

# ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЕВ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ

© 2012 Е.Н. Бурдасов, М.Ю. Сариллов

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет

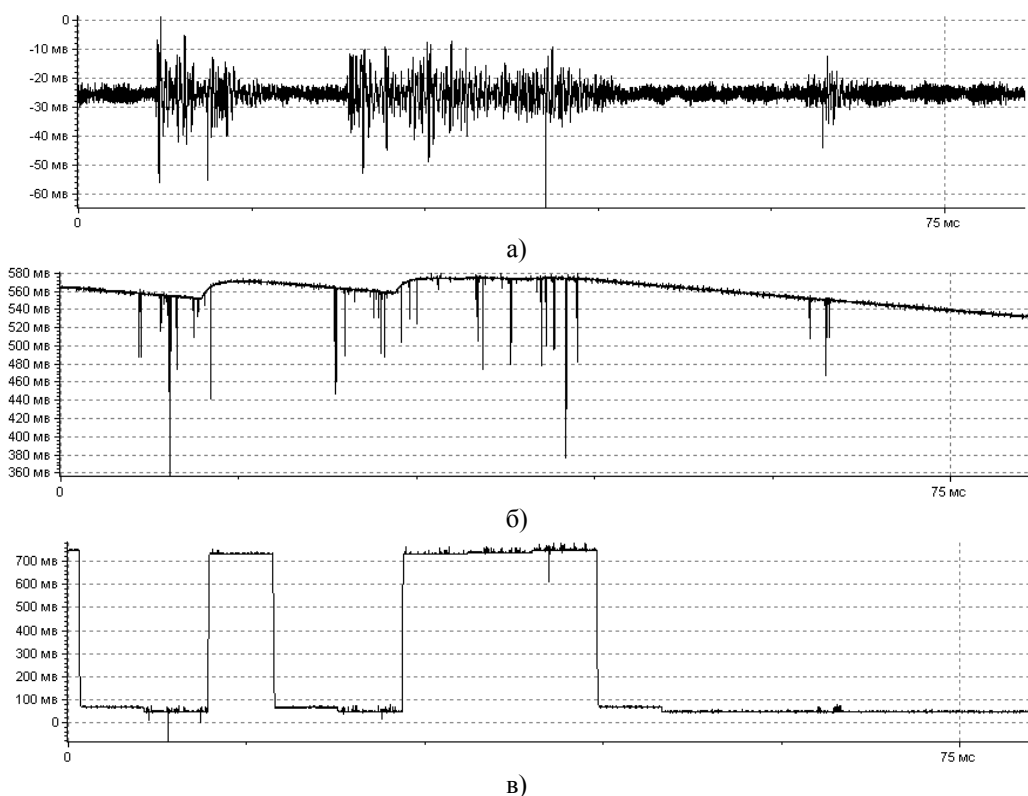
Поступила в редакцию 22.03.2012

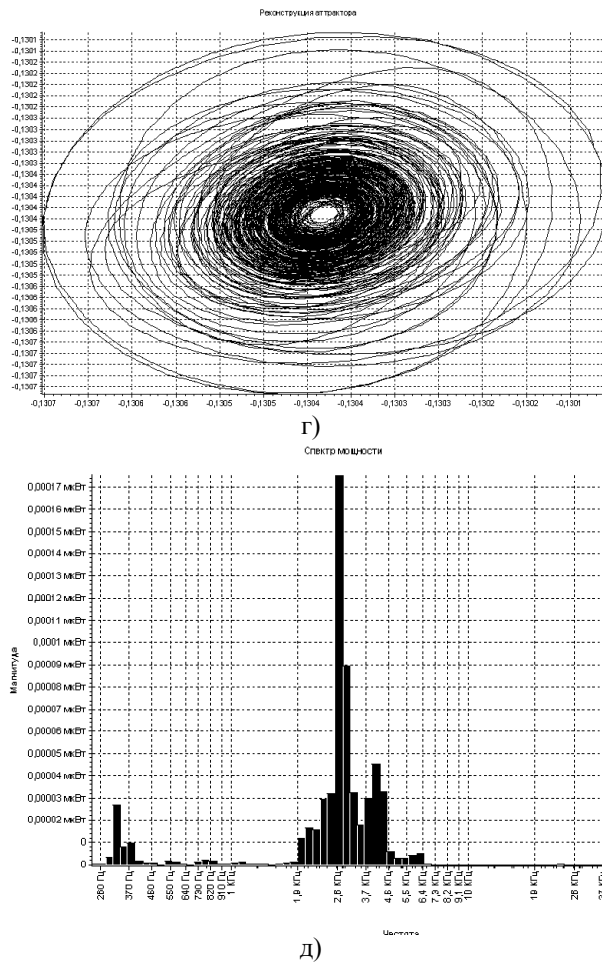
В статье рассмотрены аспекты анализа акустического сигнала по параметрам нелинейной динамики (размерность и вид аттрактора, спектр частот сигнала). Проведен анализ сигнала акустической эмиссии на предмет корреляции шероховатости поверхности, полученной в результате электроэрозионной обработки, и параметров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

Ключевые слова: *нелинейная динамика, электроэрозия, фрактальная размерность, шероховатость*

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 приближения к сигналу на две группы:

аппроксимирующую – грубую, с достаточно медленной временной динамикой изменения, и детализирующую – с локальной и быстрой динамикой изменения на фоне плавной динамики, с последующим их дроблением и детализацией на других уровнях декомпозиции 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. Недостаток преобразования Фурье заключается в том, что частотные компоненты не могут быть локализованы во времени, что накладывает ограничения на применимость данного метода к ряду задач (например, в случае изучения динамики изменения частотных параметров сигнала на временном интервале).

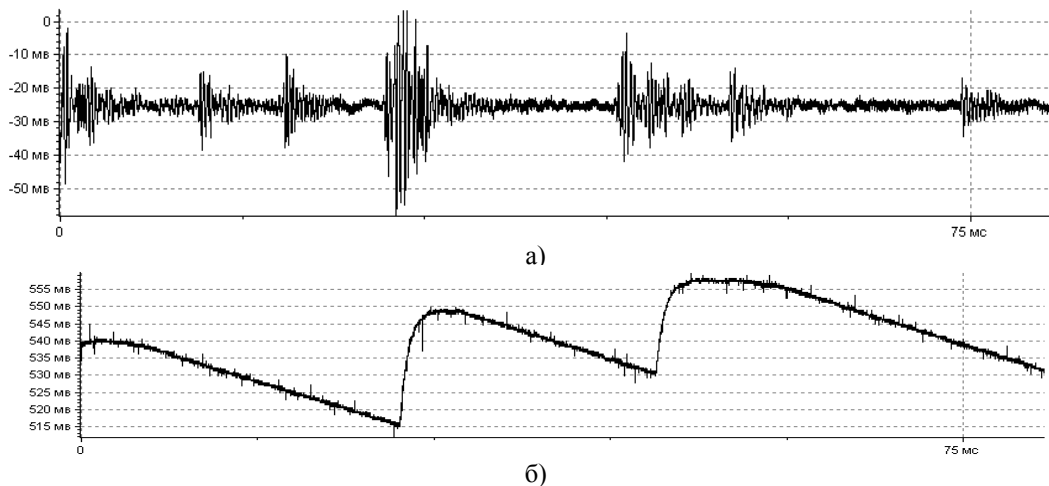


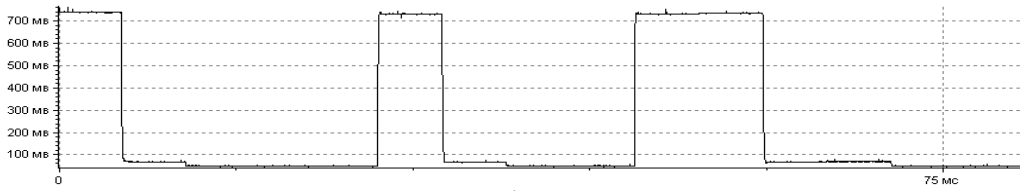


**Рис. 1.** Стабильный режим в начале обработки  $I=4$  А,  $U=30$  В (частота 22 кГц, скважность 1,1): а – осциллограмма, б – изменение напряжения, в – изменение силы тока, г – аттрактор, д – спектр сигнала

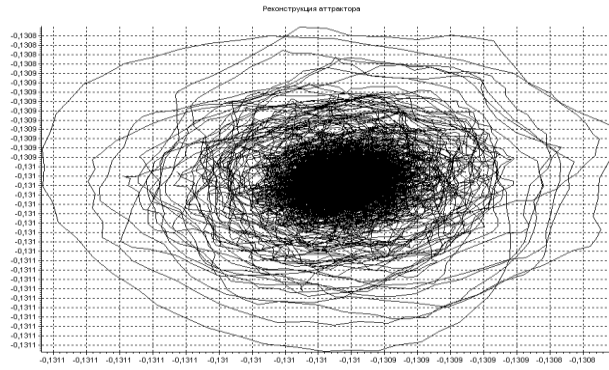
В случае, когда не ставится вопрос о локализации временного положения частот, метод Фурье дает хорошие результаты. Но при необходимости определить временной интервал присутствия частоты приходится применять другие методы. Для исследования сигналов акустической эмиссии (АЭ), возникающих при электроэрозионной обработке, и выявления зависимостей между параметрами сигнала и шероховатостью поверхности был создан стенд на копировально-прошивочном электроэрозионном станке с адаптивным управлением модели 4Л721Ф1 с

генератором импульсов ШГИ 40-440М. и проведен 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 (рис. 2д). Размерность аттрактора увеличивается. На критическом режиме работы оборудования зарегистрировано появление в спектре частот высокочастотных шумовых составляющих, а размерность аттрактора изменяется в большую сторону (рис. 3г, 3д).

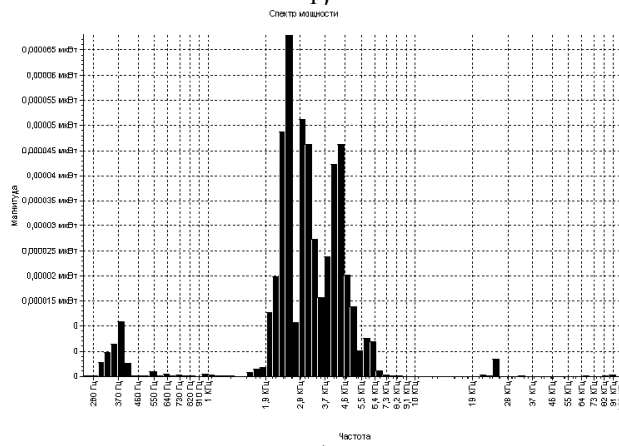




В)

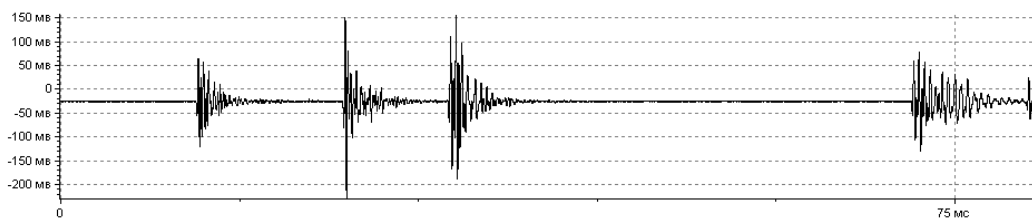


Г)

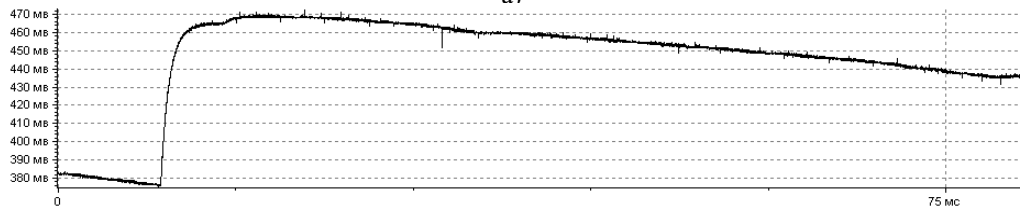


Д)

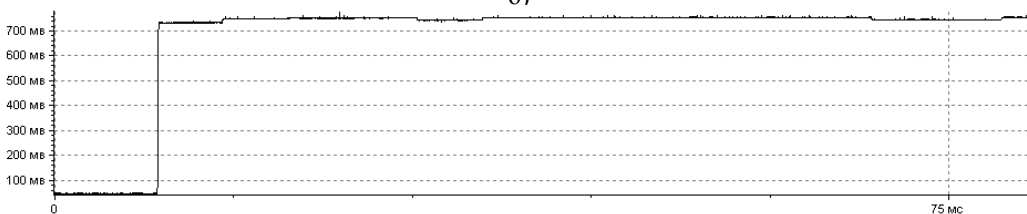
**Рис. 2.** Предкритический режим  $I=6$  А,  $U=5$  В (частота 8 кГц, скважность 1,13): а – осциллограмма, б – изменение напряжения, в – изменение силы тока, г – аттрактор, д – спектр сигнала



а)



б)



в)

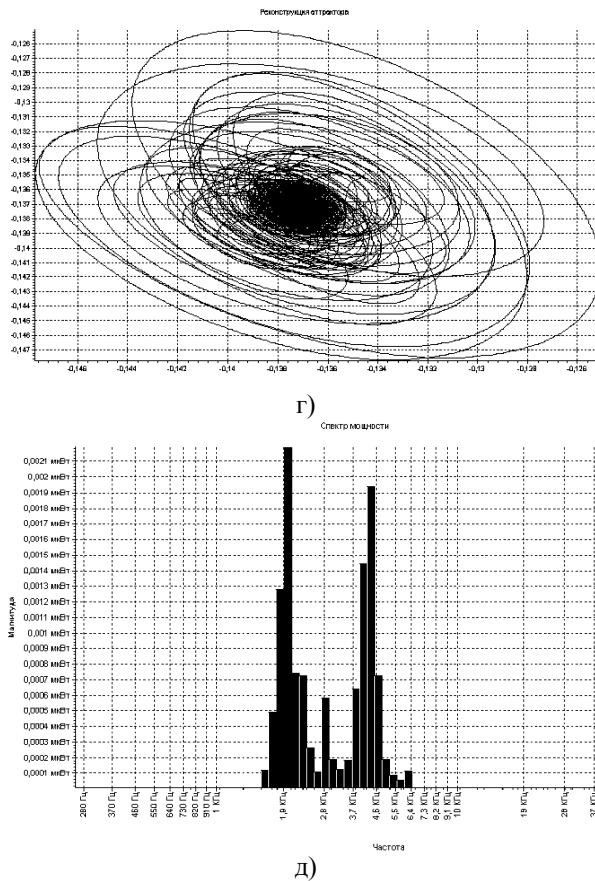


Рис. 3. Критический режим  $I=10$  А,  $U=10$  В (частота 3 кГц, скважность 1,15):

а – осциллограмма, б – изменение напряжения, в – изменение силы тока, г – аттрактор, д – спектр сигнала

Помимо спектра сигнала и аттрактора в нелинейной динамике существует немало критериев оценки различных процессов. В качестве критериев для оценки устойчивости используются фрактальная размерность, старший показатель Ляпунова и информационная энтропия [2]. Основное достоинство этих критериев – возможность количественной оценки 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 проведенных опытов проводилось независимое изменение параметров скважности и частоты. Скважность  $q$  изменялась в пределах значений от 1,1 до 4, а частота  $f$  – в пределах значений от 3 до 22 КГц. В ходе анализа полученных данных было составлено два ряда значений: значения фрактальной размерности и соответствующих им значений шероховатости образца:

| Материал заготовки | Изменяемый параметр |          |                 |          |
|--------------------|---------------------|----------|-----------------|----------|
|                    | скважность ( $q$ )  |          | частота ( $f$ ) |          |
| ВТ20               | Ra                  | D0       | Ra              | D0       |
|                    | 13,11               | 1,012504 | 8,62            | 1,008393 |
|                    | 14,39               | 1,01634  | 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 корреляции между числовыми значениями шероховатости материала и фрактальной размерности соответствующего ему сигнала. Определение коэффициента корреляции проводилось с помощью программы из пакета MS Office 2003 Excel с использованием значений, полученных с помощью программы DynAnalyzer, которая позволяет рассчитывать критерии и показатели нелинейной динамики, такие как: фрактальная размерность  $D0$ , информационная энтропия  $H$ , показатель Ляпунова  $\lambda$ . В результате были получены следующие значения коэффициентов корреляции (ВТ20 – обрабатываемый материал, медь М1 – материал ЭИ):

|      | Изменяется<br>скважность $q$ |          | Изменяется<br>частота $f$ |          |
|------|------------------------------|----------|---------------------------|----------|
|      | $Ra$                         | $D0$     | $Ra$                      | $D0$     |
| $Ra$ | 1                            | 0,965514 | 1                         | 0,690106 |
| $D0$ | 0,965514                     | 1        | 0,690106                  | 1        |

Из приведенных выше данных видно, что как при изменении частоты, так и при изменении скважности наблюдается четкая корреляция полученных пар значений (значений фрактальной размерности и шероховатости), причем эти значения лежат в диапазоне от 0,69 до 0,96 и большая их часть имеет значения выше 0,75, что говорит о высоком уровне подобия двух сигналов. Как следствие имеет место зависимость между фрактальной зависимостью  $D0$  и шероховатостью образца  $Ra$ . 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.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

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. Сарилов, М.Ю. Исследование критериев корреляции между параметрами нелинейной динамики и шероховатостью поверхности при электроэрозионной обработке / М.Ю. Сарилов, Е.Н. Бурдасов // Вестник машиностроения. 2008. № 12. С. 52-55.

## RESEARCH THE STABILITY OF ELECTROEROSIVE PROCESSING WITH USE THE CRITERIA OF NON-LINEAR DYNAMICS

© 2012 E.N. Burdasov, M.Yu. Sarilov

Komsomolsk-on-Amur State Technical University

In article aspects of the analysis of acoustic signal on parameters of non-linear dynamics (dimension and type of attractor, signal frequency spectrum) are considered. The analysis of acoustic emission signal about correlation of roughness of the surface received as a result of electroerosive processing, and parameters of non-linear dynamics such, as fractal dimension and informational entropy is carried out.

Key words: *non-linear dynamics, electroerosion, fractal dimension, roughness*