



УДК: 681.5.08:621.317.799

П. Г. Королев, Е. В. Балашов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Анализ характеристик вибрации инструмента металлорежущего станка

Рассматриваются вопросы диагностики состояния узлов металлорежущего станка на основе измерения вибрации. Проводится анализ возможности применения различных датчиков для измерения параметров вибрации. Рассмотрены вопросы диагностики состояния инструмента. В качестве информативного параметра предлагается использовать энергетический спектр контролируемого сигнала.

Металлорежущий станок, инструмент, датчик виброскорости, датчик виброускорения, вибрационная характеристика, энергетический спектр

Для повышения эффективности работы промышленного предприятия необходимо решить следующие задачи: мониторинг работы технологического оборудования в реальном времени, в частности металлообрабатывающих станков; анализ и классификация причин простоя оборудования; информирование цеховых служб предприятия о простоях; создание отчетов об использовании оборудования; расчет показателей эффективности работы оборудования.

Индикаторами, отражающими отклонение режима работы различных узлов от нормального, являются характеристики вибрации, возникающей в процессе работы металлорежущего оборудования. Они могут быть использованы для предупреждения аварий, поломки инструмента, изменения режима обработки, появления брака и др. В современных информационно-измерительных системах контроля и управления технологическим процессом важным фактором является своевременное обнаружение возникновения дефектов.

Существует две причины возникновения вибраций в процессе обработки металла. Во-первых, благодаря внешней периодической возмущающей силе; во-вторых, вследствие периодичности и прерывистости процесса резания.

Под внешней силой нужно понимать сторонние колебания, которые передаются на электромеханический агрегат через фундамент, а также собственные вибрации его составных частей, люфты.

Процесс обработки материалов резанием неравномерен вследствие нескольких факторов: 1) резец имеет свободный ход, 2) обрабатываемая поверхность обладает неоднородной структурой, 3) появление нароста, 4) скалывание стружки.

Современные станки проектируются с учетом снижения собственных вибраций, и это сказывается на качестве получаемых деталей: чем меньше биение резца, тем лучше качество обработки металла. На сегодняшний день для заказчиков наибольшую значимость имеет шероховатость обработанной поверхности.

Сложность и неоднозначность процесса резания металлов позволяет предположить, что возникновение биений определяется рядом факторов, которые действуют одновременно. В зависимости от конкретных условий некоторые из них могут доминировать. Среди этих условий следует выделить показатели режима резания (скорость, подача и глубина резания), а также состояние резца.

В современных датчиках виброускорения используются природные или искусственные материалы с пьезоэффектом. Если на такой элемент воздействовать с какой-либо силой, то на концах его появится заряд, пропорциональный этой силе и ускорению колебаний поверхности объекта.

Биения при обработке металлов резанием – это наложение колебаний разной природы. Используя измерительный канал с датчиком вибро-

ускорений, строится график распределения ускорений во времени. Аналитически виброускорение записывается как

$$a = -a_0 \sin(\omega t) = -\omega^2 A_0 \sin(\omega t),$$

где ω – угловая частота; t – время; A_0 – максимальная амплитуда вибро смещений.

Если проинтегрировать полученные значения по времени, то получатся значения виброскоростей:

$$v = v_0 \cos(\omega t) = \omega A_0 \sin(\omega t),$$

при двойном интегрировании – виброперемещение:

$$A = A_0 \sin(\omega t).$$

Виброскорость пропорциональна виброперемещению, умноженному на частоту, а виброускорение – виброперемещению, умноженному на квадрат частоты. Поэтому вполне объяснимо, почему амплитуда спектральных составляющих на высоких частотах значительно меньше, чем на низких: большие смещения на высоких частотах должны сопровождаться очень большими скоростями и чрезвычайно большими ускорениями. Пример спектра виброускорения электромеханического устройства приведен на рис. 1.

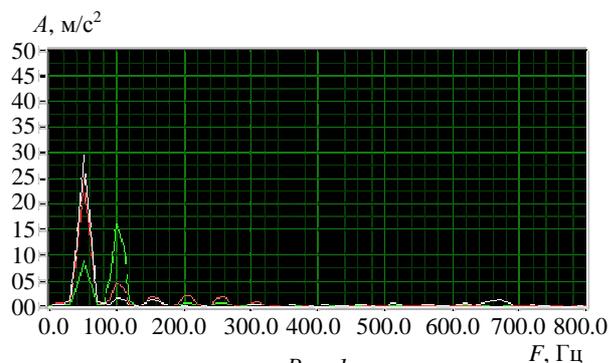


Рис. 1

Так как при обработке металлов резанием существует множество гармоник, результирующей станет их сумма, а производная результирующей будет складываться из производных составляющих.

Для полной характеристики вибрации необходимо знать три основных параметра: амплитуду вибро смещения, частоту и фазу составляющих вибрации. При этом критерии виброскорости и виброускорения универсальны – в их состав входят два основных параметра – частота и амплитуда вибро смещения.

Характер вибраций резца. Все колебательные процессы, оказывающие влияние на биение

резца, исходя из их природы, можно поделить на условно постоянные и случайные. Информативным параметром является скорость изменения этих процессов. Процессы распределяются по нормальному закону в окрестностях постоянных величин и изменяться эти величины будут с очень незначительной скоростью. Например, такие процессы можно пояснить старением составных частей устройства или затупливанием резца.

Для каждого обрабатываемого материала картина будет своя, но для совокупности деталей из одного металла снятые вибрационные характеристики имеют сходство по распределению частот и их амплитудам. Следовательно, полученные данные можно использовать для диагностики состояния станка и, в частности резца: он вносит наибольшие изменения в вибрационную картину.

Единственным существенным влиянием среди случайных процессов могут обладать явления резонанса. С учетом того, что при проектировании станков закладывается максимальная защита от внутренних резонансов, появление их свидетельствует о возникновении неисправности.

Применение спектрального анализа для выявления ухудшения параметров резца.

Установив датчик на резцедержатель и выполнив измерения с заданной частотой, получим зависимость виброускорения от времени. Для анализа необходимо перейти к частотной области, выполнив преобразование Фурье.

Результаты проведенных ранее исследований содержат различающиеся выводы о диапазонах частот, характеризующих вибрации режущего инструмента, пригодных для диагностики его состояния. В частности, в [1] вертикальные вибрации резцедержателя определены в диапазонах 4...5, 8...10 и 14...16 кГц. Эти наблюдения позволяют формировать диагностические выводы. По другим источникам предлагается выбирать диагностические частоты из диапазона 200...1200 Гц. Для тестирования алгоритмов диагностики вместо реального сигнала необходимо применять модель процесса. На рис. 2, *a* представлен сигнал $L(t)$, на рис. 2, *б* – его спектр $L(f)$, соответствующие виброперемещению резца в вертикальной плоскости. Основная гармоника – на частоте 2400 Гц.

Для контроля технического состояния металлорежущих станков целесообразно формирование так называемых «вибрационных портретов». Вибрационным портретом называют набор

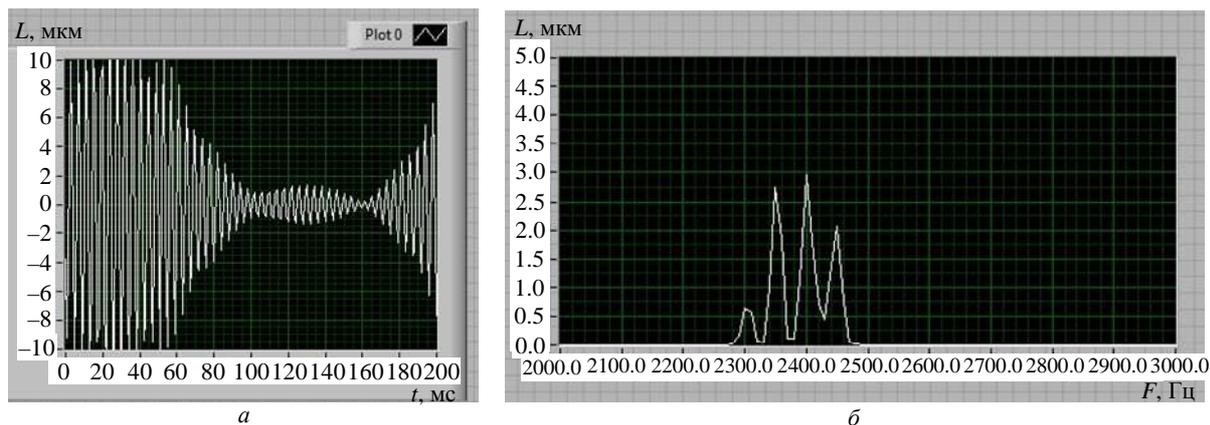


Рис. 2

спектральных составляющих, отражающих рабочие частоты отдельных элементов станка, и в частности режущего инструмента.

На формирование вибрационного портрета оказывают влияние следующие факторы: обрабатываемый материал, частота вращения шпинделя, форма обрабатываемой детали, скорость подачи, состояние режущего инструмента, износ станка (обрабатывающего центра) в целом.

Следовательно, необходимо формирование базы вибрационных портретов, размер которой определяется номенклатурой деталей, выпускаемых предприятием (цехом).

Образцовый вибрационный портрет формируется (корректируется) после замены режущего инструмента и сохраняется в энергонезависимой памяти устройства мониторинга технического состояния металлорежущего оборудования.

После выбора формы представления, подходящей для определенного типа станка (для этого необходимы экспериментальные исследования), можно анализировать изменения характера колебаний.

В [2], [3] было обнаружено, что спектральная плотность вибрации первоначально убывает при росте износа, достигает минимума, соответствующего критическому износу резца, а затем непрерывно возрастает. После множества циклов обработки одинаковых деталей наступают деградиционные процессы, и вместо значений амплитуды виброускорения на диагностических частотах, находящихся в допустимых пределах $A_0 \dots A_1$ (рис. 3) через 0:50...3:14 мин происходит их снижение до минимального значения, а далее – нарастание. При условии, что станок исправен и нет никаких внешних факторов, которые вносили бы существенное изменение, можно сделать вывод, что изменения произошли вследствие затупливания резца [4]. Таким образом, если задаться некоторыми границами по амплитуде и частоте,

можно контролировать состояние режущего инструмента и своевременно выполнять замену, чтобы его состояние не сказывалось на качестве обработанных деталей и не приводило к изменению технологических планов выработки станка.

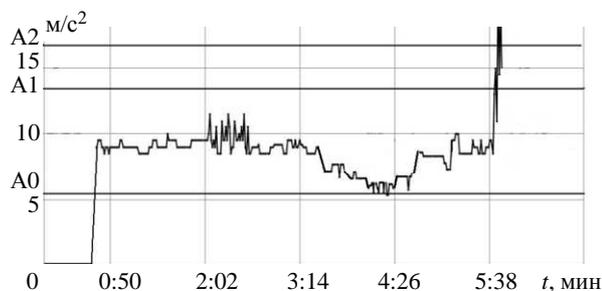


Рис. 3

На данный момент контроль состояния металлорежущего оборудования в системах автоматизированного управления технологическими процессами основывается на измерениях токов потребления станков. В совокупности с токовыми измерениями анализ вибраций позволит создать систему диагностирования и контроля технологического процесса, которая сможет осуществлять и мониторинг состояния режущего инструмента. Задача решается в несколько этапов: 1) разработка диагностических алгоритмов, 2) подготовка модельных вибрационных портретов для их верификации, 3) формирование базы вибрационных портретов для номенклатуры выпускаемых изделий, 4) мониторинг состояния оборудования. Процессы вибраций при обработке металлов резанием на сегодняшний день хорошо изучены. Датчики виброускорений имеют высокую точность, широкий частотный диапазон измерений и могут крепиться на резцедержателе. Таким образом, применение анализа вибраций в системах мониторинга состояния станочного оборудования перспективно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калмыков В. В., Юсупова К. Н. Сравнительный анализ методов активного контроля состояния режущего инструмента // Научные технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе: материалы Рос. науч.-тех. конф. Калуга, 21–23 апр. 2015. (conference. bmstu-kaluga.ru/uploads/articles/135/article_b8079af2.doc).

2. Агрегированный цифровой комплекс для виброакустической диагностики металлорежущих станков / В. П. Зелик, А. И. Астапенко, Е. В. Шрам,

М. А. Максимов // Вестн. машиностроения. 1987. № 5. С. 58–60.

3. Либерман Я. Л. Системы вибродиагностики состояния режущего инструмента для токарных станков с ЧПУ // Вестн. машиностроения. 1993. № 2. С. 31–38.

4. Информационно-измерительная система контроля и управления технологическим процессом / В. В. Алексеев, П. Г. Королев, В. С. Коновалова, Р. Ю. Марченков // Приборы. 2009. № 10 (112). С. 43–49.

P. G. Korolev, E. V. Balashov

Saint Petersburg state electrotechnical university «LETI»

MACHINE TOOL METAL VIBRATION CHARACTERISTICS ANALYSIS

The nodes of the machine tool state diagnosis based on vibration measurements considered. The analysis of the possibility, using various sensors for measuring vibration held. Instrument condition diagnosis problems considered. The monitored signal energy spectrum is proposed to use as an informative parameter.

Cutting machine, tool, sensor vibration velocity, vibration acceleration sensor, vibration characteristic energy spectrum

УДК 625.042

Е. Н. Жданова, А. А. Минина

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

В. Н. Размашкин

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики

Оценка природных и техногенных рисков на железной дороге

Описывается подход к оценке природных и техногенных рисков. Рассмотрены способы уменьшения опасных явлений и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций, а также возможность снижения рисков, управление рисками, безопасность движения на железной дороге. Обосновывается необходимость разработки геоинформационного проекта для оценки природных и техногенных рисков на железной дороге.

Геоинформационные системы, мониторинг, риски, чрезвычайные ситуации, железная дорога, биосоциотехническая система

На сегодняшний день актуальны вопросы обеспечения безопасности движения не только в воздухе или на воде, но и на железной дороге, вследствие постоянного воздействия чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и биолого-социального характера. Актуальность выбран-

ной темы заключается в том, что железнодорожный транспорт имеет ряд преимуществ перед другими видами транспортировки.

Основными преимуществами железнодорожного (ЖД) транспорта являются [1]: