

УДК 658.512

Е.К. Кривоносова, В.П. Первадчук

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ
ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРЕДПРИЯТИЙ
(НА ПРИМЕРЕ ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА)**

E.K. Krivonosova, V.P. Pervadchuk

**STUDY OF TIME SERIES
OF THE ECONOMIC INDICES OF THE ENTERPRISES
(ON EXAMPLE OF THE VOLGA FEDERAL REGION)**

На примере предприятий обслуживания нефтегазодобывающего комплекса Приволжского Федерального округа применен метод фрактального анализа для прогнозирования и оценки степени стабильности экономической системы. Выявлена взаимосвязь между фрактальной размерностью и общепринятым показателем экономической стабильности – рентабельностью.

ПРЕДПРИЯТИЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА. ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ. СТАБИЛЬНОСТЬ СИСТЕМЫ. КРИЗИСНЫЕ СИТУАЦИИ. ТРЕНД РЕНТАБЕЛЬНОСТИ.

In the article based on the example of the enterprises of the maintenance the petroleum and gas extracting complex of Volga federal region used the method of fraktal analysis for prognostication and evaluating of the degree of the stability of economic system. The interrelation between the fraktal dimension and the conventional index of economic stability – by profitability was revealed

ENTERPRISE SERVICE OIL AND GAS COMPLEX OF THE VOLGA FEDERAL DISTRICT. FRACTAL ANALYSIS. SYSTEM STABILITY. CRISIS. THE TREND OF PROFITABILITY.

В условиях нестабильной экономической ситуации целесообразно разрабатывать и совершенствовать методы прогнозирования кризисных ситуаций как для рынка акций и ценных бумаг, так и в рамках конкретной отрасли для отдельно взятых предприятий. Значительный интерес в направлении моделирования экономических процессов представляет фрактальный анализ – математический алгоритм выявления единого численного параметра для описания многоуровневых структур, какими являются, в частности, динамические экономические системы.

Установлено, что динамика временных рядов экономических показателей в период до и после кризиса подчиняется тем же законо-

мерностям, что и фазовые переходы в физике и технических системах [1–4]. При этом поведение основных показателей деятельности предприятия (рентабельности, выручки и др) вблизи «критической точки» напоминает кардиограмму или кривую сейсмографа.

«Неровность» графика, или усредненная амплитуда колебаний – волатильность, является оценкой «стабильности» того или иного рыночного процесса. Однако, как выяснилось в работах Э. Петерса, Р.М. Кроновера, Е. Федера [1–4], рядом с критической точкой гауссов закон не соблюдается: колебания разной силы становятся равновероятными, а график оказывается фракталом или «самоподобной кривой»: он сам и любой его фрагмент

статистически одинаковы, а волатильность перестает быть содержательной характеристикой. Для таких объектов показателем сложности кривой может являться фрактальная размерность [5, 6].

Таким образом, целью исследования стало выявление особенностей формирования и диагностики показателей микроэкономических систем с использованием метода фрактального анализа, а именно:

- разработка алгоритма фрактального анализа и определение фрактальной размерности D_f – количественного показателя степени фрагментарности и периодичности временных рядов экономических показателей;

- выявление зависимости между фрактальной размерностью динамики выручки и трендом рентабельности на примере анализа экономических показателей предприятий ОАО «Самарский резервуарный завод», ОАО «Волгабурмаш», ОАО «Алнас», ОАО «Нефтебур», ОАО «Нытва», ОАО «Ижнефтемаш».

Для анализа выбраны микроэкономические показатели компаний, действующих на рынке производства и обслуживания нефтегазодобывающего комплекса и сопоставимых по масштабам производства. Это такие предприятия, как ОАО «Самарский резервуарный завод», ОАО «Волгабурмаш», ОАО «Алнас», ОАО «Нефтебур», ОАО «Нытва», ОАО «Ижнефтемаш». Из спектра микроэкономических показателей наиболее целесообразно выбирать те, по которым статистика временного ряда охватывала бы интервал не менее 7–10 лет, с общим количеством измерений от 500. Такими показателями являются, например, ежемесячная выручка, рентабельность.

Методика фрактального анализа. При фрактальном описании временного ряда экономических показателей алгоритм, реализованный программными средствами Matlab 7.0, заключался в следующем [7–9]:

1. Дискретная аппроксимация исследуемых рядов: разбиение соответствующих бинарных изображений квадратной сеткой, состоящей из одинаковых ячеек, и присвоение ячейкам, приходящимся на пустую область, значения 0, а на область, содержащую линию котировок – значения 1. Исходное оцифрованное изображение процесса представляет собой матрицу, состоящую из нулей и единиц.

2. Обработка полученных матриц путем разбиения на более крупные ячейки с размерами $L_k \cdot L_k$ ($k = 1...32$)

3. Построение для каждого разбиения характеристической меры в виде количества ячеек P_i , необходимых для покрытия линии котировок.

4. Аппроксимация зависимостей $\ln(P_i)$ от $\ln(L_k)$ методом наименьших квадратов и определение фрактальных размерностей D_f из соотношения $P_i = \text{const} (L_k)^{-D}$.

На рис. 1 представлен временной ряд выручки ОАО «Самарский резервуарный завод» за период 2000–2009 гг. и его обработка в программе MATLAB 7.1: сверху – анализируемый участок временного ряда выручки, внизу – зависимость фрактальной меры P от размерного фактора L и определение фрактальной размерности D .

Аналогично проанализированы временные ряды выручки остальных предприятий и определена фрактальная размерность: ОАО «Алнас» $D = 1,36$, ОАО «Нефтебур» $D = 1,27$, ОАО «Нытва» $D = 1,28$, ОАО «Ижнефтемаш» $D = 1,29$. Таким образом, значение фрактальной размерности колеблется в интервале 1,273–1,387.

Значение фрактальной размерности в данном случае служит критерием стабильности работы предприятия. Чем больше значение фрактальной размерности, тем стабильнее работа предприятия в условиях сохранения рабочей волатильности и тем устойчивее оно в период кризисных ситуаций и внутренних реструктуризаций. Это подтверждается также информацией из аналитических источников о начале процедуры банкротства на ОАО «Нытва», реструктуризации ОАО «Компания Ижнефтемаш» и сложностей, объясняемых другими причинами, как в случае с ОАО «Нефтебур».

Определение тренда рентабельности. Одним из важнейших показателей финансовой стабильности предприятия является показатель рентабельности чистой прибыли (коэффициент чистой прибыли либо рентабельность продаж). Представляет интерес сопоставление рентабельности чистой прибыли с показателем динамики выручки – фрактальной размерностью, которая также является одним из критериев стабильности работы предприятия. Изменение рентабельности, или тренд рентабельности, определяли с помощью аппарата алгебры матриц. Результаты расчета показаны на рис. 2.

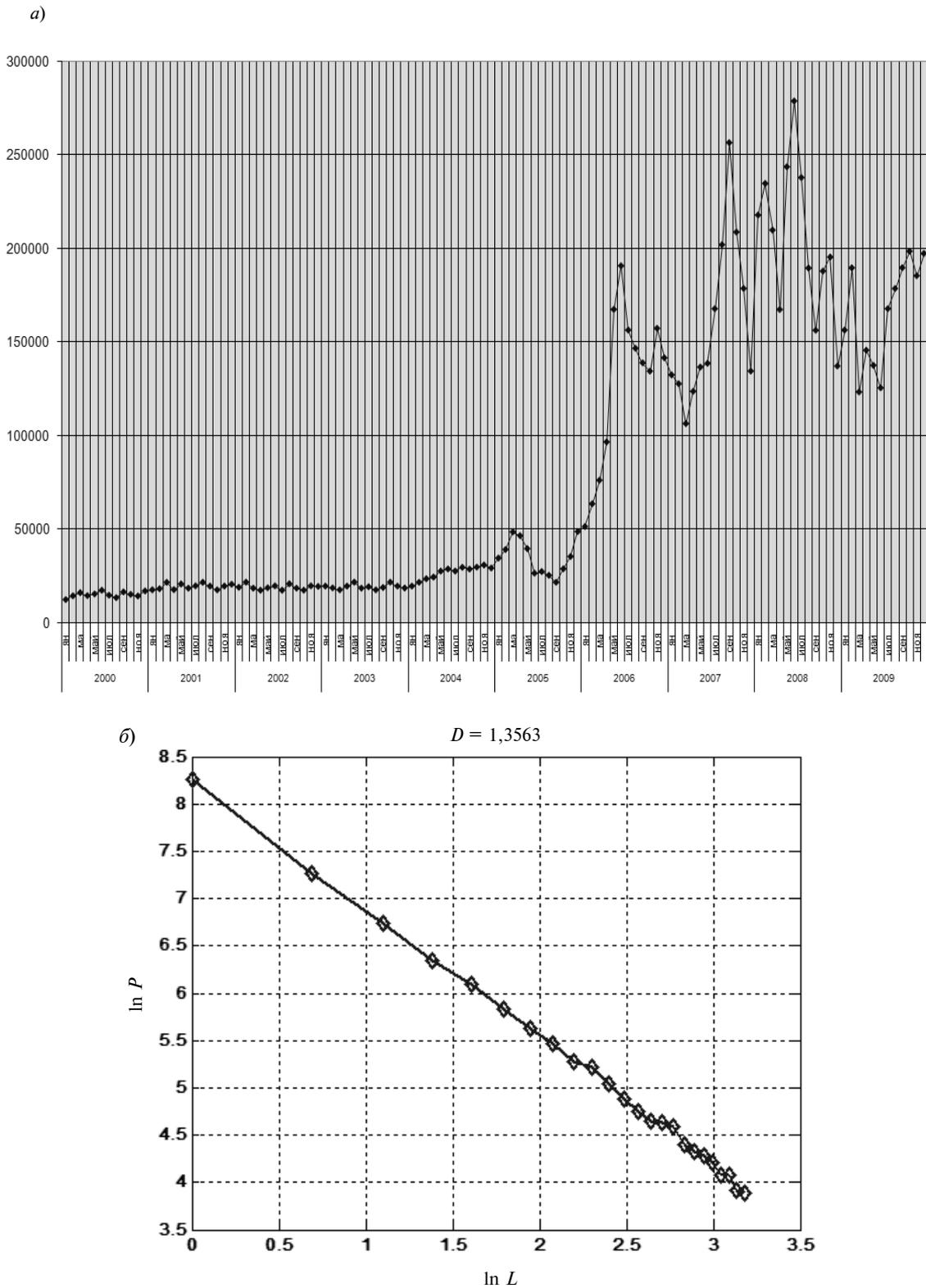


Рис. 1. Анализируемый участок динамики выручки ОАО «Самарский резервуарный завод» за период 2000–2009 гг., тыс. руб. (а); зависимость фрактальной меры P от размерного фактора L и определение фрактальной размерности D (б)

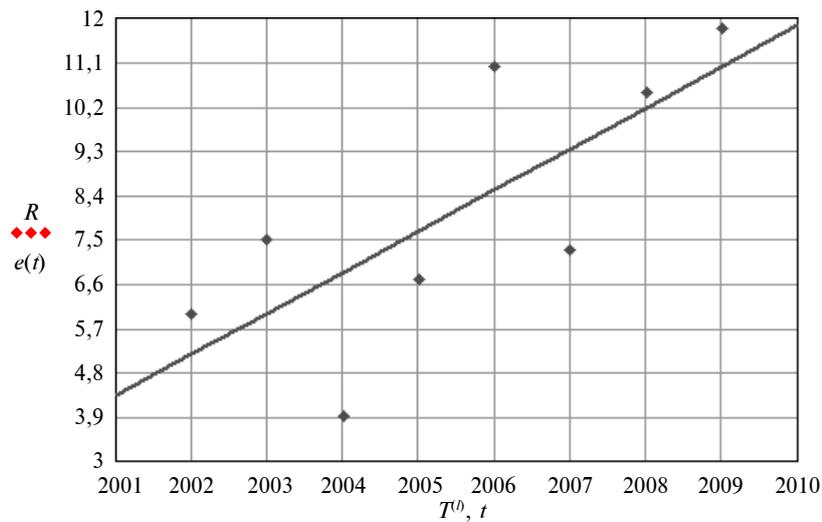


Рис. 2. Определение тренда изменения рентабельности ОАО «Самарский резервуарный завод» за период 2002–2010 гг.

По вектору R и матрице T задаются исходные данные изменения рентабельности продаж для ОАО «Самарский резервуарный завод» по годам за период 2001–2010 гг.

$$R = \begin{pmatrix} 6,0 \\ 7,5 \\ 3,9 \\ 6,7 \\ 11 \\ 7,3 \\ 10,5 \\ 11,5 \end{pmatrix}, \quad T = \begin{pmatrix} 1 & 2002 \\ 1 & 2003 \\ 1 & 2004 \\ 1 & 2005 \\ 1 & 2006 \\ 1 & 2007 \\ 1 & 2008 \\ 1 & 2009 \end{pmatrix}.$$

По вектору B рассчитываются коэффициенты регрессии:

$$B = (T^T T)^{-1} (T^T R),$$

$$B = \begin{pmatrix} -1,666 \cdot 10^3 \\ 0,835 \end{pmatrix}.$$

Уравнение регрессии имеет вид:
 $e(t) = B_1 t + B_0, \quad t = 2001, 2002, \dots, 2010.$

Аналогично определялся тренд рентабельности для остальных предприятий региона.

Установление взаимосвязи между фрактальной размерностью динамики выручки и трендом рентабельности. Сопоставление фрактальной размерности динамики выручки и характеристики тренда (см. таблицу), под которой понимается угловой коэффициент прямой $e(t)$, т. е. $K_r = B_0$ показало, что предприятия, имеющие отрицательный тренд рентабельности продаж (с коэффициентом $K_r -0,6...-0,7$) в период

2001–2010 гг., как правило, характеризуются динамикой выручки с невысоким значением фрактальной размерности (1,27–1,29).

Очевидно, это может быть обусловлено такими факторами, как реструктуризация (ОАО «Ижнефтемаш»), инициация процедуры банкротства (ОАО «Нытва»), и другими внутренними причинами, которые снижают нормальную волатильность финансовых показателей.

С другой стороны, предприятия, имеющие положительный тренд рентабельности продаж (с коэффициентом $K_r 0,8...2,3$) в период 2001–2010 гг., как правило, характеризуются динамикой выручки с высоким значением фрактальной размерности (1,35–1,38). Таким образом, нормальная волатильность финансовых показателей, которая и характеризуется высоким значением фрактальной размерности, как правило, сопровождается достаточно устойчивым ростом тренда рентабельности.

Таблица 1

Сопоставление фрактальной размерности динамики выручки D и характеристики тренда K_r

Предприятие	Фрактальная размерность D	Характеристика тренда K_r
ОАО «Самарский резервуарный завод»	1,356	0,835
ОАО «Волгабурмаш»	1,415	1,257
ОАО «Алнас»	1,361	2,294
ОАО «Нефтебур»	1,273	-0,685
ОАО «Нытва»	1,271	-0,683
ОАО «Ижнефтемаш»	1,291	-0,739

Таким образом, разработанный алгоритм фрактального анализа позволяет определять фрактальную размерность — количественный показатель степени фрагментарности и периодичности временных рядов экономических показателей.

Кроме того, установлены критерии экономической стабильности предприятия, рассчитанные методом фрактального анализа динамики микроэкономических показателей (выручки):

- значение фрактальной размерности временного ряда финансового показателя в интервале 1,27–1,29 соответствует невысокой стабильности предприятия и пониженной (затухающей) волатильности, что, очевидно, свидетельствует о малой способности к развитию, особенно в условиях кризиса;

- значение фрактальной размерности временного ряда финансового показателя в интервале 1,3–1,4 соответствует нормальной (рабочей) волатильности, и свидетельствует о высокой устойчивости предприятия и его способности к развитию, что подтверждается лидерством в своем сегменте рынка ОАО «Самарский резервуарный завод», ОАО «Волгабурмаш», ОАО «Алнас».

Установлена также взаимосвязь между фрактальной размерностью динамики выручки и трендом рентабельности:

- предприятия, имеющие отрицательный тренд рентабельности продаж (с коэффициентом K_r $-0,6...-0,7$), как правило, характеризуются динамикой выручки с невысоким значением фрактальной размерности (1,27–1,29); предприятия ОАО «Нефтебур», ОАО «Нытва», ОАО «Ижнефтемаш». Это может быть обусловлено такими факторами, как реструктуризация (ОАО «Ижнефтемаш»), инициацией процедуры банкротства (ОАО «Нытва») и другими внутренними причинами, которые снижают нормальную волатильность финансовых показателей;

- предприятия, имеющие положительный тренд рентабельности продаж (с коэффициентом $0,8...2,3$), как правило, характеризуются динамикой выручки с высоким значением фрактальной размерности (1,35–1,38). Таким образом, нормальная волатильность финансовых показателей характеризуется высоким значением фрактальной размерности и, как правило, сопровождается достаточно устойчивым ростом тренда рентабельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кроновер, Р.М.** Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории [Текст]: пер. с англ. / Р.М. Кроновер. М.: Постмаркет, 2000. 352 с.
2. **Петерс, Э.** Фрактальный анализ финансовых рынков: применение теории хаоса в экономике [Текст] : пер. с англ. / Э. Петерс. М.: Интернет-Трейддинг, 2004. 304 с.
3. **Хакен, Г.** Синергетика: Иерархия устойчивостей в самоорганизующихся системах [Текст]: пер. с англ. / Г. Хакен. М.: Мир, 1985. 419 с.
4. **Mandelbrot, B.B.** The fractal geometry nature [Text] / B.B. Mandelbrot. N. Y.: Freeman, 1983. 480 p.
5. **Первадчук, В.П.** Применение фракталов в исследовании финансовых временных рядов [Текст] / В.П. Первадчук, Д.Е. Галкин // Вестник ПГТУ. Математика и прикладная математика. 2008. № 14. С. 8–14.

6. **Первадчук, В.П.** Обоснование применения методов теории детерминированного хаоса для прогноза экономических систем [Текст] / В.П. Первадчук, Д.Е. Галкин // Вестник ПГТУ. Математика и прикладная математика. 2008. № 14. С. 15–19.
7. **Krivososova, E.A.** Fractal analysis of the formation of structure in welded joints [Text] / E.A. Krivososova // Welding International. 2005. Vol. 19. № 12. P. 976–970.
8. **Кривоносова, Е.А.** Применение теории фракталов в металловедении сварки и покрытий [Текст] / Е.А. Кривоносова // Сварка и диагностика. 2008. № 1. С. 2–5.
9. **Кривоносова, Е.А.** Фрактальный анализ структурообразования сварных швов [Текст] / Е.А. Кривоносова // Сварочное производство. 2005. № 7. С. 3–6.

REFERENCES

1. **Kronover R.M.** Fraktaly i khaos v dinamicheskikh sistemakh. Osnovy teorii [Fractals and chaos in dynamical systems. Fundamentals of the theory]: per. s angl. M.: Postmarket, 2000. 352 s. (rus)
2. **Peters E.** Fraktal'nyi analiz finansovykh rynkov: primeneniye teorii khaosa v ekonomike [Fractal analysis of the financial markets: the application of chaos theory in economics] : per. s angl. M.: Internet-Treiding, 2004. 304 s. (rus)

3. **Khaken G.** Sinergetika: Ierarkhiya ustoichivostei v samoorganizuiuiu-shchikhhsia sistemakh [Synergetics: The hierarchy of instabilities in self-organizing system] : per. s angl. M.: Mir, 1985. 419 s. (rus)
4. **Mandelbrot B.B.** The fractal geometry nature. N. Y., Freeman, 1983. 480 p. (rus)
5. **Pervadchuk V.P., Galkin D.E.** Primeneniye fraktalov v issledovanii finansovyykh vremennykh riadov [The use of fractals in the study of financial time

series], *Vestnik PGTU. Matematika i prikladnaia matematika*. 2008. № 14. S. 8–14. (rus)

6. **Pervadchuk V.P., Galkin D.E.** Obosnovanie primeneniia metodov teorii determinirovannogo khaosa dlia prognoza ekonomicheskikh system [The justification for applying the methods of deterministic chaos theory to predict the economic systems]. *Vestnik PGTU. Matematika i prikladnaia matematika*. 2008. № 14. S. 15–19. (rus)

7. **Krivososova E.A.** Fractal analysis of the

formation of structure in welded joints. *Welding International*, 2005, vol. 19, no. 12, pp. 976–970. (rus)

8. **Krivososova E.A.** Primenenie teorii fraktalov v metallovedenii svarki i pokrytii [Application of fractal theory in metal welding and coating]. *Svarka i diagnostika*. 2008. № 1. S. 2–5. (rus)

9. **Krivososova E.A.** Fraktal'nyi analiz strukturoobrazovaniia svarykh shvov [Fractal analysis of structure of welds]. *Svarochnoe proizvodstvo*. 2005. № 7. S. 3–6. (rus)

КРИВОНОСОВА Екатерина Константиновна – аспирант Пермского национального исследовательского политехнического университета.

614000, Комсомольский пр., д. 29, г. Пермь, Россия. E-mail: k.krivososova@gmail.com

KRIVONOSOVA Ekaterina K. – Perm National Research Polytechnic University.

614000. Komsomolsky Av. 29. Perm. Russia. E-mail: k.krivososova@gmail.com

ПЕРВАДЧУК Владимир Павлович – заведующий кафедрой прикладной математики Пермского национального исследовательского политехнического университета, доктор технических наук, профессор.

614039, Комсомольский пр., д. 29а, г. Пермь, Россия, тел. (342)219-83-33. E-mail: pervadchuk@mail.ru

PERVADCHUK Vladimir P. – Perm National Research Polytechnic University.

614000. Komsomolskiy Av. 29. Perm. Russia. E-mail: pervadchuk@mail.ru
