УДК 681.518.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ, ВОЗНИКАЮЩЕЙ В РОТОРНЫХ АГРЕГАТАХ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В.Н. Костюков, А.В. Зайцев, А.О. Тетерин, В.В. Басакин
ООО «НПЦ «Динамика», г. Омск, Россия

Аннотация **– Статья посвящена исследованию законов распределения параметров вибрации, возникающей в роторных агрегатах в процессе эксплуатации. Для оценки достоверности диагностирования роторных агрегатов важным является знание о характере распределения диагностических признаков, характеризующих работу контролируемого оборудования. Проверка принадлежности эмпирического распределения с теоретическим осуществлена по критерию согласия Пирсона. На основе полученных экспериментальных данных установлено, что эмпирическое распределение диагностических признаков роторного оборудования наилучшим образом описывается логнормальным законом распределения.**

Ключевые слова: **диагностический признак, закон распределения.**

I. Введение

Поддержание работоспособного состояния ответственного технологического оборудования обеспечивает повышение безопасности и бесперебойности работы машинных агрегатов [1]. Во многом эта задача решается путем применения средств технического диагностирования ответственных узлов на всех этапах эксплуатации. Наибольшее распространение для диагностики роторного получил виброакустический метод неразрушающего контроля. При реализации любого способа диагностирования, основанного на сравнении измеренного значения того или иного параметра, по которому оценивается техническое состояние, с критическим значением, установленным эмпирическим путем, неизбежно существует вероятность ошибки ложной тревоги и ошибки пропуска дефекта [2].

В условиях эксплуатации агрегата пропуск дефекта способен привести к разрушению узла, что может повлечь не только дорогостоящий неплановый ремонт, сбой технологического режима, но и привести к аварийной ситуации. Ложная тревога, в свою очередь, приводит к необходимости проведения дополнительных работ, что существенно снижает эксплуатационную готовность и значительно повышает эксплуатационные расходы.

Целью данной работы является определение закона распределения диагностических признаков, характеризующих работу контролируемого оборудования для описания моделей процессов, а также расчета достоверности диагностирования.

II. Постановка задачи

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– провести эксперименты по получению значений исследуемых диагностических признаков с узлов, находящихся в различных технических состояниях;

– провести сравнение эмпирических распределений значений диагностических признаков с теоретическими распределениями по коэффициентам корреляции и по критерию согласия Пирсона.

III. Теория

Случайные величины, встречающиеся в задачах надежности, могут иметь различные законы распределения вероятностей. Для непрерывных случайных величин (наработка до отказа и наработка между отказами) часто применяют нормальное, экспоненциальное, логарифмически нормальное, гамма-распределение и распределение Вейбулла.

Закон нормального распределения используется для описания постепенных отказов, когда распределение времени безотказной работы вначале имеет низкую плотность, затем максимальную и далее плотность снижается, т. е. нормальным распределением описывают наработки на отказ элементов и систем вследствие их износа и старения.

Экспоненциальным распределением можно описывать время безотказной работы различных изделий: сложных технических систем, эксплуатируемых в период приработки и до появления постепенных отказов; с большим числом последовательно соединенных элементов, если каждый из элементов в отдельности не оказывает влияния на отказы других элементов системы.

Логарифмически нормальное распределение в теории надежности используется для описания наработки до отказа и наработки на отказ деталей и узлов в период наступления усталости материала, отказов вследствие изнашивания, отказов подшипников качения и наработки между отказами сложных технических систем, а также процессов восстановления.

Распределение Вейбулла наиболее сложное. Оно широко используется при определении надежности механических систем по результатам эксплуатации или испытаний. Применяется при описании усталостной прочности стали, а значит, может быть употреблено и для описания изнашивания вследствие многоцикловой фрикционной усталости поверхностных слоев деталей машин. Данное распределение является двухпараметрическим универсальным, так как при изменении параметров оно в пределе может описывать процессы нормального, логарифмически нормального, экспоненциального и других распределений [3].

IV. Результаты экспериментов

Исследования диагностических признаков проведены для подшипниковых узлов колесно-моторного блока электропоезда (КМБ) для шести точек измерения (1,6 – буксы; 2,3 редуктор; 4,5 – тяговый электродвигатель). В результате экспериментов получены значения диагностических признаков для 300 КМБ.

На рис.1 приведены эмпирическая и теоретические функции распределения и плотности распределения для виброускорения Ae.

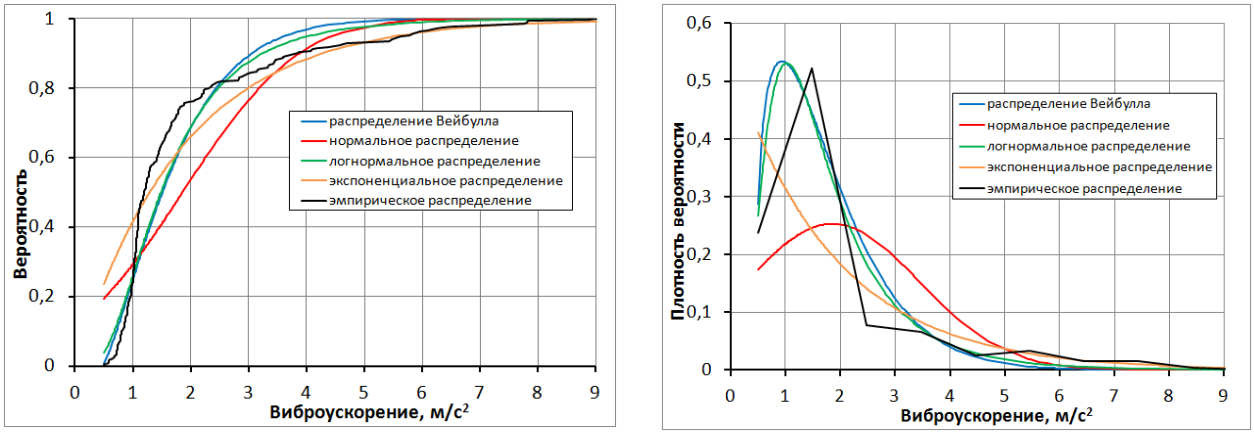


Рис. 1. Эмпирическая и теоретические функции и плотности распределения виброускорения Ae

На рис.2 приведены эмпирическая и теоретические функции распределения и плотности распределения для виброскорости Ve.

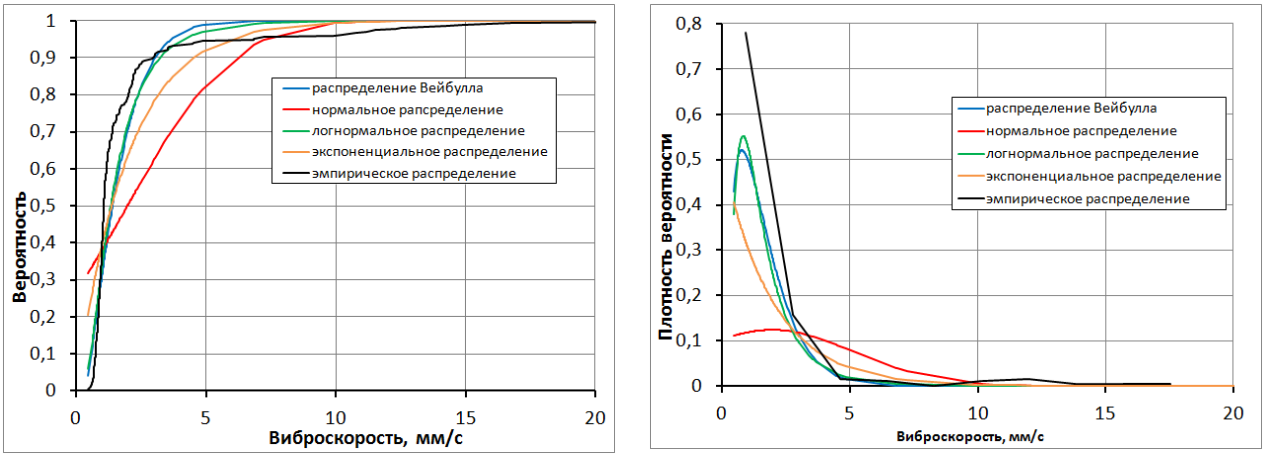
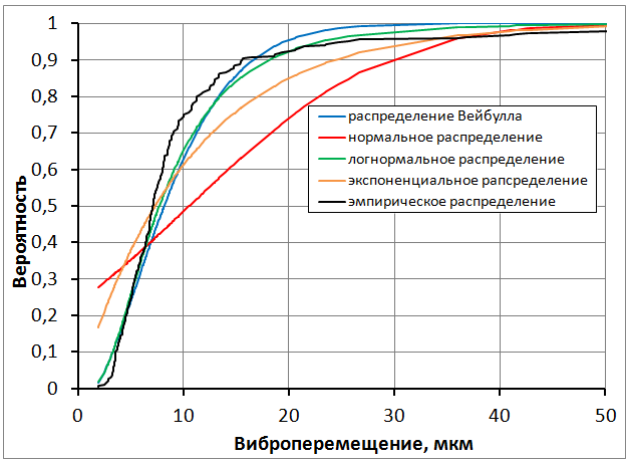


Рис. 2. Эмпирическая и теоретические функции и плотности распределения виброскорости Ve

На рис. 3 приведены эмпирическая и теоретические функции распределения и плотности распределения для виброперемещения Se.



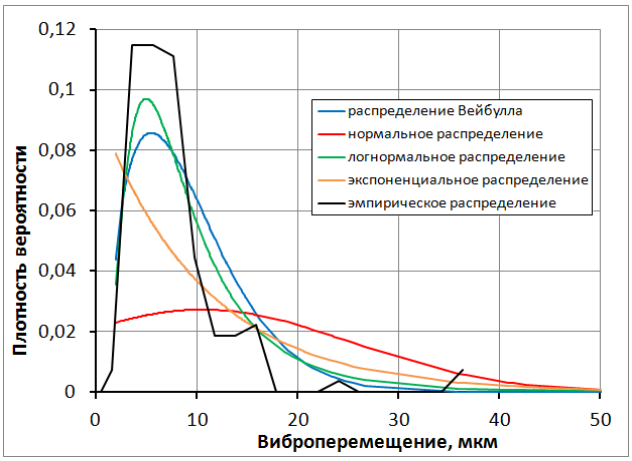


Рис. 3. Эмпирическая и теоретические функции и плотности распределения виброперемещения Se

В таблице 1 приведены коэффициенты корреляции эмпирической функции распределения диагностических признаков Ae, Ve, Se для частоты вращения 240 об/мин с функциями нормального, логнормального, экспоненциального распределения и распределения Вейбулла.

ТАБЛИЦА 1
КОЭФФИЦИЕНТЫ КОРРЕЛЯЦИИ ЭМПИРИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ Ae, Ve, Se С ТЕОРЕТИЧЕСКИМИ ЗАКОНАМИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Точка измерения	Диагностический признак	Коэффициент корреляции			
		Распределение Вейбулла	Нормальное распределение	Логнормальное распределение	Экспоненциальное распределение
1	Ae	0,960	0,850	0,960	0,914
	Ve	0,934	0,632	0,934	0,898
	Se	0,976	0,730	0,984	0,931
2	Ae	0,978	0,818	0,983	0,922
	Ve	0,997	0,980	0,998	0,854
	Se	0,995	0,973	0,999	0,901
3	Ae	0,993	0,950	0,997	0,898
	Ve	0,996	0,943	0,995	0,837
	Se	0,995	0,952	0,998	0,877
4	Ae	0,949	0,785	0,963	0,938
	Ve	0,998	0,984	0,999	0,856
	Se	0,998	0,972	0,999	0,922
5	Ae	0,978	0,868	0,989	0,971
	Ve	0,959	0,673	0,965	0,913
	Se	0,997	0,915	0,997	0,939
6	Ae	0,970	0,845	0,965	0,924
	Ve	0,954	0,658	0,946	0,899
	Se	0,979	0,767	0,987	0,918
среднее		0,978	0,850	0,981	0,906

Число значений функций распределения равно 300. Согласно критерию согласия Пирсона, выборка из 300 значений подчиняется определенному распределению с уровнем значимости гипотезы, равной 0,95, если выполняется следующее неравенство [4]:

$$\hat{\chi}^2 = \chi^2_{k-1-s;0,95} = K \cdot \sum_{i=1}^{k} \frac{(f_B - f_E)^2}{f_E}, \quad (1)$$

где χ^2 — статистика критерия согласия Пирсона;

K — постоянная для согласования значения плотности вероятности с полной ожидаемой частотой, вычисляемая по формуле:

$$K = k \cdot b, \quad (2)$$

где k — количество карманов; b — ширина кармана; f_B, f_E — значения сравниваемых функций вероятности; s — число параметров в исследуемых распределениях.

Результаты расчетов критерия согласия Пирсона для функций распределения приведены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ КРИТЕРИЯ СОГЛАСИЯ ПИРСОНА ДЛЯ ФУНКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Точка измерения	Диагностический признак	Распределение Вейбулла	Нормальное распределение	Логнормальное распределение	Экспоненциальное распределение
		критическая точка распределения <			
		37,7	37,7	37,7	38,9
1	Ae	34,4	151,9	31,8	71,9
	Ve	33,7	132,4	27,1	48,7
	Se	53,9	743,5	32,2	184,6
2	Ae	34,3	333,6	26,4	121,4
	Ve	2,3	55,5	1,6	92,7
	Se	39,7	654,3	8,7	690,0
3	Ae	18,5	353,7	7,0	315,3
	Ve	4,0	111,7	5,5	113,4
	Se	36,7	971,6	15,5	836,4
4	Ae	46,9	203,4	30,8	61,8
	Ve	1,1	27,7	1,1	66,9
	Se	12,6	463,7	11,2	528,7
5	Ae	49,3	413,5	25,7	91,6
	Ve	48,8	442,7	35,9	126,1
	Se	25,3	1888,1	26,1	762,4
6	Ae	32,0	199,6	37,0	83,3
	Ve	29,7	187,6	28,9	64,8
	Se	42,2	588,7	25,0	183,0

V. Обсуждение результатов

Как видно из табл. 1, значения коэффициента корреляции для функций распределения диагностических признаков Ae, Ve, Se максимальные для распределения Вейбулла и логнормального распределения, что говорит об их близости к эмпирическому распределению.

Как видно из табл. 2, значения критерия согласия для функций распределения диагностических признаков Ae, Ve, Se ниже критической точки распределения для логнормального распределения, что говорит об их близости к эмпирическому распределению.

VI. Выводы и заключение

На основе полученных экспериментальных данных установлено, что эмпирическое распределение диагностических признаков вибрации роторного оборудования наилучшим образом описывается логнормальным законом распределения. Следовательно, для оценки достоверности диагностирования необходимо учитывать логнормальный закон распределения диагностических признаков.

Список литературы

1. Костюков В.Н. Мониторинг безопасности производства. М.: Машиностроение, 2002. 224 с.
2. Биргер И.А. Техническая диагностика. М.: Машиностроение,1978. 240 с.
3. Карасевич А.М., Елагина О.Ю. Основы надежности систем газоснабжения: учеб. пособие. М.: Логос, 2012. 108 с.
4. Васнев С.А. Статистика: учебное пособие. М.: МГУП, 2001. 170 с.

УДК 624.131:624.15

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СМЕСИ «ПЕСЧАНЫЙ ГРУНТ – ГРАНУЛИРОВАННЫЙ ПЕНОПОЛИСТИРОЛ»

В.И. Крупников[1], В.В. Шалай[2]
[1]*ОАО Сибнефтетранспроект, г. Омск, Россия*
[2]*Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*

***Аннотация* – В процессе хранения нефти и продуктов её переработки в условиях низких температур Крайнего Севера снижение температуры хранимого продукта происходит за счёт теплообмена с**

**РОССИЯ МОЛОДАЯ:
ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ –
В ПРОМЫШЛЕННОСТЬ**

Выходит два номера в год

№ 1, 2017

Учредитель
Омский государственный
технический университет

Главный редактор
А. В. Косых,
ректор ОмГТУ

Редакционная коллегия:
Е. А. Андреева, доктор технических наук
А. В. Бубнов, доктор технических наук
А. В. Зыкина, доктор физ.-мат. наук
И. А. Кировская, доктор химических наук
А. Г. Козлов, доктор технических наук
В. И. Левченко, доктор технических наук
А. П. Моргунов, доктор технических наук
В. С. Сердюк, доктор технических наук
А. Г. Янишевская, доктор технических наук

Ответственный секретарь
О. И. Бабенко, начальник ИПО ОмГТУ

Корректор
Т. П. Семина

Язык публикаций
русский

Дата и номер договора о включении
рецензируемого научного издания в систему
Российского индекса научного цитирования:
705-11/2013 от 20.11.2013 г.

Адрес в РИНЦ:
http://elibrary.ru/title_about.asp?id=41264

Адрес редакции:
644050, г. Омск, пр. Мира, 11, каб. 203
Контактный телефон:
8 (381-2) 65-35-36
e-mail: fap_omsk@omgtu.ru
Телефон для рекламодателей: 65-35-36

© ОмГТУ, 2017

Подписано в печать 07.04.2017.
Формат 60×84 1/8. Усл. печ. л. 45,5.
Бумага офсетная.

Отпечатано на дупликаторе
в типографии ОмГТУ.
644050, г. Омск, пр. Мира, 11; т. 23-02-12.

Тираж 500 экз. Заказ 343.

СОДЕРЖАНИЕ

Машиностроение

В.А. Адонин, С.А. Корнеев, В.С. Корнеев, И.А. Пеньков
Экспериментальный стенд для исследования нагрузочных характеристик пневматических упругих элементов 5

С.А. Бородихин, А.С. Лосев, Е.Н. Еремин
Влияние защитной атмосферы на структуру и свойства наплавленного высокохромистого металла 8

Ю.А. Бурьян, М.В. Силков, А.А. Иванов
Виброизоляционная опора с использованием эффекта квазинулевой жесткости 11

Б.П. Гриценко, Д.С. Реченко, Е.А. Рогачев
Исследование адгезионных показателей обработанных поверхностей твердосплавной пластины 15

Д.Я. Дудьев, С.В. Скачков, К.Е. Лежнин, В.И. Трушляков
Особенности наземных испытаний малоразмерных газотурбинных двигателей для беспилотных летательных аппаратов 21

Н.В. Захаренков
Анализ работоспособности резьбового соединения механизма регулировки в конструкции подшипника скольжения 24

А.В. Костюков, С.Н. Бойченко, А.В. Щелканов, Е.А. Бурда
Комбинирование методов вибродиагностики и частичных разрядов при диагностировании асинхронных электродвигателей 28

В.Н. Костюков, А.В. Зайцев, А.О. Тетерин, В.В. Басакин
Исследование законов распределения параметров вибрации, возникающей в роторных агрегатах в процессе эксплуатации 33

В.И. Крупников, В.В. Шалай
Деформационные свойства смеси «Песчаный грунт–гранулированный пенополистирол» 36

В.И. Крупников, В.В. Шалай
Моделирование закрытой неизолированной системы «Сжиженный природный газ–природный газ» 41

А.С. Перин, Д.В. Ситников
Расчет параметров системы управления квадрокоптера 48

А.В. Тигнибидин, Д.В. Тигнибидин, О.П. Пастухова, Ю.М. Афанасьев, П.Н. Марталлер
Способ проведения высокоточных измерений на координатно-измерительных машинах с применением низкоточного поворотного стола 53

А.В. Тигнибидин, С.В. Такаюк, Д.А.Шабанов, Д.В. Тигнибидин, Ю.М. Афанасьев, П.Н. Марталлер
Разработка универсального мобильного ручного прибора для координатных измерений геометрических характеристик деталей 56

А.А. Федоров, А.И. Блесман, Д.А. Полонянкин, Н.В. Бобков, Н.В. Скрипицина
Влияние режимов проволочно-вырезной электроэрозионной обработки на морфологию и шероховатость поверхности титанового сплава ВТ3–1 62

Р.Е. Хорошун, С.Б. Скобелев
Теоретические исследования возможности применения технологии ударно-акустической обработки для повышения износостойкости деталей из титана 67

И.К. Черных, Е.Н. Матузко, Е.В. Васильев, Е.В. Кривонос
Исследование влияния технологических факторов на качество шва, полученного сваркой трением с перемешиванием 70