

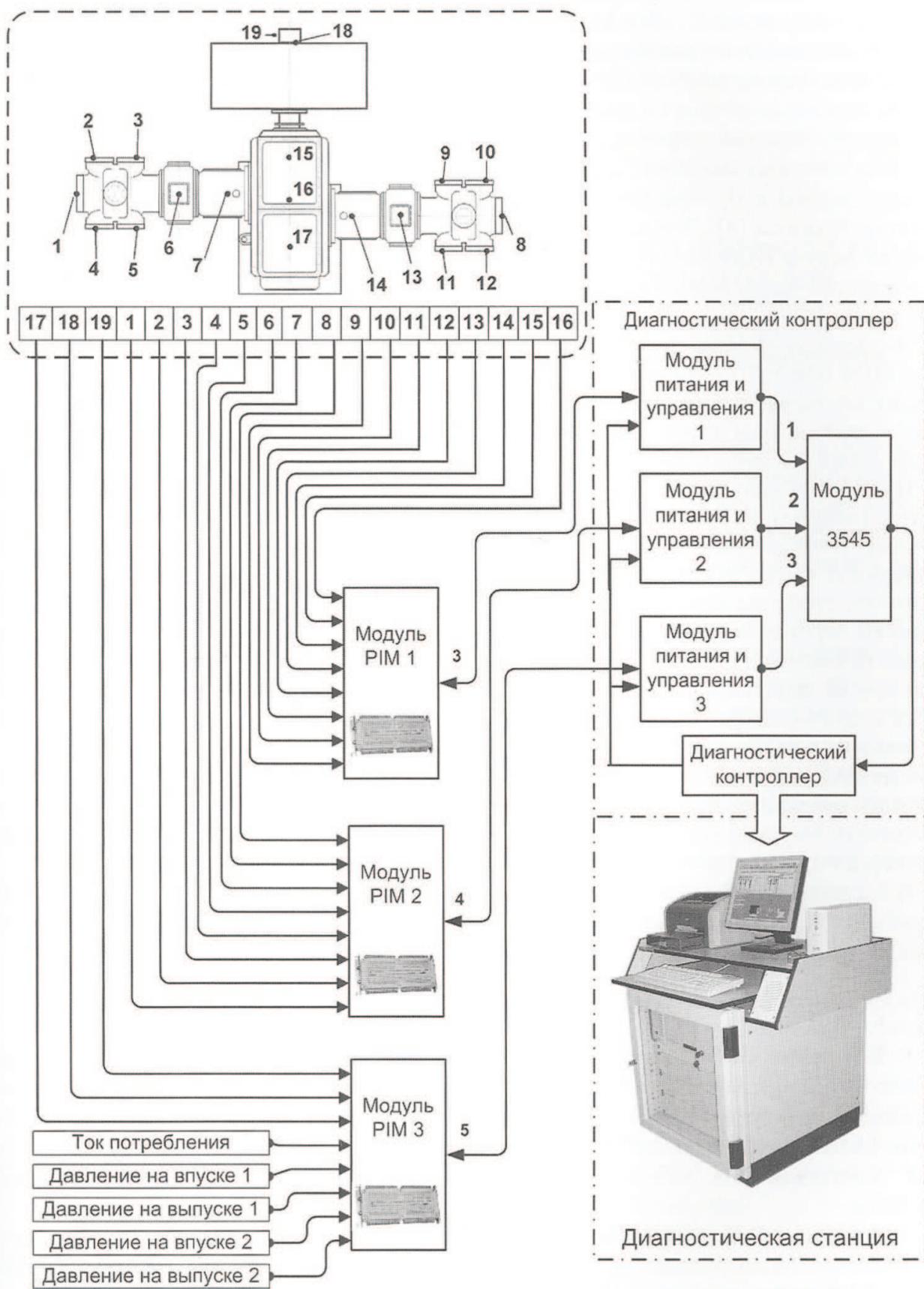
## C.48. ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ПОРШНЕВЫХ МАШИН

Костюков В.Н., Науменко А.П., НПЦ «Динамика», Омск, Россия

Практическая реализация систем мониторинга состояния поршневых машин (ПМ) и, в частности, поршневых компрессоров (ПК) производств нефтегазохимического комплекса (НХК) требует создания программно-аппаратных средств, отвечающих современному уровню развития науки и техники в области измерительных технологий, а также удовлетворения требований по обеспечению безопасной эксплуатации объектов мониторинга и самих систем во взрывопожароопасных зонах. Поэтому разработка программно-аппаратных средств систем мониторинга состояния ПМ НХК, удовлетворяющих требованиям стратегии минимальной стоимости систем и обеспечивающих создание автоматизированных систем управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией в рамках всего предприятия, является актуальной задачей.

Современный уровень развития информационно-измерительной техники дает возможность организовать сбор и обработку данных синхронно и асинхронно по множеству каналов с привязкой к углу поворота вала в заданном диапазоне частот – от долей и единиц герц до нескольких мегагерц. Учитывая, что скорость развития неисправностей ограничена, исходя из необходимого периода опроса измерительных каналов [2], наиболее целесообразным для обеспечения мониторинга состояния центробежных и поршневых компрессоров представляется использование последовательно-параллельной распределенной структуры системы. В последние годы широкое распространение получила автоматическая система мониторинга оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств КОМПАКС® [1], которая отвечает всем требованиям [6], реализующая стратегию минимальной стоимости систем диагностики и мониторинга и обеспечивающая создание автоматизированных систем управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией в рамках всего предприятия.

Структура системы мониторинга состояния динамического оборудования КОМПАКС, включая центробежные и поршневые машины, приведена на рисунке. Стационарная система мониторинга КОМПАКС® [1, 2] включает в себя диагностическую станцию (ДС) с комплектом аппаратуры, обеспечивающим: измерение параметров любых физических величин, передачу измеренной и обработанной информации в диагностическую сеть COMPACS-Net через модем или сетевое оборудование, вывод речевой информации по результатам работы экспертной системы поддержки принятия решений и по дальнейшему управлению, сохранение информации по результатам работы системы, сохранение и отображение трендов диагностических признаков, взрывобезопасность полевой сети и другие функции. В диагностическую станцию может передаваться информация из персональной системы автоматической диагностики COMPACS-Micro и контрольно-сигнальной аппаратуры КОМПАКС®-КСА. Сервер диагностической сети обеспечивает автоматическую подготовку и передачу данных в блок ТОРО ERP систем планирования ресурсов предприятия. Диагностическая станция стационарной системы позволяет принимать аналоговые (в полосе частот до 25 кГц) и цифровые данные и выдавать цифровые управляющие сигналы по 8192 дифференциальным каналам. Полевая сеть содержит измерительные модули (РIM) с функцией аналого-цифровой обработки измеренных сигналов и датчики различных физических величин, обеспечивая радиус сбора информации о состоянии оборудования не менее 1500 м, в том числе во взрывоопасной зоне. Для мониторинга состояния оборудования в зависимости от решаемых диагностических задач используются такие параметры, как: виброускорение, виброскорость, виброперемещение, температура, давление, осевой сдвиг,



Структура системы КОМПАКС мониторинга поршневых компрессоров

радиальный зазор, ток потребления, частота вращения вала, уровень жидкости (конденсата), акусто-эмиссионный сигнал, ток потребления, параметры переменного, постоянного тока (например, сигнал 4...20 мА), параметры переменного, постоянного напряжения и др.

Многолетний опыт разработки систем мониторинга оборудования, а также исследования параметров вибрационных (ВА) сигналов, позволил разработать не только принципы построения систем мониторинга и диагностики, но и методологию диагностирования ПМ [2, 3, 3].

Анализ значений параметров ВА-сигналов по углу поворота вала, т.е. частотно-временная селекция сигналов, позволяет увеличить точность постановки диагноза. Разработанные нормы и предельные значения параметров ВА-сигналов надежно определяют состояние машины [4]. Эти нормы также имеют градации Д (допустимо), ТПМ (требует принятия мер) и НДП (недопустимо). Частотно-временная селекция сигналов и синхронная обработка существенно помогают обнаружить фундаментальные причины отказов и неисправностей.

Экспертная система проводит анализ параметров ВА-сигнала и при достижении порогов ТПМ или НДП окрашивает параметр соответственно в желтый или красный цвета, выводит на экран диагностической станции текстовое сообщение и через акустический канал – речевое сообщение рекомендательного характера о принятии необходимых мер для снижения значения параметра.

Программно-аппаратные возможности системы КОМПАКС<sup>®</sup> позволяют проводить спектральный анализ ВА-сигналов и их огибающих. Экспертная система для анализа спектральных составляющих обычно использует 16 384 линии спектра сигнала. Имеется возможность вычислять точные значения оборотной частоты и проводить гармонический анализ, что особенно важно для поршневых машин, в ВА-сигнале с которых обычно присутствуют гармонические составляющие, кратные частоте вращения вала. Выделение огибающей ВА-сигнала с датчиков, установленных на различных узлах ПМ, особенно эффективно при ее синхронизации с угловым положением коленчатого вала. При этом используются специально разработанные алгоритмы, позволяющие получать сигнал, несущий максимально возможную информацию о состоянии узлов и деталей ПМ.

Система КОМПАКС<sup>®</sup> сохраняет тренды измеряемых параметров сигналов и диагностических признаков. Экспертная система проводит анализ скорости изменения трендов, абсолютные значения которых нормированы для различных параметров сигналов и диагностических признаков, и выдает соответствующие предписания персоналу [2].

В настоящее время система КОМПАКС<sup>®</sup> [5] диагностирует состояние около 40 ПМ 10 типов на опасных производствах в городах Ангарске, Астрахани, Ачинске, Омске, Саратове, Сызрани и др.

## Литература

1. Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Костюков А.В. Автоматизированные системы управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств (АСУ БЭР – КОМПАКС<sup>®</sup>) / под ред. В.Н. Костюкова. М.: Машиностроение, 1999. 163 с.
2. Костюков В.Н. Мониторинг безопасности производства. М.: Машиностроение, 2002. 224 с.
3. Костюков В.Н., Науменко А.П. Практические основы вибрационной диагностики машинного оборудования: учеб. пособие / под ред. В.Н. Костюкова. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2002. 108 с.
4. Костюков В.Н., Науменко А.П. Нормативно-методическое обеспечение мониторинга технического состояния поршневых компрессоров // Контроль. Диагностика. № 11. 2005. С. 20–23.

5. Костюков В.Н., Науменко А.П. Система мониторинга технического состояния поршневых компрессоров нефтеперерабатывающих производств // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2006. № 10. С. 38–48.

6. Системы мониторинга опасных производственных объектов. Общие технические требования: СА 03-002-05: Стандарт ассоциации. Серия 03. М.: Компрессорная и химическая техника, 2005. 42 с.

7. Науменко А.П. Методология вибраакустической диагностики поршневых машин. // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Спец. вып. Сер. машиностроение. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. С. 85–94.

#### **С.49. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ ТИПА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСНОГО СЛОЯ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН**

Устинов И.К., *Московский государственный университет приборостроения и информатики, Москва, Россия*

В работе показано, что при определении напряженного состояния поверхностного слоя металлоизделий проводниковым вихревоковым преобразователем векторный потенциал поля реакции вихревых токов содержит информацию о его величине во всех трех составляющих:  $A_x$ ,  $A_y$ ,  $A_z$ . Для измерения этих компонентов предложены три варианта построения вихревоковых преобразователей (ВТП), позволяющие контролировать напряженное состояние.

1. Параметрический или трансформаторный ВТП, измеряющий компоненту поля реакции  $A_y$ . При этом возбуждающее поле также содержит эту компоненту вектор-потенциала.

2. Трансформаторный ВТП с взаимно-ортогональными обмотками, измеряющий компоненту  $A_x$  векторного потенциала поля реакции изделия. Возбуждающее электромагнитное поле не содержит компоненту  $A_x$ .

3. Трансформаторный ВТП с ортогональными обмотками, измеряющий компоненту  $A_z$  вектор-потенциала поля реакции. Возбуждающее поле также не содержит эту компоненту потенциала.

В двух последних случаях преобразователи не будут реагировать на объект контроля с изотропными электрофизическими свойствами. Появление сигнала в их измерительных обмотках свидетельствует о наличии анизотропии электрофизических свойств материала.

Для первого варианта ВТП расчет вносимых параметров можно выполнить, используя известную методику, предложенную Ю.К. Федосенко.

Более сложной задачей является задача вычисления вносимых параметров для второго и третьего вариантов ВТП. Алгоритм расчета для этого случая можно представить в следующем виде.

1. Расчет компоненты  $A_y$  вектор-потенциала поля реакции объекта.

2. Вычисление компоненты  $A_x$  вектор-потенциала по реакции из уравнения Гельмгольца. При этом компонента  $A_y$  как в металле, так и в воздухе полагается известной, т.е. найденной в пункте 1.

3. Вычисление компоненты  $A_z$  из второго уравнения Гельмгольца.

Эти уравнения могут быть решены только численными методами, поскольку векторные потенциалы  $A_x$ ,  $A_z$  – сложные функции координат  $X$  и  $Z$ .

4. Определив вектор-потенциал  $A_x$ , рассчитываются вносимые напряжения по известным формулам.

Предложенный подход может быть использован и для расчета других типов ВТП напряженного состояния, например проходных преобразователей.



7-я Международная выставка и конференция  
**НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ  
И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА  
В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**11-13 марта 2008**

СК "ОЛИМПИЙСКИЙ"  
МОСКВА

# ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



РОССИЙСКАЯ  
АККРЕДИТАЦИЯ



**EF** European Federation for  
**NDT** Non-Destructive Testing

Спонсоры конференции:

**ASSOCIATION "СПЕКТР-ГРУПП"**  
**ASSOCIATION "SPEKTR-GROUP"**



primexpo

**индустрия**  
**СЕРВИС**



**ФЛЭШ** ЭЛЕКТРОНИКС  
**FLASH ELECTRONICS Ltd**



Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору  
Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике  
Федеральное агентство по науке и инновациям

Российская академия наук

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии  
Российский союз промышленников и предпринимателей

Европейская федерация по неразрушающему контролю (EFNDT)  
Всемирный комитет по неразрушающему контролю (ICNDT)

# НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Тезисы докладов  
7-й Международной конференции

11–13 марта 2008 г.  
Москва



EF European Federation for  
Non-Destructive Testing  
NDT



## СПОНСОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

 АССОЦИАЦИЯ "СПЕКТР-ГРУПП"  
ASSOCIATION "SPEKTR-GROUP"

  
primexpo

 индустрия  
СЕРВИС



ФЛЭШ ЭЛЕКТРОНИКС  
FLASH ELECTRONICS Ltd



Москва  
Машиностроение  
2008

УДК [681.518.54+620.19](035)

ББК 30.82-5я2

H54

H54      **Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности:**  
тезисы докладов 7-й Международной конференции. Москва, 11–13 марта 2008 г. –  
М.: Машиностроение, 2008. – 208 с.: ил.

ISBN 978-5-94275-394-8

Сборник содержит тезисы научных докладов, представленных на 7-й Международной конференции. Изложены результаты работ более 200 российских и зарубежных фирм – мировых лидеров по производству средств неразрушающего контроля и технической диагностики. В состав сборника вошли работы в области техногенной диагностики, антитеррористической диагностики, экологической диагностики, технического регулирования и определения остаточного ресурса.

УДК[681.518.54+620.19](035)

ББК 30.82-5я2

ISBN 978-5-94275-394-8

© РОНКТД, 2008

# Содержание

## ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

Президиум: Пуликовский К.Б., Клюев В.В., Бобров В.Т., Мигун Н.П., Троицкий В.А. 15

П.4 РАЗВИТИЕ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ	
Мигун Н.П. ....	15
П.5 МАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ	
Горкунов Э.С. ....	17
П.6 УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ НАПРЯЖЕННОГО БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЗУАЛИЗИРУЮЩИХ МЕТОДОВ	
Мильман Б., Краузе М., Миленц Ф., Фризе М., Виггенхаузер Н., Майер К. ....	18
П.7 РАЗРАБОТКИ ИЭС ИМ. Е.О. ПАТОНА В ОБЛАСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	
Патон Б.Е., Троицкий В.А. ....	18
П.8 П.К. ОЩЕПКОВ – К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ	
Матвеев В.И. ....	20
П.9 О РОЖДЕНИИ РАДИОЛОКАЦИИ	
Голотюк В.Л. ....	21
П.10 СЛОВО ОБ УЧЕНОМ – ЗЕМЛЯКЕ	
Барсуков В.К. ....	23
П.11 ЖИЗНЬ И МЕЧТА П.К. ОЩЕПКОВА	
Климов К.М. ....	25
П.12 О РАЗВИТИИ ИДЕЙ П.К. ОЩЕПКОВА В ОБЛАСТИ НОВЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ	
Сидоров М.А. ....	25

## СЕКЦИЯ 1. Техногенная диагностика

Руководители секции: Бобров В.Т., Федосенко Ю.К., Сухоруков В.В. 27

1.1 ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МАГНИТНЫХ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ	
Горкунов Э.С., Мужицкий В.Ф. ....	27
1.2 СИСТЕМА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ РЕЛЬСОВ В ЦИКЛЕ «ИЗГОТОВЛЕНИЕ – ЭКСПЛУАТАЦИЯ – ВОССТАНОВЛЕНИЕ – СВАРКА»	
Гурвич А.К. ....	28
1.3 СОСТОЯНИЕ СРЕДСТВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ РЕЛЬСОВ В РОССИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ	
Горделий В.И., Горделий А.В., Чебан В.И. ....	30
1.4 РАЗВИТИЕ СИСТЕМ НАНОДИАГНОСТИКИ	
Клюев В.В., Матвеев В.И. ....	32
1.5 ПЕРЕНОСНОЙ МАТЕЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ МИКРОСКОП ГИБ-2М И КОМПЛЕКС СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ НА ЕГО ОСНОВЕ	
Горбачев А.Н. ....	33

C.40	ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ДЕСТРУКЦИИ НА КОЭРЦИТИВНУЮ СИЛУ СТАЛИ Довгилович С.Е., Шатерников В.Е.	129
C.41	ИССЛЕДОВАНИЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ, ИМЕЮЩИХ СЛОЖНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОЖИДАНИЕ Забиров Р.Р.	130
C.42	ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ МНОГОКОНТУРНЫЙ КОМПЛЕКС ПО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЮ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ Сажин В.А.	132
C.43	МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОВИЗОРОМ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ В ПРОЦЕССЕ СЖАТИЯ Смирнов А.С.	133
C.44	АКУСТИКО-ЭМИСИОННЫЙ КОНТРОЛЬ НА УСТАНОВКЕ ДЕТОКСИКАЦИИ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СТОЧНЫХ ВОД Цариковский А.И., Сажин С.Г.	135
C.45	КОМПЛЕКСНАЯ ДИАГНОСТИКА ГИБОВ КОТЕЛЬНЫХ И ПАРОПРОВОДНЫХ ТРУБ Дубов А.А., Миляев А.И., Ларин В.В.	136
C.46	ФИЗИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛОВ И ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ Власов В.Т., Дубов А.А.	137
C.47	НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ Костюков В.Н., Науменко А.П., Бойченко С.Н., Костюков Ал.В.	138
C.48	ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ПОРШНЕВЫХ МАШИН Костюков В.Н., Науменко А.П.	142
C.49	ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ ТИПА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСНОГО СЛОЯ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН Устинов И.К.	145
C.50	ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ Остапущенко Д.Л.	146
C.51	АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ПОВРЕЖДЕННОСТИ МЕТАЛЛОВ, ПОДВЕРГАЕМЫХ СИЛОВОМУ НАГРУЖЕНИЮ Мишакин В.В., Кассина В.В., Наумов М.Ю., Мишакин С.В.	147
C.52	ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЕФЕКТА СПЛОШНОСТИ В ФЕРРОМАГНИТНОМ ИЗДЕЛИИ Мужицкий В.Ф., Бакунов А.С., Шлеин Д.В., Загидулин Р.В.	148