

**УДК 621.9.06.004.58**

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ**

Игорь Николаевич Лукашин<sup>(1)</sup>, Лилия Олеговна Плаксина<sup>(2)</sup>

*Студент 6 курса<sup>(1)</sup>, студент 6 курса<sup>(2)</sup>,*

*кафедра «Металлорежущие станки»*

*Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: С.И. Досько,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлорежущие станки»*

В настоящее время в промышленности сохраняется тенденция по увеличению производительности и точности обработки [1]. Увеличение производительность станка можно достичь за счет увеличения скорости резания, однако, при высоких скоростях резания неизбежно возрастают вибрации, которые отрицательно влияют на шероховатость поверхности [2] и стойкость инструмента [3]. Поэтому необходимо контролировать уровень вибрации в станке в допустимых пределах и избегать его превышение. Для этого нужно разработать систему мониторинга состояния станка во время процесса резания.

Критерием нестабильного режима резания может служить увеличение вибрации в станке выше допустимого уровня. Однако, для каждого станка, инструмента и обрабатываемого материала допустимый уровень вибрации будет различным. Поэтому данный подход является малоэффективным и плохо подлежит автоматизации. В статье предложен иной принцип определения нестабильного режима резания, который является инвариантным относительно различных видов станков, инструмента и обрабатываемого материала и хорошо подлежит автоматизации.

Для автоматизации обнаружения вибрации используются методы машинного обучения, которые отлично справляются с задачами классификации. Этот подход заключается в анализе сигналов при помощи нейронных сетей и состоит из следующих этапов: получение сигналов, предварительная обработка, выделение признаков, выбор признаков и их классификация.

Целью настоящей работы являлось: разработка обучающей модели для автоматического определения состояния процесса резания по звуковому и вибрационному сигналам.

Сбор данных осуществляется в ходе эксперимента по получению сигналов вибрации с акселерометра и звукового сигнала с микрофона при различных режимах работы станка: на холостом ходу, при стабильном и нестабильном режимах работы [5]. Для получения экспериментальных данных использовался 5-ти осевой обрабатывающий центр Tongtai СТ-350. Материал заготовки - Al6061-T6. Диаметр концевой фрезы 12 мм, угол наклона винтовой канавки 26°, количество режущих кромок – 2. В эксперименте акселерометр устанавливался на корпусе шпиндельного узла над опорами. Микрофон, был закреплен вблизи шпинделя. На рисунке 1 показана экспериментальная установка по сбору данных.

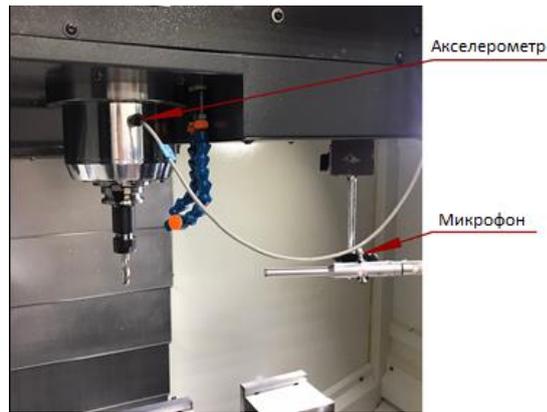


Рис. 1. Экспериментальная установка

В таблице 1 приведены значения режимов резания, используемые в эксперименте.

Таблица 1. Режимы резания

| Номер замера             | 1            | 2 | 3          | 4   | 5            | 6   | 7          | 8    | 9            | 10   |
|--------------------------|--------------|---|------------|-----|--------------|-----|------------|------|--------------|------|
| Скорость подачи, мм/мин  | 150          |   |            |     |              |     |            |      |              |      |
| Обороты шпинделя, об/мин | 3000         |   |            |     |              |     | 3500       | 3000 | 3500         | 3000 |
| Глубина резания, мм      | -            | - | 0.6        | 1.0 | 1.2          | 1.4 | 0.5        | 1.0  | 1.5          | 1.5  |
| Режим работы             | Холостой ход |   | Стабильный |     | Нестабильный |     | Стабильный |      | Нестабильный |      |

Обработка сигналов производилась с использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ). На рисунке 2 изображены спектры вибрационных сигналов на холостом ходу (а), при стабильном (б) и нестабильном (в) режимах процесса резания.

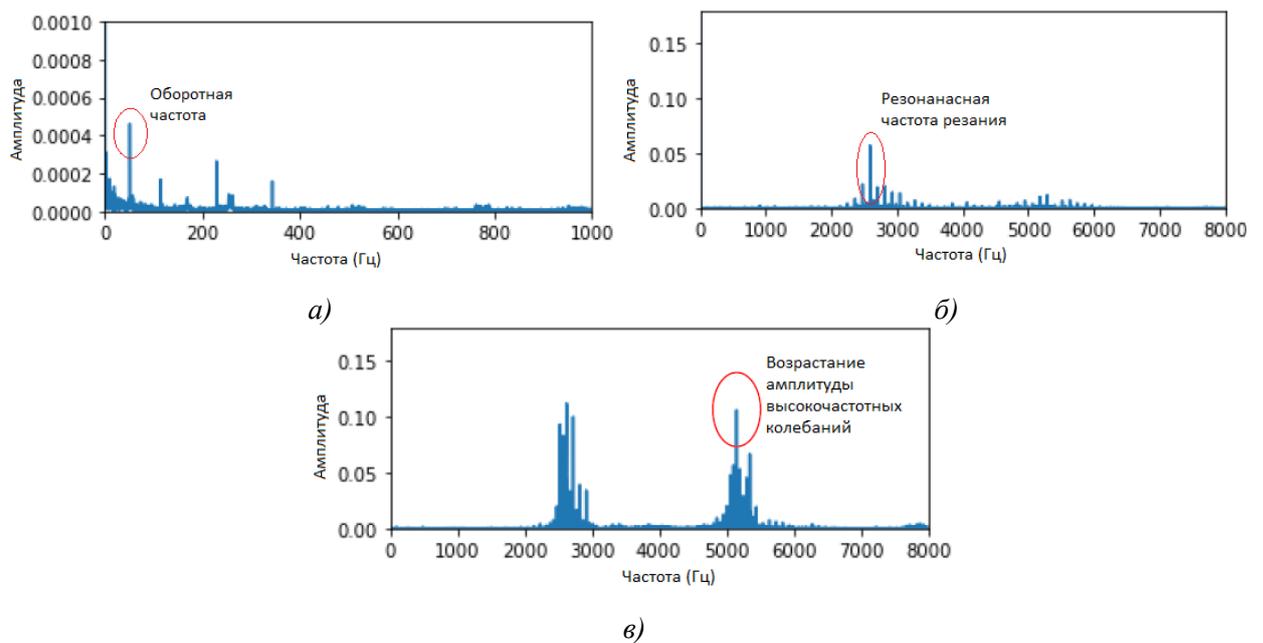


Рис. 2. Спектры вибрационных сигналов при различных режимах процесса резания

Анализ результатов преобразований при различных режимах работы, показал, что на холостом ходу вся энергия вибрации сосредоточена в области низких частот около оборотной частоты шпинделя (50 Гц) и ее гармоник, амплитуда вибрации в данном случае на порядок меньше, чем при резании. При стабильном процессе резания основная часть энергии сосредоточена около резонансной частоты процесса резания (3200 Гц). Во время нестабильного процесса резания происходит перераспределение энергии колебаний в область высоких частот (>5000 Гц).

Для автоматизации обнаружения характера вибрации весь частотный диапазон разделен на три характерные области: 0-1000 Гц; 1000-5000 Гц; 5000-8000 Гц, затем в каждой области вычисляется суммарная энергия. Таким образом, каждому режиму работы будет соответствовать свое характерное распределение энергии по выделенным частотным областям. Это позволяет перейти к стандартной задаче классификации объектов, с которой отлично справляются модели на основе нейронных сетей.

На следующем этапе создавалась обучающаяся модель на основе нескольких методов классификации, чтобы сравнить их точность. Были использованы следующие методы классификации на основе нейронных сетей: метод опорных векторов (SVM), метод k-ближайших соседей (kNN), методы искусственных нейронных сетей (ANN). Для обучения моделей необходимо сформировать массив обучающих и тестовых данных, в соотношении примерно 70% к 30%, где 70% данные для обучения, а 30% данные для тестирования. Чтобы сформировать массив данных каждый из 10 экспериментальных сигналов разбивается на 10 частей для увеличения количества входных данных. Затем выполняется БПФ всех нарезанных сигналов и выделяются в них характерные частотные диапазоны. Далее рассчитывается суммарная энергия для каждого частотного диапазона. После чего полученные данные вносятся в таблицу для последующей тренировки и тестирования моделей.

На рисунке 3 приведены результаты работы моделей: а) SVM, б) kNN, в) ANN. Метка «1» соответствует холостому ходу; метка «2» соответствует стабильному процессу резания, метка «3» нестабильному процессу резания. В левой колонке показаны истинные значения, в правой – прогноз. Для метода ANN приведена матрица ошибок.

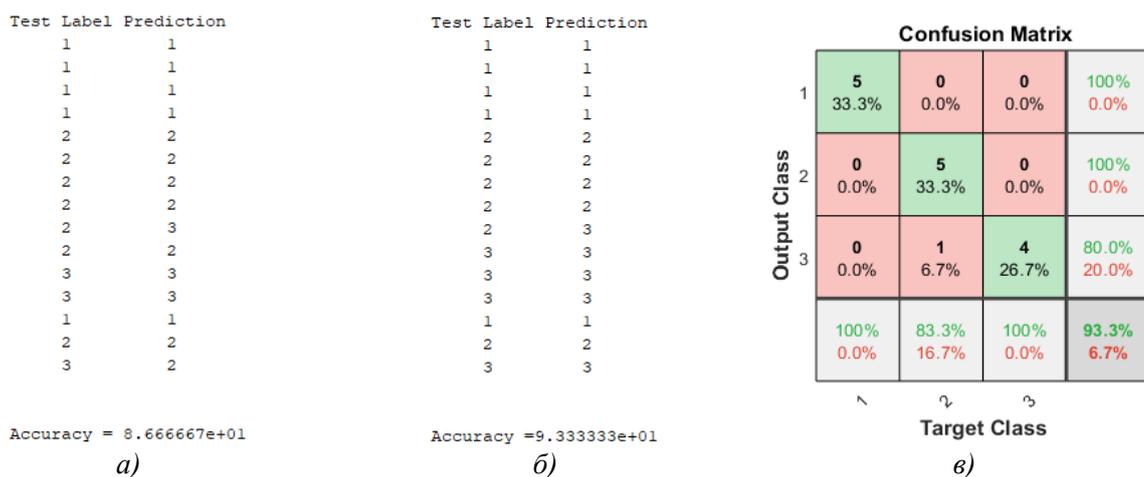


Рис. 3. Результаты работы моделей

Таким образом методы машинного обучения дают точность классификации выше 86%. Наиболее точным являются методы kNN и ANN, которые дает точность классификации более 93%.

Объединяя все вышеперечисленные этапы в единую систему, сформируем блок-схему системы мониторинга процесса резания (рисунок 4). Каждый блок предложенной

системы может быть легко автоматизирован, и объединен в один программный пакет, написанный на языке Matlab (в нашем случае) или Python.

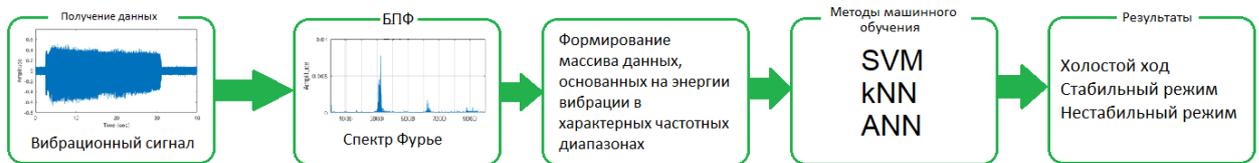


Рис. 4. Блок-схема системы мониторинга процесса резания

Задача обнаружения превышения уровня вибрации может быть решена только внедрением системы мониторинга станка, которая включала бы в себя: сбор данных, обработку полученных сигналов и обнаружение вибрации методами искусственного интеллекта.

В данной работе была выстроена поэтапная структура системы мониторинга станка, которая включает в себя сбор данных при помощи микрофона и акселерометра, обработку полученных сигналов методом БПФ и обнаружение вибрации при помощи моделей машинного обучения. Наибольшую точность показали модели kNN и ANN, точности классификации которых более 93%.

## Литература

1. Качан А. Я., Мозговой А. Я., Беликов С. Б., Внуков Ю. Н. Карась В. П. Основные направления развития прогрессивных технологий и металлорежущих станков с ЧПУ. Вісник двигунобудування, (2), (2007), 82-85.
2. Козочкин М.П., Солис Н.В. Исследование связи вибраций при резании с качеством получаемой поверхности. // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования, (2), 2009, 16-23.
3. Анцев А. В., Данг Хыу Чонг. Прогнозирование периода стойкости режущего инструмента на основе контроля вибрации в процессе фрезерования. Известия Тульского государственного университета. Технические науки, (7), 2008, 3-11.
4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. Питер, 2003г.: 751.
5. С.Л. Марпл -мл, Цифровой спектральный анализ и его приложения, МИР, Москва, 1990, 256.
6. Kuljanic E, Sortino M, Totis. Multisensor approaches for chatter detection in milling. J Sound Vib 312(4-5), 2008, 672-693.
7. Singh K, Singh R, Kartik V. Comparative study of chatter detection methods for high-speed micromilling of Ti6Al4V. ProceManuf 1, 2015, 593-606.