При моделировании взаимодействия поверхности приблизились к предполагаемым реальным условиям эксплуатации приборов и тем самым смогли учесть погрешность от неоднородности поля.

VI. Выводы и заключение

Исходя из полученных результатов моделирования сферической поверхности датчика электромагнитных полей в полях, приближенных к реальным измеряемым поверхностям, а именно ломаной линии, кривой поверхности и сферического источников полей, можно предположить, что именно такие случаи являются худшими условиями работы датчика напряженности ЭМП и результаты могут быть использованы при проектировании приборов с учетом вносимой погрешности из-за неоднородности поля для улучшения метрологических характеристик.

Список литературы

1. Росстандарт. Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. URL: http://www.fundmetrology.ru/ (дата обращения: 16.03.17).
2. Колмогорова С.С., Бирюков С.В. Обзор существующих датчиков и средств измерения напряженности электростатического поля. Омск, 2011. 22 с. Деп. в ВИНИТИ 22.11.11, № 504-В2011.
3. Колмогорова С.С. Взаимодействие проводящей поверхности сферического датчика напряженности с электростатическим полем линии // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: тез. докл. 15-го юбил. междун. молодежн. форума. Харьков: ХНУРЭ, 2011. С. 226–227.
4. Баранова С.С., Бирюков С.В. Расчет напряженности электрического поля сферическим датчиком // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП-2010): материалы X междун. конф. Новосибирск: НГТУ, 2010. Т. 2. С. 87–90.
5. Пат. 106959 Российская федерация, МПК G 01 R 29/14. Датчик измерения напряженности электростатического поля / Бирюков С.В., Колмогорова С.С. № 2011110185/28; заявл. 17.03.11; опубл. 27.07.11, Бюл. № 21.
6. Колмогорова С.С., Бирюков С.В. Конструктивные особенности сферического датчика и его взаимодействие с электрическими полями различных источников // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. 2012. № 2 (110). С. 229–234.

УДК 681.518.5

ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Ал.В. Костюков, С.Н. Бойченко, А.В. Дудкин
ООО НПЦ Динамика, г. Омск, Россия

Аннотация **– Статья посвящена повышению достоверности диагностирования асинхронного электродвигателя по параметрам вибрации в системах непрерывного мониторинга. В диагностике асинхронного электродвигателя важным является разделение сигнала на механические и электрические составляющие с помощью взятия длинной выборки сигнала, обеспечивающей необходимую разрешающую способность. При этом применяется комбинированный алгоритм мониторинга, который позволяет разделять механические и электрические составляющие с сохранением минимального периода мониторинга. На основе полученных экспериментальных данных установлено, что предложенный комбинированный алгоритм мониторинга разделяет механические и электрические составляющие и обеспечивает минимальный период мониторинга.**

Ключевые слова: **асинхронный электродвигатель, механические дефекты, электрические дефекты, длинная временная реализация сигнала, комбинированный алгоритм мониторинга.**

I. Введение

Неотъемлемой частью технологических установок производственно-промышленного комплекса являются асинхронные электродвигатели, и контроль их технического состояния является важной задачей для обеспечения безопасности производственных объектов. Наиболее эффективным методом контроля технического состояния агрегатов в условиях эксплуатации является применение систем непрерывного мониторинга по сигналам вибрации [1].

В асинхронном электродвигателе могут встречаться как механические дефекты, так и чисто электрические дефекты, возникающие под действием электромагнитных полей в электродвигателе. Действие на ротор и статор неуравновешенных электромагнитных сил вызывает вибрацию, благодаря чему датчики колебаний могут выявить многие из этих дефектов [2].

В системах непрерывного мониторинга, как правило, используют временные реализации сигнала вибрации порядка 0.4 сек с разрешающей способностью спектра 2.5 Гц, что обусловлено обеспечением нижней границы рабочего диапазона частот 10 Гц, при минимальной динамической ошибке определения технического состояния агрегата, определяемой периодом мониторинга. Однако такой разрешающей способности спектра недостаточно для выявления дефектов, связанных с разделением механической и электрической составляющей на частоте 100 Гц при работе электродвигателя на 3000 об/мин, вследствие этого происходит слияние второй сетевой гармоники и второй оборотной гармоники в одну спектральную линию.

В свою очередь, при увеличении временной реализации сигнала вибрации до 8 с (разрешающая способность спектра 0.125 Гц), увеличивается и период мониторинга, что приводит к увеличению динамической ошибки определения технического состояния. Данную проблему можно решить путем комбинирования двух режимов измерения системы мониторинга: с временной реализацией сигнала вибрации 0.4 с и 8 с.

Целью данной работы является разделение механических и электрических составляющих спектра сигнала вибрации при работе асинхронного электродвигателя с сохранением минимального периода мониторинга агрегата.

II. Постановка задачи

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

− выделить диагностические признаки механических и электрических источников вибрации, основанные на применении длинной временной реализации сигнала;

− разработать комбинированный алгоритм мониторинга, который позволяет разделять механические и электрические источники вибрации с сохранением минимального периода мониторинга;

− внедрить комбинированный алгоритм мониторинга в конфигурацию диагностической системы.

III. Теория

Электрическим машинам присущи все дефекты роторного оборудования, которые осложняются электрическими дефектами. В электродвигателях с частотой вращения 3000 об/мин имеет место магнитное притяжение между статором и ротором, которое изменяется с удвоенной частотой сети (100 Гц). Эту частоту трудно отличить от второй гармоники оборотной частоты 99,648 Гц при измерении временной реализации сигнала с недостаточной разрешающей способностью спектра (рис. 1).

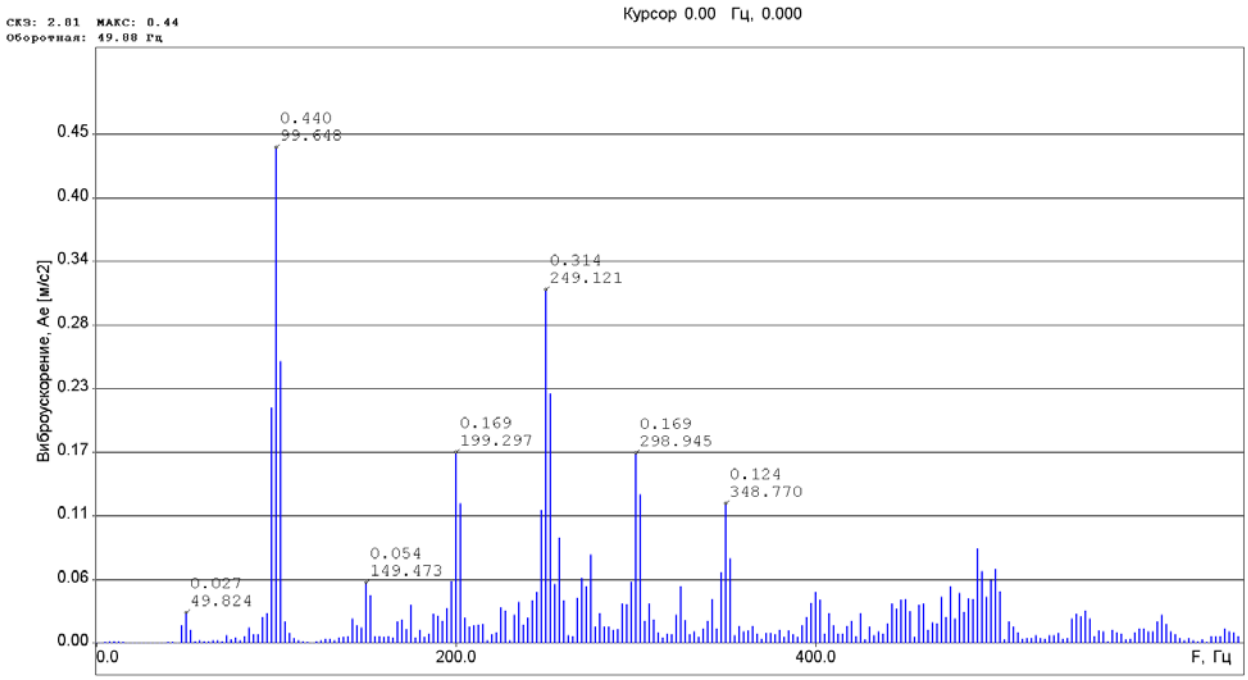

Рис. 1. Спектр виброускорения с временной реализацией T = 0.4 с

Для того чтобы разделить механическую и электрическую компоненту спектра необходимо использовать временную реализацию сигнала порядка 8 с., которая обеспечивает разрешающую способность спектра 0.125 Гц. На рис. 2 приведен спектр виброускорения с длинной выборкой, где разделены электрические (f = 100.55 Гц) и механические (f = 98.179 Гц) компоненты.

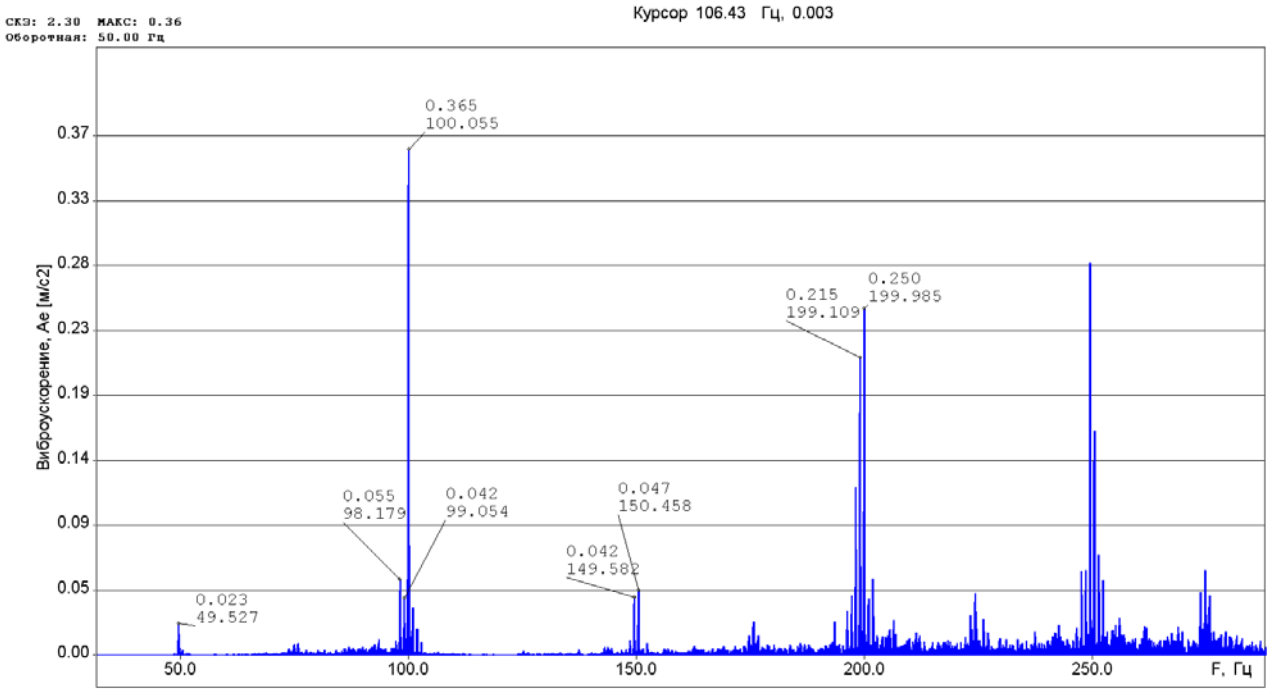

Рис. 2. Спектр виброускорения с временной реализацией T = 8 с

Измерение длинных временных реализаций сигналов увеличивает период мониторинга агрегатов, что приводит к увеличению динамической ошибки определения технического состояния. Для обеспечения минимального периода мониторинга необходимо применить комбинированный алгоритм мониторинга (рис. 3).

При работе системы в штатном режиме измеряется короткая временная реализация сигнала, рассчитываются диагностические признаки, и определяется состояние агрегата, после этого формируются экспертные сообщения и выводятся на экран.

Для каждого технического состояния агрегата устанавливается свой период измерения длинной реализации сигнала:

- Тдоп – агрегат находится в состоянии “ДОПУСТИМО” – раз в 2 часа;
- Ттпм – агрегат находится в состоянии “ТРЕБУЕТ ПРИНЯТИЕ МЕР”– раз в 12 мин;
- Тндп – агрегат находится в состоянии “НЕДОПУСТИМО”– раз в 2-3 мин.

Минимальный период мониторинга для каждого технического состояния асинхронного электродвигателя определяется минимальной динамической ошибкой технического состояния оборудования [1].

Система переходит в режим измерения длинной временной реализации сигнала, в том случаи, если Ти (текущее время измерения системы) будет превышать Тдв (период измерения длинной выборки). После этого рассчитываются диагностические признаки механических и электрических составляющих по формулам (1 – 3), формируются и выводятся на экран соответствующие экспертные сообщения.

Для выделения второй гармоники сетевой частоты 100 Гц введен диагностический признак V_{2e} (уровень второй гармоники сетевой частоты в спектре виброскорости), частота которого рассчитывается по формуле:

$$f_{2E} = 2 \cdot f_C, \tag{1}$$

где f_c – линейная частота сети.

Для выделения второй гармоники оборотной частоты введен диагностический признак $V_{2м}$ (уровень второй гармоники частоты вращения в спектре виброскорости), частота которого рассчитывается по формуле:

$$f_{2M} = 2 \cdot f_R, \tag{2}$$

где $f_{об}$ – частота вращения электродвигателя.

Рис. 3. Комбинированный алгоритм мониторинга

Диагностический признак kV_{em} (отношение уровня второй гармоники сетевой частоты к уровню второй гармоники частоты вращения в спектре виброскорости), рассчитывается по формуле:

$$kV_{em} = \frac{V_{2e}}{V_{2м}}, \quad (3)$$

где V_{2e} – уровень второй гармоники сетевой частоты в спектре виброскорости;

$V_{2м}$ – уровень второй гармоники частоты вращения в спектре виброскорости.

Если значение признака $kV_{em} > 1$, то доминирующей составляющей в спектре виброскорости является электрическая составляющая. Если $kV_{em} < 1$, то доминирующей составляющей будет механическая составляющая.

IV. Результаты экспериментов

На рис. 4 приведены 2 − недельные тренды переднего подшипника двигателя консольного насоса по признакам V_{2e} (амплитуда второй гармоники сетевой частоты в спектре виброскорости), $V_{2м}$ (амплитуда второй гармоники частоты вращения в спектре виброскорости).

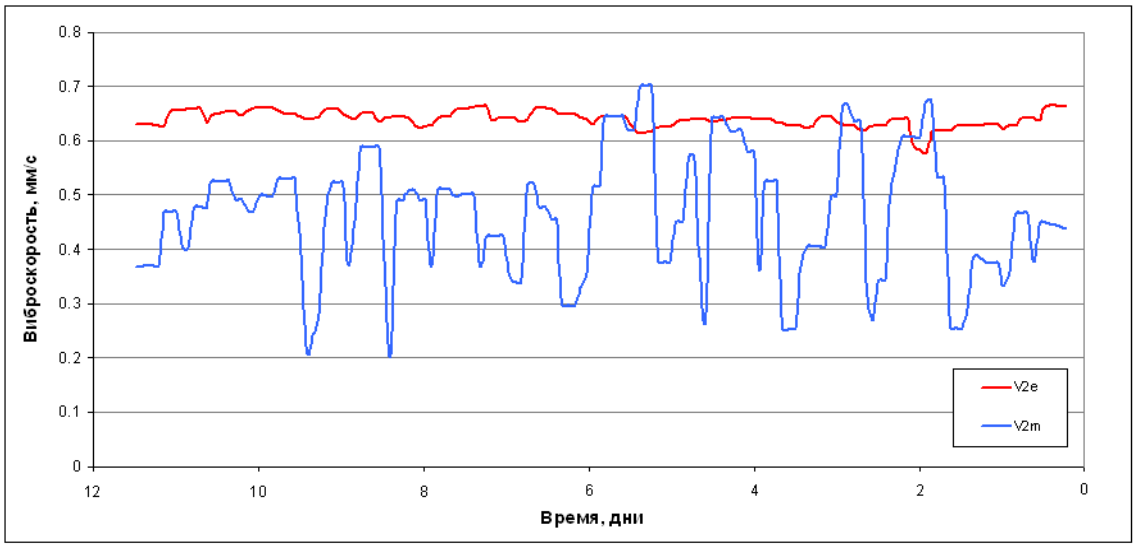

Рис. 4. Тренды признаков V_{2e} и $V_{2м}$

На рис. 5 приведены 2 − недельные тренды переднего подшипника двигателя консольного насоса признака kV_{em} (отношение уровня второй гармоники сетевой частоты к уровню второй гармоники частоты вращения в спектре виброскорости).

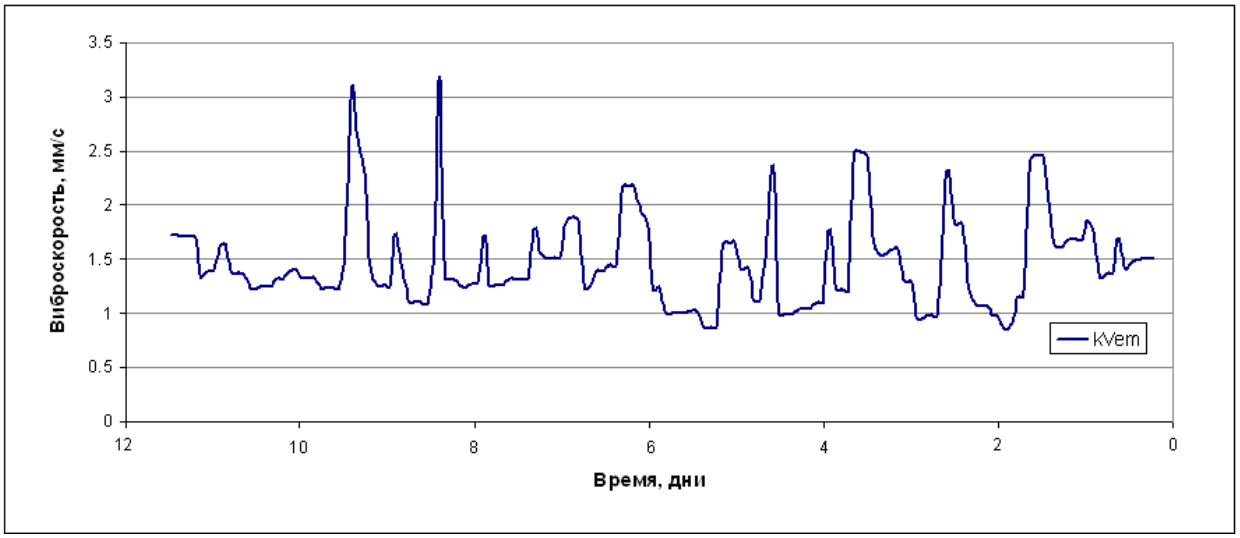

Рис. 5. Тренд признака kV_{em}

V. Обсуждение результатов

На рис. 4 видно, что во время работы агрегата значения признака V_{2e} (уровень второй гармоники сетевой частоты в спектре виброскорости) примерно в 1,5 – 2 раза больше значений признака $V_{2м}$ (уровень второй гармоники частоты вращения в спектре виброскорости) и так как значения признака kV_{em} (рис. 5), больше единицы, то можно сделать вывод, что доминирующей компонентой в спектре виброскорости является электрическая компонента.

VI. Выводы и заключение

На основе полученных экспериментальных данных установлено, что предложенный комбинированный алгоритм мониторинга позволяет разделить механические и электрические составляющие при работе асинхронного электродвигателя на 3000 об/мин. При этом комбинирование режимов измерения коротких и длинных выборок обеспечивает минимальный период мониторинга для своевременного распознавания дефектов.

Список литературы

1. Костюков В. Н. Мониторинг безопасности производства. М.: Машиностроение, 2002. 224 с.
2. Костюков В. Н, Науменко А. П. Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин: учеб. пособие; М-во образования и науки РФ, ОмГТУ; НПЦ «Динамика». 2-е изд., с уточн. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. 378 с.

УДК 514.88

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ

Е.В. Любчинов, А.С. Нитейский, К.Л. Панчук
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

***Аннотация* – В настоящей работе рассматривается циклографический метод получения направляющей линии цилиндрического отражателя. Метод базируется на оптических свойствах циклографической модели пространственной кривой. Он позволяет выполнять оптические преобразования геометрических образов различных источников излучения. При этом можно получать отражательные направляющие линии различной формы, которые позволяют выполнить оптические преобразования одного пучка прямых, моделирующего множество лучей источника, в другой, моделирующий множество отраженных лучей.**

***Ключевые слова:* геометрическое моделирование, циклографическое отображение, медиальные оси, отражательные линии и поверхности.**

I. Введение

Задача преобразования излучения, моделируемого в виде пучка прямых, из одной формы в другую возникает при расчёте и проектировании оптических, лазерных, светотехнических и радиолокационных систем различного назначения, а также в теле- и радиокоммуникациях. Одной из главных задач данных областей является изучение отражающих свойств поверхностей различной геометрии. Отражатели в оптических системах применяются для освещения предмета, позволяя наилучшим образом использовать световой поток источника света для получения максимальной равномерности и освещенности предмета [1]. В радиолокации отражатели активно применяются для измерения расстояний, в строительстве, навигации и др. [2]. В работах [1, 3] рассматриваются отражатели, применяемые в полиграфической промышленности, при этом разработаны методики расчета и проектирования отражателей различных форм (параболические, эллиптические, криволинейные, составные и пр.). Получение уравнения линии отражателя в данных работах требует решения систем нелинейных уравнений, что делает решение этой задачи затруднительным. Ряд работ посвящен расчету отражательной поверхности, фокусирующей излучение в произвольную кривую в пространстве [4]. Однако и здесь метод расчета базируется на решение систем дифференциальных уравнений. Проектирование отражательных поверхностей различной геометрии является достаточно трудоёмким процессом. В научной литературе аналитические решения этой задачи чаще всего встречаются для проектирования отражательных поверхностей простой геометрической формы. Поэтому разработка геометрических моделей с доступными

**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

А.В. Симаков, Г.В. Никонова, А.Ю. Милютин, П.В. Сак
Автоматический контроль параметров гидросистемы силовых установок 164

Е.Н. Слободина
Основные положения расчетной модели процесса кипения при разрежении в вакуумном котле..... 167

И.С. Сухачев, С.В. Сидоров, М.А. Сушков
Разработка имитационной модели и метода анализа воздействий внутренних
и внешних перенапряжений на погружные установки электроцентробежных насосов добычи нефти 170

А.А. Татевосян, В.С. Мищенко
Моделирование генераторного режима синхронной магнитоэлектрической машины 175

И.В. Фёдоров, Е.Н. Леонов , Д.В. Федоров, А.С. Фёдорова
Введение в теорию оптового рынка электроэнергии электроэнергетических систем с распределенной генерацией..... 180

Л.Ю. Шелехина, А.В. Симаков, А.В. Дед
Методы расчетов потерь, обусловленных несимметрией токов и напряжений 183

А.С. Ширяев, С.С. Гиршин
Особенности комплексного подхода к внедрению мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях..... 188

К.С. Шульга, П.В. Рысев, Д.В. Рысев, С.Ю. Прусс
Повышение энергоэффективности малозагруженных асинхронных двигателей путем регулирования напряжения..... 192

Приборостроение, телекоммуникации. Электроника и радиотехника.

А.П. Аверченко, Б.Д. Женатов, К.В. Ремизова
Разработка оптимального алгоритма самоорганизующейся сети передачи статистической информации
об экологической обстановке..... 196

Н.И. Алексеева
Микросхемы микропроцессоров, конструкции, технологии, применение 199

Е.Д. Бычков, В.А. Бойко
Метод оценки состояний узлов беспроводной сети на основе модели нечеткого контроллера 204

В.К. Воропаев, А.П. Аверченко
Антенная решётка для цифрового телевещания 208

Р.А. Дубинин, А.Г. Козлов, Т.Н. Торгаш
Моделирование входного импеданса микроэлектронного резонатора на ОАВ для биосенсоров 212

В. Ерохин, С.А. Завьялов
АЦП двойного интегрирования в интегральном исполнении..... 216

С.А. Жуков, Г.С. Никонова, И.В. Никонов
Дискретно-перестраиваемые генераторы с устройствами на ПАВ 222

С.А. Зарубин, В.Г. Хомченко
Метод определения рабочей зоны автоматического манипулятора параллельной структуры 226

В.А. Захаренко, Я.Р. Веприкова
Исследование пирометрического способа измерения температуры расплавов..... 231

А.А. Кабанов
Система мониторинга климатических параметров серверного помещения 236

А.Г. Козлов, Е.А. Фадина
Исследование импеданса электрохимической ячейки с встречно-штыревыми микроэлектродами
на основе анализа ее электрического поля 239

А.С. Колмогоров, Д.С. Баранов, С.С. Колмогорова, С.В. Бирюков
Взаимодействие проводящей поверхности датчика напряженности с полями источников электрического поля 245

Ал.В. Костюков, С.Н. Бойченко, А.В. Дудкин
Повышение достоверности диагностирования асинхронного электродвигателя в системах мониторинга реального времени..... 249

Е.В. Любчинов, А.С. Нитейский, К.Л. Панчук
Геометрическое моделирование криволинейных отражателей 254