

# **Системы контроля и диагностики**

А.Е. Баринов  
Научный руководитель – доцент, д-р техн. наук А.А. Орлов  
*Муромский институт Владимирского государственного университета*  
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23  
e-mail: alex@f5f5.ru

## **Система технического зрения для процесса контроля производства слябов**

Современное промышленное предприятие имеет сложнейшую инфраструктуру, которую образует множество производственно-технологических и вспомогательных подразделений. Чтобы обеспечивать надежное и точное взаимодействие между ними, разрабатываются средства по контролю и автоматизации процесса производства. Универсальные решения данной проблемы крайне сложны, поэтому для каждой отрасли промышленности необходимо выбирать свой подход, акцентирующий внимание на определенных особенностях.

В рамках данной научной работы, разрабатывается проект, который ставит в центре внимания решение проблемы автоматизации и контроля в одной из самых перспективных отраслей промышленности – металлургии [1].

Решение проблемы автоматизации металлургического производства может быть найдено путем разработки специальных систем технического зрения (СТЗ), упрощающих контроль продукции на производстве. Такие системы выполняют работу по обнаружению и распознаванию промышленной маркировки, набора идентификационных знаков, маркеров и символов. Внедрение данных СТЗ позволяет сократить затраты на содержание большого штата сотрудников, уменьшить влияние человеческого фактора, а также возможность возникновения рисков и ошибок.

Существует огромное количество систем, использующих техническое зрение в процессе своей работы, которые уже успешно внедрены на том, или ином промышленном предприятии. Но при разработке данного проекта необходимо, опираясь на опыт других разработчиков похожих систем, разработать свою СТЗ, которая будет внедрена на Выксунский Металлургический Завод (ВМЗ).

Все внимание будет сосредоточено на контроле производства основополагающей продукции – металлических слябов, сырья из которого в дальнейшем производятся трубы и другая похожая продукция. Основная задача системы - автоматическое обнаружение маркера на снимке сляба для его распознавания. Процесс сканирования, считывания и распознавания маркировочных кодов выполняется во время движения сляба от места хранения до цеха по изготовлению труб. При появлении сляба в области захвата изображения камеры, выполняются следующие операции:

- используя методы автоматического обнаружения объектов, происходит указание области, в которой содержится маркер. Это необходимо, так как движение слябов по конвейерной цепи может изменяться, также как и их пространственные характеристики;
- происходит автоматическая наводка и фокусировка камеры;
- с помощью матрицы высокого разрешения, камера фиксирует область, в которой находится маркер, получая изображение повышенного качества;
- методами автоматического распознавания, происходит считывание данных о слябе, для дальнейшего декодирования;
- декодированная информация обрабатывается, для принятия дальнейшего решения [2-4].

Для автоматического обнаружения объектов будет использоваться преобразование Хафа, которое решает задачу обнаружения участков различных форм в изображении, в данном случае прямоугольный номер с маркером. На вход преобразования Хафа подается, предварительно бинаризованное изображение, на выходе получается набор прямых линий, ограничивающих предполагаемый маркировочный знак, то есть список возможных кандидатов на местоположение пластины содержащей маркер [5].

Методы автоматического распознавания включают в себя как реализацию алгоритма выделения символа в требуемой области, так и непосредственно распознавание каждого символа,

для последующего считывания. Для выделения отдельных символов необходимо воспользоваться методом, основанным на построении проекций средней интенсивности. Суть подхода в следующем, находится средняя интенсивность в каждом столбце, в местах, где символы отсутствуют, интенсивность будет заметно меньше. Далее то же самое производится по строкам, в результате получается набор отдельных символов. Так как сляб содержит ограниченный набор символов фиксированного шрифта, наиболее целесообразно будет применение шрифтового алгоритма распознавания, принцип действия которого основан на прямом сравнении изображения символа с эталоном. Степень несходства в данном случае вычисляется как количество несовпадающих пикселей. Чтобы обеспечить приемлемую точность используемого метода, необходимо предварительно нормализовать размер, наклон и толщину штриха в изображениях символов обучающей выборки [6].

Также СТЗ должна включать в себя следующие компоненты:

1. датчик движения;
2. датчик расстояния;
3. высокоточная камера;
4. механизм фокусировки и масштабирования изображения;
5. информационная система [7].

Датчик движения необходим для установления того, что сляб движется по конвейеру и то, что он появился в фокусе камеры. Датчик расстояния используется для настройки и выставления правильного фокусного расстояния до маркера на самом слябе. Камера повышенной точности, обладая достаточным разрешением, позволит получить снимки с достаточной для распознавания шифрованного кода точностью. Информационная система в итоге объединяет и налаживает работу всех перечисленных устройств, обеспечивает их взаимодействие и совместную слаженную работу.

Прослеживание всего жизненного цикла и транспортировка требует огромной точности, для предотвращения возможных неполадок, избегания нарушений технологии производства и появлений брака.

Разработка данной системы, и последующее ее внедрение на ВМЗ является непростыми задачами, но крайне актуальными, потому, что металлургическое производство – постоянно развивающаяся и требующая серьезного контроля, область промышленности. В будущем разработанная система принесет неограниченную выгоду как при решении конкретной задачи сопровождения и отслеживания объектов, так и для всего производства в целом.

#### Литература

1. Металловеды / Составитель С. С. Черняк — Иркутск: Изд-во ИрГУ, 2000. — 532 с.
2. Орлов А.А., Проворотов А.В. Особенности автоматической идентификации трубопроводной продукции / Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2011. №16.
3. Орлов А.А., Астафьев А.В., Проворотов А.В. Комплексный анализ систем мониторинга оборудования на производственных предприятиях / Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2010. №15
4. Орлов А.А., Проворотов А.В., Астафьев А.В. Системный анализ методов маркировки промышленных изделий / Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2010. №15
5. Gonzalez R.C., Woods R.E. Hough Transform Edge Linking // Digital Image Processing. – 2001. - № xx. – P. 569-577
6. Уорссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника. – М.: Мир, 1992. – 184 с.
7. Ким Н.В., Обработка и анализ изображений в системах технического зрения. – М.: МАИ, 2009 г.

О.М. Гутова  
Научный руководитель – старший преподаватель Л.Г. Алексеева  
Муромский институт Владимирского государственного университета  
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23  
e-mail: lwb@mivlgu.ru

## Неразрушающий метод контроля технологических напряжений

Как указано в стандарте NF EN 13262 «Колесные пары и тележки», в результате термообработки в ободе железнодорожного колеса должно возникать поле сжимающих остаточных напряжений, направленных по окружности внутри обода. В соответствии с данным стандартом уровень сжимающих напряжений должен быть равен нулю на внутренней стороне обода и достигать значений 80-150 Н/мм<sup>2</sup> (МПа) на внешней стороне. В качестве рекомендуемого метода измерения напряжений приведен метод акустоупругости. Целью данной работы являлась проверка возможности оценки величины указанных напряжений с помощью измерителя механических напряжений UER-T II, реализующего указанный метод.

Примененный метод определения механических напряжений основан на использовании явления акустоупругости - зависимости скорости распространения упругих волн в контролируемом объекте от действующих в нем механических напряжений.

Практическая реализация упруго-акустического эффекта основана на прецизионном измерении скорости ультразвука в напряженном материале и сравнении результатов измерений с данными, относящимися к его «исходному» состоянию. Для создания упругих волн в твердой среде в приборе UER-T II использован импульсный ультразвуковой метод возбуждения упругих волн с помощью контактного совмещенного преобразователя, осуществляющего и излучение, и прием ультразвука. Радиальные напряжения в объеме обода являются пренебрежимо малыми. Поэтому напряженное состояние можно считать одноосным [1]. Непосредственно измеряемым параметром при этом являлись времена распространения (задержки) двух взаимно перпендикулярно поляризованных сдвиговых волн:  $t_1$  и  $t_2$ . За начало отсчета времени принимался первый отраженный импульс. Полученные значения подставлялись в уравнение акустоупругости для одноосного состояния [2]. Уравнение позволяет получить величину изменения напряжений относительно некоторого начального уровня, которому соответствуют значения задержек для вышеперечисленных типов волн  $t_{01}$  и  $t_{02}$ . Измерения проводились в двух противоположных сечениях на внутренней боковой поверхности ободьев каждого колеса. В каждом сечении измерения проводились в 2-х 3-х точках, расположенных на расстоянии приблизительно 20 мм друг от друга. Исследования показали, что во всех точках измеренные остаточные напряжения являются сжимающими (отрицательными) и по модулю возрастают от центра к периферии. Затем на предмет оценки величины остаточных сжимающих напряжений оба колеса были разрезаны в соответствии с инструкцией завода-изготовителя, и остаточные напряжения были определены разрушающим методом. Результаты измерения остаточных напряжений методом разрушающего контроля не противоречат результатам на приборе UER-T II.

### Литература

1. NF EN 13262, Колесные пары и тележки. Колеса – Требования к продукции. Европейский стандарт. Французский стандарт - ANFOR, 2004, 51 с.
2. Никитина Н.Е. Акустоупругость. Опыт практического применения. - Н. Новгород: ТАЛАМ, 2005, 208 с.
3. Трубы стальные для трубопроводов. Методика выполнения измерений механических напряжений методом акустоупругости. (аттестована ФГУ «Нижегородский ЦСМ», Свидетельство № 531/700 от 27.01.06 г.) - Н. Новгород: ООО «ИНКОТЕС», 2006, 23 с.

## Фрактальная оценка балла зерна металлов

На формирование механических и эксплуатационных свойств металлов оказывают влияние множество факторов, параметров и процессов, происходящих на микро и макроуровнях. Одним из важнейших является зерно металла.

Зерно, в свою очередь, влияет на механические свойства металла. Эти свойства, особенно вязкость и пластичность, выше, если металл имеет мелкое зерно. Зерна металла отделены друг от друга прослойками межкристаллического вещества, свойства которого отличаются от свойств зерен металла. Исходя из этого тема исследовательской работы интересна и перспективна, а сама задача нахождения балла зерна является актуальной для промышленности.

Балл зерна – это условный номер, который присваивается зерну в зависимости от его размера. Стандарты, которые используются при контроле качества металла, подразумевают необходимость оценки среднего балла зерна. Эта оценка проводится для определения соответствия состояния материала требованиям, заложенным в документации. Методы выявления и определения величины зерна нормируются ГОСТом 5639-82.[1]

Средний балл зерна может быть определен методом визуального сравнения с эталонными изображениями зернистых структур, которые представлены в [1]. Очевидно, что данный метод имеет существенный недостаток – это наличие человеческого фактора. Следовательно, необходимы методы автоматической оценки. Один из возможных вариантов – это метод фрактальной обработки для определения балла зерна.

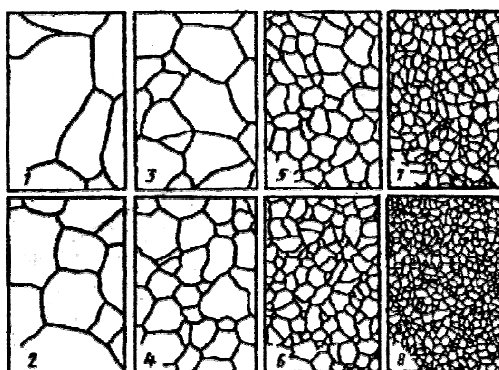


Рис. 1. Эталонная шкала баллов для оценки размера зерна стали

Проведенное исследование направлено на изучение алгоритма анализа фрактальной размерности снимка микроструктуры металла как способа получения и оценки балла зерна. Фрактальная размерность для разных классов изображений отличается в связи с тем, что на данный показатель влияют количество контуров, количество участков одинаковой яркости и т.п.

Слово фрактал образовано от латинского «fractus» и в переводе означает состоящий из фрагментов. Оно было предложено Бенуа Мандельбротом в 1975 году для обозначения нерегулярных, но самоподобных структур, которыми он занимался. [2] Согласно определению Бенуа Мандельброта, фрактал – это структура, состоящая из частей, которые в каком-то смысле подобны целому. Иными словами, вырезав небольшую часть из структуры, имеющей свойства фрактальности, мы можем рассмотреть ее в некотором увеличении и обнаружить, что она подобна всей структуре в целом. Вырезав еще более мелкую часть из уже вырезанной части и увеличив ее, мы обнаружим, что и она подобна первоначальной структуре. Если рассматривать идеальную фрактальную структуру, такую операцию возможно повторять бесконечное количество раз, и даже самые микроскопические частички будут подобны структуре в целом. Реальные же объекты имеют довольно четко ограниченный интервал масштабов, в которых они проявляют свою фрактальную природу.[2] Данное свойство фракталов позволяет использовать

подсчет фрактальной размерности для определения балла зерна микроструктур металла. Аналогично, изменяя масштаб в 10, 20, 30 раз количество зерен изменится приблизительно в 10, 20, 30 раз соответственно.

Для исследования были сформированы две базы исходных изображений. Они включали в себя снимки, представленные в ГОСТе 5639-82, и реальные снимки микроструктур металлов. Также был выбран программный комплекс, позволяющий проанализировать изображение и оценить фрактальную размерность изображений. Главной частью исследования было сопоставление фрактальной размерности и балла зерна. Оба показателя определялись дважды. В первую очередь находится фрактальная размерность снимков, представленных в ГОСТе 5639-82. Затем балл зерна определяется визуальным методом, т.е. путем сравнения микроструктуры металла с изображениями, представленными в ГОСТе 5639-82. Снимки загружаются в программный комплекс, и подсчитывается фрактальная размерность. Исходя из полученных данных формируется таблица, которая содержит диапазон фрактальных размерностей и баллы зерна, которым данные размерности соответствуют. Для этого анализируются результаты визуального метода.

Чтобы проверить полученные значения были взяты изображения микроструктур стали и определены балл зерна методом визуального сравнения, фрактальная размерность и балл зерна по сформированной таблице. Если полученные в начале и конце показатели балл зерна совпадают, то данный алгоритм можно использовать для определения балла зерна микроструктур металла.

Проанализировав полученные результаты, был сделан вывод о том, что пределы изменения фрактальной размерности для определения балла зерна микроструктур металла выбраны верно, т.к. баллы зерна, полученные путем визуального сравнения, совпали с баллами, полученными на основе анализа фрактальной размерности, в 80% случаях. Причиной 20% расхождений является следующий фактор. Снимки, представленные в ГОСТе 5639-82, не являются естественными, следовательно, значения их фрактальной размерности сильно отличаются от результатов, представленных в сформированной таблице диапазонов.

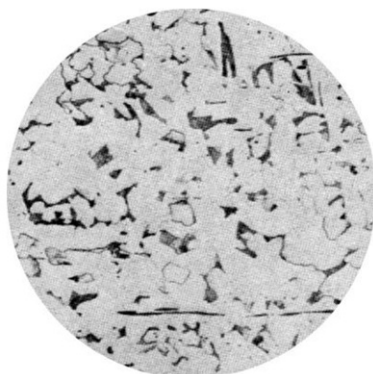


Рис. 2. Снимок микроструктуры металла

Исходя из проведенных экспериментов было выяснено, что фрактальная размерность, безусловно, имеет связь с баллом зерна. Были определены допустимые значения фрактальной размерности для каждого балла зерна и выявлена следующая закономерность: при увеличении фрактальной размерности увеличивается балл зерна.

Результатом исследования была рассчитанная фрактальная размерность, результаты которой были сохранены в базе данных для дальнейших экспериментов. Исследование выполнялось на примере сплавов стали. Однако, если взять любой другой сплав и проделать аналогичные действия, то можно также получить результаты, которые будут применимы только для данного вида сплава.

#### Литература

1. ГОСТ 5639-82 Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна.
2. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы Текст. / Б. Мандельброт / Ин-т компьютер. исслед. М., 2002. - 666 с.
3. Морозов А.Д. Введение в теорию фракталов. Москва — Ижевск: Институт комп. иссл., 2002. — 160 с.

И.И. Куприянов  
Научный руководитель – доцент, канд. техн. наук Н.П. Мольков  
*Муромский институт Владимирского государственного университета*  
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23  
e-mail: itpu@mivlgu.ru

## **Разработка виброакустической системы непрерывного мониторинга нагруженных деталей**

Виброакустические системы непрерывного мониторинга нагруженных деталей являются актуальным средством диагностики и предупреждения аварийных ситуаций в случаях где отказ механизмов может привести к серьёзным последствиям и даже гибели людей. К таким областям относится автотранспортные средства, где своевременное выявление неисправности может значительно сократить количество серьёзных аварий. Стремительное совершенствование средств вычислительной техники, увеличением вычислительной мощности микроконтроллеров, уменьшением потребляемой мощности и габаритов позволяет по новому подойти к принципам построения систем мониторинга механизмов. На стадии эксплуатации устройства важно вовремя диагностировать появление неисправности и оценить степень её опасности, а затем принять решение о возможности дальнейшей эксплуатации. В этом случае наиболее эффективной будет система с распределённой обработкой информации, в которой центральный модуль получает от датчиков не результаты измерения параметров механизмов, а готовое о состоянии узла, центральному модулю остаётся опросить датчики и принять решение о приостановке эксплуатации. В работе рассматриваются основные принципы построения системы мониторинга на основе распределённой обработки информации, применительно к автомобильному транспорту.

## **Разработка программного обеспечения для контроля качества покрытий материалов**

В современном инструментальном производстве одним из методов изготовления режущего инструмента высокого качества является создание сборных инструментов, основным элементом которого является режущая пластина. Существуют различные способы повышения твердости, прочности, износостойкости режущих пластин. Одним из таких методов является нанесение покрытия, которое снижает адгезионные, диффузионные свойства инструментального материала, уменьшает абразивный, окислительный износ инструмента. Таким образом, нанесение напыления материала на рабочую поверхность инструмента является одним из наиболее эффективных методов повышения срока службы режущей части инструмента, то есть повышения износостойкости, теплопроводности, жаропрочности, коррозионной стойкости и других свойств рабочей поверхности инструментальной пластины.

Одним из методов нанесения покрытий на инструментальные пластины является метод плазменного напыления покрытий.

Покрытия, полученные методом плазменного напыления, обладают высокой плотностью и хорошим сцеплением с основой.

Оценку пористости нанесенного покрытия определяют по микрошлифам с использованием электронного микроскопа. При этом по фотографии полученного изображения оценивают изменение пористости по толщине нанесенного покрытия [1]. Так как данный процесс достаточно трудоемок, целесообразно его автоматизировать.

С этой целью было разработано программное обеспечение (ПО), принцип работы которого заключается в анализе изображений среза покрытия и инструментального материала.

На основе исходного изображения контролируемого объекта в программе осуществляется перевод его в черно-белое, по которому автоматически определяется пористость материала покрытия.

Для работы программного обеспечения снимки представляются растровыми изображениями. Разработана структурная схема работы программного обеспечения. ПО обрабатывает изображения основных растровых форматов. Первоначально осуществляется перевод имеющегося изображения в черно-белое, выделяется зона контроля, в которой осуществляется расчет пористости. По совокупности выделенных зон определяется общая пористость покрытия.

Рассмотрим пошаговое выполнение алгоритма работы программного обеспечения.

Изначально имеется растровое цветное изображение, программа осуществляет чтение раstra изображения, переводит его в полутоновый растр и осуществляет его запись вместо цветного. Если были изменены все растры то подпрограмма завершает свою работу. Производится чтение раstra изображения. Если значение раstra (0, 255) меньше порогового значения то растр становится черным, в противном случае – белым. После изменения всех растров подпрограмма заканчивает свою работу. Перевод цветного изображения в черно-белое облегчает процесс определения пористости материала покрытия, выраженной в процентах. Для определения пористости осуществляется переход к первому растру изображения. Количество черных и белых растров принимается равным 0. Если растр попал в исследуемую область, то запускается процесс определения типа раstra. Если это черный растр, то увеличивается количество черных растров на 1, в противном случае увеличивается количество белых растров. После просмотра всех растров программа заканчивает работу и рассчитывает пористость покрытия.

Таким образом, разработанное программное обеспечение позволяет в автоматизированном режиме производить определение пористости инструментального материала покрытия пластины режущего инструмента по толщине покрытия, что значительно повышает производительность контроля его качества.

### Литература

1. Матросова Ю.Н., Потапова Н. Г. Методы автоматизированного неразрушающего контроля пористости материалов изделий перед сборкой [Текст] / Сборка в машиностроении, приборостроении. 2008 г. № 12 – с. 32-40



## Использование бесконтактных трансформаторных датчиков в контроле геодинамических объектов

Геофизическое исследование и контроль такого геодинамического процесса, как карстообразование в настоящее время является актуальным. Это связано с тем, что на территориях подверженных этому процессу происходит изменение техногенной нагрузки на геологическую среду при строительстве новых сооружений. Обнаружение и исследование карста является решающим элементом инженерно-геологических исследований, особенно при гидротехническом строительстве.

В настоящее время в инженерно-геологических исследованиях широко используются такие методы геодинамического контроля карстовых пустот, как метод сопротивлений и метод электровариометрии. Метод сопротивлений чаще всего применяется для обнаружения неоднородностей, и определения глубины их залегания. Метод электровариометрии наиболее эффективно используется для обнаружения деформаций грунта и контроля за состоянием и развитием геодинамических объектов.

В случае, когда необходимо проводить контроль геодинамических объектов на густо застроенных территориях, наиболее выгодным является использование метода электрического зондирования с применением бесконтактных трансформаторных датчиков (БТД).

По сравнению с контактными методами предлагаемый бесконтактный метод имеет следующие преимущества:

1. БТД обладают минимальным уровнем собственных шумов, а предельная чувствительность выше, чем у любых других первичных преобразователей (ПП), за счет меньшего выходного сопротивления;
2. отсутствие гальванического контакта БТД с окружающей средой исключает все виды избыточных шумов, которые присущи контактному ПП за счет электрохимических процессов на поверхности контакта электродов ПП с окружающей средой.
3. в каналах с бесконтактными трансформаторными датчиками существенно ниже и уровни индукционных помех и наводок, так как у БТД меньше площадь чем у контактных ПП.

На рис. 1 показана схема расположения БТД при исследовании геодинамических неоднородностей грунта.

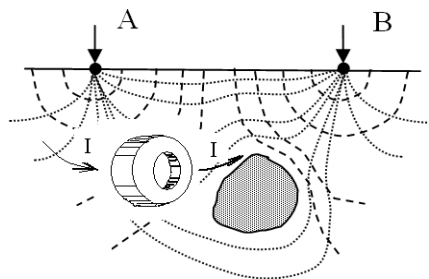


Рис. 1. Схема использования БТД при исследовании геодинамических объектов

Основой БТД является согласующий трансформатор (СТ) выполненный на тороидальном магнитопроводе, из ферромагнитного материала. Первичной обмоткой СТ является объемный виток, через который протекает ток возбуждаемого электродами АВ переменного электрического поля. Со вторичной обмотки снимается полезный сигнал и поступает для дальнейшей обработки.

Конструктивные параметры согласующего трансформатора (диаметр сердечника, количество витков вторичной обмотки, сечение провода, выбор материала магнитопровода) рассчитывались исходя из требуемой чувствительности БТД с учетом согласования по шумам трансформаторного датчика с предусилителем. Для подавления промышленных помех частотой 50 Гц в цепи датчика устанавливается фильтр. Далее система из нескольких подобных датчиков подключается по RS-485 интерфейсу к устройству обработки, где проводится анализ динамики объекта.

Е.В. Огнева  
Научный руководитель – старший преподаватель Л.Г. Алексеева  
Муромский институт Владимирского государственного университета  
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23  
e-mail: lwb@mivlgu.ru

## Неразрушающий магнитный контроль твердости детали «торсионный вал»

Технологией производства предусматривается контроль качества деталей после отпуска путём измерения их твёрдости по методу Бринелля. Деталь признаётся годной, если твёрдость имеет значения 477...555 НВ в каждой из точек  $m_1$  и  $m_2$ . Данный метод контроля имеет низкую производительность и ухудшает условия труда контролёров ввиду необходимости зачистки деталей абразивами. Магнитный контроль (МК), на основе измерения коэрцитивной силы  $H_c$  прибором КФ-3М по току размагничивания лишён этих недостатков и может его заменить.

В целях определения границ допустимых показаний прибора (ПП) проводились измерения  $H_c$  на всех деталях признанных годными базовым методом контроля в течение одного квартала. Из массива результатов измерений, который был упорядочен по дате изготовления детали и номеру измерения внутри даты, случайным образом формировалась выборка объёмом  $n=75$ , что составляет  $\approx 5\%$  от числа обследованных деталей. Определялись числовые характеристики выборочного распределения, и проверялась гипотеза о соответствии распределения результатов в массиве измерений нормальному закону распределения случайной величины. Для проверки использовался критерий согласия Пирсона  $\chi^2$ . Получены следующие значения числовых характеристик.

Установлено, что распределение ПП в массиве измерений для точки  $m_1$  согласуется с нормальным распределением, имеющем параметры:  $\bar{x}_1 \approx 69$ ;  $y_1 \approx 3.6$ , так как  $\chi^2_{\text{набл}} = 3.65$ ,  $\chi^2_{\text{табл}} = 7.8$  и  $\chi^2_{\text{набл}} < \chi^2_{\text{табл}}$ . Распределение ПП в массиве для точки  $m_2$  согласуется с нормальным распределением имеющем параметры:  $\bar{x}_2 \approx 55$ ;  $y_2 \approx 9.56$ , ( $\chi^2_{\text{набл}} = 2.95$ ,  $\chi^2_{\text{табл}} = 7.8$  и  $\chi^2_{\text{набл}} < \chi^2_{\text{табл}}$ ).

Границы допустимых ПП определялись как границы отклонений, нормально распределённой случайной величины от её математического ожидания для уровня значимости  $g$ .

Учитывая, что обследовались лишь годные детали, то по результатам МК следует признавать годными те детали, на которых результаты измерения  $I_{\text{пп}}$  в каждой из точек  $m_1$  и  $m_2$  удовлетворяют условию  $34 < I_{\text{пп}} < 81$ . При таком выборе границ будет практически достоверным, что детали, которые признаны годными базовым методом контроля будут признаны годными и по результатам магнитного контроля.

Выводы. Для осуществления магнитного контроля твёрдости деталей "Вал торсионный", путём измерения их коэрцитивной силы прибором КФ-3М в качестве границ допустимых ПП можно использовать значения:  $I_{\text{верх}} = 81$  мА,  $I_{\text{ниж}} = 34$  мА. Применение данных значений в качестве границ ПП будет обоснованным при отсутствии существенных изменений в технологическом процессе производства деталей или систематических отклонений от него.

## Быстродействующий алгоритм измерения амплитуды и фазы сигналов при контроле вибрации валов

Целью работы является разработка алгоритмов преобразования ортогональных составляющих сигналов в амплитуду и фазу, а также улучшение быстродействующих методов их вычисления.

Преобразование составляющих сигнала в амплитуду осуществляется формулой:

$$R = \sqrt{A^2 + B^2}$$

При исключении неволеванной избыточной точности результата с формированием от 1 до 8-и значащих двоичных разрядов результата в формате с фиксированной запятой перед старшим разрядом целесообразно исследовать методы обеспечения максимального приращения числа значащих цифр представления результата ( $M$ ) при соответствующем ему минимальном увеличении числа вычислительных операций и обращений к памяти.

Предлагается разбить область на сегменты. В результате анализа были выделены такие секторы:

$$0,28A > B; 0,58A > B \geq 0,28A; A \geq B \geq 0,58A \quad (1)$$

для каждого сектора были оптимизированы аналитические выражения, соответственно:

$$R_2 = 0,993A + 0,137B; R_2 = 0,929A + 0,383B; R_2 = 0,799A + 0,609B; \quad (2)$$

На рисунке 1 представлена графическая реализация алгоритма в виде блок-схемы.

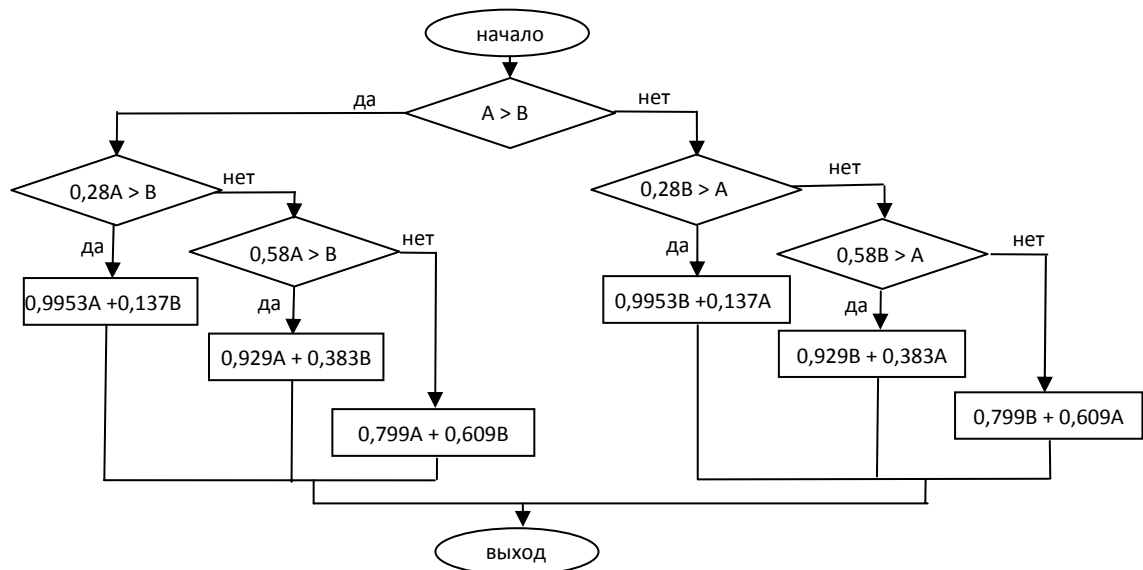


Рис. 1. Улучшенный алгоритм вычисления значения в соответствии с выражением (2)

Результатом является значение относительной погрешности в пределах 0,485.

Для преобразования ортогональных составляющих сигнала в фазу применяются функция  $\beta = \arctg(x)$ , где  $x$  является отношением составляющих сигнала,  $x = (B/A)$ .

Поскольку данная функция требует больших затрат как по времени, так и по вычислительным мощностям, требуется аппроксимировать данное выражение в первой четверти координатного поля,  $\beta \in [0^\circ, 90^\circ]$ .

Для получения значений вне этих пределов достаточно будет перенормировать значения функции.

Эффективная аппроксимация функции арктангенса достигается в пределах значения функции  $\varphi \in [0^\circ, 45^\circ]$ , соответственно будем рассматривать значения аргумента в пределах  $x \in [0, 1]$ . В реальной же системе для получения фазы сигнала из его ортогональных составляющих, будет использоваться следующий алгоритм: при значении угла  $\varphi \in [0^\circ, 45^\circ]$ , т.е. при условии, что  $A > B$ , вычисления производятся по прямому алгоритму:  $\varphi = \arctg(B/A)$ . Если же  $A < B$ , например, угол  $\beta$ , то вычисляется значение арктангенса дополнительного угла  $\beta'$ , поменяв местами значения числителя и знаменателя,  $\beta' = \arctg(A/B)$ . Затем полученное значение вычитается из значения прямого угла:  $\beta = 90^\circ - \beta'$ .

Поскольку, при преобразовании ортогональных составляющих сигнала в амплитуду сформировались секторы (1), то целесообразно будет рассматривать полиномы в полученных интервалах, что благотворно скажется на погрешности алгоритма. При аппроксимации полиномами наилучшего приближения второго порядка были получены выражения:

$$\begin{aligned} &x(1.011773 - 0.131118x) \text{ при } 0.28A \geq B \\ &-0.300443x^2 + 1.100332x - 0.011526 \text{ при } 0.58A \geq B > 0.28A \\ &-0.297799x^2 + 1.089098x - 0.005932 \text{ при } A \geq B > 0.58A \end{aligned} \quad (3)$$

Погрешность метода составляет  $d_m = 3.066 \times 10^{-4}$ .

Получение значения фазы сигнала сопряжено с трудоемкой операцией деления чисел. Необходимо исключить операцию деления преобразовав ее в операцию умножения числителя на обратную величину знаменателя:  $A/B = A \cdot (1/B)$ . Следовательно, задача сводится к нахождению обратной величины знаменателя.

Будем рассматривать реализацию деления чисел, представленных в формате с плавающей точкой. Число  $N$  путем нормализации представляется в виде  $N = \text{man}(N) \times 2^p$ , где  $p$  – порядок, а значение мантиссы находится в диапазоне  $1 \leq \text{man}(N) \leq 2$ . Значит  $1/N = (1/\text{man}(N)) \times 2^{-p}$ , соответственно, вычисление обратной величины делителя сводится к вычислению значения функции  $1/\text{man}(N)$  на интервале  $\text{man}(N) \in [1; 2]$  [1].

Для аппроксимации функции получения обратной величины полиномиальные методы имеют не высокие показатели. Так же алгоритмы, основанные на итерационном методе Ньютона (метод касательных), дают высокие значения погрешностей. Метод Ньютона основан на итерационной формуле:

$$r_{i+1} = r_i(2 - x \cdot r_i) \quad (4)$$

где  $r_i$  – приближение к величине  $1/x$  на предыдущей итерации.

Существует подход, рассматривающий комбинированные методы. В таких алгоритмах в качестве начального приближения выбирается значение полинома определенного порядка, затем итерационным методом улучшается полученное значение.

Предлагается использовать комбинированный метод, в качестве начального приближения возьмем полином первого порядка:

$$P_1(x) = 1.424 + 0.478x \quad (5)$$

В таблице 1 представлены максимальные погрешности метода и количество вычислительных затрат для различного числа итераций.

Таблица 2

**Комбинированный метод получения обратной величины делителя**

Количество итераций	Максимальная погрешность	Количество операций
0	$5.4 \times 10^{-2}$	3
1	$2.916 \times 10^{-4}$	5
2	$9.058 \times 10^{-6}$	8
3	$1.407 \times 10^{-10}$	11

Анализируя Таблицу 1 и вышерассмотренные операции получения фазы и амплитуды сигнала, при получении обратной величины делителя логичным будет использовать комбинированный метод, требующий одну итерацию, поскольку большая точность будет не востребована, но потребует большего числа операций.

#### Литература

1. Чекушкин В.В. Вычислительные процессы в информационно-измерительных системах / В.В. Чекушкин, В.В. Булкин. - Муром: Изд.- полиграфический центр МИ ВлГУ, 2009.-120 с.

Д.А. Семёнов  
Научный руководитель – доцент, канд. техн. наук Н.П. Мольков  
*Муромский институт Владимирского государственного университета*  
*602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23*  
e-mail: itpu@mivlgu.ru

**Анализ методов исследования виброакустических сигналов  
для бесконтактной автоматизированной системы  
мониторинга состояния, нагруженных деталей**

Неразрушающие методы контроля состояния узлов и машин приобретают особую актуальность в последнее время. Это связано со стремительным совершенствованием средств вычислительной техники, увеличением вычислительной мощности микроконтроллеров, уменьшением потребляемой мощности и габаритов. Всё это дало возможность применять микроконтроллеры для анализа виброакустических сигналов в реальном масштабе времени, что до последнего времени было затруднительно в силу высокой стоимости быстродействующих микроконтроллеров. Появление доступных микроконтроллеров поднимает измерительную технику на новый качественный уровень, однако учитывая сравнительно большой объём вычислений при анализе сигналов, разработка эффективных алгоритмов обработки остаётся актуальной задачей. Данная работа посвящена сравнительному анализу методов исследования виброакустических сигналов с целью выбора наиболее эффективных для применения в автоматизированных системах мониторинга.

Д.И. Смирнов,  
А.В. Догадкин  
Научный руководитель – старший преподаватель Л.Г. Алексеева  
*Муромский институт Владимирского государственного университета*  
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23  
e-mail: lwb@mivlgu.ru

## Исследование магнитных свойств стали 30ХГСА

Данная работа проводилась на импульсном магнитном структуроскопе ИМС – 09, с помощью которого осуществляется измерение остаточной локальной намагниченности металла после намагничивания и размагничивания по параметрам:

1. параметр  $\beta$  определяет величину остаточной локальной намагниченности металла после намагничивания;
2. параметр  $\alpha$  определяет величину остаточной локальной намагниченности металла после размагничивания.

Прибор функционирует по следующему принципу. Изделие намагничивается и размагничивается при помощи намагничивающей обмотки датчика. Измерение нормальной составляющей остаточного локального магнитного поля осуществляется с помощью феррозонда и обмотки компенсации. В обмотку компенсации вводится ток, компенсирующий локальное магнитное поле в центре феррозонда. По значению тока определяется величина локального магнитного поля.

Для настоящего исследования будут использованы восемнадцать образцов. Образцы представляют собой пластины размером 100Ч110Ч6 мм, вырубленные из листовой стали 30ХГСА в состоянии поставки и подвергнутые следующей термообработке:

1. закалке при температуре 880°C, в течение 30 минут, охлаждение в масле;
2. отпуску в течение одного часа с различными температурами отпуска: 200, 350, 450, 500, 550, 600°C; охлаждение на воздухе.

На каждый режим отпуска использовалось по три образца

Измерения на приборе ИМС проводятся в двух режимах  $\Delta 1$  – при толщине контролируемой детали  $\geq 5$  мм,  $\Delta 2$  - при толщине  $< 5$  мм.

Результаты измерений параметров  $\alpha$  и  $\beta$  показали следующее: наилучшая чувствительность к изменению температуры отпуска наблюдается у параметра  $\beta$ , зависимость параметра однозначна на всем участке рассматриваемых температур отпуска. В то время как параметр  $\alpha$  имеет однозначную зависимость от температуры отпуска лишь на участке 200-500°C, а выше него - изменяется слабо.

С физической точки зрения, убыль остаточных намагниченностей с увеличением температуры отпуска связана, главным образом, с укрупнением размеров доменов, а также – с распадом мартенсита и образованием карбидов – фазы более жесткой в магнитном отношении, чем мартенсит. Как показали исследования, изменение режима работы прибора ИМС с  $\Delta 1$  на  $\Delta 2$  не дает существенных результатов, так как зависимость параметров от температуры отпуска остается практически неизменной. Изменяется лишь величина измеряемого параметра. Особенно, это видно по зависимости параметра  $\alpha$  от температуры отпуска: в режиме  $\Delta 1$  в интервале температур отпуска от 200 до 350°C наблюдается зашкаливание показаний прибора. Поэтому зависимости, полученные в режиме  $\Delta 2$  более точные.

Таким образом, неразрушающий контроль качества термообработки стали 30ХГСА на всем рассмотренном интервале температур отпуска (200-600°C) можно осуществлять на основе измерений остаточной индукции после частичного размагничивания изделий (параметр  $\beta$ ).

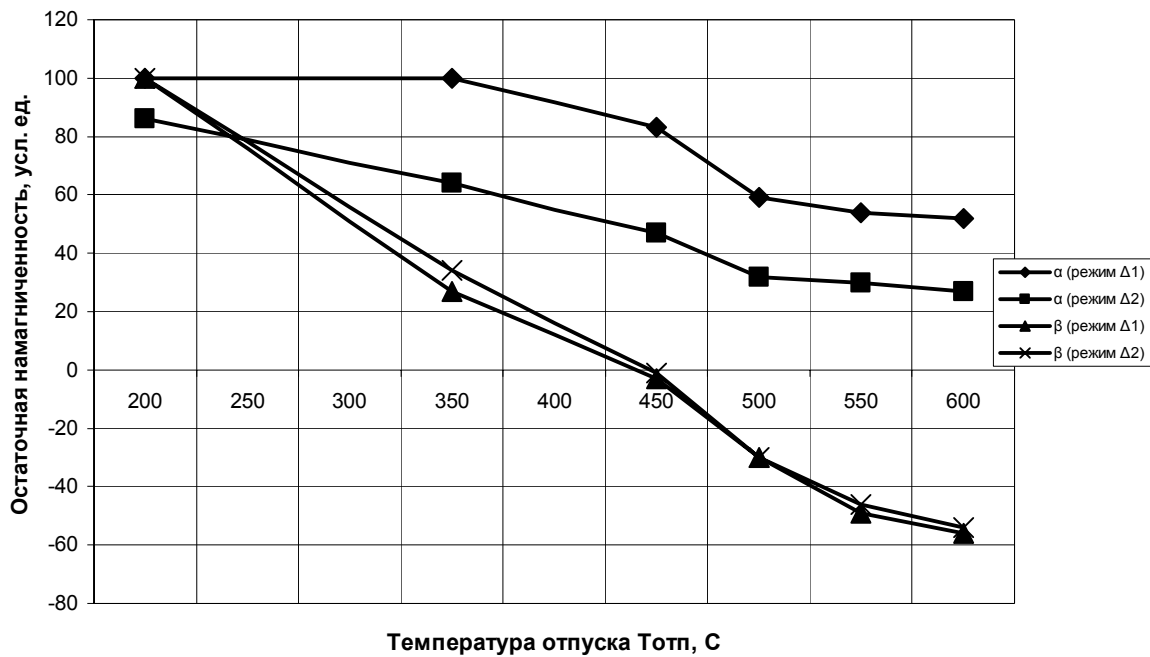


Рис. 1. Зависимость остаточной локальной намагниченности образцов после намагничивания ( $\alpha$ ) и размагничивания ( $\beta$ ) от температуры отпуска

А также результаты настоящего исследования подтверждают данные, приведенные в [8] (п.2.1). Однако рекомендуемые в [8] режимы намагничивания и размагничивания соблюдены не были. Зависимость пригодная для контроля получена при режимах, осуществляемых прибором ИМС, без дополнительной настройки.



И.С. Терехова,  
Ю.М. Медведева  
Научный руководитель – доцент, канд. физ.-мат. наук Ф.К. Шабиев  
*Магнитогорский государственный университет*  
*г. Магнитогорск, Челябинской обл., пр. Ленина, д. 112*  
e-mail: faridshab@mail.ru  
e-mail: irihkater@mail.ru

## **Компьютерное моделирование структуры и свойств, новых углеродных наноструктур на основе нанотрубок, содержащих дефекты**

Углеродные нанотрубки (УНТ) одномерные объекты, размер которых в диаметре составляет от десятых долей до нескольких нанометров. УНТ обладают рядом уникальных свойств, основным из которых это влияние размера УНТ на проводящие свойства [1]. Большое влияние на свойства УНТ оказывают дефекты. Если в структуре УНТ присутствует так называемый дефект Стоун-Велса, то он приводит к изменению структуры нанотрубки из креслообразной в зигзагообразную [2]. Если проводимости двух УНТ отличаются, то на основе такого соединения можно создать наноразмерный диод.

Необходимость в исследовании дефектов в структуре углеродных нанотрубок возникла при создании новых материалов с уникальными физическими свойствами. Самый простой и дешевый способ изучения строения и свойств наноструктурных материалов это, безусловно, компьютерное моделирование. Наиболее зарекомендовавшие себя методы при моделировании углеродных наноструктур являются полуэмпирические методы AM1 и PM3[3].

В качестве объектов исследования в представленной работе были рассмотрены armchair и zigzag углеродные нанотрубки. Углеродные нанотрубки были выбраны различной хиральности и диаметра: zigzag хиральности – с индексами (3,0), (4,0), (5,0), (6,0), (8,0), (9,0), (10,0), (12,0); armchair хиральности – (3,3), (4,4), (5,5), (6,6). На первом этапе при помощи полуэмпирического метода PM3 были смоделированы все вышеуказанные УНТ. Затем на торцах УНТ вместо шестиугольников были размещены дефекты – семиугольники. Для исследования устойчивости новообразовавшейся структуры были рассчитаны удельные энергии связей  $E_u$ .

В результате дислокации дефекта на торцах УНТ – трубка плавно переходит в графеновый слой. Взаимодействуя между собой, две такие УНТ создают вложенные друг в друга наноструктуры. Однако, для УНТ с zigzag хиральностью с индексами (3,0), (6,0), и (12,0) такое искажение является минимальным. Как показали расчеты, для этих нанотрубок, удельная энергия  $E_u$  является минимальной. Для УНТ с armchair хиральностью удельная энергия  $E_u$  выше чем для УНТ с zigzag хиральностью. Исходя из результатов исследования дефекты на торцах УНТ в виде семиугольников искажает структуру трубки приводя ее в графеновый лист. Наиболее вероятной структурой УНТ переходящей в графеновый лист будут zigzag УНТ с индексами (3,0), (6,0), и (12,0).

При исследовании взаимодействия двух нанотрубок вложенных друг в друга обнаружена высокая подвижность одной трубки относительно другой. Это свойство приводит к тому, что наноструктурированный материал на основе таких трубок будет обладать высокой пластичностью. Помимо высокой пластичности этот материал будет обладать высокой прочностью благодаря ковалентным связям между атомами углерода из которых состоят УНТ.

### Литература

1. Dresselhaus M.S., Avouris P., Topics Appl. Phys., V.80. P.1–9(2001).
2. Беленков Е.А. Зинатуллина Ю.А., Физика твердого тела, том 52, вып. 4 (2010).
3. Gasteiger J., Engel T. Chemoinformatics. New York: Wiley, 671p.(2003).

А.С. Чудайкин  
Научный руководитель – доцент, канд. техн. наук Н.П. Мольков  
*Муромский институт Владимирского государственного университета*  
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23  
e-mail: itpu@mivlgu.ru

## **Лабораторный стенд для виброакустического исследования подшипников качения**

Виброакустические исследования являются одним из эффективных методов при неразрушающем контроле и диагностики состояния подшипников качения вращающихся деталей. Суть метода заключается в анализе виброакустических сигналов создаваемых работающим устройством. При появлении дефекта характер вибросигналов меняется, что даёт возможность по этим изменениям определить характер неисправности и оценить степень повреждения. Для уверенной диагностики и локализации дефекта необходима библиотека признаков характерных для различных видов неисправностей. Для создания подобных библиотек требуется большая предварительная работа с использованием специализированных стендов, а также соответствующая подготовка специалистов. В данной работе рассматривается лабораторный виброакустический стенд, предназначенный для обучения специалистов по неразрушающему контролю подшипников качения. Он позволяет производить диагностику подшипников качения различного типа, имеется возможность изменения скорости вращения и осевой нагрузки, что расширяет область применения стенда.