УДК 621.19

В.И. Курдюков, А.К. Остапчук, Д.А. Маслов, В.Е. Овсянников, Е.Ю. Рогов

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ПОМОЩИ РАЗМЕРНОСТИ ФАЗОВОГО ПРОСТРАНСТВА

Введение. На сегодняшний день можно считать доказанным тот факт, что технологическая система является нелинейной и динамической. Под динамической системой [1] понимается объект или процесс, для которого однозначно определено понятие состояния как совокупности некоторых величин в данный момент времени, и задан закон, который описывает эволюцию начального состояния с течением времени.

Таким образом, чтобы оценить состояние технологической системы в каждый момент времени, необходимо выбрать характеристики, которые эффективно отражают это состояние, и выявить закон их изменения во времени. Здесь в первую очередь необходимо выбрать методологическую концепцию, в рамках которой будут проводиться дальнейшие изыскания. Нелинейность процессов, протекающих в технологической системе, обусловливает малопригодность применения классических методов исследования таких систем, которые базируются в основном на спектрально-корреляционном анализе, статистическом анализе и методах линейного программирования [2]).

В последнее время все большее распространение для анализа нелинейных динамических систем приобретают синергетические методы [3], самыми распространенными среди которых являются методы нелинейной динамики [4-6].

Постановка задачи. Главной задачей является выбор характеристики или группы характеристик, посредством которых предполагается оценивать состояние технологической системы и установить зависимость выбранных характеристик от времени. В качестве исходных данных для анализа состояния системы предполагается использовать вибросигнал, который генерируется процессом чистовой токарной обработки, в качестве изучаемого тестового процесса будет использоваться износ инструмента, а временные характеристики предполагается заменить на значения ширины фаски износа. В работе для характеристики состояния технологической системы используется шероховатость обработанной поверхности, т.к. она является отражением всех динамических процессов, происходящих в технологической системе.

Основные результаты работы. В нелинейной динамике разработан ряд величин, которые используются для оценки состояния динамической системы. Основными среди них являются: размерность аттрактора, энтропия, показатели Ляпунова и Херста [5,6]. Для оценки размерности аттрактора обычно используется *Корреляционная размерность* - специфический количественнымй критерий, позволяющий различать структуру хаотических колебаний, отсюда следует, что данную величину возможно использовать в диагностических целях. В рамках данной работы предполагается производить мониторинг процесса механической обработки, используя вибросигнал, который также является колебательным процессом.

Для определения значения корреляционной размерности, необходимо в первую очередь реконструировать фазовую траекторию эволюции системы [5,6]. Реконструкция представляет собой метод исследования динамических систем по временным зависимостям одной или нескольких переменных x_j. Раннее считалось, что для изучения динамики колебательной системы в терминах фазового пространства необходимо знание всех координат, определяющих ее состояние. Однако

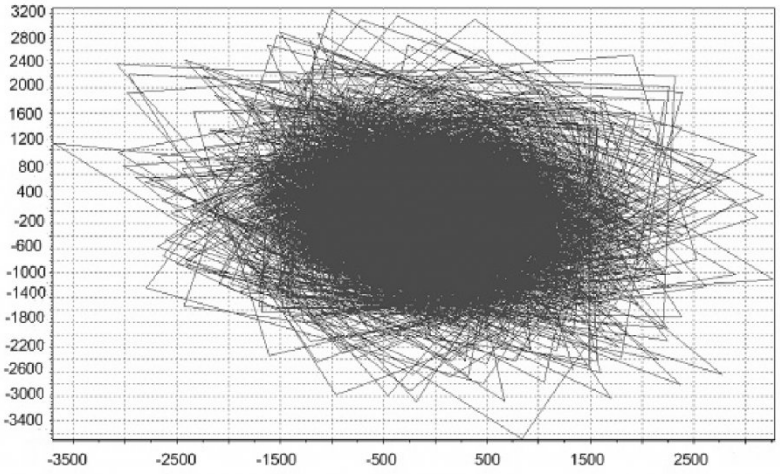

Рис. 1. Фазовая траектория $h_3 = 0$ мм

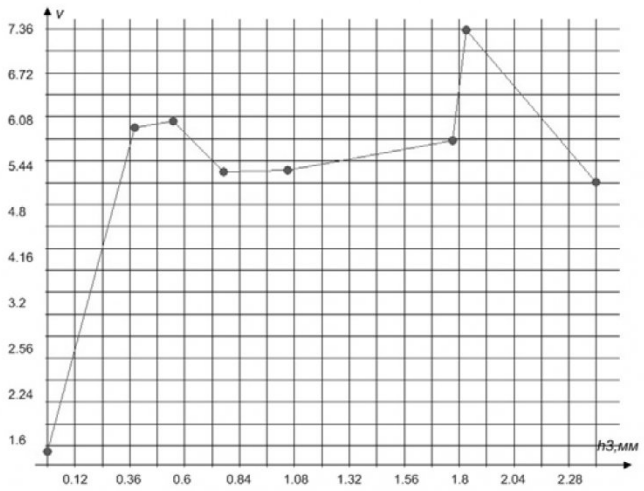

Рис. 2 Зависимость корреляционной размерности фазового пространства от ширины фаски износа

позже было обосновано, что фазовый портрет системы может быть восстановлен по одномерной реализации, согласно теореме Такенса [5, 6], имея временную зависимость исследуемого сигнала $x(t)$, фазовую траекторию (аттрактор) можно восстановить как множество векторов:

$$\overline{z(t)} = A_m(\overline{x(t)}) = \\ = \{x(t),,...,x,...,.x(t+(m-1)\times\tau)\},$$

где τ - временная задержка;

m - топологическая размерность фазового пространства;

$x(t)$ - значения вектора исходных данных.

Используя теорему Такенса, были реконструированы аттракторы системы в зависимости от ширины фаски износа. В качестве временного ряда использовались значения вибросигнала, записанного в ходе механической обработки, реконструкция фазовых траекторий производилась в программе Fractan v. 4.3. Пример реконструированной фазовой траектории представлен на рис. 1.

После реконструкции аттрактора, можно непосредственно приступить к определению корреляционной размерности. Определение корреляционной размерности основано на масштабной инвариантности корреляционного интеграла [6]:

$$\nu = \lim_{\varepsilon\to 0}\lim_{N\to\infty}\frac{\ln C(\varepsilon,N)}{\ln\varepsilon},$$

где $C(\varepsilon, N)$ - корреляционный интеграл, т.е. отношение числа пар точек, расстояние между которыми $\left|\overline{x_j}-\overline{x_i}\right|$ меньше ε , к полному числу пар точек; т.е. если обозначить через

$$k(\varepsilon) = \sum_i k_i(\varepsilon)/N$$

- среднее число ε -соседей точки, то значение:

$$C(\varepsilon,N) = \frac{k(\varepsilon)}{N}$$

Смысл корреляционного интеграла заключается в том, что он показывает среднюю вероятность того, что точка, лежащая на аттракторе попадает в шар радиуса ε, с центром в точке x_i , т.е.:

$$C(\varepsilon,N) = \frac{1}{N}\times\sum_i P_i(\varepsilon,N)$$

Зависимость корреляционной размерности ν

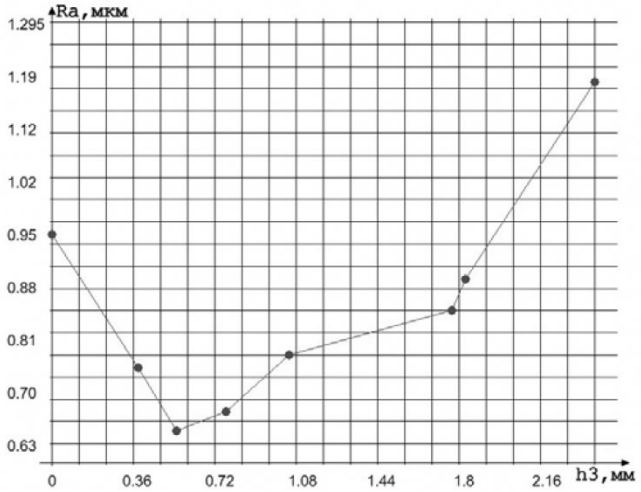

Рис. 3 Зависимость среднеарифметического отклонения величины микронеровностей от ширины фаски износа

от ширины фаски износа представлена на рис. 2.

Чтобы оценить применимость корреляционной размерности для оценки состояния технологической системы, необходимо установить взаимосвязь между корреляционной размерностью и выходными параметрами процесса механической обработки. В данной работе в качестве выходных параметров была использована шероховатость обработанной поверхности в зависимости от износа инструмента. В качестве режущего инструмент инструмента использовался резец из минералокерамики ВОК60, главный угол в плане φ = 45° , радиус при вершине r=2 мм , скорость резания V=350 м/мин , глубина резания t= 0.1 … 0.3 мм, подача S=0.01 … 0.1 мм\ об . Усредненная зависимость шероховатости поверхности от ширины фаски износа представлена на рис. 3 .

Для выяснения того есть ли эта связь или нет, была определена взаимная корреляция между значениями выходных параметров процесса обработки, т.е. шероховатости поверхности и величиной корреляционной размерности. Расчет значений взаимной корреляции производился в специально разработанной программе «Вычисление взаимной корреляции v1.0» [7].

Заключение

На рис. 2 видно, что можно выделить три характерные области на графике зависимости корреляционной размерности фазового пространства от ширины фаски износа. При значениях фаски износа h_3=0 … 0.5 мм наблюдается значительный рост корреляционной размерности, при h_3=0.5 … 1.8 мм колебания значений корреляционной размерности незначительны, а при h_3>1.8 мм наблюдается резкое уменьшение размерности. Первый участок графика (рис. 2) соответствует периоду приработки инструмента: как можно видеть из рис. 3 значения шероховатости на этом плавно снижаются, до получения оптимального значения шероховатости пары трения инструмент-деталь. Второй участок графика (рис. 2) соответствует зоне нормального износа инструмента (постоянной интенсивности износа): флуктуации значений шероховатости на этом участке незначительны. Третий участок графика (рис. 2) характерен для катастрофического износа инструмента – здесь наблюдается значительный рост значений шероховатости обработанной поверхности и интенсивность износа.

Коэффициент корреляции между значениями корреляционной размерности и шероховатости поверхности равен -0.85, таким образом, имеет место быть четко выраженная зависимость между данными величинами (корреляционная размерность и шероховатость). Следовательно, корреляционная размерность фазового пространства, может быть использована для оценки состояния технологической системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Павлов А.И.* Методы анализа сложных сигналов: Учеб. пособие для студ. Физ. фак./ А.Н. Павлов. – Саратов: Научная книга, 2008. – 120 с. Ил.

2. *Брандт З.* Анализ данных. Статистические и вычислительные методы для научных работников и инженеров: Пер. с англ. – М.: Мир, ООО «Издательство АСТ», 2003. – 686 с., ил.

3. *Хакен Г.* Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. – М.: Мир, 1985. – 419 с.

4. *Р.М. Кроновер:* Фракталы и Хаос в динамических системах: Основы теории, Москва. Постмаркет, 2000.-352 с.

5. *Г. Шустер:* Детерминированный хаос: Введение в теорию и приложения. Москва: Наука, 1998.-253 с.

6. *Лоскутов А. Ю.; Михайлов А. С.:* Динамический хаос. Москва: Наука, 2000.-294 с.

7. *Остапчук А.К., Овсянников В.Е., Рогов Е.Ю.* Вычисление взаимной корреляции v 1.0. – М.: ВНТИЦ, 2008. - № 50200800783.

Авторы статьи:

Курдюков Владимир Ильич -докт.техн.наук, проф каф. "Металлорежущие станки и инструмент" (Курганский гос. университет) Тел. 8-(3522) 53-33-77

Остапчук Александр Константинович - канд. техн.наук, доц. каф. "Технология машиностроения" (Курганский гос. университет) ostapchuk_ss@mail.ru

Овсянников Виктор Евгеньевич -асп. каф. "Технология машиностроения" (Курганский гос. университет) Тел. 8-(3522) 53-36-76

Рогов Евгений Юрьевич - асп. каф. "Технология машиностроения" (Курганский гос. университет) . e-mail: rogov@kgsu.ru; evro-evgen@yandex.ru

Маслов Денис Александрович =старший преп. каф. "Технология машиностроения" (Курганский гос. университет) Тел. 8-(3522) 53-36-76