

А.В. Волошко, д-р техн. наук, проф.,  
 Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»  
 Я.С. Бедрак, инженер,  
 ПАО «АЗОТ», г. Черкассы

## ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

*В статье рассмотрены вопросы применения фрактального анализа временных рядов (графиков электрических нагрузок) на вводах главной понижающей подстанции. Получены три вида зависимостей фрактальной размерности от объема выборок временного ряда и обобщенный коэффициент корреляции. На основании анализа данных зависимостей проведена оценка динамики временных рядов. Также выявлена зависимость качества прогнозирования временных рядов на один-два периода интеграции от значений фрактальных размерностей.*

**Ключевые слова:** временные ряды, фрактальный анализ, электропотребление.

### Введение

Действенным методом оценки динамики процесса по результатам измерения является фрактальный анализ временного ряда результатов измерения:

$$x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_n) \quad (1)$$

В основе метода лежат понятия «фрактал» и «фрактальная размерность»  $D$  [1]. Фрактальная размерность  $D$  характеризует сложность фазового портрета процесса или системы, принимает как целые, так и дробные значения.

Для определения фрактальной размерности временного ряда (1) с количеством наблюдений  $N$  используется преимущественно статистический метод нормированного размаха ( $R/S$  – анализ), выведенный эмпирическим путем П. Херстом. Анализ временного ряда наблюдений методом Херста позволяет получить одноименный показатель  $H$ , который связан с фрактальной размерностью  $D$  временного ряда выражением:

$$D = 2 - H \quad (2)$$

В [2] предложена фрактальная шкала оценки результатов измерения (1). Шкала была успешно применена для оценки динамики проведения параметров лазера.

Фрактальная шкала имеет три характерные точки  $D = 1$  ( $H=1$ );  $D = 1,5$  ( $H=0,5$ );  $D = 2$  ( $H=0$ ).

- при  $D = 1$  результат измерения трактуется как строго детерминированное поведение системы, возможно составление уравнения поведения динамических переменных;

- при  $D = 2$  система ведет себя регулярным образом, но разброс измеряемых значений очень велик, что не позволяет использовать методы обработки результатов измерений;

- при  $D = 1,5$  процесс является случайным, для анализа значений характеристик таких систем применяются статистические методы;

- при  $1 < D < 1,5$  ( $0,5 < H < 1$ ) рассматриваемый процесс представляется как персистентный (измеряемая величина сохраняет тенденцию увеличения или уменьшения своего значения) и приближается к детерминированному закону). Если в этом случае приращения были положительными в течение некоторого времени в прошлом, т.е. происходило увеличение, то и впредь в среднем будет происходить увеличение. Таким образом, для процесса с  $0,5 < H < 1$  тенденция к увеличению в прошлом означает тенденцию к увеличению в будущем и, более того, это справедливо для произвольно больших  $t$ . И наоборот, тенденция к уменьшению в прошлом означает, в среднем, продолжение уменьшения в будущем. Для многих естественных процессов  $H$  находится в интервале  $0,5 < H < 1$  [3];

- при  $1,5 < D < 2$  ( $0 < H < 0,5$ ), процесс представляется антиперсистентным (измеряемая величина меняет на противоположную тенденцию увеличения или уменьшения своего значения) и имеет случайный (шумовой) разброс, превышающий величину медленных изменений.

Показатель Херста  $H$  определяется через величину  $R / S$ , где  $R$  – размах между максимальным и минимальным значениями функции приращения  $x(i, n)$ , а величина  $S$  – среднее квадратическое отклонение (СКО).

$$\left. \begin{aligned} R(i) &= \max_{1 \leq i \leq n} x(i, n) - \min_{1 \leq i \leq n} x(i, n) \\ x(i, n) &= \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i) \\ S &= \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - X_{cp})^2}, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где  $X_{cp}$  - среднее арифметическое значение временного ряда (1).  $X_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$ .

Соотношение  $R(i) / S$ , полученное из уравнений (3) связано с параметром Херста  $H$  выражением [3]:

$$\frac{R(i)}{S} = \left(\frac{n}{2}\right)^H \quad (4)$$

Из выражений (2) и (4) можно получить значение фрактальной размерности  $D$  как всего интервала наблюдений (1), так и его отдельных интервалов, определить характер динамики измеряемой динамической переменной как на отдельных временных интервалах, так и на весь период наблюдений в целом [1].

Показатель Херста используется также для определения степени долговременной корреляции между прошлыми приращениями и будущими. Обобщенный коэффициент корреляции  $C$  определяется из выражения:

$$C = 2^{2H-1} - 1.$$

Метод виртуальных объемов (метод  $NF$ ) используется для анализа одномерных временных рядов, выявляя их стационарные свойства.

На основании этих данных находится квадрат отношения размаха ряда  $R(i)$  к СКО ряда  $S$  – при разных объемах выборки  $N$ :

$$NF = (R(i)/S)^2. \quad (5)$$

В работе [4] показано, что значение виртуального объема  $NF$  может применяться для определения закона распределения временного ряда данных электропотребления.

Значения  $NF$  и соответствующий ему закон распределения приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Зависимость вида закона распределения от значения виртуального объема  $NF$

Закон распределения	Значение $NF$
Двумодальный	4
Арсинусный	8
Равномерный	12
Симпсона	21
Релея	28
Нормальный	32
Лапласа	36
Экспоненциальный	42

В работе [1] была исследована динамика изменения напряжения в сети общего назначения методом фрактального анализа результатов измерения.

В работе Е. Федера [3] указано, что многие наблюдения природных процессов приводят к временным зависимостям или рядам измерения. Временные последовательности измерений таких величин, как температура, сток рек, количество осадков или толщина колец деревьев можно исследовать с помощью метода нормированного размаха, или метода Херста. Такой метод применим и для анализа временного ряда напряжения, электрической нагрузки, частоты и т.п. Это доказали специалисты ЛЭТИ г. Санкт-Петербург в публикации [5], в которой проведен анализ временного ряда электропотребления за различные временные интервалы (получасовые, часовые, и среднесуточные). Аналогичные исследования проводятся и на Украине [1].

**Цель работы:** провести фрактальный анализ электрических нагрузок (ЭН) за пятиминутные интервалы времени на вводах химического предприятия для выяснения характера поведения ЭН производственных объектов.

#### Результаты исследования

Объектом исследования является ЭН одного ввода главной понизительной подстанции (ГПП) №1 (потребителями являются в основном электроприемники 6 и 0,4 кВ цехов аммиака, котельного цеха и водоснабжения) и ЭН ввода ГПП №2 (потребителями являются электроприемники 6 и 0,4 кВ цехов слабоазотной кислоты, аммиачной селитры, карбамида и водоснабжения) энергоемкого химического предприятия.

Если на вводе ГПП №1 крупные потребители 6 кВ имеют номинальные мощности от 400 кВт до 7000 кВт (полная мощность ввода в среднем около 22000 кВА), то на вводе ГПП №2 имеется в наличии один мощный потребитель (синхронный электродвигатель с номинальной мощностью  $P=8000$  кВт), который определяет не менее чем на 70 % нагрузку ввода.

Для исследований были использованы пятиминутные усредненные значения полной  $S$ , активной  $P$ , реактивной потребляемой  $Q+$  и генерируемой  $Q-$  мощностей за месяц, собранные электронными счетчиками электроэнергии и переданные в базу данных автоматизированной системы учета электроэнергии (АСУЭ).

Для анализа результатов измерения был исследован временный ряд активной  $P(t)$ , потребленной реактивной  $Q+(t)$ , генерируемой реактивной  $Q-(t)$ , полной  $S(t)$  мощностей. Для суточного интервала наблюдения, состоящего из 288 пятиминутных значений, на каждом вводе рассчитаны значения фрактальной размерности, обобщенного коэффициента корреляции, виртуального объема.

Результаты вычислений приведены в табл. 2 (ввод ГПП №1) и табл. 3 (ввод ГПП №2).

Таблица 2 – Результаты расчета фрактальной размерности, обобщенного коэффициента корреляции и виртуального объема на вводе ГПП №1

Дата месяца	$P$			$Q+$			$Q-$			$S$		
	$D$	$C$	$NF$	$D$	$C$	$NF$	$D$	$C$	$NF$	$D$	$C$	$NF$
01...201...	1,06	0,84	19,6	1,05	0,87	13,0	1,01	0,96	5,1	1,02	0,94	10,6
02...201...	1,10	0,74	22,3	1,10	0,65	27,3	1,22	0,47	31,1	1,10	0,74	22,9
03...201...*	1,30	0,31	24	1,30	0,31	34,2	1,42	0,12	27,3	1,30	0,31	24,6
04...201...*	1,39	0,16	16,1	0	0	0	1,12	0,69	18,1	1,38	0,18	16,1
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
29...201...	1,08	0,80	15,3	1,19	0,54	19,6	1,11	0,71	19,6	1,08	0,80	15,4
30...201...	1,10	0,74	19,1	1,33	0,26	17,5	1,14	0,65	17,5	1,10	0,74	19,4

Третьего и четвертого числа исследуемого месяца на вводе ГПП №1 временной ряд был получен только за первые 84÷93 значения. Далее по техническим причинам информация не была получена. Вышеуказанные сутки отмечены знаком \*. Как видно, в вышеуказанный интервал времени рассчитанные значения  $D$  и  $C$  значительно больше результатов расчетов за полные сутки.

Таблица 3 - Результаты расчета фрактальной размерности, обобщенного коэффициента корреляции и виртуального объема на вводе ГПП №2

Дата месяца	P			Q+			Q-			S		
	D	C	NF	D	C	NF	D	C	NF	D	C	NF
01...201...	1,03	0,91	18,7	1,04	0,88	16,2	1,02	0,94	10,3	1,03	0,91	19,0
02...201...	1,02	0,94	17,4	0	0	0	1,01	0,96	28,6	1,02	0,94	18,3
03...201...	1,08	0,80	25,8	0	0	0	1,08	0,79	28,2	1,08	0,79	26,4
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
29...201...	1,09	0,75	28,6	0	0	0	1,10	0,73	35,3	1,08	0,78	27,1
30...201...	1,00	0,98	8,4	0	0	0	1,01	0,95	12,2	1,00	0,98	9,0

Сравнение результатов расчетов значений  $D$  и  $C$  на ГПП №1 и №2 показывает, что на ГПП №2, где один крупный потребитель определяет нагрузку на вводе, персистентность сильнее выражена, чем на вводе ГПП 1, где имеется большое количество различных электроприемников.

Фрактальный анализ показал, что на всем интервале наблюдения динамика поведения ЭН близка к случайному поведению, фрактальная размерность на вводах ГПП №1 и ГПП №2 принимала значения на интервале  $1 \leq D < 1,5$ . Это означает, что рассматриваемый процесс является персистентным. При этом электрическая нагрузка сохраняет тенденцию увеличения или уменьшения своего значения и приближается к детерминированному закону. Отдельные интервалы характеризуются различной степенью персистентности. На отдельных интервалах времени ЭН ведет себя детерминированным образом при  $D = 1$ . Полученные результаты исследования согласуются с работами Херста, в которых он показал, что для многих естественных процессов  $0,5 < H < 1$ . Так, если фрактальная размерность выборки активной мощности 29 числа на вводе ГПП №2 равна 1,09 и показатель Херста равен 0,91, то это означает, что вероятность того, что за ростом активной нагрузки последует дальнейшее увеличение, составляет 91 %.

Персистентный временный ряд характеризуется эффектами долговременной памяти [5].

Так как результаты вычислений 3 и 4 числа месяца на вводе ГПП №1 при неполной выборке показали, что при уменьшении объема выборки значение фрактальной размерности значительно выше, чем у временного ряда за полные сутки, то целесообразно проверить зависимость фрактальной размерности, обобщенного коэффициента корреляции и виртуального объема от количества временных интервалов выборок. Для исследований выбраны количества временных интервалов от 24 до 288 пятиминутных значений с шагом, равным 24.

Выборки 3 и 6 взяты потому, что за сутки у них фрактальная размерность равна 1,00. У выборок 1, 2, 4, 5 фрактальная размерность находится в интервале  $1,08 \div 1,31$ .

Результаты исследований зависимости различных показателей от объема выборки сведены в табл. 4.

Таблица 4 - Значения фрактальной размерности, обобщенного коэффициента корреляции и виртуального объема на различных временных интервалах

Номер выборки		Количество пятиминутных интервалов											
		24	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264	288
1	D	1,23	1,23	1,19	1,22	1,25	1,26	1,27	1,29	1,28	1,26	1,30	1,31
	C	0,46	0,46	0,53	0,47	0,42	0,39	0,37	0,33	0,35	0,39	0,32	0,30
	NF	9,70	23,8	25,3	32,2	37,8	44,8	51,2	54,5	60,5	65,9	71,2	75,9
№2	D	1,31	1,39	1,44	1,16	1,12	1,14	1,19	1,12	1,22	1,23	1,24	1,23
	C	0,28	0,15	0,08	0,58	0,69	0,64	0,53	0,68	0,47	0,44	0,43	0,45
	NF	9,06	11,2	12,8	17,8	21,8	20,3	17,3	15,3	184,1	202,9	222,0	237,3
№3	D	1,40	1,18	1,22	1,09	1,07	1,12	1,04	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00
	C	0,15	0,56	0,47	0,76	0,82	0,70	0,89	0,96	0,99	1,00	0,99	1,00
	NF	8,43	17,9	19,8	20,3	20,1	12,8	6,4	5,2	4,7	4,6	4,8	4,7

Продовження табл. 4

№4	<i>D</i>	1,22	1,22	1,12	1,16	1,12	1,10	1,08	1,07	1,08	1,07	1,07	1,08
	<i>C</i>	0,47	0,47	0,68	0,61	0,69	0,74	0,79	0,80	0,79	0,81	0,81	0,79
	<i>NF</i>	14,9	22,2	18,3	21,4	24,9	23,4	23,9	24,6	25,9	26,3	26,6	28,2
№5	<i>D</i>	1,39	1,31	1,34	1,03	1,14	1,14	1,13	1,16	1,16	1,16	1,16	1,18
	<i>C</i>	0,16	0,30	0,24	0,90	0,66	0,65	0,67	0,60	0,59	0,6	0,6	0,56
	<i>NF</i>	11,7	17,0	18,5	5,4	18,9	20,3	20,0	20,2	24,0	23,5	22,4	22,4
№6	<i>D</i>	1,37	1,38	1,13	1,11	1,16	1,17	1,07	1,03	1,02	1,00	1,00	1,00
	<i>C</i>	0,19	0,18	0,66	0,72	0,61	0,59	0,83	0,92	0,95	0,97	0,98	0,98
	<i>NF</i>	17,4	22,0	16,8	21,9	24,6	40,3	16,4	10,8	9,1	8,3	8,4	8,4

Расчеты показали, что для выборок № 3 и № 6 (фрактальная размерность у них равна 1,00) значения *D* с увеличением объема выборки уменьшаются и приближаются к 1, а значение *C* увеличивается и также приближаются к 1.

Выборка №1 (фрактальная размерность *D* больше 1,3) в зависимости от объема выборки не меняет в больших интервалах значения *D*, *C*, а для выборок №№ 2, 4, 5, у которых фрактальная размерность  $1,05 < D < 1,25$  с увеличением объема выборки наблюдается тенденция уменьшения значения *D* и увеличения значения *C*.

В работе [6] применялся метод экспоненциального сглаживания для восстановления утерянных данных технического учета и прогнозирования на один-два периода прогноза по данным почасового электропотребления крупнотоннажного цеха аммиака за сутки. По этим же данным рассчитаны фрактальная размерность, обобщенный коэффициент корреляции и виртуальный объем за каждые из 7 рассматриваемых суток.

Таблица 5 - Значения почасового электропотребления крупнотоннажного цеха аммиака за сутки, МВт и коэффициента вариации КВ, %, фрактальной размерности, обобщенного коэффициента корреляции и виртуального объема

Нагрузка выборки и параметры ее	Номер суток						
	1	2	3	4	5	6	7
Нагрузка за 1 час, МВт	31,930	36,609	36,570	37,107	37,146	37,264	37,118
2	31,875	36,641	36,585	37,054	37,091	37,275	37,088
...	...	...	...	...	...	...	...
23	36,594	36,594	37,035	37,159	37,138	37,074	37,387
24	36,578	36,535	37,050	37,146	37,188	37,133	37,420
Значение КВ, %	6,90	0,24	0,49	0,81	0,23	0,39	0,30
<i>D</i>	1,02	1,10	1,11	1,41	1,09	1,13	1,06
<i>C</i>	0,96	0,73	0,72	0,14	0,75	0,66	0,84
<i>NF</i>	4,85	16,53	8,91	18,55	18,56	10,29	11,14

Хотя временной ряд за 1-е сутки и имеет большой разброс, но фрактальная размерность его  $D = 1,02$  (коэффициент Херста равен  $H = 0,98$ ). Временный ряд сильно персистентный, а значит должен достаточно легко поддаваться прогнозированию на основании данных о его предыдущих значениях. За 4-е сутки персистентность менее выражена. Поэтому и прогноз нагрузки менее точен, что показано в статье [6].

В таблице 6 показано сравнение показателей, рассчитанных по 10 выборкам активной электроэнергии, состоящих из 48 получасовых значений мощности на вводе ГПП 2, с показателями по 10 выборкам за те же сутки, но состоящих из 288 пятиминутных значений (табл. 6).

Таблица 6 - Результаты расчета фрактальной размерности, обобщенного коэффициента корреляции и виртуального объема на вводе ГПП №2

Дата месяца	5-минутные значения			30-минутные значения		
	$D$	$C$	$NF$	$D$	$C$	$NF$
01...201...	1,03	0,91	18,7	1,05	0,86	11,3
02...201...	1,02	0,94	17,4	1,03	0,91	7,9
03...201...	1,08	0,80	25,8	1,10	0,74	13,2
04...201...	1,07	0,81	28,9	1,06	0,83	13,2
05...201...	1,08	0,78	30,0	1,10	0,74	13,4
06...201...	1,06	0,85	27,4	1,05	0,86	10,3
07...201...	1,17	0,57	42,3	1,17	0,59	25,0
08...201...	1,03	0,93	14,7	1,03	0,92	8,2
09...201...	1,08	0,78	27,1	1,06	0,84	13,9
10...201...	1,24	0,43	23,1	1,26	0,39	12,9

Временный ряд получасового потребления практически так же персистентен, как и ряд пятиминутных значений.

#### Выводы:

Фрактальный анализ ЭН двух вводов главных понизительных подстанций, потребителями которых являются электроприемники 6 и 0,4 кВ химических энергоемких производств показал:

1. На подстанции, где один крупный потребитель определяет нагрузку на вводе, персистентность сильнее выражена, чем на вводе подстанции, где имеется большое количество различных электроприемников.

2. На всем интервале наблюдения динамика поведения ЭН близка к случайному поведению.

3. Процесс электропотребления на непрерывном химическом производстве является персистентным.

4. Впервые получены три вида зависимости фрактальной размерности  $D$  от объема выборки и обобщенного коэффициента корреляции  $C$ . Для выборок первого типа (у которых  $D=1$ ) значения  $D$  уменьшаются и приближаются к 1, а значение  $C$  с увеличением объема выборки увеличивается и также приближаются к 1. Выборки второго типа ( $D>1,3$ ) в зависимости от объема выборки не меняют в больших интервалах значения  $D$ ,  $C$ . Для выборок третьего типа (у которых  $1,05<D<1,25$ ) с увеличением объема выборки наблюдается тенденция уменьшения значения фрактальной размерности  $D$  и увеличения значения обобщенного коэффициента корреляции  $C$ . Данные зависимости поведения временных рядов позволяют оценить их динамику.

4. Выявлена зависимость качества прогноза электропотребления на один-два периода интеграции от значения  $D$ . Чем ближе фрактальная размерность  $D$  к 1 (чем сильнее персистентность), тем меньше ошибка прогноза, что может быть использовано в практической деятельности для оперативного прогнозирования электрической нагрузки.

5. Временный ряд получасового потребления практически так же персистентен, как и ряд пятиминутных значений (персистентность выборок данных не зависит от дискретности их).

#### Список использованной литературы

1. Курской Ю.С. Фрактальный анализ результатов электрических измерений / Ю.С. Курской // Энергоснабжение. Энергетика. Энергоаудит. – 2014. – №1. – С. 52 – 57.
2. Мачехин Ю. Фрактальная шкала для временных рядов результатов измерений / Ю. Мачехин // Измерительная техника. – 2008. – Вып. 08. – С. 40–43.
3. Федер Е. Фракталы / М.: Мир, 1991. — 258 с.
4. Кликушин Ю.Н. Фрактальная шкала для измерения формы распределения вероятности / Ю.Н. Кликушин // Журнал радиоэлектроники. – 2000. – №3.
5. [\\_http://jre.cplire.ru/koi/mar00/2/text.html](http://jre.cplire.ru/koi/mar00/2/text.html)
6. Филатова Е.С. Анализ временного ряда электропотребления методом нормированного размаха / Е.С. Филатова, Д.М. Филатов, А.Д. Стоцкая // Электронный научный журнал «Современные проблемы науки и образования». – 2015. – №3.
7. [\\_http://www.science-education.ru/\\_pdf/2014/5/625.pdf](http://www.science-education.ru/_pdf/2014/5/625.pdf)

9. Бедерак Я.С. Применение метода экспоненциального сглаживания для восстановления утерянных данных технического учета на промышленных предприятиях / Я.С. Бедерак // Электротехника і Електромеханіка. – 2014. – №4. – С. 52–55.

**A. Voloshko, Dr. Sc. Sciences, prof.,  
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
Y Bederak**

#### **FRactal ANALYSIS OF ELECTRICAL LOADS CHEMICAL PLANTS**

*The article deals with the application of fractal analysis of time series (schedules electrical load) at the input down-the main substation. The resulting three types of dependencies fractal dimension of time series sample volume and generalized correlation coefficient. Based on the analysis of data dependencies evaluated the dynamics of time series. Also identified as dependent time series prediction for one or two periods of integration of the values of fractal dimensions.*

**Key words:** time series, fractal analysis, power consumption.

#### **References**

1. Y.S. Kurskoy. Fractal analysis of electrical measurements / Y.S. Kurskoy // Энергоснабжение. Энергетика. Power audit. - 2014. - №1. - P. 52 - 57.
2. E. Feder. Fraktaly / M.: Mir, 1991. - 258 p.
3. J.N. Klykushyn. Fraktalnaya scale for measuring the apportionment forms Probability / Y.N. Klykushyn // Radioelectronics Magazine. - 2000. - №3.  
<http://jre.cplire.ru/koi/mar00/2/text.html>
4. E.S. Filatov. Analysis of Bygone tjada elektropotreblenyya by normyrovannoho razmaha / E.S. Filatov, D.M. Filatov, A.D. Stotskaya // Научный Electronic Journal "Modern problems of science and education." - 2015. - №3.  
[http://www.science-education.ru/\\_pdf/2014/5/625.pdf](http://www.science-education.ru/_pdf/2014/5/625.pdf)
5. J.S. Bederak. Application method eksponentsyalnoho shlazhyvanyya for data recovery uteryannyh of technical accounting at the enterprise of industrial / JS Bederak // Electronics and Electromechanics. - 2014. - №4. - P. 52-55.

**УДК 621.3.016.3**

**А.В. Волошко**, д-р техн. наук, проф.,  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
**Я.С. Бедерак**, інженер,  
ПАТ «АЗОТ», м. Черкаси

#### **ФРАКТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ**

*У статті розглянуто питання застосування фрактального аналізу часових рядів (графіків електричного навантаження) на вводах головної понижувальної підстанції. Отримані три види залежностей фрактальної розмірності від об'єму вибірок часового ряду та узагальнений коефіцієнт кореляції. На основі аналізу даних залежностей проведена оцінка динаміки часових рядів. Також виявлена залежність якості прогнозування часових рядів на один-два періоди інтеграції від величин фрактальних розмірностей.*

**Ключові слова:** часові ряди, фрактальний аналіз, електроспоживання.

Надійшла 15.12.2016  
Received 15.12.2016