

## Алгоритм распознавания основных дефектов поверхностей колец подшипников с применением метода фрактальной размерности и нейронных сетей

*К.Л. Вахидова, М.Ш. Минцаев, М.Р. Исаева, В.В. Пашаев*

*Грозненский государственный нефтяной технический университет  
имени акад. М.Д. Миллионщикова*

**Аннотация:** Для повышения качества колец подшипников современное производство стремится применять новые современные методики распознавания дефектов, основываясь на причинах их возникновения, а также внедрять системы контроля качества путём создания специализированного программного обеспечения. Точная оценка динамических качеств подшипников очень важна для машин и позволяет избежать серьезного механического повреждения. В рамках проводимых экспериментов были рассмотрены основные методы контроля и установлен наиболее эффективный – вихретоковый контроль, который обладает рядом преимуществ по сравнению с другими. Для предотвращения возникновения бракованных изделий в системе контроля был рассмотрен метод фрактальной размерности и построена нейронная сеть для решения поставленных задач диагностирования.

**Ключевые слова:** Диагностирование дефектов, подшипники, нейронные сети, автоматизированное управление, фрактальная размерность, SVD-фильтрация, ПП Matlab, система мониторинга.

### Введение

Подшипник является одним из наиболее важных компонентов в составе технического оборудования и машин. Управление основным жизненным циклом подшипников включает в себя оценку качества, мониторинг состояния и диагностику неисправностей. В настоящее время мониторингу состояния и диагностике неисправностей уделяется огромное внимание, так как качество изготавливаемых деталей влияет на состояние всего оборудования в целом, в связи с чем рассматриваются различные методы диагностирования бракованных изделий, но основным эффективным методом обнаружения принято считать метод обработки сигналов на основе вихревых токов в сочетании с различными методами обработки сигналов или в целом вихретоковый метод [1,2].

## **Автоматизация распознавания дефектов поверхностного слоя колец подшипников с применением современной методики диагностирования бракованных подшипников**

Идентификация дефектов поверхностного слоя деталей подшипников включает следующие этапы:

1. Получение данных и обработка сигналов (SVD-фильтрация).
2. Выявление дефектных областей и определение типа дефекта.
3. Определение дефекта.
4. Интеграция полученных результатов в систему мониторинга [3].

На рисунке 1 рассматривается структура автоматизированной системы распознавания дефектов.

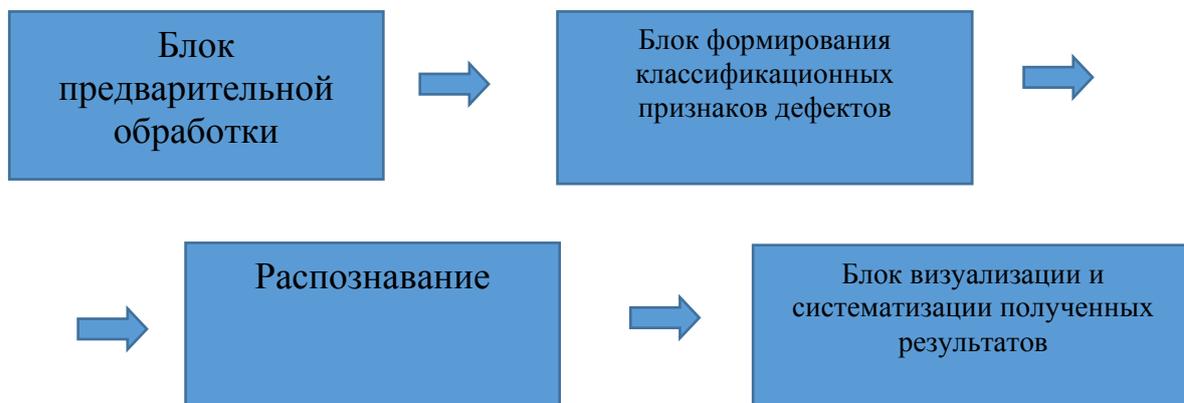


Рис.1. Структура системы управления распознавания дефектов поверхности кольца подшипника

Информация, полученная с датчика, поступает в виде массива данных тока и фазы, и представлена на рисунке 2.

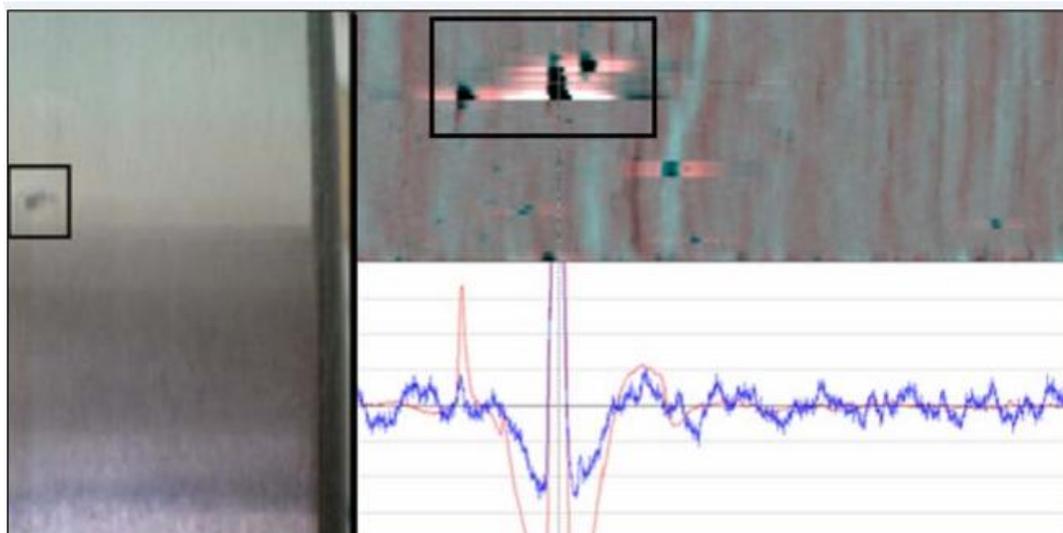


Рис.2. Данные, полученные с датчика. Дефект – Забоина.

В рассматриваемой структурной схеме первым этапом является блок предварительной обработки сигнала, его основная часть - фильтрация информационных сигналов, полученных с ВТП, нормализация сигналов [3,4].

Одним из важных этапов работы системы является классификация дефектов. При производстве подшипников на их поверхности появляются порядка семнадцати дефектов, которые можно диагностировать как визуально, так и используя рассматриваемую автоматизированную систему, основанную на методе определения фрактальной размерности информационных сигналов [5,6].

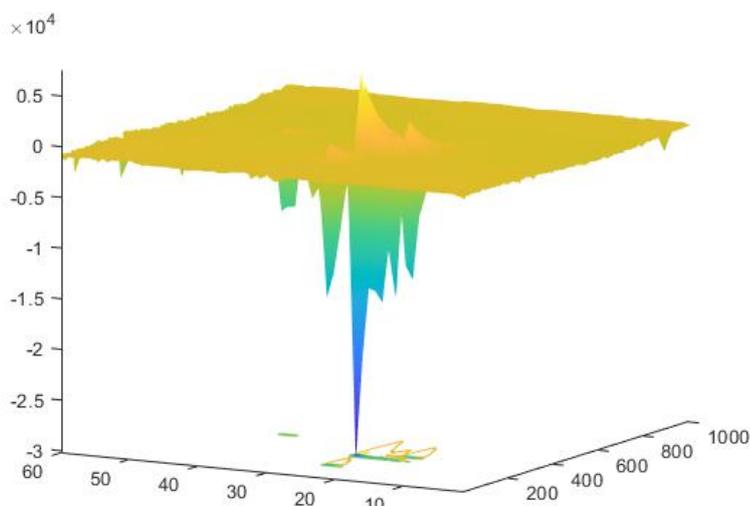


Рис.3. Фильтрация сигнала

В блоке «Распознавание» происходит расчет фрактальной размерности выбранной дефектной области. Определение фрактальной размерности происходит с помощью метода Херста.

$$\phi = \frac{1}{N-1} \sum_{n=2}^N (x_n - x_{n-1})^3$$

К достоинствам выбранного метода по сравнению с другим (вейвлет-преобразование) можно отнести устойчивость оценки относительно формы распределения, в том числе несимметричных распределений и распределений с длинными хвостами, что помогает распознавать дефект различной сложности [7,8].

Фрактальная размерность информационных сигналов, полученная с датчика, представлена на рисунке 4.

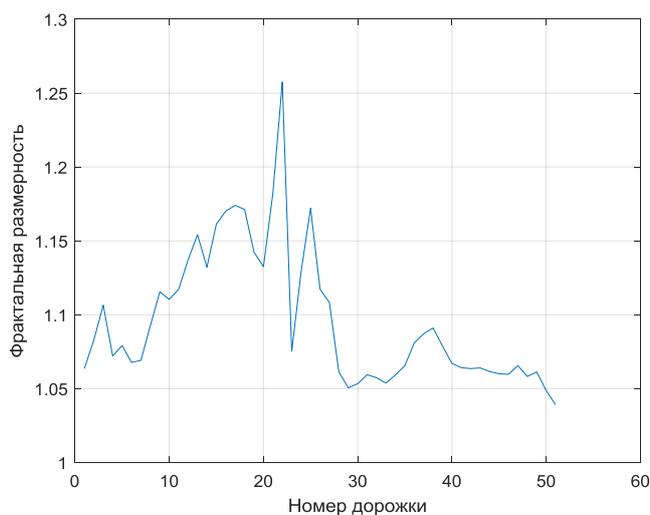


Рис. 4. Фрактальная размерность информационного сигнала

#### Экспериментальные исследования.

Для экспериментальных исследований вибраций станка использовался виброизмеритель ВШВ-003М3 с датчиком ДН-3 и ноутбук, в который встроена плата (рис. 5).

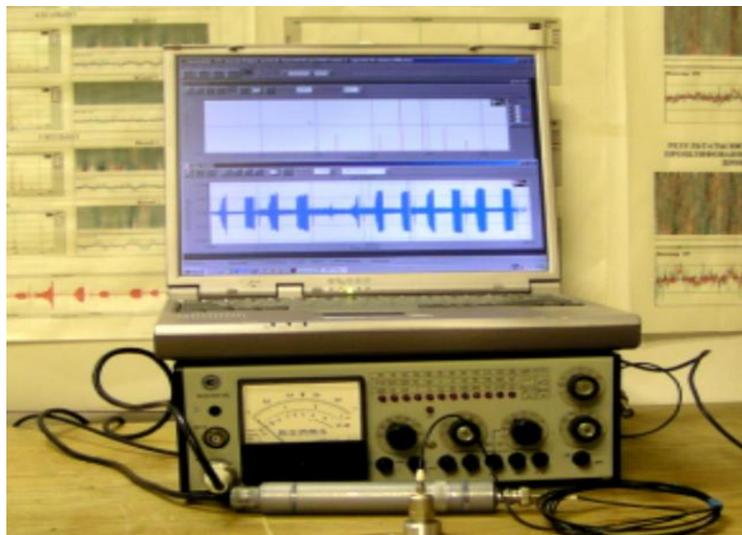


Рис. 5. Аппаратное обеспечение экспериментов

Эксперименты проводились при точении колец подшипников на токарном станке с ЧПУ-модели ПАБ-350 в ОАО «Саратовский подшипниковый завод» (рис. 6).



Рис. 7. ПАБ-350

Данные, полученные с устройства, позволяют легко определить дефект в виде массивов данных тока и фаз. В процессе работы системы они загружаются в специализированное программное обеспечение, где в дальнейшем происходит обработка сигнала и диагностирование полученного дефекта с помощью метода фрактальной размерности.

Специализированное программное обеспечение для диагностирования дефектов подшипников выполнено в ПП Matlab. Завершающим этапом является определение дефекта с помощью нейронной сети, которая обучена по трем признакам:

- Сканограммы поверхности подшипников
- Данные, в виде массивов данных тока и фазы.
- Формирования профиля и расчета фрактальной размерности полученных информационных сигналов [9].

В рамках обучения нейронной сети был выбран алгоритм обратного распространения ошибки.

Рассматриваемый алгоритм достаточно прост и время обучения минимально.

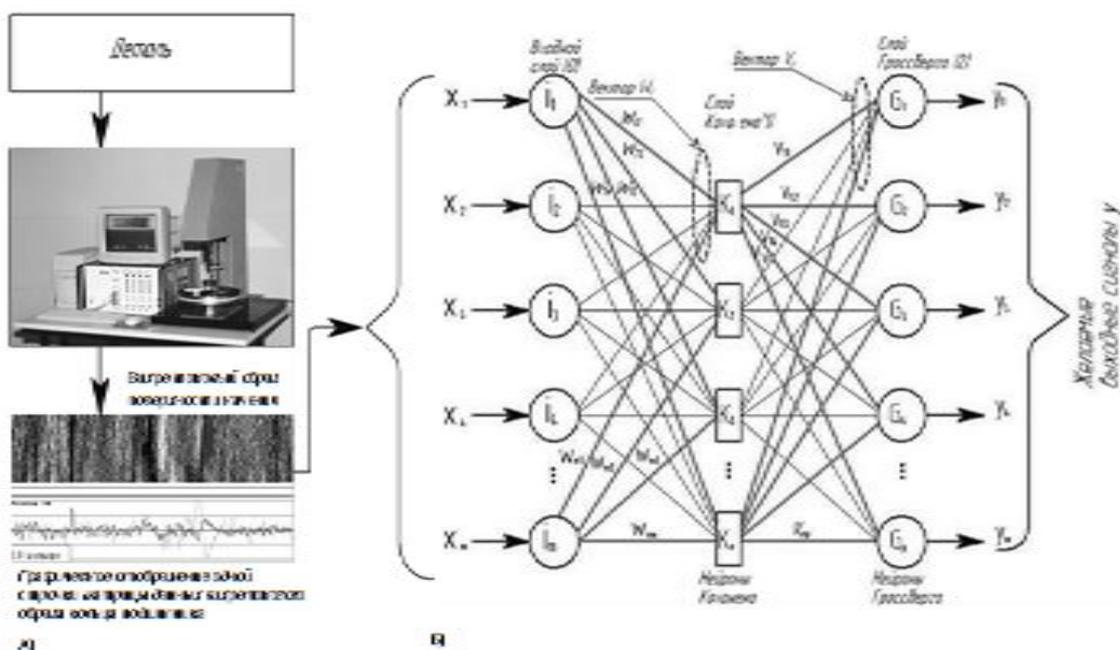


Рис.8. Схема интеллектуального мониторинга обработки высокоточных изделий с применением нейронной сети,

где А - выявление и распознавание дефектов поверхностного слоя деталей подшипников,

Б-проведение обучающего эксперимента с использованием нейронной сети.

### Заключение

В заключение стоит отметить, что использование сканограмм, полученных в ходе работы и применение современных методик диагностирования дефектов колец подшипников позволяет улучшить качество выпускаемых изделий, путем снижения брака при производстве, а также систематизировать полученные данные с течением времени для дальнейшей модернизации не только программного обеспечения, но и оборудования, входящего в процесс создания подшипников [10].

### Литература

1. Дорофеев А.Л., Казаманов Ю.Г. Электромагнитная дефектоскопия. М.: Машиностроение, 1980. 280 с.



2. Ящерицын П. И., Еременко М. Л., Фельдштейн Е. Э. Теория резания: физические и тепловые процессы в технологических системах. Минск: Высш. шк., 1990. 512 с.
  3. Герасимов В.Г., Ключев В.В., Шатерников В.Е. Методы и приборы электромагнитного контроля промышленных изделий. М.: Энергия, 1983. 217 с.
  4. Кулаков Ю.М., Хрульков В.А., Дунин-Барковский И.В. Предотвращение дефектов при шлифовании. М.: Машиностроение, 1975. 144 с.
  5. Вахидова К.Л. Теория фракталов и вейвлет-анализа при диагностике дефектов // Сборник научных трудов. Саратов: СГТУ, 2018. С. 12-16.
  6. Вахидова К.Л., Исаева М.Р., Хакимов З.Л., Шухин В.В, Игнатьев С.А. Распознавание дефектов поверхностного слоя подшипников с применением метода фрактальной размерности // Инженерный вестник Дона. 2019. №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5664](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5664)
  7. Benedetto J.J., Frazier M. Wavelets: mathematics and applications/- Boca Raton, CRC Press, 1994. 592 p.
  8. Domingues M.O., Mendes J.O., Mendes da Costa F. On wavelet techniques in atmospheric sciences // Advances in Space Research.-2005.-Vol/35-P.831
  9. Рожков И.А., Игнатьев А.А., Иващенко В.А. Совершенствование процесса распознавания дефектов шлифованных поверхностей колец подшипников // Вестник СГТУ Том: 2, Номер: 2, 2011. С. 252-258.
  10. Паштова Л.Г. Актуальные вопросы организации и управления производством на предприятии // Инженерный вестник Дона. 2014. № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2442](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2442)
-

## References

1. Dorofeev A.L., Kazamanov Yu.G. E`lektromagnitnaya defektoskopiya [Electromagnetic flaw detection]. M.: Mashinostroenie, 1980. 280 p.
2. Yashhericyn P. I., Eremenko M. L., Fel`dshtejn E. E`. Teoriya rezaniya: fizicheskie i teplovy`e processy` v texnologicheskix sistemax. [Theory of cutting: physical and thermal processes in technological systems] Minsk: Vy`ssh. shk, 1990. 512 p.
3. Gerasimov V.G. Metody i pribory elektromagnitnogo kontrolya promyshlennyh izdelij [Methods and devices for electromagnetic control of industrial products] M.: Energiya, 1983. 217 p.
4. Kulakov YU.M. Predotvrashchenie defektov pri shlifovanii [Prevention of defects in grinding]. M.: Mashinostroenie, 1975. 144 p.
5. Vahidova K.L. Sbornik nauchnyh trudov. Saratov: SGTU, 2018. pp.12-16.
6. Vahidova K.L., Isaeva M.R., Xakimov Z.L., Shuxin V.V, Ignat`ev S.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5664](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5664)
7. Benedetto J.J., Frazier M. -Boca Raton, CRC Press, 1994. p.592.
8. Domingues M.O., Mendes J.O., Mendes da Costa F. Advances in Space Research. 2005. Vol/35, p.831
9. Rozhkov I.A., Ignat`ev A.A., Ivashhenko V.A. Vestnik SGTU Tom: 2, 2011. №2, pp.252-258.
10. Pashtova L.G. Inzhenernyj vestnik Dona. 2014. № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2442](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2442)