

альных эталонов :дис. ... д-ра техн. наук : 05.11.13 / Кузнецов Андрей Альбертович. – Омск, 2007. – 333 с.

2. Боровиков, В. П. Нейронные сети. *Statistica Neural Networks*. Методология и технологии современного анализа данных / В. П. Боровиков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком, 2008. – 392 с.

3. Горбань, А. Н. Нейроинформатика / А. Н. Горбань, В. Л. Дунин-Барковский – Новосибирск: Наука, 1998.

УДК 517.4

А. В. Костюков, С. Н. Бойченко (НПЩ «Динамика»),  
Е. В. Кондратенко (ОмГУПС)

## ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ СГЛАЖИВАНИЯ НА ЗАПАЗДЫВАНИЕ ТРЕНДОВ

В вибродиагностике при мониторинге оборудования для анализа его состояния используются тренды. Тренд – изменение вибропараметра во времени [1].

Для оценки вибрационного состояния оборудования опасных производств согласно [2] установлены два критерия по абсолютным параметрам (виброускорение, виброскорость и виброперемещение) и по скорости роста их изменения за один час. Техническое состояние оборудования оценивают по любому из параметров, достигшего наихудшего значения. Устанавливают следующие оценки технического состояния оборудования [2]:

Допустимо – соответствует работоспособному агрегату;

Требует принятия мер (ТПМ) – допустима непродолжительная работа агрегата;

Недопустимо (НДП) – о достижении агрегатом предельного либо опасного состояния с высокой вероятностью отказа.

Вибрация, измеренная датчиком на корпусе диагностируемого оборудования, имеет сложную форму, состоящую из полезной и шумовой составляющих. При нестационарной работе оборудования в вибрационном сигнале преобладает шумовая составляющая, что способствует увеличению

значений вибропараметров и, тем самым, непреднамеренному превышению пороговых значений.

В результате возникает задача применения обработки трендов с целью минимизации влияния шумовой составляющей на оценку изменения тренда.

Для анализа влияния методов сглаживания в статье рассмотрен тренд виброперемещения переднего подшипника двигателя вентилятора (рис. 1), имеющего периодический характер работы.

В соответствии с оценкой технического состояния агрегата для виброперемещения установлены следующие пороговые значения: при техническом состоянии ТПМ для признака виброперемещения – 14 (мкм); при техническом состоянии НДП для виброперемещения – 23 (мкм).

Расчет сглаживания производился по следующим алгоритмам [3, 4]:

- 1) сглаживание скользящим средним;
- 2) медианное сглаживание;
- 3) сглаживание по определению максимального значения;
- 4) сглаживание по расчету перцентиля на различных уровнях (0,9, 0,7);
- 5) сглаживание фильтром нижних частот (ФНЧ) Чебышева 4 порядка.

Первые четыре вида сглаживания рассчитываются при использовании скользящего окна, равного 3, 6, 12 минутам. При сглаживании фильтром использовались следующие частоты среза: 10, 6, 4  $\text{час}^{-1}$ .

Способность сглаживания и его влияние на расчет скорости роста оценивается ранжированием следующих характеристик:

- 1) время задержки сглаженного тренда ( $\Delta t$ );
- 2) количество значений тренда в зонах ТПМ ( $N_{\text{TPM}}$ ) и НДП ( $N_{\text{NDP}}$ ).

В программном обеспечении MathCAD 14 написана функция по вычислению методов сглаживания, результатом которой является оценка исходного и сглаженного трендов и времени запаздывания сглаженного тренда.

Тренд виброперемещения (рис. 1) имеет среднеквадратическое отклонение (СКО), равное 5,87 мкм, количество значений в «желтой» зоне – ТПМ ( $N_{\text{TPM}}$ ) составляет 561 значение, а в «красной» зоне – НДП ( $N_{\text{NDP}}$ ) 51 значение.

Сглаживание тренда виброперемещения методом скользящего среднего значения (рис. 1) позволяет уменьшить среднеквадратическое отклонение тренда

(СКО) на 4 % при ширине анализируемого окна 3 минуты, при этом время запаздывания сглаженного тренда ( $\Delta t_T$ ) не изменяется (0 минут).

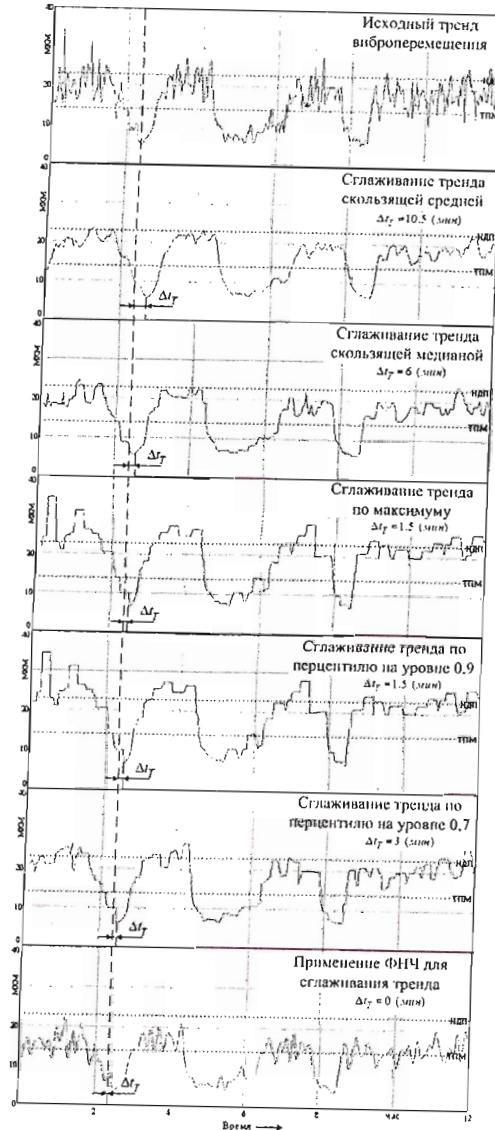


Рис. 1. Сглаживание тренда виброперемещения

При ширине анализируемого окна 12 минут сглаживание тренда происходит на 11 %, при этом время задержки тренда составляет 10,5 минут. Количество значений в зоне ТПМ ( $N_{TPM}$ ) увеличивается с 6,7 % (при окне 3 минуты) до 10 % (при окне 12 минут) и в зоне НДП ( $N_{NDP}$ ) уменьшается с 21,6 % до 86 %.

Сглаживание тренда виброперемещения методом скользящей медианы (рис. 1) позволяет снизить СКО сглаженного тренда на 11 % при ширине анализируемого окна 12 минут, при этом  $\Delta t_T = 6$  минут, а  $N_{TPM}$  сокращается на 13,8 %, а значение  $N_{NDP}$  уменьшается с 1,8 % до 66,7 %. Использование для анализа окна шириной менее 12 минут позволяет увеличить быстродействие диагностики (табл. 1), но при этом число перехода значений тренда в зону НДП уменьшается незначительно: от 2 % до 15 %.

Сглаживание тренда виброперемещения методом определения максимального значения (рис. 1) увеличивает значения СКО тренда на 7-13 % (в зависимости от анализируемого окна), в свою очередь  $N_{TPM}$  уменьшается с 9 % до 33 %,  $\Delta t_T$  составляет 1,5 минуты.

Влияние сглаживания тренда виброперемещения методом расчета перцентиля на уровне 0,9 аналогично как при сглаживании методом определения максимального значения.

Сглаживание тренда виброперемещения методом расчета перцентиля на уровне 0,7 (рис. 1) уменьшает СКО тренда с 4 % (при окне 3 минуты) до 1 %. Значение параметра  $N_{TPM}$  с увеличением ширины анализируемого окна уменьшается: так, при окне 3 минуты – сокращается на 6,5 %, а при окне 12 минут – на 4,2 %, аналогично происходит изменение параметра  $N_{NDP}$ : при окне 3 минуты – на 66,7 %, а при окне 12 минут – на 51 %. Время задержки тренда увеличивается с увеличением ширины окна с 1,5 до 3 минут.

Сглаживание тренда посредством ФНЧ Чебышева 4 порядка (рис. 1) позволяет уменьшить СКО тренда на 21 % на частоте среза 10  $\text{час}^{-1}$  и на 24 % на частоте среза 4  $\text{час}^{-1}$ , при этом значение параметра  $N_{TPM}$  уменьшается на 23 % (частота равна 10  $\text{час}^{-1}$ ) и на 10,7 % (частота равна 4  $\text{час}^{-1}$ ) и полностью исключить значения из зоны НДП ( $N_{NDP} = 0$ ). Применение ФНЧ не влияет на запаздывание обработки результатов мониторинга.

В ходе проведенного исследования выявлено, что наилучшим алгоритмом сглаживания обладает фильтр нижних частот, позволяющий снизить количество переходов значений вибропараметра в зону НДП в среднем на 50 %, без влияния на время задержки мониторинга оборудования.

Использование метода сглаживания, основанного на расчете скользящей средней, позволяет сгладить тренд с увеличением ширины анализируемого окна (максимально на 20 %), увеличивая при этом время задержки принятия решения.

Использование метода сглаживания по расчету скользящей медианы при больших анализируемых окнах (9-15 минут) сокращает в среднем на 20 % количество значений в зонах ТПМ и НДП, но при этом время задержки исходного тренда составляет от 4,5 до 7,5 минут.

Использование методов сглаживания по определению максимального значения и перцентиля на уровне 0,9 имеет малую временную задержку (1,5 минуты), даже при большой ширине анализируемого окна, но низкую способность сглаживания, что не позволяет сократить количество значений в зонах ТПМ и НДП.

#### Библиографический список

1. Костюков, В. Н. Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин: учеб. Пособие / В.Н. Костюков, А.П. Науменко. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011. – 360 с.: ил.
2. ГОСТ Р 53563-2009. Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Порядок организации /НПЦ Динамика, Ростехэкспертиза, НПС Риском, АНО НИЦ КД. – Введ. 01.01.2011. - М.: «Стандартинформ», 2010. - 5 с.
3. Маклюков, М. И. Инженерный синтез активных RC-фильтров низких и инфразвуковых частот / М.И. Маклюков. – М.: «Энергия», 1971. – 184 с.: ил.
4. Рабинер, Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Л. Рабинер, Б. Гоулд; пер. с англ. Ю.Н. Александров. – М.: Мир, 1978. – 848 с.

УДК 625.1:656.2

О. Ю. Матюшкова (ОмГУПС)

#### ОБЗОР ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ ВИБРОДИАГНОСТИКИ

В настоящее время вибродиагностический метод является наиболее эффективным и технологичным для определения технического состояния роторных механических узлов, в том числе узлов подвижного состава железных дорог. В тоже время этот метод является одним из сложнейших методов технической диагностики

Выбор метода диагностирования и эффективное его использование применительно к конкретной ситуации – это сложная научно-практическая задача. Ниже приводится краткий обзор перспективных методов, которые могут быть использованы для обработки и анализа вибросигналов.

##### 1 Вейвлет-преобразование.

Один из сравнительно новых методов математической обработки вибрационных сигналов, получивший практическое применение в вибрационной диагностике в последнее время.

Вейвлет-преобразование является трехмерным (рис. 1).

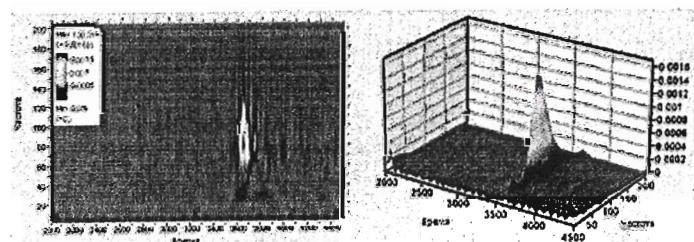


Рис. 1. К определению понятия вейвлет-преобразования

Оно показывает изменение величины амплитуды каждой гармоники в сигнале с течением времени [1]. Иногда анализ таких трехмерных связей позволяет получить качественно новые диагностические заключения.



Министерство транспорта Российской Федерации  
Федеральное агентство железнодорожного транспорта  
ОАО «Российские железные дороги»  
Омский государственный университет  
путей сообщения

## Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте



Омск 2013



Министерство транспорта Российской Федерации  
Федеральное агентство железнодорожного транспорта  
ОАО «Российские железные дороги»  
Омский государственный университет путей сообщения

**ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ,  
КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И ДИАГНОСТИКИ В  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НА ТРАНСПОРТЕ**

Материалы всероссийской  
научно-технической конференции  
с международным участием  
(21, 22 ноября 2013 г.)

Омск 2013

УДК 620.179; 621.311; 681.2

ББК 39.2

**Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте:** Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2013. 425 с.

В сборник вошли статьи с результатами исследований, выполненных по ряду научных направлений, посвященных современному состоянию и перспективам развития приборов и методов контроля на транспорте, в различных отраслях промышленности и энергетики. Представлен широкий спектр приборов неразрушающего и аналитического контроля, обеспечивающих высокую надежность при эксплуатации, обслуживании и ремонте подвижного состава.

Большое внимание уделено современным системам учета и контроля в энергетике и электротехнических комплексах, включая методики повышения эффективности использования различных видов топливно-энергетических ресурсов.

Рассмотрены вопросы приборного и методического обеспечения контроля окружающей среды, а также вопросы метрологии, стандартизации и сертификации.

Сборник может быть полезен для научных сотрудников и специалистов, работающих в области железнодорожного подвижного состава.

Библиогр. 275 назв. Табл. 24. Рис. 181.

Редакционная коллегия:

доктор техн. наук, доцент С. М. Овчаренко (отв. редактор);  
доктор техн. наук, профессор В. Т. Черемисин;  
доктор техн. наук, доцент С. Г. Шантаренко (зам. отв. редактора);  
доктор техн. наук, доцент А. А. Кузнецов

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор Ю. М. Вешкурцев;  
доктор техн. наук, профессор В. И. Глухов.

© Омский гос. университет  
путей сообщения, 2013

## СОДЕРЖАНИЕ

Сидоров Е. Н. (ООО «НПК «Энергосервис-Резерв», г. Омск). Новое поколение вибродиагностического оборудования для подвижного состава...	9
Кузнецов А. А. (ОмГУПС). Применение спектральных методов анализа на транспорте и в промышленности .....	13
Ахмеджанов Р. А., Бельский А. О., Нармухан И. М., Шабалин В. С. (ОмГУПС), Соловьев Н. А. (ООО «НПК «Энергосервис-Резерв», г. Омск) К вопросу автоматизации дефектоскопирования объектов железнодорожного транспорта.....	19
Костюков А. В., Зайцев А. В., Мельк В. В. (НПЦ «Динамика», г. Омск), Щелканов А. В., Цурпаль А. Е. (ОмГУПС). Система измерения широкополосных вибраакустических процессов .....	26
Тэттэр В. Ю. (ОмГУПС). Практика подготовки специалистов по вибродиагностике для локомотивного и вагонного хозяйства .....	30
Харламов В. В., Шкодун П. К., Долгова А. В. (ОмГУПС). Применение теории информации для определения величины пробега тяговых электродвигателей подвижного состава .....	36
Джаманбалин К. К. (Костанайский социально-техн. ун-т, Республика Казахстан). Фильтры очистки жидкостных и газовых сред на основе углеродных нанотрубок – «хризотил-асбест» .....	43
Черемисин В. Т., Ушаков С. Ю., Каитанов А. Л., Паиков Д. В. (ОмГУПС). Обоснование необходимости создания единой автоматизированной системы учета электрической энергии на тягу поездов (ЕАСУЭ Т) .....	49
Незевак В. Л. (ОмГУПС). К вопросу об управлении режимом работы накопителя электрической энергии в системе тягового электроснабжения .....	55
Павлов В. М., Смердин А. Н., Томилов В. В., Голубков А. С., Емельянов М. В. (ОмГУПС). Экспериментальные исследования нагрузочной способности токоприемника магистрального электроподвижного состава .....	62
Салита Е. Ю., Ковалева Т. В., Редчиц Н. В., Косенко Е. С. (ОмГУПС), Кващук В. А., Лапенко Н. М. (Зап.-Сиб. ж. д. – филиал ОАО «РЖД»). Прибор для диагностирования силовых вентиляй преобразователей тяговых подстанций .....	69

<i>Степанова Л. Н., Курбатов А. Н., Тенитилов Е. С. (СГУПС).</i>	141
Использование эффекта акустоупругости для исследования влияния напряжений в рельсе на время распространения ультразвуковых волн .....	76
<i>Ахунов Д. А., Шкодун П. К. (ОмГУПС).</i> Оценка достоверности контроля профиля коллектора электрических машин вихревоковым методом .....	81
<i>Горбунков В. И. (ОмГТУ), Соломонов В. И. (ИЭФ УрО РАН).</i> Регистрация спектра молекулы ртути $Hg_2$ в плазме газоразрядной ртутной лампы низкого давления .....	88
<i>Раздобаров А. В., Шиляков А. П. (ОмГУПС).</i> Бесконтактный датчик состояния коммутационных аппаратов электроподвижного состава .....	95
<i>Снежков И. И., Кузьменков П. Ю. (СГУПС).</i> Пример применения измерительного комплекса «Тензор МС» в мостостроении .....	101
<i>Болтунов Е. В. (ООО «НПК «Энергосервис-Ресурс», г. Омск).</i> Нейросетевой метод расширения динамического диапазона АЦП в системах аналитического контроля состояния оборудования .....	106
<i>Кондратенко Е. В. (ОмГУПС).</i> Исследование влияния коэффициента излучения при проведении неразрушающего контроля .....	113
<i>Слептерев В. А. (ОмГУПС).</i> Методика распознавания марок материалов с использованием искусственных нейронных сетей в атомно-эмиссионном спектральном анализе металлов и сплавов .....	118
<i>Костюков А. В., Бойченко С. Н. (НПЦ «Динамика», г. Омск), Кондратенко Е. В. (ОмГУПС).</i> Влияние методов сглаживания на запаздывание трендов .....	122
<i>Матюшкова О. Ю. (ОмГУПС).</i> Обзор перспективных методов вибродиагностики .....	127
<i>Костюков В. Н., Зайцев А. В., (НПЦ «Динамика», г. Омск), Тетерин А. О. (ОмГУПС).</i> Исследование ошибки диагностирования технического состояния колесно-моторного блока .....	132
<i>Келлер Р. С., Маркелов А. И. (ОмГТУ), Чередов А. И. (ОмГУПС).</i> Комплекс виртуальных учебных лабораторных работ по неразрушающему контролю .....	136
<i>Кузнецов А. А., Мешкова О. Б., Евсюкова О. С. (ОмГУПС).</i> Использование спектрального анализа для повышения надежности подшипников скольжения колесно-моторных блоков .....	141
<i>Ахмеджанов Р. А., Катин М. В. (ОмГУПС).</i> Зеркальный метод вихревокового контроля .....	148
<i>Бобров А. Л. (СГУПС).</i> К проблеме эффективности нагружения при акустико-эмиссионном контроле литых деталей грузовых вагонов .....	158
<i>Ватулин Я. С., Иванов И. А., Потахов Д. А. (ПГУПС).</i> Регулирование параметров процесса механической обточки цельнокатанных колес .....	164
<i>Семухин Б. С. (ИФПМ СО РАН, г. Томск).</i> Акустико-эмиссионный способ определения действующих напряжений .....	171
<i>Захаренко В. А., Кликушин Ю. Н., Шкаев А. Г. (ОмГТУ).</i> Пирометр с эlimинированием коэффициента черноты .....	178
<i>Кликушин Ю. Н. (ОмГТУ).</i> Идентификационные измерения в задаче распознавания сигналов .....	183
<i>Кобенко В. Ю. (ОмГТУ).</i> Идентификация произведения сигналов в области идентификационных чисел .....	191
<i>Минаков В. А., Колмаков А. А. (ОмГУПС).</i> Применение искусственных нейронных сетей в прогнозировании работоспособности системы ....	196
<i>Мухачев Ю. С., Лопатин М. В., Гасельник В. В. (ИрГУПС).</i> Исследование возможности контроля характеристик конструкционных сталей методом эффекта Баркгаузена .....	201
<i>Мухачев Ю. С., Лопатин М. В., Карпов А. В. (ИрГУПС).</i> Исследование возможности магнитного контроля механических характеристик конструкционных сталей .....	207
<i>Поддубко П. Д., Севастьянова А. А., Вельгодская Т. В. (ОмГУПС).</i> Методы неразрушающего контроля при ремонте и техническом обслуживании подвижного состава Германии и Франции .....	212
<i>Чередов А. И. (ОмГУПС).</i> Преобразователь магнитной индукции с частотным выходом .....	219
<i>Сафаров А. М., Турдыбеков К. Х. (ТашИИТ, Республика Узбекистан).</i> Исследование законов распределения магнитных потоков электромагнитных преобразователей тока .....	223
<i>Амирзов С. Ф., Жураева К. К. (ТашИИТ, Республика Узбекистан).</i> Магнитоупругие датчики усилий для диагностики механических частей электроподвижного состава .....	229

дифференциального (ПИД) контроллера существуют как функция активации нейронов в нейронной структуре. Такой ПИД-контроллер включает в себя преимущества искусственных нейронных сетей и классического контроллера. Его функционирование основано на обновлении параметров контроллера в соответствии со значением, полученным на выходе системы согласно правилам алгоритма обратного распространения, используемого в искусственных нейронных сетях. Предполагается, что параметры, полученные при применении ПИД-нейросетевого алгоритма обучения в работе асинхронного двигателя, могут быть использованы в управлении скоростью двигателя в реальном масштабе времени, что позволит успешно поддерживать расчетную скорость в различных режимах нагрузки.

#### Библиографический список

1. Плакс А. В. Системы управления электрическим подвижным составом. М.: Транспорт, 2005. 400 с.
2. Курбасов А. С., Седов В. Н., Сорин Л. Н. Проектирование тяговых электродвигателей: Учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / Под редакцией А. С. Курбасова. М.: Транспорт, 1987. 536 с.
3. Рудаков В. В., Столяров И. М., Дартау В. А. Асинхронные электроприводы с векторным управлением // Л.: Энергоатомиздат, 1987. 136 с.
4. Перельмутер В. М. Прямое управление моментом и током двигателей переменного тока // Харьков: Основа, 2004. 210 с.
5. Усков А. А., Кузьмин А. В. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечеткая логика // М.: Горячая линия – Телеком, 2004. 143 с.
6. Сигеру Омату, Марзуки Халид, Рубия Юсоф. Нейроуправление и его приложения. Кн. 2. Пер. с англ. М.: Издательство ИПРЖР, 2000, 272 с.
7. Клепиков В. Б., Сергеев С. А., Махотило К. В., Обруч И. В. Применение методов нейронных сетей и генетических алгоритмов в решении задач управления электроприводами // Электротехника, № 5, 1999. С. 2-6.

*Научное издание*

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ, КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И  
ДИАГНОСТИКИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НА ТРАНСПОРТЕ

Материалы Всероссийской научно-технической конференции  
с международным участием

---

Ответственный за выпуск А. А. Кузнецов

\* \* \*

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 15.11.2013. Формат 60 × 84  $\frac{1}{16}$ .  
Плоская печать. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 26,4. Уч.-изд. л. 29,2.  
Тираж 300 экз. Заказ 674.

\* \*

Типография ОмГУПСа

\*

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35