

УЗ контроле необходимо разработать методологию процесса с целью выбора оптимальных схем прозвучивания сварного шва и алгоритмов контроля.

Применение компьютеризированных комплексов в автоматизированном УЗ контроле сварных швов труб предоставляет новые возможности в обработке регистрируемого потока случайных амплитуд эхосигналов, пришедших из зоны контроля сварного шва. Применительно к таким системам с целью повышения достоверности УЗ контроля сварного шва, исследованы и разработаны алгоритмы оценки характера отражающей поверхности дефекта корреляционным и вероятностным способами для идентификации вида выявленного дефекта сварного шва электросварной трубы.

Для обеспечения качественных кольцевых стыков при строительстве трубопроводных магистралей важным является решение задач выявления продольных трещин, дефектов типа «расслоение» в металле концевых участков труб и автоматизированное измерение толщины стенки на концах труб. Исследованы методы и разработана аппаратура автоматизированного выявления продольных дефектов, расслоений и измерения толщины стенки в краевых полосах концов стальных толстостенных трубах при щелевом способе ввода ультразвука раздельно-совмещенными пьезопреобразователями, работающими на длинный соединительный радиочастотный кабель.

По результатам исследований разработана методология и принципы построения систем ультразвукового контроля сварных соединений и концов труб с применением компьютерных технологий, разработаны структурные схемы, аналоговые и цифровые узлы и блоки, алгоритмы обработки, регистрация информации и паспортизации труб, эффективное программное обеспечение, внедренные в многоканальном автоматизированном комплексе Introskop-02, позволяющем решать вышеуказанные задачи при создании установок УЗ контроля труб.

Проделанный комплекс работ позволил разработать и внедрить в промышленность на АО «Выксунский металлургический завод» ряд многоканальных автоматизированных систем ультразвукового контроля электросварных труб.

Комплекс неразрушающих методов контроля, обеспечивающих выпуск высококачественных электросварных труб, базируется на более чем 30-ти стандартах и нормативных документах, регламентирующих применение совокупности тех или иных методов НК на различных стадиях производства труб в зависимости от области их применения. Благодаря высокому уровню организационно-технических мер, предпринимаемых АО «ВМЗ», использующем указанные системы контроля, завод с успехом выпускает электросварные трубы для подводной и надводной части ответственных трубопроводов, чем вносит весомый вклад в решение важнейших государственных проектов: СЕГ Nord Stream, Nord Stream-2, Турецкий поток и др.

### Секция 3

## ВИБРОДИАГНОСТИКА

### НОВАЯ МЕТОДИКА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ РЕЛЬСОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В ПРОЦЕССЕ ДВИЖЕНИЯ

Басакин В. В., Костюков В. Н., Костюков Ал. В., Казарин Д. В.

(НПЦ «ДИНАМИКА», г. Омск, Россия)

Целью работы является повышение достоверности диагностирования путем создания адаптивной методики оценки технического состояния однотипных узлов механической части рельсового подвижного состава в процессе движения.

Техническое состояние узлов механической части рельсового подвижного состава в значительной степени влияет на безопасность перевозок.

Применение бортовых систем диагностики технического состояния узлов механической части рельсового подвижного состава позволяет осуществлять диагностирование с минимальным интервалом, что для ответственного оборудования обеспечивает приемлемый уровень динамической ошибки, не превышающий 0,1 % [1 – 3].

Применение виброакустического метода обнаружения неисправностей роторного механического оборудования в бортовых системах позволяет обнаруживать как зарождающиеся, так и развитые дефекты. При этом наличие большого числа помех, высокого уровня шумовых составляющих, сопутствующих взаимодействию колеса и рельса, требует разработки способов диагностирования, сводящих к минимуму влияние внешних факторов на результат диагностирования по параметрам вибрации. К таким относятся способы, основанные на анализе диагностических параметров групп однотипных узлов, работающих в одинаковых внешних условиях. К одному из наиболее известных способов, основанных на анализе диагностических параметров однотипных узлов механической части, можно отнести способ контроля подшипников буксовых узлов транспортного средства в движении [4]. Однако данный способ обладает рядом недостатков, а именно:

- снижение достоверности диагностирования, обусловленное несоответствием условий определения допустимого разброса параметров в условиях депо и в реальных условиях эксплуатации;

- сложность полностью автоматической реализации способа вследствие необходимости предварительного определения допустимого предела разброса значений параметров температуры и вибрации при контроле подшипниковых узлов в стационарных условиях (в условиях депо);

– высокая трудоемкость и длительность реализации, связанная с определением в стационарных условиях допустимого разброса для каждой группы однотипных узлов.

Основной задачей, решению которой посвящена работа, является разработка методики диагностирования технического состояния группы однотипных узлов, обеспечивающей повышение достоверности диагностирования при одновременном снижении затрат на реализацию.

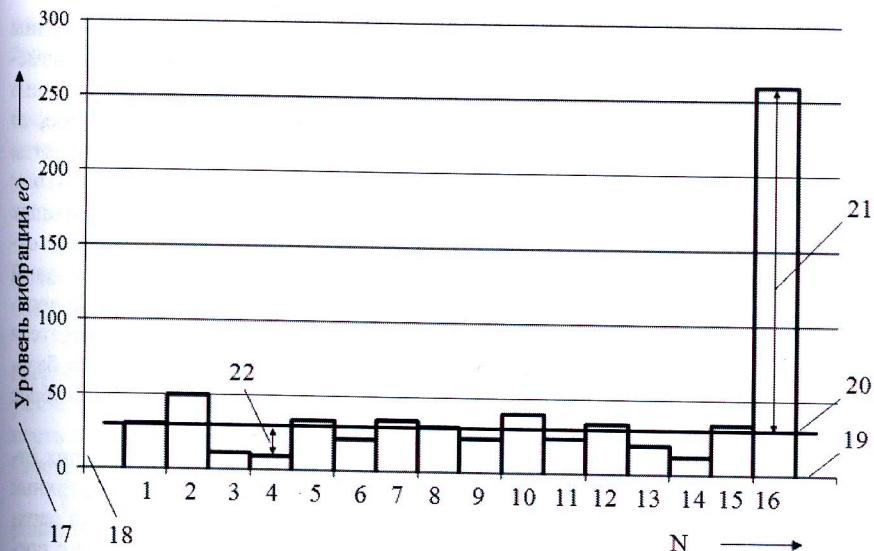
Группа в статистическом смысле характеризуется принадлежностью однотипных параметров его технического состояния к одним совокупностям.

Из теории математической статистики известны критерии оценки принадлежности двух выборок к одной генеральной совокупности, основанные на мерах разброса. Одним из наиболее известных критерий является критерий Фишера, основанный на проверке однородности дисперсий. В данном критерии рассчитанное отношение дисперсий выборок сравнивается с соответствующим табличным значением, после чего делается вывод относительно гипотезы однородности дисперсий. Данный критерий предназначен для сравнения двух выборочных дисперсий из нормальных совокупностей. Существуют критерии, основанные на мерах разброса, предлагающие приближенно нормальное распределение. К таким можно отнести критерий, в котором сравнение двух выборок осуществляют с помощью размаха. Для проверки гипотезы аналогично критерию Фишера образуют отношение размахов и проверяют, достигает ли отношение табличных значений [5, 6]. Данный критерий взят за основу представленной новой методики.

Суть предлагаемой методики поясняется рис. 1.

На рис. 1 представлена гистограмма распределения значений уровней вибрации, для каждого из контролируемой группы узлов – 16 подшипников тяговых электродвигателей (ТЭД) четырех моторных вагонов электропоезда 8-вагонной составности по истечении определенного периода эксплуатации, где в качестве базового показателя назначена медиана 20 измеренных параметров.

Методика заключается в определении внутреннего эталона – базового показателя – отклонения от которого измеренного параметра служат мерой неисправности узла. Если все узлы исправны, то их параметры имеют небольшие отклонения от эталона, распределенные вверх и вниз относительно него – выборка однородна. Если имеются неисправные узлы, то их параметры имеют большие отклонения от эталона – однородность однотипных узлов нарушается – выборка неоднородна. Проведенные исследования показали, что мерой однородности целесообразно считать отношение дисперсий разбросов относительно эталона – базового показателя или, что проще, отношение размахов верхних и нижних разбросов параметров [5].



**Рис. 1. Пример реализации методики на основе измерений вибрации ТЭД электропоезда:**  
 1 – 16 – номера контролируемых узлов, входящих в группу однотипных узлов;  
 17 – измеряемый параметр; 18 – ось со шкалой измеряемого параметра;  
 19 – ось, отражающая порядковый номер контролируемого узла;  
 20 – базовый показатель – медиана значений параметра по истечении определенного периода эксплуатации; 21 – размах верхних отклонений относительно базового показателя – медианы по истечении определенного периода эксплуатации  $R_d$ ; 22 – размах нижних отклонений относительно базового показателя – медианы по истечении определенного периода эксплуатации  $R_d$

Эта мера также табулирована [6] и определяет численное значение отношения размахов с ошибкой отклонения гипотезы однородности на 5%-м и 1%-м уровне вероятности. Это является важным преимуществом предлагаемой методики по сравнению с известными, так как не требует затрат времени на сбор статистики для оценки критических уровней, что особенно важно для диагностики разных классов неисправностей, которые отражаются большим числом диагностических признаков. При этом для снижения нагрузки на программно-аппаратную часть измерительного комплекса в качестве базового показателя можно использовать среднее значение измеренных значений каждого параметра, определенное в каждом цикле измерений.

Неисправный узел, содержащий наиболее развитую неисправность, определяют по отношению размаха, совпадающего с наибольшим отклонением, к базовому показателю.

По значениям параметров, измеренных для контролируемой группы однотипных узлов 1 – 16 определяют базовый показатель – медиану измеренных параметров 20. Если число узлов  $n$  – нечетное, то медиана равна «среднему» из упорядоченных по величине значений; если  $n$  – четное, то имеется два средних члена упорядоченной по возрастанию выборки и тогда медиана определяется как их полусумма.

Для группы однотипных узлов определяют отклонения измеренных значений параметра от базового показателя по каждому узлу. Верхние отклонения параметра соответствуют значениям, превышающим базовый показатель, нижние – не превышающим базовый показатель. Разброс верхних и нижних отклонений параметра относительно базового показателя оценивают по размахам верхних и нижних отклонений относительно базового показателя. Размах является мерой рассеяния и характеризует разброс значений параметра.

При оценке разброса по размахам отдельно для верхних и нижних отклонений значений параметров от базового показателя определяют верхний размах  $R_u$  21 и нижний размах  $R_d$  22. Сравнение отношения размаха верхних отклонений параметра к размаху нижних отклонений параметра с предельным отношением позволяет определить относятся ли распределения верхних и нижних отклонений параметра относительно базового показателя к одной генеральной совокупности, т.е. находятся ли все диагностируемые узлы в однородном, а именно, в исправном техническом состоянии [4].

При наличии в группе неисправного узла, узел, содержащий неисправность, определяют по максимальному отношению верхнего отклонения параметра, совпадающего с размахом, к базовому показателю.

В представленной методике повышение достоверности и автоматизацию процесса достигают путем:

- назначения в качестве базового показателя медианы измеренных значений, разделяющей распределение измеренных значений на две равные части, что позволяет снизить влияние выбросов в выборке на оценку базового показателя и установить точные границы критического значения отношения для оценки состояния известного числа однотипных узлов, учитывая при этом влияние, как внешних факторов, так и групповых и индивидуальных условий;

- использования отношения размахов в качестве критерия исправности технического состояния узлов, путем сравнения с предельным, позволяет автоматизировать оценку исправного состояния группы узлов, при одновременном повышении помехоустойчивости, поскольку все измерения и оценки выполняются в процессе движения транспортного средства, без захода и остановки в депо, а отношения верхних и нижних размахов являются объективным показателем состояния группы узлов;

- коррекции базового показателя в каждом цикле измерения параметров в общем темпе измерения параметров, что позволяет нивелировать

влияние условий эксплуатации и осуществить непрерывное выявление категорий исправных и неисправных узлов в реальном времени;

- принятия решения о наличии неисправного узла в группе однотипных узлов по превышению отношения размахов предельного значения, когда однородность состояния нарушается, что позволяет автоматически учитывать влияние внешних условий, тем самым исключить ложные срабатывания;

- определения неисправного узла в группе по максимальному отношению верхнего отклонения его параметра, совпадающего с размахом, к базовому показателю, как автоматически сформированному эталону;

- определения предельного отношения размаха верхних отклонений параметров к размаху нижних отклонений в зависимости от количества узлов в группе, позволяющему исключить ошибки и повысить достоверность диагностирования для произвольного количества диагностируемых узлов, благодаря табулированным статистическим границам.

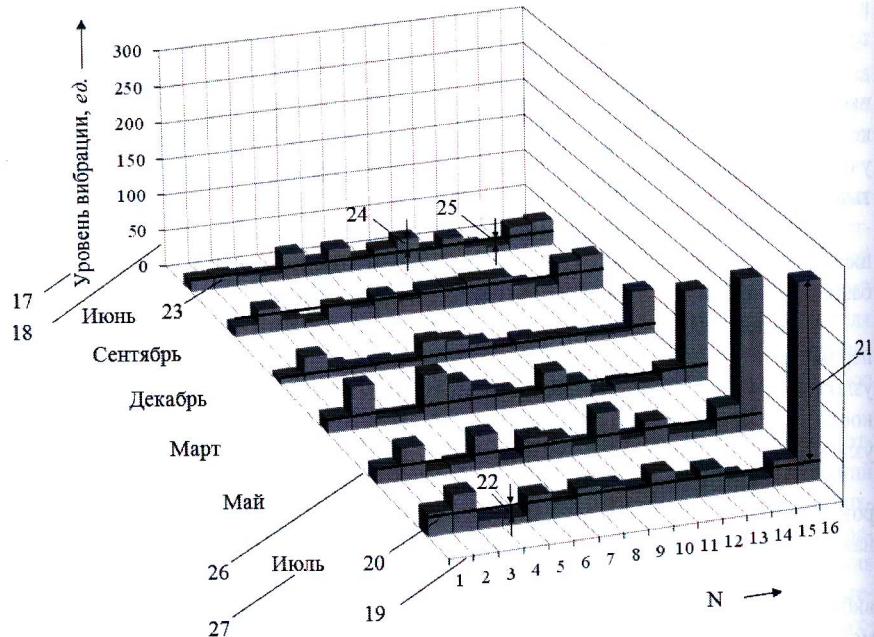
С целью практической проверки предложенной методики диагностирования технического состояния группы узлов использовалась измерительная система, выполненная согласно [8].

На рис. 2 представлены гистограммы распределения значений уровней вибрации, измеренных в условных единицах для каждого из контролируемой группы узлов – 16 подшипников тяговых электродвигателей четырех моторных вагонов электропоезда 8-вагонной составности в течение 13 месяцев эксплуатации, где в качестве базового показателя назначена медиана измеренных значений параметров. В процессе эксплуатации производились измерения уровней вибрации подшипников тяговых электродвигателей электропоезда.

Для 16 подшипников тяговых электродвигателей четырех моторных вагонов электропоезда 8-вагонной составности в начальный период эксплуатации, когда узлы, подшипники тяговых электродвигателей 1 – 16, находились в исправном (однородном) техническом состоянии, разбросы верхних и нижних отклонений параметров относительно базового показателя были соизмеримы. Базовый показатель – медиана распределения в начальный период эксплуатации 23 составил 17 единиц.

Для исследуемых шестнадцати узлов при вероятности ошибки на уровне 1% предельное отношение размахов составляет 2,76 [6].

Размахи 24 и 25, рассчитанные для верхних и нижних отклонений значений параметров от базового показателя – медианы распределения в начальный период эксплуатации, составили 18 и 8 единиц соответственно. Отношение размахов верхних отклонений к размахам нижним отклонениям равно 2,25. Полученное отношение меньше предельного ( $2,25 < 2,76$ ), следовательно, гипотеза об однородности (исправности) технического состояния принимается.



**Рис. 2. Пример реализации методики на основе измерений вибрации ТЭД электропоезда**

1 – 16 – номера контролируемых узлов, входящих в группу однотипных узлов; 17 – измеряемый параметр; 18 – ось со шкалой измеряемого параметра; 19 – ось, отражающая порядковый номер контролируемого узла; 20 – базовый показатель – медиана значений параметра по истечении определенного периода эксплуатации; 21 – размах верхних отклонений относительно базового показателя – медианы по истечении определенного периода эксплуатации  $R_u$ ; 22 – размах нижних отклонений относительно базового показателя-медианы по истечении определенного периода эксплуатации  $R_d$ ; 23 – базовый показатель – медиана параметра в начальный период эксплуатации; 24 – размах верхних отклонений относительно базового показателя в начальный период эксплуатации  $R_{u(0)}$ ; 25 – размах нижних отклонений относительно базового показателя в начальный период эксплуатации  $R_{d(0)}$ ; 26 – ось времени; 27 – месяцы проведения измерений

По истечении 13 месяцев эксплуатации базовый показатель – медиана распределения 20 изменилась и составила 30 единиц, что свидетельствует об общей деградации технического состояния узлов.

Размахи 21 и 22, рассчитанные для верхних и нижних отклонений значений параметров от базового показателя – медианы распределения 20 по истечении 13 месяцев эксплуатации, составили 230 и 21 единиц соответственно. Отношение размахов верхних отклонений к размахам нижних отклонений равно 10,9. Полученное отношение больше предельного (10,9 >

2,76), следовательно, гипотеза об однородности (исправности) технического состояния диагностируемых узлов отвергается, присутствуют как исправные, так и неисправные узлы.

Максимальное отношение верхних отклонений параметров к базовому показателю соответствует узлу 16 и составляет 7,7. Для других узлов данные отношения не превышают 0,65. Максимальное отношение, полученное для узла 16 более чем в 12 раз превышает отношения, рассчитанные для остальных узлов, следовательно, данный узел содержит неисправность.

Представленная методика реализована в составе экспертной системы бортовых систем мониторинга технического состояния оборудования электропоезда. Практическая реализация новой методики доказала ее эффективность и высокую чувствительность к изменению технического состояния узлов в группе.

Теоретический анализ и результаты практических исследований, показывают, что предлагаемая методика диагностирования технического состояния группы однотипных узлов обеспечивает повышение достоверности диагностирования и позволяет автоматизировать процесс определения технического состояния.

Новизна предложенной методики подтверждена патентом Российской Федерации [9].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костюков В. Н. Безопасная ресурсосберегающая эксплуатация МВПС на основе мониторинга в реальном времени / В. Н. Костюков, С. В. Сизов, В. П. Аристов, Ан. В. Костюков // Наука и транспорт. – 2008. – С. 8 – 13.
2. Сизов С. В. Непрерывный мониторинг состояния моторвагонного подвижного состава / В. П. Аристов, В. Н. Костюков, А. В. Костюков // Железнодорожный транспорт. – 2008. – № 6. – С. 41–42.
3. Костюков В. Н. Мониторинг безопасности производства. – М.: Машиностроение, 2002. – 224 с.
4. Патент № 2361762. Российская Федерация, МПК B61K 9/04. Способ контроля подшипников буксовых узлов транспортного средства в движении / В. А. Гапонович, З. М. Славинский, Н. Г. Шабалин, А. О. Ваганов, А. Н. Григорьев. – № 2006129174/11; заявл. 11.08.2006; опубл. 27.02.2008.
5. Закс Л. Статистическое оценивание / Л. Закс; пер. с нем. – М.: Статистика, 1976. – 598 с.
6. Большев Л. Н. Таблицы математической статистики / Л. Н. Большев, Н. В. Смирнов. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 416 с.
7. Биргер А. И. Техническая диагностика. – М.: Машиностроение, 1978. – 238 с.
8. Патент № 2386563. Российская Федерация, МПК B61L 3/00 B61L 25/00. Система мониторинга электропоездов / В. Н. Костюков, А. В. Костюков, С. Н. Бойченко, В. А. Стариков, А. В. Зайцев, А. В. Щелканов. – № 2008139837/11; заявл. 07.10.2008; опубл. 20.04.2010.



# 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