

Рис. 2. Основные диагностические процедуры для проведения обследований электротехнических устройств, содержащих обмотки и магнитопровод

Аналогов данной методики диагностики не существует, получено положительное решение на выдачу патента РФ.

Для трансформаторов 4–5 габарита методика и программное обеспечение МДК позволяют в автоматизированном режиме оценить усилие остаточной прессовки обмоток каждой фазы с учетом теплового состояния в процессе эксплуатации.

В малогабаритном диагностическом комплексе дополнительно предусмотрена возможность регистрации до четырех каналов временных процессов виброускорения (скорости, перемещения) для определения амплитудных и спектральных характеристик вибрационного воздействия, проведения балансировки вращающихся механизмов и других применений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Патент РФ № 2117955. «Способ диагностики трансформаторов».
- Осотов В. Н., Рущинский В. Н. и др. Исследование возможности диагностики усилия прессовки обмоток трансформаторов по их вибрационным характеристикам // Электрические станции. – 1995. – № 8.
- Осотов В. Н., Емельянов В. И., Рущинский В. Н. и др. Методика диагностики усилия прессовки обмоток трансформаторов // Электрические станции. – 1997. – № 5.
- Осотов В. Н., Рущинский В. Н., Смыслов В. П. и др. Оценка механического состояния обмоток крупных трансформаторов без их разборки // Электрические станции. – 2003. – № 6.
- Емельянов В. И., Рущинский В. Н. и др. Опыт использования методики определения остаточных усилий прессовки обмоток силовых трансформаторов // Сб. «Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования». – СПб., 2000.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ВИБРОДИАГНОСТИКИ КОЛЕСНО-МОТОРНЫХ БЛОКОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Зайцев А. В., Костюков Ал. В., Казарин Д. В.

(ООО НПЦ «ДИНАМИКА», г. Омск, Россия)

Наиболее ответственным узлом подвижного состава, от исправности которого зависит надежность выполнения поездной работы и обеспечение безопасности перевозок является колесно-моторный блок. Наиболее нагруженными, воспринимающими значительные статические и динамические нагрузки, являются подшипниковые узлы колесно-моторных блоков. Важным компонентом эксплуатационного цикла подвижного состава является применение систем диагностики. Широкое распространение на сети железных дорог получили системы вибродиагностики колесно-моторных блоков, основанные на измерении параметров вибрации и сравнении полученных величин с критическими значениями, по результату которого судят о техническом состоянии узлов. Существующие на сегодняшний день системы диагностики колесно-моторных блоков обеспечивают не достаточно высокую достоверность диагностирования, поскольку высоким остается процент выхода из строя колесно-моторных блоков. В настоящее время существует множество разнообразных средств технического диагностиро-

вания, отличающихся по типу средств измерения, методу обработки полученных данных и правилу решения диагностической задачи.

Классификация систем вибродиагностики, применяемых на подвижном составе приведена на рис. 1.

В зависимости от типа исполнения различают стационарные, переносные и комбинированные средства технического диагностирования. Стационарные системы бывают локальными и распределенными, в которых элементы системы диагностирования разнесены в пространстве и связь между ними осуществляется по каналам передачи данных. Переносные системы отличаются портативностью исполнения с ограниченным количеством измерительных каналов.

В зависимости от уровня автоматизации различают экспертные и автоматические системы диагностики. В экспертных системах решение о техническом состоянии объекта принимает человек, в автоматических системах решение принимает система диагностики.

В зависимости от вида и формы диагностического эксперимента различают тестовые, функциональные и функционально-тестовые системы диагностики. В системах тестового диагностирования воздействия на диагностируемый объект поступают от средств диагностирования. В системах функционального диагностирования воздействия, поступающие на диагностируемый объект, заданы рабочим алгоритмом функционирования.

По типу получения сигнала вибрации различают системы с параллельным и последовательным измерением.

Применяемые на подвижном составе системы вибродиагностики значительно различаются по виду и форме диагностического эксперимента. Основным критерием системы диагностики является баланс между достоверностью диагностирования, продолжительностью и ценой.

Существует множество различных диагностических комплексов, однако применяемые в них методики диагностирования и их программно-аппаратная база обеспечивают недостаточный уровень достоверности диагностирования. Повысить достоверность диагностирования можно путем уменьшения инструментальной, методической и субъективной погрешно-



Рис. 1. Схема классификации систем вибродиагностики

стей. Снизить инструментальную погрешность возможно путем применения в системе вибродиагностики измерительной аппаратуры с более высокими метрологическими характеристиками. Уменьшить методическую погрешность, возможно применяя более совершенные алгоритмы и технологию диагностирования. Для исключения субъективной погрешности (человеческий фактор) необходимо полностью исключить влияние оператора на постановку диагноза.

Как было установлено в работах [1] при наличии дефекта рост амплитуды выбросигнала с увеличением частоты вращения на дефектном подшипнике будет выше. Также известно, что для исправных узлов уровень вибрации ниже, чем у неисправных узлов [2]. Четкое определение границы значений диагностических признаков вибрации, разделяющих исправное и неисправное состояние, ввиду взаимного пересечения распределений значений диагностических признаков исправных и неисправных объектов является сложной задачей. Другими словами нельзя уйти от ошибок диагностирования первого и второго рода, но все же можно уменьшить их, применяя правила нечеткой логики.

Поскольку распознавание технического состояния на повышенной частоте вращения вала N_2 выше, чем на базовой частоте вращения N_1 , примем достоверность диагностирования при N_2 приемлемой при разделении критическим значением диагностического признака на исправное и неисправное состояние объекта. Зачастую, проведение испытаний на повышенной частоте вращения сопряжено с дополнительными затратами (энергии, времени, ресурсов и т.д.), а также снижением уровня безопасности при проведении диагностирования. Отсюда возникает вопрос выбора между диагностированием на различных скоростных режимах.

С помощью внедренной в ряде моторвагонных депо системы вибродиагностики секций электропоездов КОМПАКС®-ЭКСПРЕСС-ТРЗ, включающую подсистему диагностики колесно-моторных блоков [3, 4], а также разработанной экспериментальной установки [5], осуществлен сбор данных, позволивших установить закономерности изменения диагностических признаков вибрации от различных скоростных режимов для колесно-моторных блоков находящихся в различных технических состояниях.

С целью повышения достоверности диагностирования КМБ при одновременном сокращении затрат на диагностирование предложен способ диагностики [6], заключающийся в том, что проводят испытания на двух скоростных режимах – при базовой и повышенной частотах вращения, при которой лучше разделяются исправное и неисправное технические состояния. При этом дополнительное испытание проводят в случае попадания значения диагностического признака в зону неопределенности при первом испытании на базовой частоте вращения. Зона неопределенности ограничена верхним и нижним критическими значениями диагностического признака. Под зоной неопределенности понимается диапазон значений диагно-

диагностического признака, при котором техническое состояние объекта однозначно не определено.

Как было установлено в работе [7] диагностические признаки вибрации узлов колесно-моторных блоков подчиняются логнормальному закону распределения.

Вероятность того, что значения диагностических признаков неисправных узлов при диагностировании с частотой вращения N_1 окажутся ниже нижнего критического значения определим по формуле [7]

$$P_d(X_{[b]} < X_{H[b]}) = \Phi^* \left(\frac{X_{H[b]} - M_{d[b]}}{\sigma_{d[b]}} \right), \quad (1)$$

где $\Phi^*(x)$ – логнормальная функция распределения; $X_{[b]}$ – значение диагностического признака; $X_{H[b]}$ – нижнее критическое значение диагностического признака; $M_{d[b]}$ – математическое ожидание диагностического признака для дефектных узлов на базовой частоте вращения; $\sigma_{d[b]}$ – стандартное отклонение диагностического признака для дефектных узлов на базовой частоте вращения.

Вероятность того, что значения диагностических признаков исправных узлов при диагностировании с частотой вращения n_1 окажутся выше верхнего критического значения, определим по формуле

$$P_s(X_{[b]} > X_{B[b]}) = \Phi^* \left(\frac{X_{B[b]} - M_{s[b]}}{\sigma_{s[b]}} \right), \quad (2)$$

где $X_{B[b]}$ – верхнее критическое значение диагностического признака; $M_{s[b]}$ – математическое ожидание диагностического признака для исправных узлов на базовой частоте вращения; $\sigma_{s[b]}$ – стандартное отклонение диагностического признака для исправных узлов на базовой частоте вращения.

Вероятность того, что значения диагностических признаков неисправных узлов при диагностировании с частотой вращения n_1 окажутся в зоне неопределенности, определим по формуле

$$P_d[X_{H[b]} < X_{[b]} < X_{B[b]}] = \Phi^* \left(\frac{X_{B[b]} - M_{d[b]}}{\sigma_{d[b]}} \right) - \Phi^* \left(\frac{X_{H[b]} - M_{d[b]}}{\sigma_{d[b]}} \right). \quad (3)$$

Вероятность того, что значения диагностических признаков исправных узлов при диагностировании с частотой вращения n_1 окажутся в зоне неопределенности, определим по формуле

$$P_s[X_{H[b]} < X_{[b]} < X_{B[b]}] = \Phi^* \left(\frac{X_{B[b]} - M_{s[b]}}{\sigma_{s[b]}} \right) - \Phi^* \left(\frac{X_{H[b]} - M_{s[b]}}{\sigma_{s[b]}} \right). \quad (4)$$

Ошибка пропуска дефекта при двух испытаниях с учетом зоны неопределенности определим по формуле

$$Q_{\text{ПД}}^{\text{ЗН}} = P_{d[b]}(X_{[b]} < X_{H[b]}) + P_{d[b]}(X_{H[b]} < X_{[b]} < X_{B[b]}) \times q_{\text{ПД}[\eta]}(X_{\text{КП}[\eta]}). \quad (5)$$

Ошибка ложной тревоги при двух испытаниях с учетом зоны неопределенности определим по формуле:

$$Q_{\text{ЛТ}}^{\text{ЗН}} = P_{s[b]}(X_{[b]} > X_{B[b]}) + P_{s[b]}(X_{H[b]} < X_{[b]} < X_{B[b]}) \times q_{\text{ЛТ}[\eta]}(X_{\text{КП}[\eta]}). \quad (6)$$

Как следует из формул (5), (6) изменяя значения границ зоны неопределенности (верхнего и нижнего критических значений диагностических признаков) можно обеспечивать требуемую величину ошибки пропуска дефекта и ложной тревоги.

Увеличение зоны неопределенности (уменьшение нижнего критического значения и увеличение верхнего критического значения) при проведении испытаний на базовой частоте вращения снижает ошибку пропуска дефекта, что обеспечивает существенное повышение достоверности диагностирования, тем самым, не выпуская в эксплуатацию подвижной состав с неисправными узлами, предотвращая возникновение аварий. Также, увеличение зоны неопределенности снижает ошибку ложной тревоги, что обеспечивает существенное повышение достоверности диагностирования, тем самым не допуская проведение дополнительных работ для узлов, не требующих ремонта, снижая затраты на эксплуатацию и предотвращая возможное ухудшение технического состояния диагностируемого узла.

Достижение повышения достоверности диагностирование колесно-моторных блоков, с требуемыми значениями вероятности ложной тревоги и пропуска дефекта обеспечивается применением предлагаемой методики. Алгоритм диагностирования, в соответствии с методикой, состоит из двух этапов – обучение и проведение испытаний.

Алгоритм обучения приведен на рис. 2.

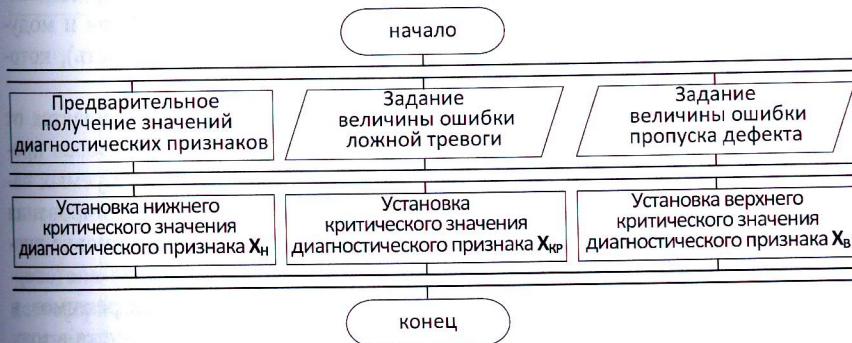


Рис. 2. Алгоритм обучения системы вибродиагностики КМБ

На этапе обучения определяют параметры распределений диагностических признаков (ДП) для исправных и неисправных узлов, полученных предварительно на этапе опытной эксплуатации системы для базовой и повышенной частот вращения колесной пары.

Задают требуемую величину ошибки ложной тревоги и величину ошибки пропуска дефекта. На основе предложенной модели расчета ошибки ложной тревоги и ошибки пропуска дефекта [8] определяют верхнюю и нижнюю границу зоны неопределенности для каждого ДП на базовой частоте вращения колесной пары.

Для повышенной частоты вращения критическое значение ДП определяют на основе полученных параметров распределений по методу минимакса, при котором ошибка ложной тревоги равна ошибке пропуска дефекта [9].

Алгоритм диагностирования приведен на рис. 3.

Для решения поставленной задачи – повышения достоверности диагностирования узлов КМБ выбранная аппаратная база (КОМПАКС®-ЭКСПРЕСС) была усовершенствована.

Усовершенствован блок выносной, разработанный для параллельных и непрерывных измерений параметров вибрации узлов КМБ и частоты вращения колесной пары в процессе диагностирования. Станция диагностическая, включающая диагностический контроллер с программным обеспечением, реализующим разработанный алгоритм диагностирования.

В соответствии с новой аппаратной базой разработана система вибродиагностики колесно-моторных блоков подвижного состава.

Внешний вид элементов системы приведен на рис. 4.

Для обеспечения возможности промышленного применения разработанной методики диагностирования колесно-моторных блоков необходимо реализовать ее на базе соответствующего программно-аппаратного комплекса.

Наиболее соответствующей заданным требованиям является система вибродиагностики КОМПАКС®-ЭКСПРЕСС, результатом совершенствования (в том числе конструктивное исполнение основных блоков и модулей, алгоритм диагностирования, программная и аппаратная часть), которой стала система КОМПАКС®-ЭКСПРЕСС-ТР1.

Предлагаемое решение задачи диагностирования КМБ отличается от известных тем, что в разработанной системе диагностики реализован программно-управляемый процесс вращения колесной пары на требуемых частотах. Кроме того, полностью автоматизирован процесс формирования протокола испытаний, не требующий участия оператора в постановке диагноза. А также отличается тем, что обеспечивается повышенная достоверность диагностирования, за счет применения разноскоростных режимов, в случае попадания измеренного значения диагностического признака в зону неопределенности между аварийным и предупредительным порогами.

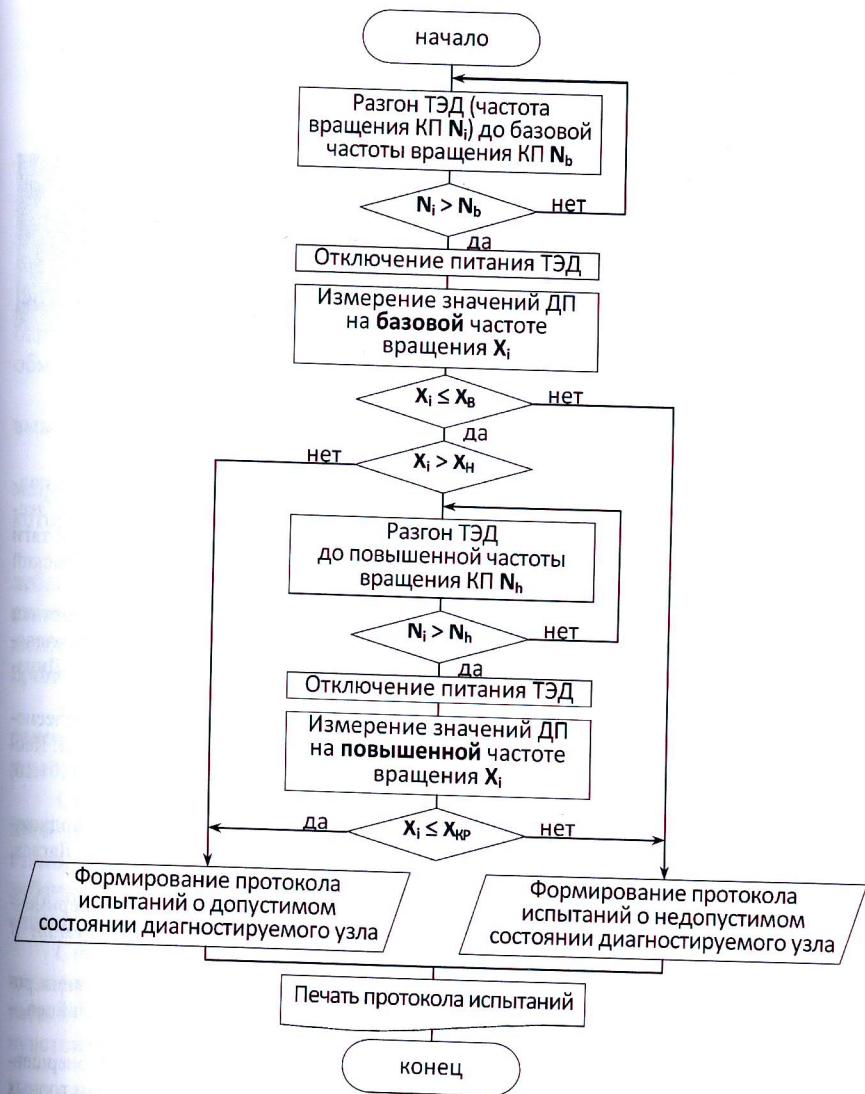


Рис. 3. Алгоритм испытаний системы вибродиагностики КМБ

Разработанная технология диагностирования обеспечивает повышение достоверности диагностирования, при сокращении времени испытаний, соответственно уменьшая трудо- и энергозатраты, тем самым повышая пропускную способность участка испытаний.



Рис. 4. Внешний вид элементов системы КОМПАКС®-ЭКСПРЕСС-ТР1

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зайцев А. В., Костюков В. Н., Басакин В. В. Исследование вибрации подшипниковых узлов подвижного состава при изменении частоты вращения // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов: Матер. Всерос. науч.-техн. конф. с международным участием / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2012. – С. 92 – 97.
2. Костюков В. Н., Науменко А. П. Основы вибравакустической диагностики и мониторинга машин: учебное пособие. 2-е изд., с уточ. / Министерство образования и науки Российской Федерации, ГОУ ВПО «Омск. гос. тех. ун-т»; НПЦ «Динамика». – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2014. – 378 с.
3. Патент № 2378633. РФ, МПК G01M 17/08. Система диагностики колесно-моторных блоков моторвагонного подвижного состава / В. Н. Костюков, Ал. В. Костюков, А. А. Лагаев, А. В. Зайцев. – № 2008138515; заявл. 26.09.08; опубл. 10.01.10, Бюл. № 1.
4. Патент № 2533875. Система диагностики узлов моторвагонного подвижного состава на участках ремонта / В. Н. Костюков, Ал. В. Костюков, А. А. Лагаев, Д. В. Казарин, А. В. Зайцев. – Опубл. 24.09.2014, Бюл. № 32.
5. Зайцев А. В., Костюков Ал. В., Цурпаль А. Е. Установка для экспериментальных исследований вибраций узлов подвижного состава в эксплуатации // Транспорт Урала. – 2014. – № 2. – С. 77 – 80.
6. Патент РФ № 2547947. Способ диагностики технического состояния роторных агрегатов / В. Н. Костюков, Ал. В. Костюков, Д. В. Казарин, А. В. Зайцев. – Опубл. 10.04.2015, Бюл. № 10.
7. Костюков В. Н., Казарин Д. В., Костюков Ал. В., Зайцев А. В. Совершенствование диагностического обеспечения подшипниковых узлов колесно-моторных блоков электропоездов / Известия Транссиба. – 2015. – № 4. С. 33 – 39.
8. Казарин Д. В., Зайцев А. В. Система диагностирования колесно-моторных блоков электропоездов в условиях ремонтных депо // Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте: Матер. Всерос. науч.-техн. конф. с международным участием / Омск. гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2016.
9. Биргер И. А. Техническая диагностика / И. А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ПОДТВЕРЖДАЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТЬ РЕГИСТРАЦИИ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ НАМАГНИЧЕННЫХ ТЕЛ С ПОМОЩЬЮ ВНЕШНЕЙ ОБМОТКИ

Засухин В. В., Рущинский В. Н., Тренин С. А.

(ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. акад. Е. И. Забабахина»,
г. Снежинск, Россия)

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие возможность регистрации механических колебаний балки, имеющей остаточную намагниченность, с помощью внешней обмотки.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- внешняя обмотка обеспечивает регистрацию волн упругих деформаций (форм колебаний) балки, распространяющихся в том направлении, в котором намагнечена балка;
- имеет место совпадение спектрального состава механических колебаний балки, регистрируемых при импульсном механическом воздействии с помощью пьезоакселерометров, закрепленных на балке, и напряжения, наведенного во внешней обмотке при возбуждении колебаний, как в продольном, так и в поперечном направлении;
- отличие значений частот максимумов спектрального состава, характеризующего формы колебаний балки, полученных экспериментально с помощью внешней обмотки и расчетным путем, не превышает 7 %.

Сравнение спектральных характеристик колебаний образца трехфазного трансформатора, регистрируемых при внешнем импульсном воздействии, позволяет сделать вывод о соответствии спектров механических колебаний стержней магнитопровода в осевом направлении спектрам напряжения, наведенного в обмотке соответствующей фазы.

Способ регистрации механических колебаний элементов конструкции электротехнического устройства (трансформатора, генератора, электродвигателя) с помощью обмоток данного устройства обладает весьма высокой чувствительностью.

ВИБРАЦИОННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ И ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КАНАЛ КД8700 И РЕЗОНАНСНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ПОДШИПНИКОВ

Зусман Г. В.

Вибрационный канал КД8700 предназначен для непрерывного измерения вибрационного состояния невращающихся частей машин и состояния подшипников качения. Канал измеряет уровень низкочастотной и вы-



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 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