

Ю. Л. Чигиринский, Д. В. Крайнев, Нгуен Тиен Зунг, Н. В. Чигиринская
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАНДАРТНОЙ ОСНАСТКИ ТОКАРНОГО СТАНКА
ДЛЯ АНАЛИЗА ВИБРАЦИОННОГО ФОНА ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: Julio-Tchigirinsky@yandex.ru

Предиктивное техническое обслуживание – это стратегия упреждающего обслуживания, в которой используются инструменты мониторинга состояния для обнаружения признаков повреждений, отклонений от нормы и производительности оборудования. Наиболее часто используемым методом анализа состояния вращающихся частей является анализ вибрации. Большинство инструментов анализа сигналов сегодня используют быстрое преобразование Фурье (БПФ), которое является частным случаем обобщенного дискретного преобразования Фурье и преобразует сигнал вибрации из его представления во временной области в эквивалентное представление в частотной области. В этой статье основное внимание уделяется использованию дискретного преобразования Фурье для анализа сигнала механической обработки.

Ключевые слова: лезвийная обработка, информационный сигнал, вибрационный фон, дискретное преобразование Фурье.

Ju. L. Tchigirinsky, D. V. Krainev, Nguyen Tien D., N. V. Chigirinskaya
USE OF STANDARD EQUIPMENT OF A LATHE TO ANALYZE
THE VIBRATION BACKGROUND OF THE CUTTING PROCESS

Volgograd State Technical University

Predictive maintenance is a proactive maintenance strategy that uses condition monitoring tools to detect signs of damage, abnormalities, and equipment performance. The most commonly used method for rotating machines is vibration analysis. The most commonly used method for condition analysis of rotating parts is vibration analysis. Most signal analysis tools today use the fast Fourier transform (FFT), which is a special case of the generalized discrete Fourier transform and converts a vibration signal from its time domain representation to an equivalent frequency domain representation. This article focuses on the use of discrete Fourier transform for machining signal analysis.

Keywords: turning, information signal, vibration background, discrete Fourier transform.

Обсуждая возможность «интеллектуализации» цифровых технологических систем металлообрабатывающего производства, исследователи неизбежно приходят к необходимости анализа информационной картины совокупности взаимосвязанных и взаимовлияющих явлений, в целом составляющих процесс механической обработки: теплофизических, электромагнитных, химических, механических и др. Почему в настоящее время для анализа состояния сложных технологических систем выбирают именно вибрационную диагностику? Ответ на этот вопрос заключается в понятии «универсальность». Колебательные процессы сопровождают функционирование любых механических и мехатронных систем, начиная от простейших подшипниковых узлов до сложных технических систем, таких как многоступенчатые редукторы, электро- и газотурбинные двигатели, насосы, тяжелые металлорежущие станки и т. д. Вибрационный сигнал является отражением колебательных процессов.

Решение применить для оценки состояния технической системы анализ вибрационных сигналов, сопровождается следующими вопросами:

- какие характеристики сигнала измерять? Виброперемещения (амплитуды), виброскорость или виброускорение?

- какой сигнал получить: спектр, фазу, огибающую?

- какие фильтры использовать для первичного анализа? Частотные фильтры, отсекающие предельные низкие или высокие частоты? Полосовые фильтры? Какие границы полосового фильтра задать?

- какие аналитические методы использовать для диагностики? Анализ частотного спектра для диагностики ошибок? Или фазовый анализ для определения ошибок для подобных спектров?

Измерения можно проводить на корпусах подшипников машин с помощью акселерометров (сейсмических или пьезоэлектрических датчиков) для измерения вибраций корпуса, а на подавляющем большинстве ответственных машин – с помощью вихретоковых датчиков, которые непосредственно измеряют радиальные (прежде всего) и осевые смещения вращающихся валов. Уровень вибрации можно сравнивать с эталонными базовыми значениями, определенными по серии предыдущих запусков и остановок, а в некоторых случаях – с установленными нормами, такими как изме-

нения нагрузки, чтобы оценить существенность отклонений от установившегося режима работы машины. Производители машин и деталей также определяют пределы вибрации на основе конструкции машины или внутренних частей, например, оговаривают в технической документации диапазоны частот, соответствующих определенным неисправностям подшипников.

Интерпретация полученного вибрационного сигнала – сложная процедура, требующая специальной подготовки и опыта. Достаточно часто рассматривается исследование отдельных частот [5], присутствующих в полигармоническом сигнале. Эти частоты соответствуют определенным механическим компонентам или определенным неисправностям. Например, повышенная амплитуда вибрации на частоте, соответствующей скорости вращения вала, чаще всего возникает из-за остаточного дисбаланса и исправляется балансировкой. С другой стороны, разрушающийся подшипник качения обычно проявляет сигналы вибрации на определенных частотах, интенсивность которых увеличивается по мере его износа. Специальные инструменты анализа позволяют получить предиктивную оценку возможной угрозы, что, в свою очередь, позволит избежать серьезных последствий. В зависимости от типа технической системы и ее структуры, зная взаимосвязь типичных неисправностей с количественными характеристиками вибрационных процессов, можно, применяя методы математического и компьютерного моделирования – исследование сигнала во временной области, фазовое соотношение между компонентами вибрации и синхронизация метки на валу машины (ключевой индикатор), накопленные усредненные тенденции уровней вибрации, форма вибрационного сигнала и множество других аспектов сигнала, – получить дополнительную информацию [6] о системе: нагрузку, температуру подшипников, скорость потока рабочей среды, и др. Частотный анализ, как правило, наиболее эффективен для оценки состояния технических систем, в которых основные причины отказов связаны с износом (или разрушением) тел трения или качения. Названные выше методы и средства для фиксации и анализа вибрационного спектра, как правило, являются «внешними элементами» по отношению к исследуемой машине.

Отметим, что технологическая система в механообрабатывающем производстве представляет собой техническую систему, результатом

нормального функционирования которой является процесс прогнозируемого циклического разрушения только некоторых определенных элементов системы. Основная задача, решаемая при диагностике процесса резания, заключается в выявлении сигналов, отражающих повышение интенсивности изнашивания или вероятности разрушения остальных элементов системы.

Известно, что любой, привнесенный в систему извне элемент, усложняет эту систему и изменяет общую информационную картину. В данной работе исследуется возможность оценки состояния технологической системы средствами только самой технологической системы – без применения «внешних» датчиков.

Общие условия эксперимента: процесс наружного точения предварительно упрочненной заготовки, обрабатываемый материал – сталь 12Х18Н10Т, диаметр заготовки 121 мм, глубина предварительной пластической деформации

$h_{\text{под}}=0,7$ мм, глубина резания $t=0,5$ мм, скорость резания $V=180$ м/мин, скорость продольной подачи $S=0,05$ мм/об. Оборудование: станок токарно-револьверный OKUMA GENOS L300M. Для анализа вибрационной картины процесса используются записи сил резания (рис. 1, а), получаемые с помощью штатного динамометрического оборудования станка. Частота дискретизации $f=5$ кГц. Запись силы произведена в течение 3 секунд установившегося резания.

Амплитудно-частотная характеристика сигнала для трех составляющих силы резания получена в результате применения быстрого преобразования Фурье [1, 2]. Численный анализ произведен с использованием программных средств Matlab [3] или Mathcad [4]. Спектр получается из формы сигнала с помощью математического расчета, известного как быстрое преобразование Фурье (БПФ). Для решения задачи можно применить программное обеспечение

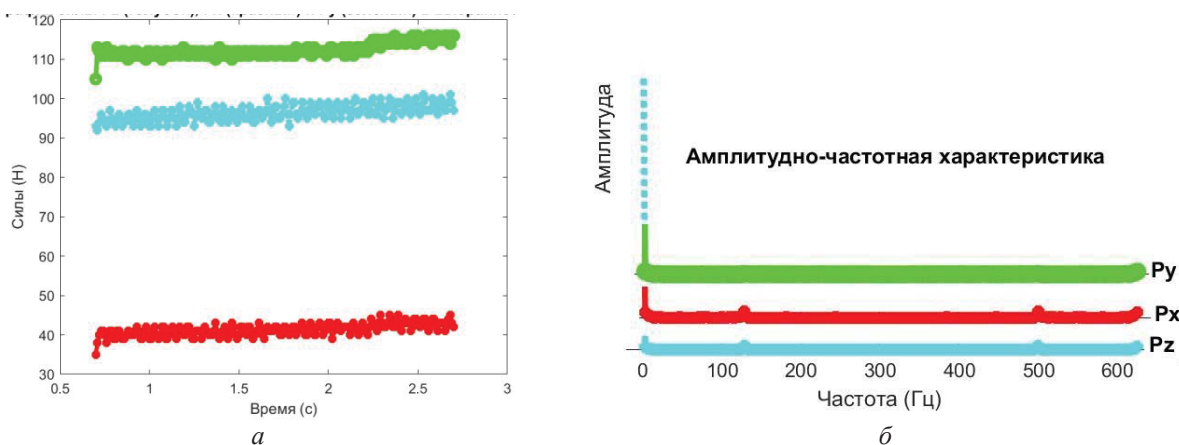


Рис. 1. Осциллограммы (а) и АЧХ (б) составляющих силы резания

На АЧХ осевой (P_x) и тангенциальной (P_z) составляющих силы резания отчетливо заметны повышения амплитуды в полосах частот 110...130 Гц и 480...520 Гц. Кроме того, на АЧХ всех составляющих силы резания присутствует локальный «пик» на частоте, близкой к нулю. На остальных частотах измеренного спектра вибрационный сигнал представляет собой запись «белого шума» – можно считать, что определенная информация о состоянии технологической системы содержится в полосах, отмеченных локальными «пиками».

Для сравнения показаны осциллограммы (рис. 2), полученные с помощью виброметра

ZETLAB. Место установки измерительного датчика – на револьверной головке токарного станка, – выбрано в результате предварительных экспериментов по оценке информативности сигнала и с учетом безопасности процесса.

Анализируя осциллограмму (рис. 2, а), которая представляет собой графическое изображение полигармонического сигнала, можно выделить несущую (или модулирующую) частоту, которая дает наибольший вклад в амплитуду суммарного сигнала – частоту колебаний, формируемых вращением шпинделя токарного станка (1).

$$V = \frac{\pi D n}{1000} \Rightarrow n = \frac{1000 V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 180}{\pi \cdot 120} \approx 480 \text{ (об/мин)} \Rightarrow f_k = \frac{n}{60} \approx \frac{480}{60} = 8 \text{ Гц} \quad (1)$$

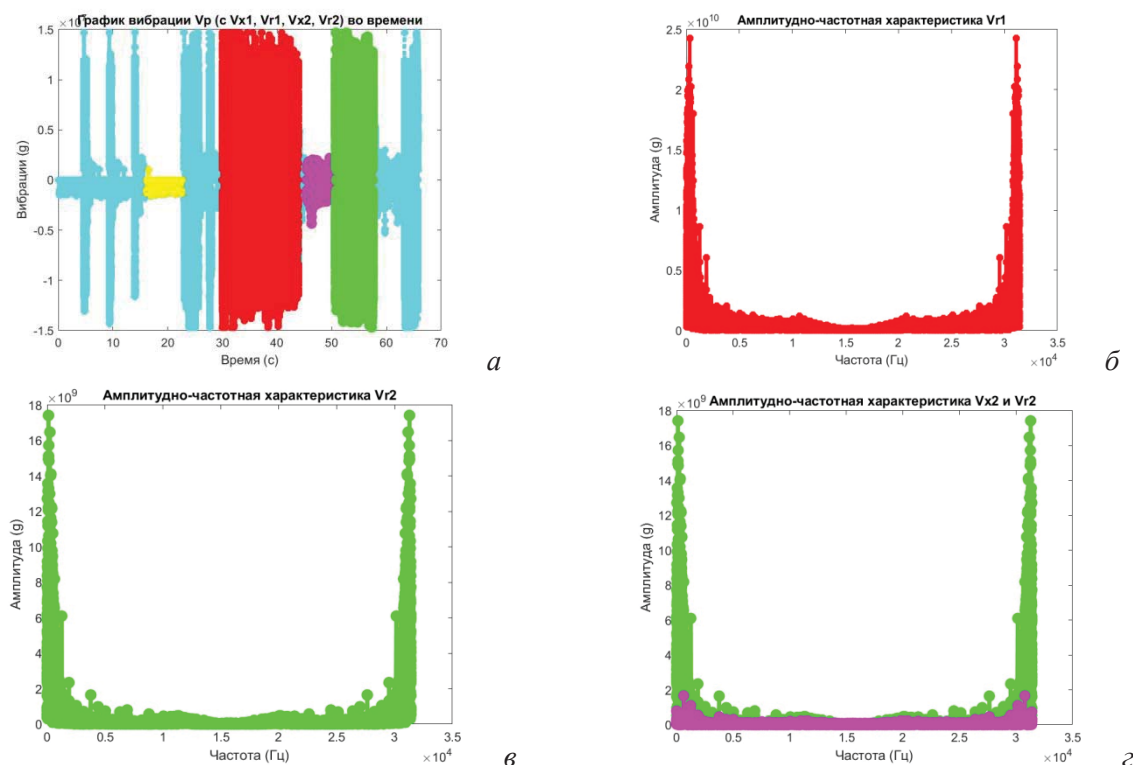


Рис. 2. Запись колебаний технологической системы токарного станка

Эти низкочастотные колебания присутствуют в вибрационном сигнале всегда (рис. 1, 2). Прослеживается аналогия в расположении локальных максимумов на АЧХ, полученных с помощью специализированного оборудования (рис. 2) и штатными средствами металлорежущего станка (рис. 1).

Вопрос о верхней границе диапазона частот, генерируемых технологической станочной системой во время работы, может быть решен исходя из теоремы Котельникова [7] о дискретизации сигнала. Максимальная достоверно измеряемая частота определяется дискретностью аналогового сигнала, записанного с помощью датчиков виброметра – прибора для измерения вибраций, или иного прибора, регистрирующего частотный спектр работы оборудования. Учитывая, что измерения сил резания выполняются штатной тензометрической системой токарного станка с периодичностью $2 \cdot 10^{-4}$ сек, верхний порог измеряемых частот определится в соответствии с (2)

$$f_1 < \frac{f}{2} = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ кГц} \quad (2)$$

Таким образом, измерения и анализ полигармонического сигнала вибрационной карти-

ны резания можно проводить только в пределах полосы частот $\sim 5 \dots 2500$ Гц. Все остальные члены разложения Фурье, отражающие частоты более 2,5 кГц, будут недостоверными.

Следует отметить, что для анализа вибрационной картины процесса резания в указанном диапазоне частот достаточно штатной оснастки серийно выпускаемого оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Оберхеттингер, Ф.* Преобразования Фурье распределений и их обращения / Ф. Оберхеттингер. – Издательство «Наука», 1979. – 248 с
2. *Джеесси Рассел, Рональд Кон.* Дискретное преобразование Фурье, Bookvika publishing, 2012. – 102 с.
3. *Дьяконов, В. П.* MATLAB Полный самоучитель / В. П. Дьяконов. – Москва, 2012.
4. *Кирьянов, Д.* Mathcad 15/Mathcad Prime 1.0 / Д. Кирьянов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2012. – 432 с.
5. *Steve Goldman.* Vibration spectrum analysis: a practical approach, Industrial Press Inc, 1991. – 240 с.
6. *Victor Wowk.* Machinery vibration measurement and analysis, McGraw-Hill Inc, 1991. – 358 с.
7. *Котельников, В. А.* О пропускной способности эфира и проволоки в электросвязи / В. А. Котельников // Всесоюзный энергетический комитет : матер. к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции дела связи и развития слаботорочной промышленности, 1933. Репринт статьи в журнале УФН, 176:7 (2006). – С. 762–770.