

7. Аменадзе Ю.А. Теория упругости. – М.: Высш. школа, 1976. – 272 с.
8. Победра Б.Е. Численные методы в теории упругости и пластичности. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 366 с.
9. Колтунов М.А. Прикладная механика деформируемого твердого тела / М.А. Колтунов, А.С.Кравчук, В.П. Майборода – М.: Высш. школа, 1983. – 349 с.
10. Бабаков И.М. Теория колебаний. – М.:Наука – 1968. – 560 с.
11. Bolcs A. Aeroelasticity in Turbomachines. Comparison of Theoretical and Experimental Cascade Results / A.Bolcs, T.H. Fransson // Communication du Laboratoire de Thermique Appliquée et de Turbomachines, Lausanne, EPFL. – 1986. – №13. – 230 p.

□ □

На підставі аналізу результатів вимірювання вібрації групи димососів визначені межі класів технічного стану їхніх механізмів

Ключові слова: механізм, технічний стан, вібрація

На основании анализа результатов измерения вибрации группы дымососов определены границы классов технического состояния их механизмов

Ключевые слова: механизм, техническое состояние, вибрация

On the basis of vibration analysis for group of the smoke exhausters ascertain the bound for the classes of the technical state for it mechanisms

Key words: mechanism, state, vibration

□ □

УДК 620.178.5

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ МЕХАНИЗМОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ

В.М. Кравченко

Доктор технических наук, профессор*
Контактный тел.: (0629) 44-65-29

В.А. Сидоров

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра механического оборудования заводов черной металлургии
Донецкий национальный технический университет
ул. Артема, 58, г. Донецк, Украина, 83001
Контактный тел.: 050-273-87-79
E-mail: sidorov_va@ukr.net

В.В. Буцукин

Кандидат технических наук, доцент*
*Кафедра механического оборудования заводов черной металлургии
Приазовский государственный технический университет
ул. Университетская, 7, г. Мариуполь, Украина, 87500
Контактный тел.: (0629) 44-65-29
E-mail: butsukin@mail.ru

1. Введение

Материал, изложенный в статье, относится к области технической диагностики механического оборудования на основе анализа показателей его вибрации. Данное направление в технической диагностике весьма актуально в настоящее время, характеризующееся всё более широким применением автоматизированных систем, контролируемых техническими и технологическими параметрами работы оборудования.

2. Проблема и ее связь с научными и практическими задачами

Основная задача технической диагностики – распознавание технических состояний объектов, в условиях ограниченного объема информации [1]. Понятие техническое состояние (ТС) включает совокупность признаков (параметров), характеризующих изменение свойств объекта в процессе эксплуатации. Теория диагностики предполагает, что объект может иметь множество состояний [2]. Однако практиче-

ское использование результатов диагностирования требует ограничения числа классов ТС. Это связано с необходимостью сопоставления распознаваемых классов ТС с рекомендуемыми объемами работ по контролю, техническому обслуживанию, ремонту. Определение границ распознавания ТС имеет важное значение при решении прикладных задач диагностирования машин. Правильный и своевременный выбор ремонтного воздействия позволяет не только избежать возникновения аварийных ситуаций, но и существенно продлить срок службы механизма. В связи с тем, что многие современные системы диагностирования механизмов основаны на контроле вибрации, важной проблемой является установление приемлемого числа классов их ТС в увязке с численными значениями диагностируемых параметров, соответствующих переходу механизма из одного ТС в другое.

3. Анализ исследований и публикаций

Первые опытные данные по оценке вибрации были собраны Ятесом и Резбоном. Эти данные оформлены в виде нормативных графиков (рис. 1) [3] с выделением состояния исследуемого узла, определяемых терминами «очень спокойно», «нормально», «хорошо», «допустимо» и т.д. В дальнейшем исследования в этой области шли в направлении выработки терминологии по классам ТС, расширения номенклатуры исследуемых механизмов и установки на основе опыта эксплуатации численных значений параметров, соответствующих переходу механизма из одного класса ТС в другой.

К настоящему времени можно выделить два основных подхода в области классификации ТС. Первый состоит в том, что устанавливаются предельные уровни вибропараметров, соответствующие нормальной работе механизмов и узлов – смотри, например, [4]. Во втором случае устанавливается несколько классов ТС механизма, соответствующих всё более ухудшающемуся его состоянию. Обычно используют четыре класса технического состояния: «хорошее», «удовлетворительное», «неудовлетворительное» и «аварийное». Возможные варианты: «хорошее», «приемлемое», «допустимое», «недопустимое» ТС, принятые в стандарте ISO2372 аналогичны вышеуказанным.

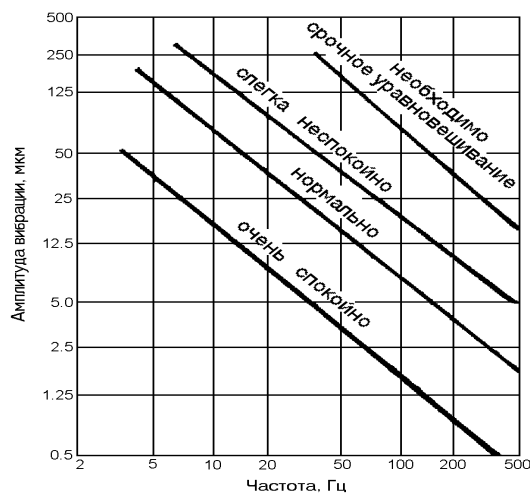
Подход этот с выделением классов «хорошее», «удовлетворительное» и «неудовлетворительное» ТС был реализован и в отечественной нормативной документации [5]. При этом оказалось, что для различных по назначению и параметрам машин, уровень диагностируемых показателей вибрации, соответствующий одинаковому ТС, может существенно отличаться.

4. Постановка задачи

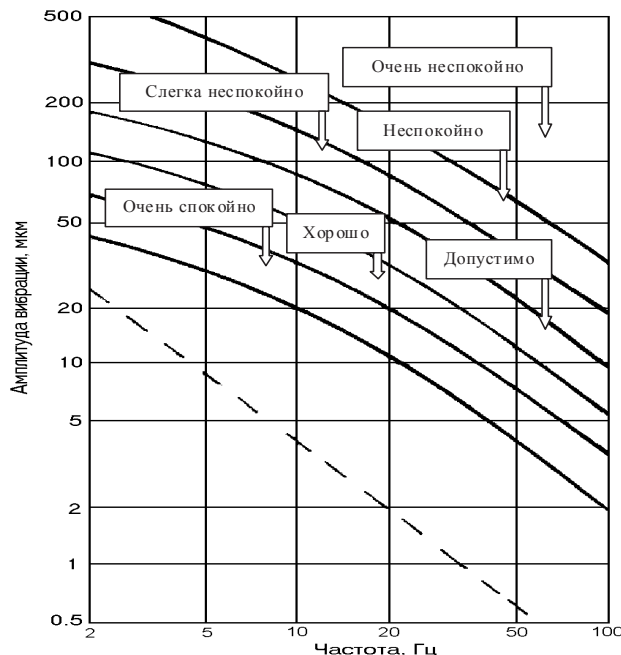
На основе данных эксплуатации и исследований виброактивности узлов дымососов установить границы, соответствующие переходу их узлов из одного класса ТС в другой.

5. Изложение материала и его результаты

Анализ графиков, предложенных Ятесом показывает, что переход от очень спокойного к нормальному состоянию машины соответствует увеличению вибрации в 4 раза; переход от нормального к слегка неспокойному предполагается при увеличении вибрации в 2,6 раза; диапазон между слегка неспокойным состоянием и срочным уравниванием составляет 3-х кратное увеличение вибрации. В нормативах Резбона различие состояний имеет стабильный характер и соответствует увеличению вибрации в 1,6 раза.



а)



б)

Рис. 1. Нормы вибрации: а) по Ятесу; б) по Резбону

Рассматривая стандарты по нормированию колебаний валов также находим различия в определении границ технических состояний. Так, в нормативах фирмы «Вестингауз» изменение ТС предполагает

увеличение вибрации в 1,5 либо 2,0 раза, в зависимости от исходного состояния [4]. Стандарт VDI2056 имеет стабильные границы ТС, устанавливающие диапазоны изменения вибрации в 2,5 раза. В стандарте VDI2056 такой параметр как виброскорость впервые выступил в качестве объединяющего параметра вибросмещения и частоты колебаний.

В более поздних стандартах ISO2372, ГОСТ 10816, ISO3954 и аналогичных, виброскорость является основным показателем ТС оборудования. В данных стандартах предполагается, что аналогичные машины, сгруппированные по мощности, создают при одинаковом состоянии механические колебания с одинаковым уровнем скорости в частотном диапазоне от 10 до 1000 Гц. Шкала оценки интенсивности вибрации стандарта ГОСТ ISO 10816 (таблица) построена исходя из соотношения 1,6 близлежащих диапазонов оценочной классификации. Предполагается, что изменение вибрации в 1,6 раза приводит к существенному изменению вибрационного состояния. Изменение вибрации, в данном стандарте, в $1,62 = 2,56$ раза, позволяет утверждать об изменении категории технического состояния.

Однако, аналогичный стандарт оценки вибрации вращающегося оборудования, используемый фирмой «Ниппон стил корпорейшн» предполагает, что изменение вибрации в 2,0 раза служит основой изменения категории технического состояния.

Таблица 1

Оценка технического состояния машин по значениям среднеквадратичной виброскорости, мм/с - стандарт ГОСТ 10816

Класс машин	Характеристика класса	Зоны технического состояния			
		Зона А	Зона В	Зона С	Зона D
I	Электрические моторы мощностью до 15 кВт	0,7	0,7...1,8	1,8...4,5	свыше 4,5
II	Средние машины мощностью 15...875 кВт, и машины до 300 кВт на отдельных фундаментах	1,1	1,1...2,8	2,8...7,1	свыше 7,1
III	Мощные двигатели, жестко закрепленные на массивных фундаментах	1,8	1,8...4,5	4,5...11,2	свыше 11,2
IV	Мощные машины с вращающимися массами, относительно податливые в направлении измерения вибрации	2,8	2,8...7,1	7,1...18,0	свыше 18,0

В целом рекомендации стандарта ГОСТ 10816 [6] по увеличению уровня виброскорости можно сформулировать так: увеличение вибрации до 1,6 раз – нормально; до 2,5 раз – допустимо; более 4,0 раз

– необходимо техническое обслуживание; увеличение более 6-ти кратного – немедленная остановка. Это согласуется с правилом ЦНИИМФА [2], которое гласит – при увеличении уровня вибрации более чем в 3,0...3,5 раза необходимо проведение технического обслуживания.

Как указывалось выше, решение проблем практического диагностирования требует знания границ различия технического состояния конкретного механизма. Рассмотрим результаты изменения виброскорости 12 дымососов одного из цехов металлургического завода.

Конструкция данных дымососов ВЦ – 32 представляет собой типичную схему двухопорного вала, установленного на подшипниках скольжения, с межопорным расположением рабочего органа – рабочего колеса. Привод осуществляется при помощи электродвигателя мощностью 500 кВт с частотой вращения 720 мин^{-1} , через втулочно-пальцевую муфту. Срок службы дымососов составлял от 20 до 30 лет. Техническое состояние, в следствие этого, было различным и менялось от хорошего (после ремонта) до аварийного. Измерения виброскорости выполнялись в 4-х точках на подшипниковых узлах валов дымососа и двигателя, в 3-х взаимноперпендикулярных направлениях. Время контроля – более года. Периодичность измерений – еженедельно. Всего выполнено порядка 3000 измерений.

Анализ результатов измерений приведен на рис. 2, в виде гистограммы зависимости: $N_i = f(v_i)$, где N_i – количество наблюдений в i-м единичном диапазоне; v_i – диапазон измеряемых значений виброскорости. Данный график зависимости описывается распределением Вейбулла:

$$F(v) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v}{a}\right)^b\right],$$

с параметрами $a = 9,33 \text{ мм/с}$; $b = 1,49$.
Граница интервала

$$v_{cp} + 2\sigma = 8,4 + 2 * 5,76 = 19,92 \text{ мм/с},$$

где v_{cp} - среднее значение, σ - среднеквадратичное отклонение; включающее более 95% реализаций, очевидно, может служить предельно допустимым значением виброскорости для данного механизма. Это значение подтверждается расчетами, выполненными при моделировании неисправного состояния. Виброскорость $v_{доп} = 21,2 \text{ мм/с}$ приводит к разрыву сплошности масляной пленки в подшипниках скольжения.

Для определения границ различия технических состояний была высказана гипотеза о соответствии изменения технического состояния характеру физических процессов, протекающих в механизме. Например, изменение характера контакта поверхностей подшипника скольжения от жидкостного к полужидкостному режиму смазывания неизбежно вызовет изменение технического состояния. Предположительно, граничные переходы должны быть связаны с искажениями непрерывности функций диагностической меры состояния Nv, Nv^2 в виде ступенчатых минимаксных

переходов. Это объясняется работой механизма в зоне неустойчивого равновесия при вибрации соответствующей границам технических состояний. Данное предположение подтвердилось при анализе гистограмм графиков функций $N_i v_i = f(v_i), N_i v_i^2 = f(v_i)$. Анализируя степень отклонения, фактически полученных гистограмм от теоретической функции распределения, определяем значения граничных состояний: 5,0 мм/с; 12,0 мм/с; 21,0 мм/с; 24,0 мм/с; 26,0 мм/с; 28,0 мм/с; 32,0 мм/с. Для практического использования приняты границы технических состояний: 0...5,0 мм/с – хорошее; 5,0...12,0 мм/с – удовлетворительное; 12,0...21,0 мм/с – плохое; свыше 21,0 мм/с – аварийное. Более высокие значения границ 24,0 мм/с, 26,0 мм/с, 28,0 мм/с, 32,0 мм/с – определяют различие состояний в аварийном диапазоне работы механизма, показывают большое число возможных технических состояний механизма.

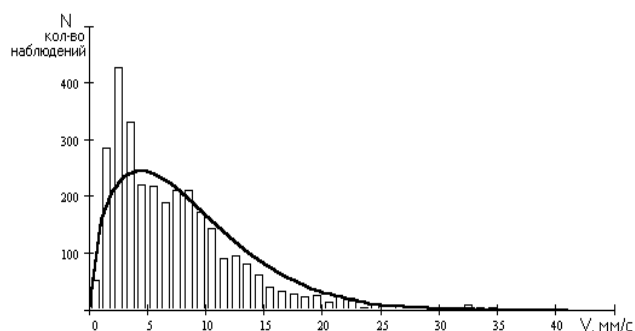


Рис. 2. Гистограмма зависимости $N_i = f(v_i)$

Принятое распределение границ предполагает изменение технического состояния при увеличе-

нии вибрации в 1,75...2,4 раза. Это согласуется с рекомендациями стандартов, однако указывает на возможные отклонения коэффициента ухудшения состояния конкретного механизма. Эти границы являются индивидуальной характеристикой механизма и определяются экспериментальным либо расчетным путем.

Использование данных границ при различении технических состояний и определении вида ремонтного воздействия позволило своевременно выполнять техническое обслуживание соответствующее выявленному классу технического состояния. Результат выразился в уменьшении объема ремонтных работ и улучшении технического состояния, выразившемся в снижении общего уровня вибрации по всей группе контролируемых дымососов.

6. Выводы и направление дальнейших исследований

1. В настоящее время границы различения технического состояния механизма по рекомендациям различных стандартов должны изменяться в пределах от 1,6 до 4-х кратного изменения уровня вибрации. Эти границы необходимо уточнять для контролируемого механизма.

2. Высказана гипотеза о соответствии изменения технического состояния характеру физических процессов, протекающих в механизме.

3. На основании анализа результатов измерения вибрации группы дымососов, определены границы различения технического состояния конкретного механизма, связанные с искажением непрерывности функций диагностической меры расстояния Nv, Nv^2 в виде ступенчатых минимаксных переходов.

Литература

1. Биргер, И. А. Техническая диагностика [Текст] / И. А. Биргер. - М. : Машиностроение, 1978. - 240 с.
2. Голуб, Е.С. Диагностирование судовых технических средств [Текст] : справочник / Е. С. Голуб, Е. З. Мадорский, Г. Ш. Розенберг. - М. : Транспорт, 1993. - 150 с.
3. Рунов, Б. Т. Уравновешивание турбоагрегатов на электростанциях [Текст] / Б. Т. Рунов. - М. - Л. : Госэнергоиздат, 1963. - 224 с.
4. Мэттьюс, К. Справочник инженера - Инженерная механика [Текст] / К. Мэттьюс. - М. : Изд - во АСВ, 2003. - 280 с.
5. Правила технической эксплуатации механического оборудования машин непрерывного литья заготовок [Текст] . - М. : Металлургия, 1991. - 216 с.
6. ГОСТ ИСО 10816-1-97. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации [Текст] . - Минск. - 1997. - 13 с.