

## УДК 621.9

### **СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА ОСНОВЕ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ОКОННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ И ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ**

Слесарев Владислав Владимирович<sup>(1)</sup>, Егорова Елизавета Анатольевна<sup>(2)</sup>

*Магистр 2 года<sup>(1)(2)</sup>,  
кафедра «Металлорежущие станки»<sup>(1)</sup>, кафедра «Промышленный дизайн»<sup>(2)</sup>  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: И.А. Зверев,  
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры высокоэффективных технологий и обработки  
Московский государственный технологический университет (МГТУ «СТАНКИН»)*

В развитии автоматизированного производства и оборудования важной составляющей являются проблемы диагностики и контроля состояния износа режущего инструмента для поддержки непрерывного процесса производства и снижения количества брака. Одним из относительно простых и доступных методов стала диагностика механических колебаний и вибраций, возникающих в процессе резания.

Классическим методом определения отклонений и неисправностей по вибросигналу стал анализ характеристик и параметров самого сигнала, таких как: максимальная амплитуда, размах амплитуд, среднее квадратическое отклонение (СКЗ), ПИК-фактор и пр. Однако они не могут полностью описать картину неисправностей и определить причину выхода из строя узла станка или инструмента [1]. По этим причинам стали использовать преобразование Фурье с возможностью изучения частот сигнала.

Использование преобразования Фурье рационально для стационарных сигналов, которые не изменяются со временем. Для нестационарных сигналов стали применять оконное преобразование Фурье (Short-Time Fourier Transform, STFT), Вейвлет-преобразование (Wavelet Transform) [2, 3] и др. С их помощью можно наблюдать изменяющиеся во времени частоты и диагностировать изменения сигнала.

Из открытых источников [4] были взяты вибросигналы, замеряемые с помощью акселерометра в области шпинделя. В качестве инструмента служит торцевая фреза со сменными твердосплавными пластинами KC710. Показателем износа служит величина VB – высота износа поверхности.

Для оценки эффективности оконного преобразования Фурье и вейвлет преобразования была выбрана предварительно обученная нейронная сеть SqueezeNet. На вход сети поступает изображения частотно-временного спектра, показанные на рисунке 1. На выходе сеть классифицирует изображения. Для используемого случая выбрано два класса: неизношенный инструмент (unworn) и изношенный (worn). Признаком изношенного инструмента является показатель VB больше 0,3 мм. Для тренировки сети используется алгоритм стохастического градиентного спуска, максимальное количество эпох – 40. Для реализации подготовки, обработки данных и сравнения сетей используется ПО MATLAB R2022b.

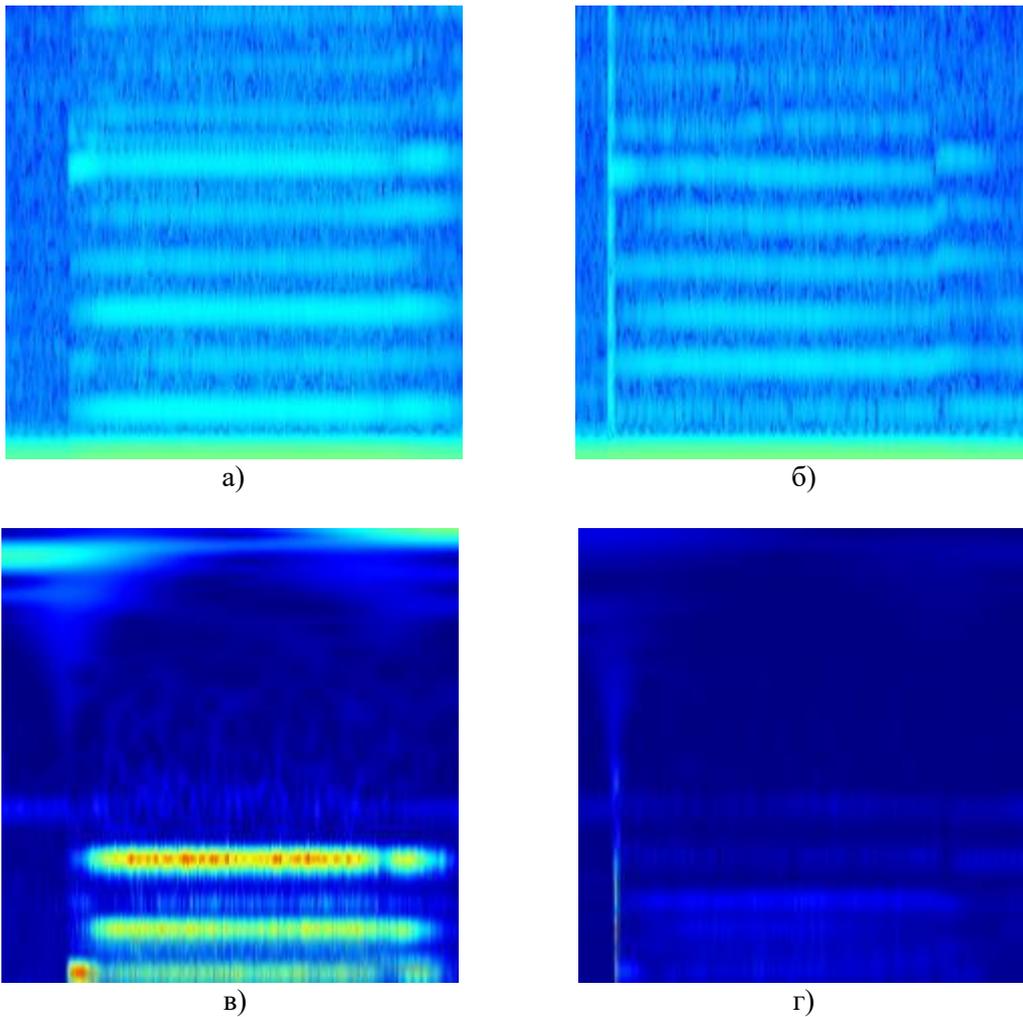


Рис. 1. Частотно-временные спектры сигналов.

а) Оконное преобразование Фурье,  $VB = 0$  мм; б) Оконное преобразование Фурье,  $VB = 0,44$  мм; в) Вейвлет-преобразование,  $VB = 0$  мм; г) Вейвлет-преобразование,  $VB = 0,44$  мм

В результате обучения точность проверки при использовании оконного преобразования Фурье равна 83,33%; при использовании вейвлет-преобразования – 97,62%. Для проверки сети были отобраны сигналы из используемой базы данных. На рисунке 2 показана точность предсказания сети по тестовым данным в зависимости от метода получения входных данных.

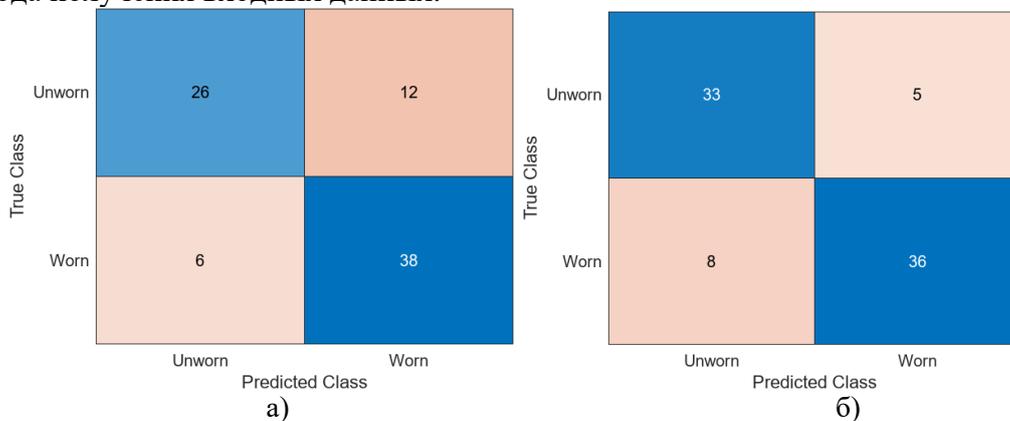


Рис. 2. Соотношение ошибок предсказания.

а) Оконное преобразование Фурье – точность 78,05%; б) Вейвлет-преобразование – точность 84,15%

Использование скейлограмм вейвлет-преобразования в качестве входных данных продемонстрировало лучшую точность и показатели обучаемости сети. При разработке или внедрении метода контроля состояния износа режущего инструмента на основе глубокого обучения рекомендуется использовать вейвлет-преобразование. Направлениями развития области могут быть: использование вибросигналов, замеряемых в области стола, как дополнение к входным данным; добавление и улучшение алгоритмов оптимизации базы данных и выходных данных; непосредственное внедрения метода в практическое применение.

### **Литература**

1. *Ширман А. Р., Соловьев А. Б.* Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. Библиогр., — М., 1996. — 276 с.
2. *Дьяконов В. П.* Вейвлеты. От теории к практике. — М.: СОЛОН-Пресс, 2004. — 440 с.
3. *Роби Поликар,* Введение в Вейвлет-преобразование. Режим доступа: <http://autex.spb.su/download/wavelet/books/tutorial.pdf> (дата обращения: 05.03.2025)
4. *K. Goebel,* Management of Uncertainty in Sensor Validation, Sensor Fusion, and Diagnosis of Mechanical Systems Using Soft Computing Techniques, Ph.D. Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of California at Berkeley, 1996