволяющие организовать выявление ряда дефектов. Впервые говорится о диагностике опорных гидродинамических подшипников с использованием кривых всплытия цапф и в приложении приводятся характеристики всплытия цапф в пределах окружности их возможных перемещений в расточке подшипника.

Анализ обоих стандартов показывает, что они пока не позволяют назвать однозначно причины вибрации во многих случаях и охватывают лишь общие вопросы, касающиеся машин различного назначения. Они скорее более пригодны для малых и средних машин, а по глубине диагностики параметров и критериальным признакам отстают от известных отечественных стандартов, разработанных при участии НПЦ «ДИНАМИКА».

Последний стандарт [11], посвящен диагностике электродвигателей по основным их электрическим параметрам. Указываются, типы двигателей, для которых он пригоден. Приведено всего 13 видов дефектов, хотя их может быть значительно больше. Нет упоминания о таких дефектах, как автоколебания, ничего не говорится о субгармоническом резонансе, которые встречаются, например, на электроприводе питательных насосов. Методическая часть в приложении В является весьма полезной, особенно для начинающих диагностов, но диагностические признаки дефектов сформулированы в общем виде.

Можно отметить, что данный стандарт мало пригоден для диагностики генераторов и синхронных компенсаторов, так как в нем не отражены требования к уровню вибраций и диагностике массивных токоведущих частей и внутренней начинке генераторов (вибрации сердечника статора), не приведены критерии наличия теплового прогиба, а так же дефекты и особенности систем охлаждения роторов и статорных элементов. То есть для всех видов крупных генераторов необходимо создавать свой нормативный документ.

К стандартам имеется много терминологических замечаний и в них содержатся неясности, вызванные не только ошибками перевода, но и не достаточным уровнем используемой теоретической базы.

Кроме высказанных, следует отметить еще ряд замечаний. Отсутствует разделение дефектов типа несовершенств сборки и расцентровок роторов по полумуфтам, обозначенных единым термином alignment (согласованность осей вращения по [5, 6]). В 70-е годы в энергетике договорились, что слово расцентровки роторов по полумуфтам звучало однозначно, его связали с расцентровками опор. А несовпадение осей при собранной полумуфте стали называть несовершенствами сборки роторов по полумуфтам (жargon «коленчатость» и «маятник»).

Так же в стандартах отсутствуют критерии надежности по результатам всплытия цапф в гидродинамических подшипниках в так называемой области перемещений [13]. Предлагается ряд дефектов непосредственно измерять на крупных турбоагрегатах в случае применения датчиков вала. Соответствующие критерии приведены в [14, 15]. Предлагается дополнить рассмотренные стандарты специальными документами для крупного энергетического оборудования отечественного производства, в которых должны быть системно отражены все основные задачи и пути их решения, а так же критерии вибрационной надежности крупного роторного оборудования в соответствии с достигнутым уровнем развития роторной динамики и компьютерных технологий [14, 15].

Выводы

Выполнен анализ и выявлены недостатки существующей нормативной базы в части вибрации и мониторинга технического состояния.

Предлагается системный подход, требующий единства терминологии в области вибрации и мониторинга.

Предлагается дополнить имеющиеся документы важными для диагностики параметрами и критериями, связанные с прямым измерением ряда дефектов с использованием датчиков вала.

Работа выполняется при финансовой поддержке РНФ в соответствии с соглашением № 15-19-00267 от 19.05.2015 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 24346–80. Вибрация. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2010. – 25 с.
2. ISO 1925:2001. Mechanical vibration Balancing – vocabulary.
3. ГОСТ Р ИСО 2041–2012. Вибрация, удар и контроль технического состояния. – М.: Стандартинформ, 2014. – 46 с.
4. ISO 2041:2009. Mechanical vibration Shock and condition monitoring – vocabulary.
5. ГОСТ Р ИСО 13372–2013. Контроль состояния и диагностика машин. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 21 с.
6. ISO 13372:2012. Condition monitoring and diagnostics of machines – vocabulary.
7. ISO 17359:2011. Condition monitoring and diagnostics of machines – General guidelines.
8. ГОСТ Р ИСО 13379-1–2015. Контроль состояния и диагностика машин. Методы интерпретации данных и диагностирования. Ч. 1. Общее руководство. – М.: Стандартинформ, 2016. – 36 с.
9. ISO 13379-2:2014 (ГОСТ Р ИСО 13379-2–2016). Контроль состояния и диагностика машин. Методы интерпретации данных и диагностирования. Ч. 2. Подход на основе данных измерений. – М.: Стандартинформ, 2014. – 21 с.
10. ISO 13373-3:2015 (ГОСТ Р ИСО 13373-3–2016). Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Ч. 3. Руководство по диагностированию по параметрам вибрации. – М.: Стандартинформ, 2014. – 21 с.
11. ISO 13373-9:2015 (ГОСТ Р ИСО 13373-9–2016). Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Ч. 9. Методы диагностирования электродвигателей. – М.: Стандартинформ, 2014. – 21 с.
12. Simon Mills. A new standard for Condition Monitoring. (An overview of ISO Standard 17359.2011).
13. Куменко А. И., Кузьминых Н. Ю., Костюков В. Н. Расчет и интерполяция характеристик опорных подшипников скольжения в области возможных перемещений шеек роторов // Теплоэнергетика. – 2016. – № 10. – С. 23 – 30.
14. Куменко А. И., Кузьминых Н. Ю. Разработка критерии надежности и оценки технического состояния роторов в опорах на подшипниках скольжения в условиях эксплуатации // Вестник Брянск. гос. техн. ун-та. – 2016. – № 3. – С. 6 – 16.
15. Kumenko A. I., Kuzminyh N. Yu., Timin A. V. Shaft Sensor Based on Modeling Diagnostic Signs of Power Unit Defects / International Conference on Oil and Gas Engineering, OGE-2016 // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 152. – P. 531 – 539.

КРИТЕРИИ НАДЕЖНОСТИ И МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МОЩНЫХ ТУРБОАГРЕГАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ В ОПОРАХ ВАЛОПРОВОДОВ

Куменко А. И., Кузьминых Н. Ю., Тимин А. В.

(ООО НПЦ «ДИНАМИКА», г. Омск, Россия)

Аннотация. Рассмотрены методические вопросы применения датчиков вала для систем виброконтроля, мониторинга и автоматической диагностики технического состояния энергетических установок. Предлагаются пути совершенствования нормативной базы для систем мониторинга и технической диагностики турбоагрегатов.

Кроме традиционных критериев по параметрам вибрации согласно ГОСТ Р 55263–2012 и ГОСТ Р 55265.2–2012, предложены дополнительные критерии надежности роторов и опор турбоагрегатов, роторы которых опираются на подшипники скольжения. Прежде всего, это критерии для статических и динамических реакций, а так же критерии, связанные со всплытием вала. Для статических реакций на первом этапе предлагается максимально допустимое отклонение в 40 % от веса ротора. Для динамических реакций предлагается ввести нормы, связанные с динамическими нагрузками от остаточного дисбаланса. Для жестких роторов динамические нагрузки не должны превышать 5 % от веса ротора, приходящегося на опору. Для гибких роторов – 2 %.

Предлагаются методики расчетной оценки статических и динамических нагрузок по результатам измерений статических и динамических смещений шеек роторов.

Сформулированные критерии необходимы для оценки технического состояния в современных системах автоматической диагностики.

Ключевые слова: системы мониторинга, автоматическая диагностика, датчики вала, турбоагрегат, смещения шеек роторов, статические смещения, динамические смещения; статические и динамические реакции в опорах, критерии надежности.

Необходимость определения статических и динамических нагрузок в опорных подшипниках турбомашин в эксплуатации

Все проектные динамические характеристики роторов в валопроводе выполняются при расчетных статических реакциях его опор. Однако в эксплуатации имеется существенное отличие реальных статических сил от расчетных, на которые спроектирована машина. Прежде всего это отличие связано со значительными тепловыми и силовыми деформациями статорных элементов, неравномерным прогревом элементов «статора-фундамента». Эти отклонения приводят с одной стороны к существенному изменению статической жесткости масляной пленки одной из опор и, как правило, к изменениям положения резонансов роторов в валопроводе. Как следствие, это может привести к возможным повышенным уровням оборотной вибрации. С другой стороны изменение статических нагрузок приводит к



XXI ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ

28 ФЕВРАЛЯ - 2 МАРТА 2017



СБОРНИК ТРУДОВ



РОССИЙСКОЕ ОБЩЕСТВО
ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ И ТЕХНИЧЕСКОЙ
ДИАГНОСТИКЕ

XXI ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ
И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ

СБОРНИК ТРУДОВ

28 февраля – 2 марта 2017 г.



Москва, 2017

УДК [681.518.54+620.19](035)

ББК 30.82-5я2

Д25

Д25 **XXI Всероссийская конференция по неразрушающему контролю и технической диагностике: сборник трудов.** Москва, 28 февраля – 2 марта 2017 г. – М.: Издательский дом «Спектр», 2017. – 364 с.: ил.

ISBN 978-5-4442-0125-1

DOI 10.14489/4442-0125-1

Сборник содержит научные труды (тезисы и доклады), представленные на XXI Всероссийской конференции по неразрушающему контролю и технической диагностике. Изложены результаты работ ученых и специалистов российских и зарубежных фирм – мировых лидеров по производству средств неразрушающего контроля и технической диагностики. В состав сборника вошли работы по: акустической эмиссии; вибродиагностике; акустическим, магнитным, электромагнитным, оптическим, тепловым, микроволновым и радиационным методам неразрушающего контроля (НК) и технической диагностики (ТД); методам НК и ТД при оценке техногенной безопасности; обучению, аттестации и сертификации.

УДК[681.518.54+620.19](035)

ББК 30.82-5я2

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ХХI ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ

СБОРНИК ТРУДОВ

28 февраля – 2 марта 2017 г.

Корректор *А.И. Евсейчев*

Инженер по компьютерному макетированию *А.И. Евсейчев*

Художественное оформление *Н.И. Смольянина*

ISBN 978-5-4442-0125-1



9 785444 201251

Сдано в набор 31.01.2017 г. Подписано в печать 15.02.2017 г.

Формат 60×90 $\frac{1}{16}$. Бумага офсетная. Гарнитура Times.

Печать цифровая. Уч.-изд. л. 23. Тираж 200 экз. Заказ № 02112

ООО «Издательский дом «СПЕКТР»,
119048, Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1. Тел.: (495) 514 76 50.
[Http://www.idspektr.ru](http://www.idspektr.ru). E-mail: info@idspektr.ru

Отпечатано в типографии ООО «Паблит»
127282, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1

ISBN 978-5-4442-0125-1

© РОНКТД, 2017

Секция 3

ВИБРОДИАГНОСТИКА

Руководители секции: Г. В. Зусман, В. Н. Костюков

1. Новая методика диагностирования подшипниковых узлов рельсово-подвижного состава в процессе движения <i>Басакин В. В., Костюков В. Н., Костюков А. В., Казарин Д. В.</i>	145
2. Методика диагностики электротехнических устройств, содержащих обмотки и магнитопровод <i>Городнов А. В., Засухин В. В., Рущинский В. Н., Тренин С. А.</i>	152
3. Совершенствование методов и средств вибродиагностики колесно-моторных блоков подвижного состава <i>Зайцев А. В., Костюков А. В., Казарин Д. В.</i>	155
4. Результаты экспериментальных исследований, подтверждающие возможность регистрации механических колебаний намагниченных тел с помощью внешней обмотки <i>Засухин В. В., Рущинский В. Н., Тренин С. А.</i>	163
5. Вибрационный измерительный и диагностический канал КД8700 и резонансный метод контроля подшипников <i>Зусман Г. В.</i>	163
6. Опыт применения параметров характеристической функции для диагностики и мониторинга технического состояния подшипников качения <i>Костюков В. Н., Костюков А. В., Бойченко С. Н.</i>	165
7. Автоматические системы мониторинга «здоровья» оборудования производственно-транспортного комплекса, обеспечивающие высокую безопасность и эффективность <i>Костюков В. Н., Костюков Ан. В., Костюков А. В., Бойченко С. Н., Казарин Д. В.</i>	167
8. О дополнительных требованиях к системам виброконтроля и мониторинга технического состояния турбоагрегатов ТЭС и АЭС <i>Куменко А. И., Кузьминых Н. Ю.</i>	174
9. Критерии надежности и мониторинг технического состояния мощных турбоагрегатов с использованием статических и динамических сил в опорах валопроводов <i>Куменко А. И., Кузьминых Н. Ю., Тимин А. В.</i>	181
10. Мониторинг распределенной неуравновешенности экспериментального ротора с использованием датчиков вала <i>Куменко А. И., Кузьминых Н. Ю., Тимин А. В.</i>	186
11. Обобщенная модель механизма формирования и структуры виброакустического сигнала поршневой машины <i>Науменко А. П., Костюков В. Н.</i>	187