



Бурдасов Е. Н., Сарилов М. Ю.
E.N. Burdasov, M.U. Sarilov

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ
ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА**

**INVESTIGATION OF THE STABILITY OF EDM PROCESSING BASED ON FRACTAL
ANALYSIS**

Бурдасов Евгений Николаевич – аспирант кафедры МАХП Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета.

Mr. Eugeny N. Burdasov – PhD candidate, MECP Department, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: vckgpmo@knastu.ru

Сарилов Михаил Юрьевич – доктор технических наук, профессор Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета.

Mr. Mikhail U. Sarilov – Doctor of Engineering, Professor, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: sarilov@knastu.ru

Аннотация. В статье рассмотрены аспекты анализа акустического сигнала по параметрам нелинейной динамики (размерность и вид аттрактора, спектр частот сигнала). Проведён анализ сигнала акустической эмиссии на предмет корреляции шероховатости поверхности, полученной в результате электроэрозионной обработки, и параметров нелинейной динамики, таких как фрактальная размерность и информационная энтропия.

Summary. The paper deals with some aspects of the analysis of an acoustic signal by nonlinear dynamics' parameters (the dimensions and type of the attractor, the frequency spectrum of the signal). Analysis was done of an acoustic emission signal for the correlation of the roughness of a surface made by electrical discharge machining, and of the parameters of nonlinear dynamics, such as fractal dimensions and informational entropy.

Ключевые слова: нелинейная динамика, электроэрозия, фрактальная размерность, шероховатость, корреляция.

Key words: nonlinear dynamics, electrical discharge machining, fractal dimensions, surface roughness, correlation

УДК 621.9.047

Постоянная тенденция к использованию более легких деталей, а также применение моделирования и разработка новых методов расчёта заготовок ведут к созданию деталей всё более сложных геометрических форм. Современное производство характеризуется широким внедрением станков с ЧПУ, входящих в гибкую производственную систему, что подразумевает высокие (повышенные) требования к точности изготовления изделия.

Это обстоятельство обуславливает необходимость прогнозирования динамической устойчивости процесса электроэрозионной обработки в режиме реального времени [1].

Одна из главных идей представления сигналов на различных уровнях разложения (декомпозиции) заключается в разделении функции на две составляющие: аппроксимирующая с низкой детализацией изменений во времени, и детализирующая – с подробной (детализированной) динамикой изменений, с возможностью дальнейшего их разбиения и детализацией на соседних уровнях детализации сигналов. Новое направление цифровой обработки сигналов – вэйвлет-анализ – делает это возможным как во временной, так и в частотной областях представления сигналов в режиме реального времени. У преобразования Фурье есть суще-

Бурдасов Е. Н., Сариллов М. Ю.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА

ственный недостаток, который заключается в невозможности локализовать высокочастотные компоненты сигнала во времени, что не позволяет применять данный метода к некоторым задачам (например, при рассмотрении на временном отрезке динамики изменения частотных составляющих сигнала) (см. рис. 1 – 3).

В случае, когда не ставится задача локализации во времени частот сигнала, хорошие результаты можно получить и методом Фурье. Но если требуется определить присутствие частоты в определённый момент времени, необходимо использовать другие методы. Для исследования сигналов АЭ, возникающих при электроэрозионной обработке, и выявления зависимостей между параметрами сигнала и шероховатостью поверхности был создан стенд на электроэрозионном станке копировально-прошивочного типа с адаптивным управлением и генератором импульсов ШГИ 40-440М модели 4Л721Ф1 и проведён замер ряда параметров нелинейной динамики в процессе электроэрозионной обработки

При переходе от стабильного режима к предкритическому наблюдается смещение спектра доминирующих частот в сторону более высокочастотных компонент (см. рис. 2, з). Размерность аттрактора увеличивается.

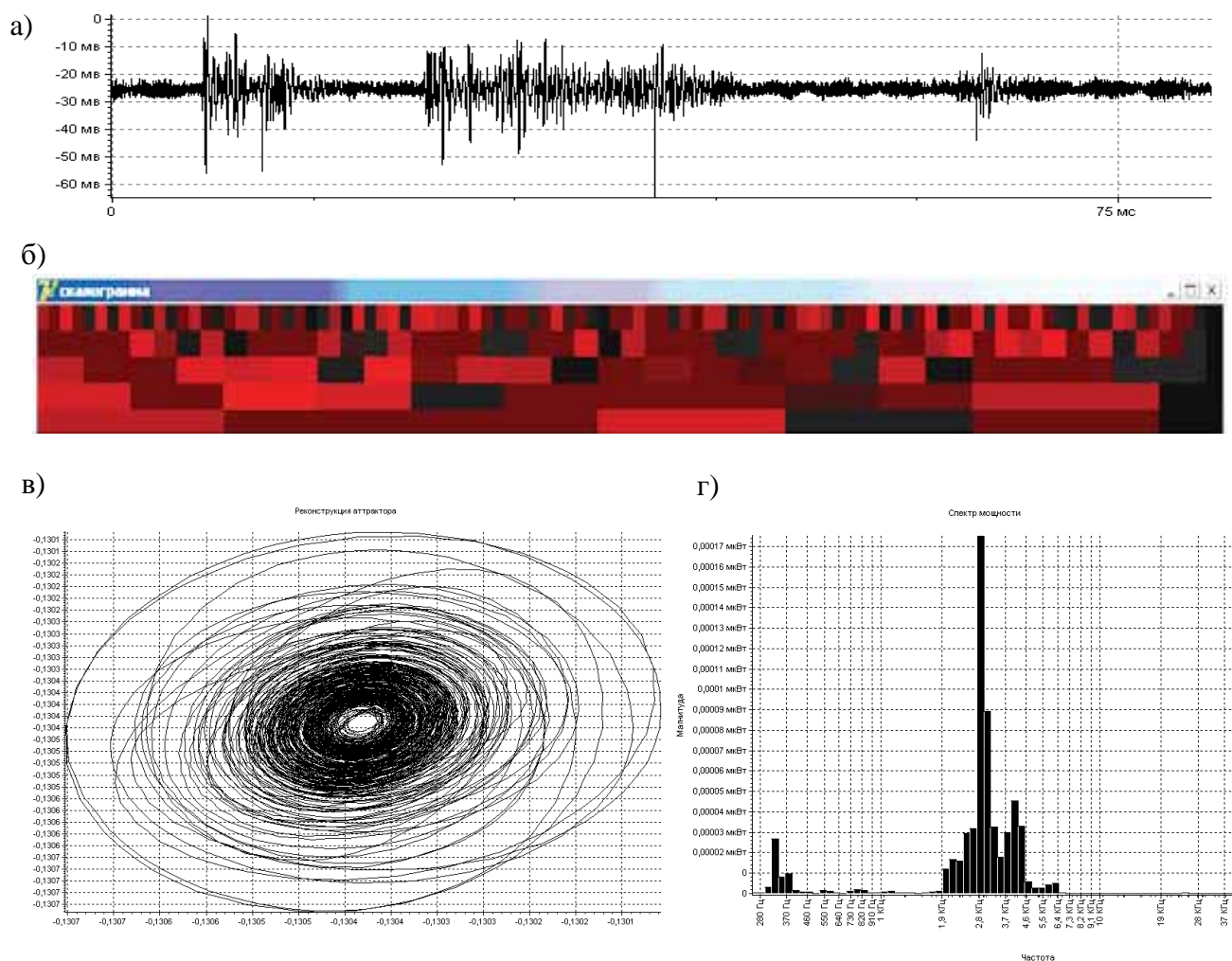


Рис. 1. Стабильный режим в начале обработки, $I = 4$ А, $U = 30$ В (частота 22 кГц, скважность 1,1): а – осциллограмма; б – вейвлет-скалограмма; в – аттрактор; г – спектр сигнала

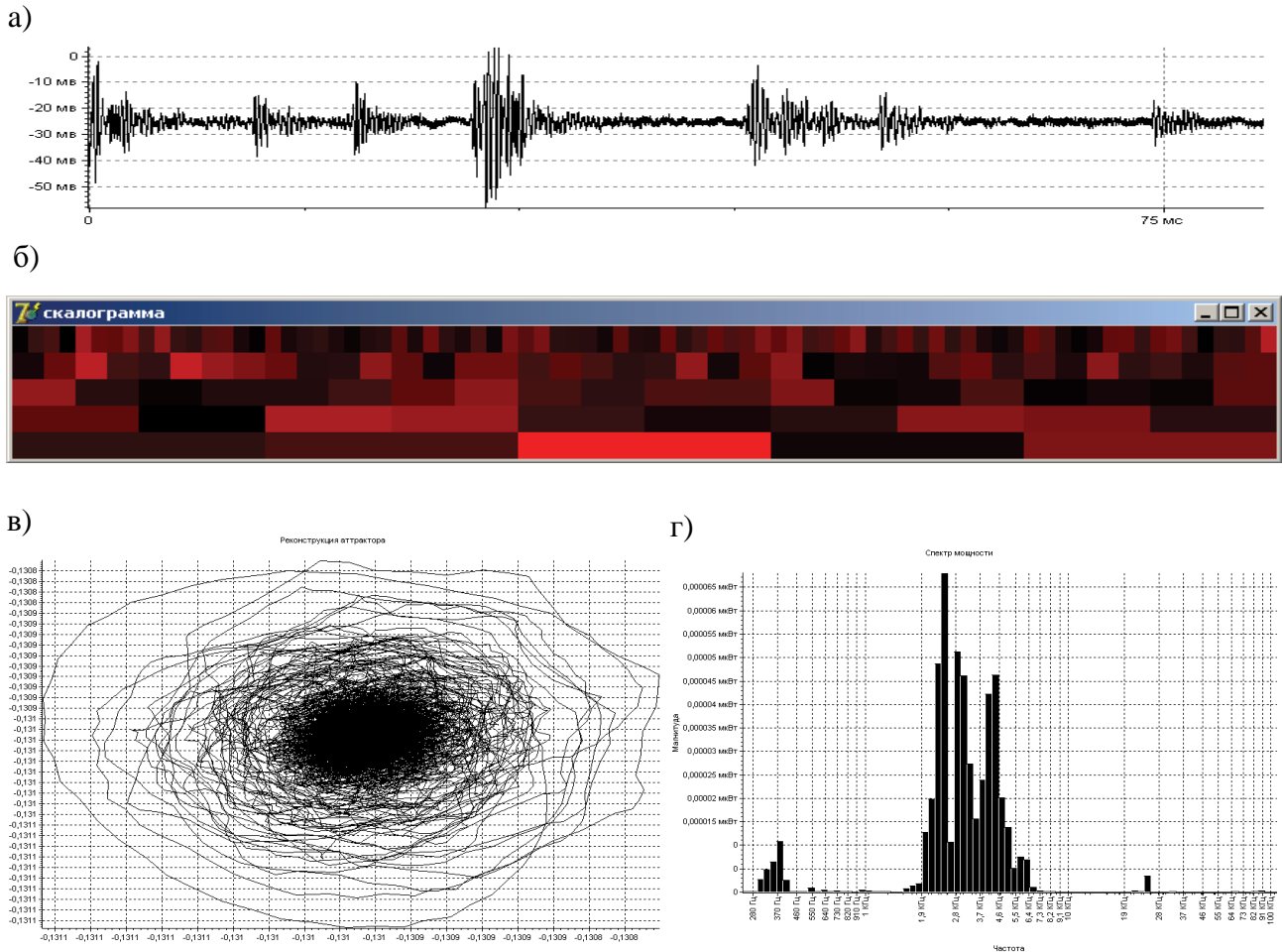


Рис. 2. Предкритический режим, $I = 6$ А, $U = 5$ В (частота 8 кГц, скважность 1,13):
а – осциллограмма; б – вейвлет-скалограмма; в – аттрактор; г – спектр сигнала

Как видно, выделяются все более высокие частоты, которые характеризуют процесс электроэрозионной обработки (см. рис. 3, б).

На критическом режиме работы оборудования зарегистрировано появление в спектре частот высокочастотных шумовых составляющих, а размерность аттрактора изменяется в большую сторону (см. рис. 3, в, рис. 3, г).

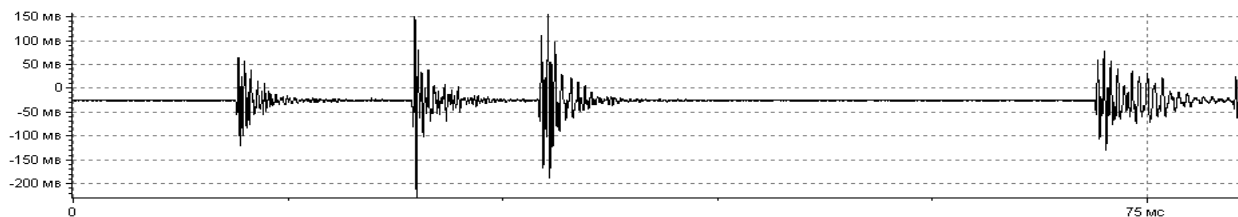
Помимо спектра сигнала и аттрактора, для оценки различных процессов в нелинейной динамике существуют некоторые другие критерии. Для оценки устойчивости в качестве критериев используется фрактальная размерность, старший показатель Ляпунова и информационная энтропия [2]. Основное их достоинство – количественная оценка устойчивости процесса. В Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете разработана программа DynAnalyzer для расчета фрактальной размерности методом поточечной размерности (все расчеты производились с помощью данной программы), построения аттракторов, расчета показателя Ляпунова и некоторых других динамических характеристик акустического сигнала.

В результате проведения серии опытов был снят сигнал акустической эмиссии. Сигнал обрабатывался с помощью программы DynAnalyzer.

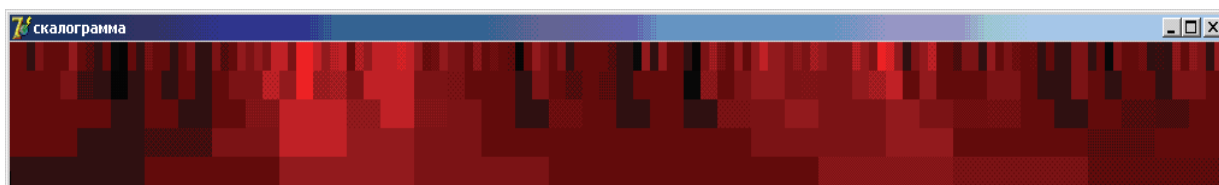
В каждом из проведённых опытов проводилось независимое изменение параметров скважности и частоты. Значения скважности q варьировались в диапазоне от 1,1 до 4, а частота f – в пределах значений от 3 до 22 кГц.

Бурдасов Е. Н., Сариллов М. Ю.
ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ
ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА

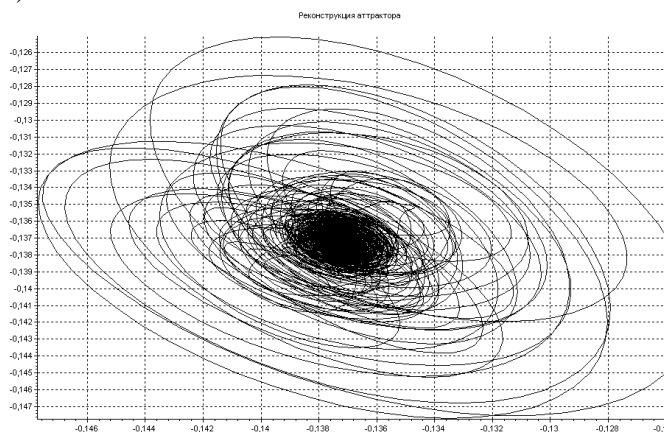
а)



б)



в)



г)

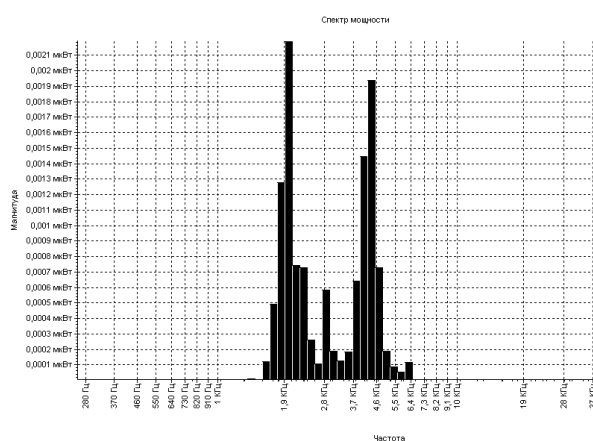


Рис. 3. Критический режим, $I = 10$ А, $U = 10$ В (частота 3 кГц, скважность 1,15):
 а – осциллограмма; б – вейвлет-скалограмма; в – аттрактор; г – спектр сигнала

В ходе анализа полученных данных были составлены два ряда значений: шероховатость образца и соответствующая им величина фрактальной размерности. Эти зависимости представлены в табл. 1.

Таблица 1

Материал заготовки	Изменяемый параметр			
	Скважность q		Частота f	
	Ra	$D0$	Ra	$D0$
BT20	13,11	1,012504	8,62	1,008393
	14,39	1,016340	5,63	1,004201
	11,05	1,011601	12,08	1,006567
	11,65	1,013062	12,01	1,009617
	7,12	1,002506	9,13	1,007187
	8,33	1,006848	8,62	1,006593

После этого была установлена корреляция между числовыми величинами шероховатости материала и соответствующей ему фрактальной размерности сигнала. Определение коэффициента корреляции проводилось с помощью программы из пакета MS Office 2003 – Excel, с использованием значений, полученных с помощью программы, разработанной в



Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете – DynAnalyzer, которая позволяет рассчитывать критерии и показатели нелинейной динамики, такие, как: фрактальная размерность $D0$, информационная энтропия H , показатель Ляпунова λ . В результате были получены следующие значения коэффициентов корреляции (BT20 – обрабатываемый материал, медь M1 – материал ЭИ) (см. табл. 2).

Таблица 2

Изменение скважности q			Изменение частоты f		
	Ra	$D0$		Ra	$D0$
Ra	1	0,965514	Ra	1	0,690106
$D0$	0,965514	1	$D0$	0,690106	1

Из данных, приведенных в табл. 2, видно: как при изменении скважности, так и при изменении частоты наблюдается высокая степень корреляции полученных пар значений (шероховатость и фрактальная размерность). Полученные значения лежат в диапазоне от 0,69 до 0,96, и большая их часть имеет значения выше 0,75, что свидетельствует о высокой степени коррелирования двух сигналов. Следовательно, можно говорить о зависимости между значением шероховатости образца Ra и значением фрактальной размерности $D0$.

Проанализировав данные, полученные при неизменных значениях таких параметров, как частота и скважность, мы пришли к выводу, что и в этом случае также наблюдается корреляция значений фрактальной размерности сигнала виброакустической эмиссии и значений шероховатости поверхности, получаемой в результате обработки. Причем указанная корреляция проявляется на каждом из режимов обработки поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кабалдин, Ю. Г. Моделирование динамики процесса резания на основе фрактального и вейвлет анализа / Ю. Г. Кабалдин, С. В. Серый, Е. Н. Бурдасов. // Вестник машиностроения. – 2006. – №11. – С. 37-44.
2. Сариллов, М. Ю. Исследование критериев корреляции между параметрами нелинейной динамики и шероховатостью поверхности при электроэрозионной обработке / М. Ю. Сариллов, Е. Н. Бурдасов // Вестник машиностроения. – 2008. – № 12. – С. 52-55.