

удаленными участниками посредством телекоммуникационной технологии CDMA [3].

Основные преимущества СЭК: экспресс-контроль непосредственно на месте исследований; одновременный анализ температуры, удельной электропроводности, рН, общей концентрации примесей, концентрации хлора, нитратов и других ингредиентов; наличие микроконтроллера, ПК, развитой измерительной периферии, которая воспринимает и использует априорную и информацию, принимает решение, контролирует свою работоспособность. Компьютерная СЭК позволяет обрабатывать, при необходимости, сигналы десятков сенсоров, тогда одна шина данных по очереди будет обрабатывать сигналы нескольких сенсоров [2–4].

Полученные экспериментальные данные подтвердили реальную возможность оперативного определения параметров водной среды и позволили оценить порядок их случайных флуктуаций в различных условиях [5].

Разработано программное обеспечение методов и средств экспериментального исследования параметров водной среды на базе языка C++, преимуществами которого являются высокая производительность и эффективность использования памяти, удобство доступа к данным по протоколу HTTP, работа в реальном времени, одновременное обработки результатов измерений и передачи данных по заданному адресу, что важно при выявлении и предотвращении техногенных катастроф.

**Выводы.** На основе теоретических и экспериментальных исследований разработаны компьютерные СЕК, что позволило автоматизировать процессы контроля параметров водной

УДК 681.2

## ЭЛЕКТРОРЕЗИСТИВНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ПРИРАБОТКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Подмастерьев А.К., Подмастерьев К.В.

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»  
Орел, Российская Федерация

Будучи наиболее распространенными элементами механических систем, подшипники качения (ПК) во многом определяют эксплуатационные характеристики машин и механизмов. Фактическое состояние ПК в изделии формируется под влиянием многих факторов, при этом существенный вклад оказывает начальный период эксплуатации – приработка. При приработке происходят сложные процессы, приводящие к изменению шероховатости и физико-химических свойств рабочих поверхностей деталей, перераспределению и изменению свойств смазочного материала (СМ) и др., что во многом формирует будущую работоспособность опоры и изделия.

среды, повысить точность и значительно сократить время измерений, проводить первичная обработка данных, оперативно передавать информацию и вести текстовый диалог с удаленными участниками мониторинга с помощью телекоммуникационной технологии CDMA.

1. Погребенник, В.Д. Оперативне вимірювання інтегральних параметрів водного середовища та донних відкладів: монографія. – Львів : Вид-во «СПОЛОМ», 2011. – 280 с.
2. Погребенник, В.Д., Романюк, А.В. Комп'ютерні вимірювально-інформаційні системи для оперативного екологічного моніторингу водного середовища: монографія. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2013. – 160 с.
3. Volodymyr Pohrebennyk, Anatoliy Romanyuk, Roman Politylo. The computerized system for operational environmental monitoring of the aquatic medium // XV International PhD Workshop OWD, 2013, 19-22 October. – P. 334-337.
4. Volodymyr Pohrebennyk, Anatoliy Romanyuk. Operative determination of integrated parameters of water environment // Gazeta Cukrownicza. – Warszawa, 2009, N 10. – P. 262-263.
5. Заплатинський, М.В., Погребенник, В.Д., Романюк, А.В., Щербак, Н.Г. Динаміка зміни гідрохімічних характеристик підземних вод водозабору “Плугів” // Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції “Ресурси природних вод Карпатського регіону. Проблеми охорони та раціонального використання”. – Львів: ЛьВЦНТЕІ, 2008. – С. 106-110.

Для обеспечения требуемой надежности целесообразно завершить процесс приработки ПК до ввода изделия в эксплуатацию. Для этого проводят технологические операции обкатки, прикатки и т.п., которые реализуются, как правило, многоступенчато при последовательном изменении частоты вращения и (или) нагрузки. При этом критерием изменения режимов или окончания приработки является стабилизация процессов в зонах трения. Таким образом, для управления указанными технологическими операциями и обеспечения их эффективности необходимы методы, обеспечивающие получение достоверной информации о процессах, происходящих в зонах трения ПК при приработке.

Для решения этой задачи сегодня применяются, в основном, тепловые, а иногда - вибрационные методы. Эти методы инерционны и имеют невысокую чувствительность к изменению состояния ПК при приработке.

Нами предлагается электрорезистивный метод, основанный на оценке состояния ПК по статистическим характеристикам его флуктуирующего электрического сопротивления.

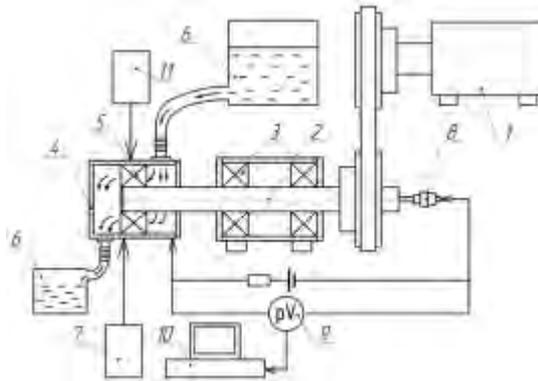
Сущность заключается в следующем. При работе ПК между телами качения и кольцами формируется устойчивая пленка СМ. СМ является диэлектриком, поэтому при изменении толщины смазочной пленки и при ее разрушении в контактах микронеровностей (микрореконтактировании) существенно изменяется электрическое сопротивление зоны трения и ПК в целом. Это и фиксируется измерительной аппаратурой. Таким образом, флуктуационные процессы взаимодействия деталей в зонах трения ПК формируют адекватные флуктуационные изменения его электрического сопротивления.

Электрорезистивные методы обладают рядом неоспоримых преимуществ, среди которых: безынерционность по отношению к процессу трения, простота реализации (не требуются специальные преобразователи, электронное средство диагностирования подключается непосредственно к деталям контролируемого узла), простота формирования и обработки сигналов измерительной информации (электрический сигнал о состоянии объекта контроля поступает непосредственно из зон трения, легко преобразуется, оценивается и обрабатывается с помощью типовых электронных цепей). В этой связи методы данной группы интенсивно развиваются, и в настоящее время с их помощью эффективно решаются такие задачи, как входной контроль новых и дефектация бывших в эксплуатации ПК, контроль качества сборки опор качения, контроль эффективности системы смазывания, функциональный контроль ответственных изделий для предотвращения их аварийных отказов и т.п. Для решения этих задач разработан комплекс средств диагностирования и контроля.

В настоящее время нами ведутся исследования по разработке электрорезистивного метода контроля процесса приработки ПК. Теоретическими предпосылками применения электрорезистивного принципа является проведенный теоретический анализ и разработанная математическая модель, которые показали идентичность факторов, влияющих на условия и характер взаимодействия контактирующих поверхностей деталей работающего ПК, с одной стороны, и на значение электрического сопротивления зоны трения, с другой стороны. Согласно выдвинутой гипотезе изменение состояния подшипника в процессе его приработки за счет изменения шерохо-

ватости и свойств рабочих поверхностей, реологических свойств и количества СМ, температуры зон трения должно приводить к адекватному изменению электрического сопротивления.

Для экспериментального подтверждения данной гипотезы проведены комплексные экспериментальные исследования. Установка, схема которой представлена на рис. 1, обеспечивает возможность исследования радиальных подшипников различных типоразмеров при вращении внутреннего кольца подшипника с заданной частотой, заданном радиальном нагружении, использовании жидкого или пластичного смазочного материала, при этом система смазывания, включающая герметичную масляную камеру, обеспечивает возможность изменения объема масла и системы его подачи. Электронная аппаратура подключается с помощью высокостабильного ртутного соединителя Mercotac 110.



1 - регулируемый привод; 2- вал; 3-шпиндельный узел; 4- масляная камера; 5 – контролируемый подшипник; 6 – система смазывания; 7 – устройство радиального нагружения; 8 - электрический соединитель; 9 - плата сбора данных (осциллограф); 10 – ПК; 11 – виброанализатор.

Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

На рис. 2 и рис. 3 представлены примеры характерных реализаций флуктуирующего сопротивления и зависимостей их статистических оценок, полученные при приработке ПК 1000900 (нагрузка 100 Н, частота вращения 1200 об/мин, масло индустриальное И-20 в количестве 0,1 мл, частота дискретизации при записи – 10 кГц).

На основании анализа проведенных экспериментальных исследований сделаны выводы.

1. Электрическое сопротивление работающего ПК в зависимости от его состояния изменяется случайным образом (флуктуирует) с высокой частотой в широком диапазоне - от единиц Ома при граничной смазке и микрореконтактировании до сотен и тысяч килом при формировании пленки СМ в зонах трения.

2. В процессе приработки подшипника характер флуктуаций его электрического сопротивления однозначно изменяется, что характеризуется изменением закона распределения сопро-

тивления, монотонным возрастанием среднего значения с последующей его стабилизацией и снижением коэффициента вариаций. Данные изменения свидетельствуют об улучшении состояния рабочих поверхностей и условий смазывания в зонах трения и соответствуют триботехническим процессам в ПК при приработке.

3. Электрическое сопротивление ПК и его статистические параметры - среднее значение, среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариаций объективно и с высокой чувствительностью характеризуют фактическое состояние ПК и могут использоваться в качестве диагностических при контроле приработки.

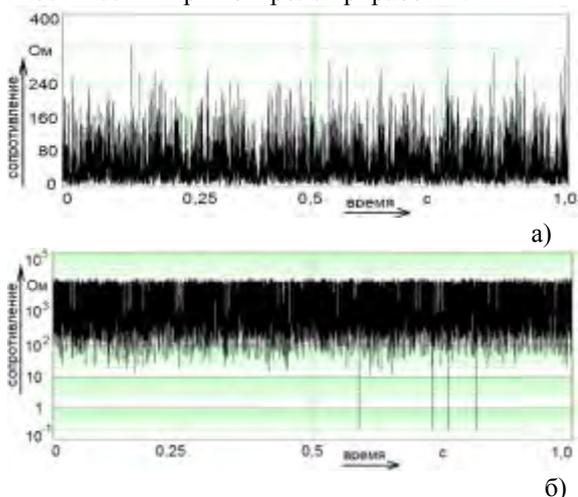


Рисунок 2 – Примеры реализаций флуктуаций сопротивления подшипника во времени до приработки (а) и после часовой приработки (б)

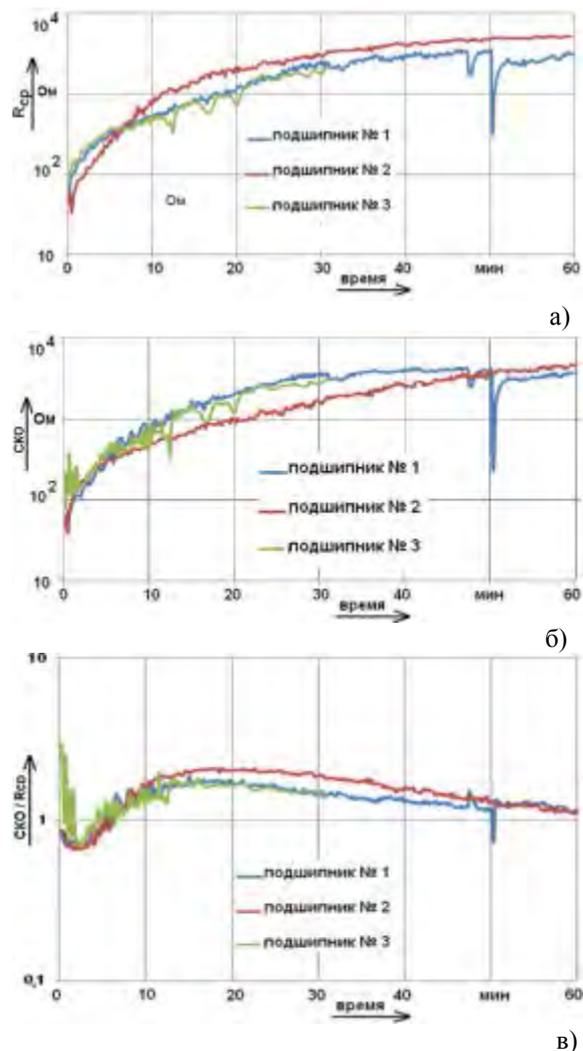


Рисунок 3 – Зависимости среднего сопротивления  $R_{cp}$  (а), среднего квадратического отклонения сопротивления SKO (б) и коэффициента вариаций SKO/ $R_{cp}$  (в) от времени приработки для трех ПК 1000900 одной партии

УДК 681.2

### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ УСТАНОВКИ БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ МИКРОВОЛНОВЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕБОЛЬШИХ ОБРАЗЦОВ МАТЕРИАЛОВ

Поклонский Н.А., Сягло А.И., Шнитко В.Т., Ковалев А.И.

Белорусский государственный университет  
Минск, Республика Беларусь

Авторами [1] предложена схема установки для бесконтактного измерения на сверхвысоких частотах (СВЧ) электромагнитного излучения параметров небольших образцов, например округлой формы диаметром до 7 мм. Установка состоит из СВЧ тракта с рабочим резонатором, персонального компьютера (ПК), специализированного контроллера [2] и позволяет измерять мощность отраженного от резонатора СВЧ излучения при пролете образца через резонатор (рис. 1).

Обмен данными между программой и специализированным контроллером осуществляется по принципу «запрос-ответ» с использованием протокола Modbus/ASCII [3] через интерфейс RS-232. Команда Modbus/ASCII протокола включает в себя символ начала сообщения, номер устройства, код функции, адрес отправки, набор 8-битных ASCII символов данных, контрольную сумму и символы окончания сообщения.

В данной работе представлено краткое описание программы для сопряжения специализирован-