

АКУСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ НА СТАНКАХ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

ACOUSTIC CONTROL OF THE MILLING PROCESS ON NUMERICALLY CONTROLLED MACHINES

E. Rebrov

Summary. This article discusses the registration of sound information and the features of frequency analysis of sound during longitudinal and transverse processing of wood on a CNC milling machine. The main sound characteristics that arise during machine operation were studied, and the resulting sound profile during longitudinal and transverse machining was considered. The results of experimental studies conducted to determine the characteristic operating parameters of the machine for material processing modes are also presented.

Keywords: spectrum analysis, fast Fourier transform algorithm, CNC, sound profile, vibro-acoustic signal.

Ребров Евгений Алексеевич

Аспирант, Саратовский государственный
технический университет имени Гагарина Ю.А.
ea-rebrov@yandex.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрены регистрация звуковой информации и особенности частотного анализа звука при продольной и поперечной обработке древесины на ЧПУ фрезере. Были изучены основные характеристики звука, возникающие в процессе работы станка, рассмотрен возникающий звуковой профиль при продольной и поперечной обработке. Также представлены результаты экспериментальных исследований, проведенных с целью определения характерных параметров работы станка для режимов обработки материала.

Ключевые слова: анализ спектра, алгоритм быстрого преобразования Фурье, ЧПУ, звуковой профиль, вибро-акустический сигнал.

В современном мире технологии обработки материалов играют важную роль в различных отраслях промышленности. Фрезерование является наиболее востребованным методом механической обработки различных материалов. Фрезерные станки с числовым программным управлением (ЧПУ) широко используются в современном машиностроении и позволяют изготавливать большую номенклатуру деталей различной формы. При этом обеспечение качества изготавливаемых деталей является одним из ключевых показателей эффективности технологического процесса. Контроль технологических циклов, реализующих фрезерную обработку материалов, затруднен ввиду сложности траекторий движения режущего инструмента и необходимости фиксации его отклонений от заданной траектории. Один из подходов к созданию системы контроля траекторий движения режущего инструмента основан на том, что процесс резания сопровождается генерацией характерного вибро-акустического сигнала, параметры которого зависят от параметров обрабатываемого материала и характеристик режущего инструмента [1]. До недавнего времени анализ вибро-акустического сигнала использовался чаще всего для определения степени износа режущего инструмента [2]. Сегодня возможности звукозаписывающего оборудования и программного обеспечения позволяют точно фиксировать и быстро обрабатывать сложные вибро-акустические сигналы, что дает возможность выявлять самые тонкие особен-

ности режимов резания и процесса фрезерования, тем самым контролируя весь технологический процесс.

Целью работы является экспериментальная проверка возможностей системы вибро-акустического контроля процесса фрезерования на станках с числовым программным управлением. В качестве модельного материала для эксперимента выбрана древесина. Вибро-акустический сигнал снимался с помощью конденсаторного микрофона. Экспериментальная установка включала в себя станок с ЧПУ типа CNC1419, микрофон типа МК-F100TL, установленный вблизи зоны резания. Установка чувствительного микрофона рядом с режущим инструментом и обрабатываемой деталью обеспечила высокую точность и качество записи звуковых характеристик изучаемого процесса и позволила получить детальную информацию о звуковых характеристиках процесса обработки древесины на ЧПУ фрезере. Запись информации производилась с помощью программы Audacity. Данная программа позволяет не только записывать, но и обрабатывать звук, а также имеет определенный функционал для его анализа [3].

Для реализации процесса фрезерования и генерации анализируемого акустического сигнала, возникающего при обработке деревянной детали на фрезерном ЧПУ станке была подготовлена специальная управляющая программа для ЧПУ фрезера. При разработке управ-

ляющей программы использовалось программное обеспечение (ПО) Autodesk Fusion 360.

На рисунке 1 изображена визуализация управляющей программы для ЧПУ фрезера в виде траектории движения фрезы в процессе фрезерования. Рисунок 1 представляет собой скриншот изображения траектории режущего инструмента, сгенерированный в ПО Autodesk Fusion 360 и соответствующий разработанной программе фрезерования. На траектории движения можно выделить следующие фазы, обозначенные стрелками: вертикальное заглабление фрезы в материал и выход из материала, показанное вертикальными линиями (1); участок захода фрезы по сложной траектории на прямолинейную траекторию выборки материала, показанный линиями (2); участок прямолинейной траектории движения фрезы с выборкой материала, показанный горизонтальными линиями (3); участок возврата фрезы в точку начала координат, показанный горизонтальной линией (4). Стоит отметить, что согласно программе фреза выполняла сначала 10 прямолинейных проходов со скоростью движения 577 мм в минуту, после каждого опускаясь на 1 мм со скоростью заглабления в материал 100 мм в минуту, затем, для финальной обработки фреза выполняла 11-й проход с заглаблением на 0,2 мм.

Запись звука при обработке детали производилась при положении волокон детали вдоль основной прямолинейной траектории движения фрезы и поперек. Для каждого положения программа повторялась по четыре раза со смещением точки начала реза.

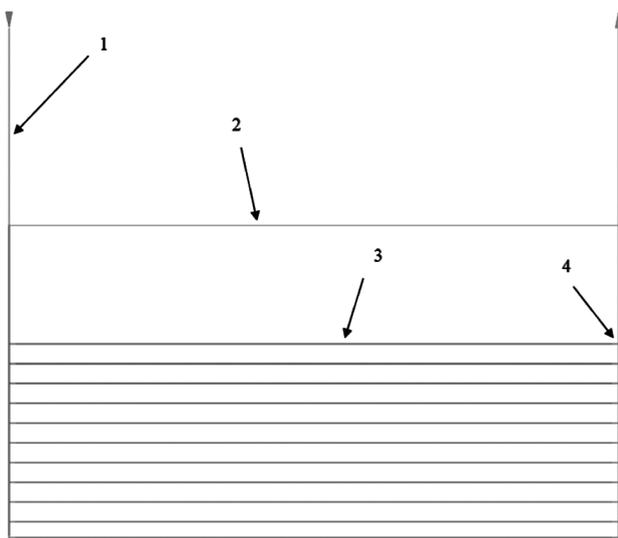


Рис. 1. Траектории фрезы в соответствии с управляющей программой

В таблице 1 представлены подробные параметры обработки детали фрезой. Стоит обратить внимание на параметр «Скорость вращения шпинделя» в его параметрах указано значение 9000 об/мин (150 Гц) — с такой скоростью будет вращаться рабочая фреза.

Таблица 1.

Параметры обработки изделия

Параметр	Значение
Скорость вращения шпинделя	9000 об/мин
Скорость перемещения по поверхности	87,6504 м/мин
Скорость подачи при резке, на ввод, на вывод и при переходе	577 мм/мин
Подача на зуб	0,0641111 мм
Скорость подачи по рампе	333,333 мм/мин
Скорость погружения	100 мм/мин
Подача погружения на оборот шпинделя	0.0111111 мм

Записанные звуковые данные были сохранены в формате «.wav» для дальнейшей обработки. Вышеуказанный формат сохраняет звук без сжатия, что позволяет сохранить всю звуковую информацию без потерь, а также из-за своей популярности поддерживается множеством стороннего ПО.

На рисунке 2 показан фрагмент спектрограммы записанного звукового трека процесса фрезерования. Вдоль горизонтальной оси отложено время в секундах, по вертикальной — частота сигнала в кГц, интенсивностью окраса отмечена амплитуда сигнала в Дб. Спектрограмма позволяет визуальнo отразить изменение характеристик акустического сигнала во времени. На спектрограмме хорошо видны различные участки с разной интенсивностью звука, соответствующие различным фазам на траектории движения фрезы. Выделенная светлым фоном центральная часть спектрограммы отражает характеристики сигнала во время прямолинейного движения фрезы с выборкой материала. Данный участок является наиболее информативным и будет проанализирован подробнее.

С помощью встроенного инструмента «График спектра» была получена диаграмма частот для выделенного фрагмента с помощью алгоритма быстрого преобразования Фурье [4] (см. Рисунок 3).

Далее данная диаграмма была экспортирована в «.csv» файл для дальнейшей обработки. Данная процедура была проведена для всех записанных фрагментов прямолинейного движения фрезы, как вдоль волокон, так и поперек.

Дальнейшая обработка данных была произведена с помощью R Studio — интегрированной среды разработки для языка программирования R, который широко используется для статистического анализа и визуализации данных [5].

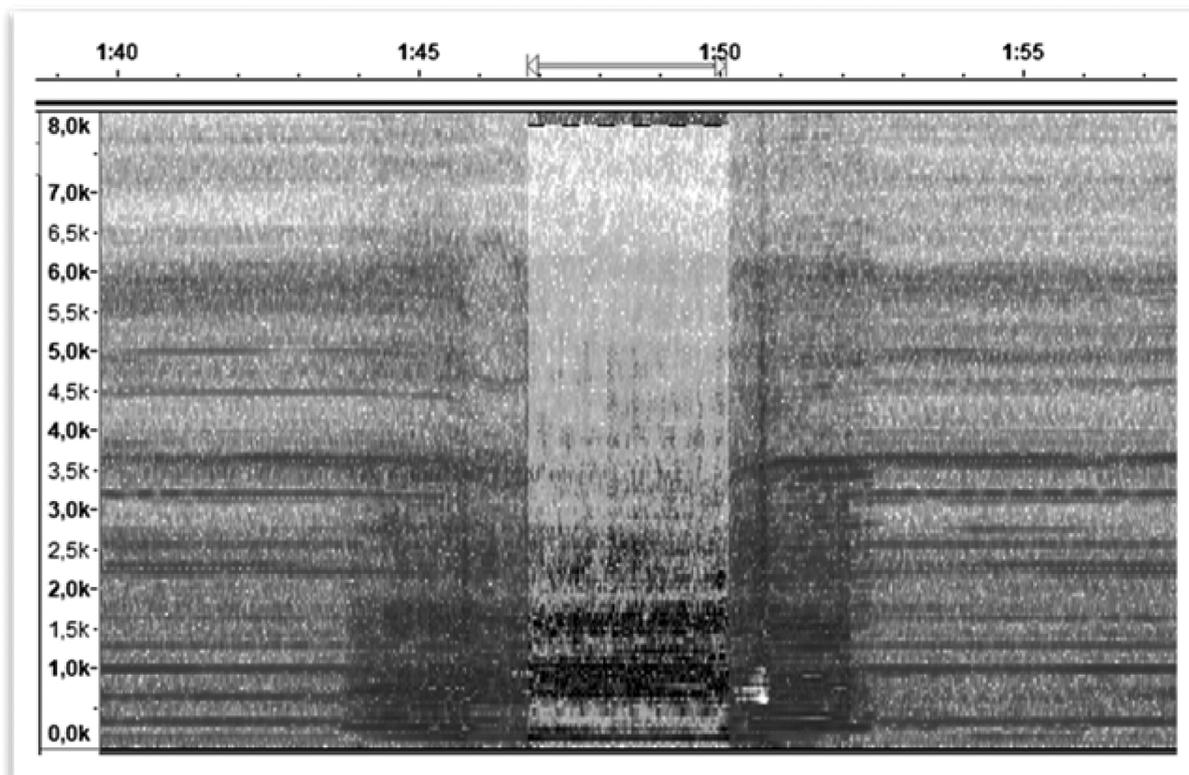


Рис. 2. Спектрограмма части записанного звукового трека

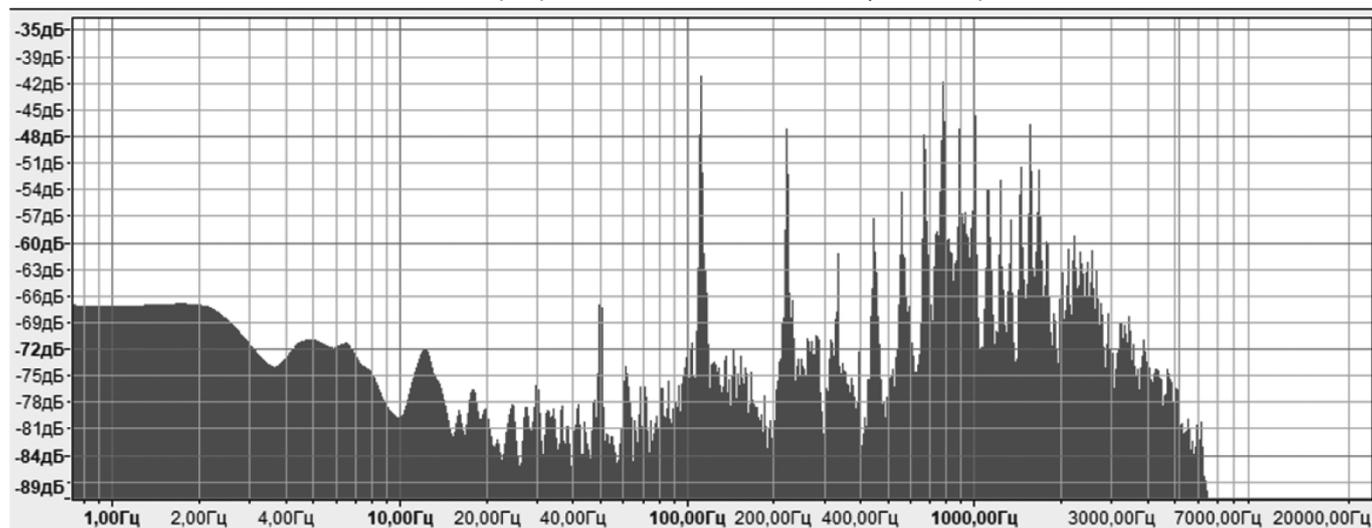


Рис. 3. Диаграмма частот отдельного фрагмента

С помощью средств автоматизации обработки данных языка R данные, полученные из диаграмм частот, были загружены в программу и сгруппированы по направлению движения фрезы относительно волокон. Данные в обеих группах были проверены на корреляцию методом Пирсона. Полученный коэффициент оказался равен 0,9767325, что говорит о сильной прямо пропорциональной зависимости в обеих группах.

Затем, из каждой группы были получены усредненные значения диаграмм частот прямолинейного движе-

ния фрезы вдоль волокон и поперек волокон. Анализ спектров частот показал, что на частотах около 1000 Гц присутствуют пики амплитуды, характерные только для движения фрезы вдоль волокон. Это свидетельствует о возможности выявления подобного движения фрезы с помощью анализа звуковой информации, генерируемой при обработке детали.

В ходе исследования были изучены особенности частотного анализа звука при продольной и поперечной обработке древесины на ЧПУ фрезере. Были выявлены

основные характеристики звука, возникающего в процессе работы станка, рассмотрен возникающий звуковой профиль при продольной и поперечной обработке. Результаты экспериментальных исследований позволили определить характерные параметры работы станка для разных режимов обработки материала.

Таким образом, частотный анализ звука при обработке древесины на ЧПУ фрезере является важным инструментом для контроля качества и эффективности процесса. Полученные данные могут быть использованы для разработки и совершенствования новых методов контроля технологических процессов обработки материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ребров Е.А. Контроль работы ЧПУ оборудования с помощью компьютерного анализа его фонограммы / Е.А. Ребров // Проблемы управления в социально-экономических и технических системах: Материалы XX Международной научно-практической конференции. Сборник научных статей, Саратов, 17–18 апреля 2024 года. — Саратов: Издательский центр «Наука», 2024. — С. 660–662. — EDN ISHGIL.
2. Залого В.А. Контроль динамического состояния металлообрабатывающей технологической системы и прогнозирование ее ресурса: монография / В.А. Залого, В.М. Нагорный, В.В. Нагорный. — Сумы: Сумский государственный университет, 2016. — 242 с. ISBN 978-966-657-604-3.
3. Алдошина И.А. Современные программные средства для записи, анализа и обработки звуковой информации / И.А. Алдошина, П.В. Игнатов // Проблемы подготовки режиссеров мультимедиа: Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 25 апреля 2014 года / Санкт-Петербургский гуманитарный университет профсоюзов. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский гуманитарный университет профсоюзов, 2014. — С. 14–15. — EDN VRIWMJ.
4. Щелбанин А.В. Алгоритмы преобразования Фурье и их применение при анализе звуковой информации / А.В. Щелбанин, Л.А. Зинченко // Молодой ученый. — 2016. — № 20(124). — С. 29–34. — EDN WWSTWV.
5. Ang M.A. Computer-Assisted Simulations Using R and RStudio to Assist in Operations Research and Analysis in the Context of Clinical Laboratory Management / M.A. Ang, K.C. Sotalbo // Philippine Journal of Pathology. — 2024. — DOI 10.21141/pjp.2024.14. — EDN MURPSN.

© Ребров Евгений Алексеевич (ea-rebrov@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»