
АДАПТИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ ПОДГОТОВКИ ДАННЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ К ПРОЦЕДУРЕ ПРОГНОЗА

Кумратова Альфира Менлигуловна, канд. экон. наук, доц.

Попова Елена Витальевна, д-р экон. наук, проф.

Турлий Светлана Ивановна, канд. экон. наук, доц.

Недогонова Татьяна Алексеевна, маг.

Кубанский государственный аграрный университет, Калинина, 13, Краснодар, Россия, 350044; e-mail: nedogonovat@gmail.com

Цель: в работе авторы предлагают использовать адаптированные методы нелинейной динамики для подготовки данных временных рядов к процедуре прогноза с целью выявления хаотической динамики и выбора методов и моделей прогноза. *Обсуждение:* каждый шаг предложенного комплекса методов для предварительной обработки данных позволяет выдвигать предложения об определенных свойствах исследуемых временных рядов. Это, в свою очередь, доказывает, что для получения достоверных и обоснованных выводов о типе поведения исследуемой системы недостаточно результатов одного из множества существующих тестов. *Результаты:* проведение комплексного анализа позволит наиболее правильно определить тип поведения временного ряда и его характеристики, что позволит получить в дальнейшем достоверный прогноз.

Ключевые слова: комплексный анализ, временные ряды, нелинейный тренд, линейный тренд, визуализация, тест Гилмора, псевдофазовое пространство, аттрактор.

DOI: 10.17308/meps.2019.7/2155

Введение

Для определения целей развития любой экономической системы, расчетов объемов необходимых ресурсов для достижения этих целей, осуществления долгосрочного, среднесрочного и текущего планирования служат экономические прогнозы, которые составляются на основе статистических данных (временных рядов). Таким образом, прогнозирование позволяет минимизировать возможные риски и потери при планировании и реализации целей развития [11, 12, 1].

Авторы в работе предлагают для эффективного планирования и прогнозирования динамики экономических процессов использовать адаптиро-

ванные методы нелинейной динамики [9, 1]. Для получения достоверных и обоснованных выводов о типе поведения исследуемой системы недостаточно результатов одного из множества существующих тестов. Только проведение комплексного анализа позволит наиболее правильно определить тип поведения временного ряда (ВР) и его характеристики и получить достоверный прогноз [6, 7, 8].

Методология исследования

Для анализа экономических рядов существует немало различных алгоритмов и методов исследования. Комплексный анализ временных рядов (ВР) состоит из трех этапов:

1. На начальном этапе – предварительная обработка временного ряда:

- построение графика временного ряда до и после удаления линейного тренда;
- формирование псевдофазового пространства размерности два;
- тестирование на дрейфующий аттрактор;
- выполнение графического теста Гилмора.

Итоги каждого шага дают возможность выносить суждение о свойствах, которые присущи исследуемым временным рядам.

2. На втором этапе вычисляются метрические характеристики, позволяющие диагностировать тип динамики, а именно:

- величина корреляционной размерности;
- величина максимального показателя Ляпунова;
- мера К-энтропии Колмогорова;
- значение показателя Херста H ;
- выполнение теста остатков Брока;
- проведение тасующей диагностики.

3. На третьем этапе происходит построение прогноза.

Каждый шаг предложенного комплекса методов для предварительной обработки данных позволяет выдвигать предложения о тех или иных свойствах исследуемого временного ряда, ниже представлено подробное описание каждого шага:

I. График ВР показывает зависимость значений ряда от времени, т.е. ось Ox – дата наблюдения, Oy – значение ВР. Построение данного графика позволяет определить тип поведения исследуемой системы и наличие линейного тренда. Дальнейшее исследование временного ряда методами нелинейной динамики целесообразно в том случае, если ВР ведет себя как случайный. На данном этапе можно очистить временной ряд от тренда, применяя стандартные методы классической статистики.

II. Псевдофазовое пространство показывает зависимость текущего значения временного ряда (a_i) от предыдущих (a_{i-1}). Построение данного

графика дает возможность судить о наличии странного аттрактора и джокера, которые свидетельствуют о хаотичном поведении системы.

III. Тест на дрейфующий аттрактор показывает зависимость параметров системы от времени, которая проявляется в дрейфе аттрактора. Положительный результат теста означает, что точки, относящиеся к первой и последней четвертям ряда, образуют смещенные относительно друг друга множества точек. При выявлении такой зависимости необходимо отчистить ряд от нелинейного тренда, который обусловлен дрейфом аттрактора.

IV. Проведение графического теста Гилмора позволяет выявить неустойчивые траектории, наличие в системе джокера, что является признаками хаотического поведения.

Необходимо отметить, что выполнение предложенных шагов затруднительно без специализированных программ, в данной работе для построения графиков и проведения тестов использовались программы «Анализ данных» и MS Excel. Предложенные методы последовательно апробированы на следующих временных рядах: «Турпоток 1» – ежедневный поток въезжающих туристов в горнолыжный поселок Домбай с 1.05.2015 г. по 1.12.2017 г., количество наблюдений равно 927, а также учитывая результаты декомпозиционного подхода «Турпоток 2» – еженедельный поток туристов, въезжающих в поселок в субботние дни, количество наблюдений равно 133 [5].

Обсуждение результатов

Шаг 1. На первом шаге этапа визуализации построены гистограммы временных рядов. Далее из этих ВР удален линейный тренд (в соответствии с рис. 1).

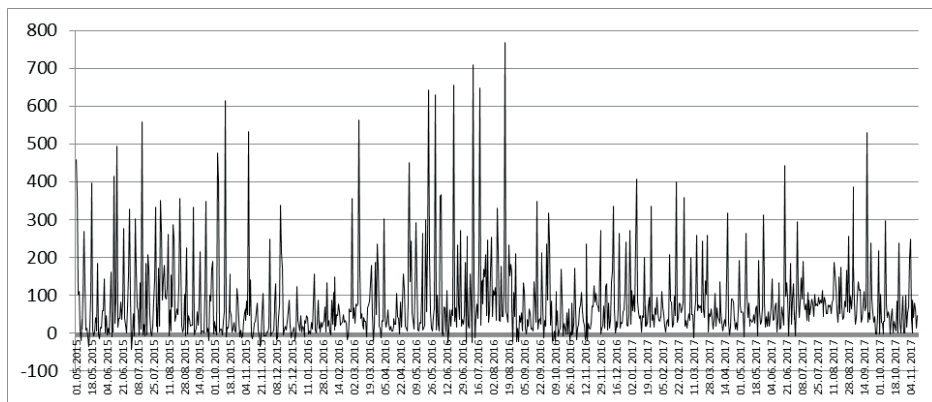


Рис. 1а. Графическая визуализация значений временного ряда «Турпоток 1» после процедуры удаления линейного тренда

1. Построив график временного ряда в MS Excel, получаем уравнение линии тренда и находим его значения в каждой точке $x=[1; n]$, где n – количество наблюдений в исследуемом временном ряду.

2. Значения отчищенного временного ряда равны разности начальных значений ряда и значений линии тренда.

Временные ряды на рис. 1 обладают явно выделенным линейным трендом, т.е. имеют динамическую, не циклической природы компоненту, которая описывает прямое влияние долговременных факторов, эффект которых сказывается постепенно.

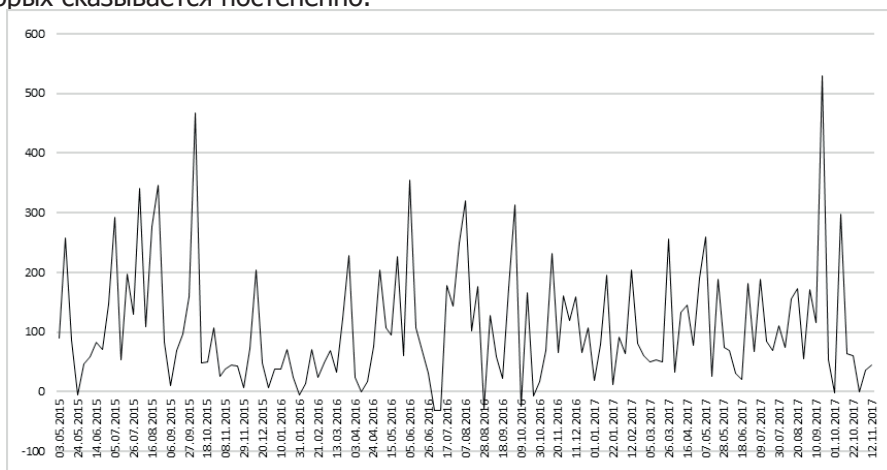


Рис. 16. Графическая визуализация значений временного ряда «Турпоток 2» после процедуры удаления линейного тренда

Удаление линейного тренда из ВР готовит их к дальнейшему исследованию на шаге 2.

Шаг 2. На втором шаге в программе «Анализ данных» для всех исследуемых ВР построены псевдофазовые пространства, которые отражают зависимость значений временного ряда от предыдущих. На базе визуализации псевдофазового пространства можно выносить суждение о наличии странного аттрактора (в соответствии с рис. 2).

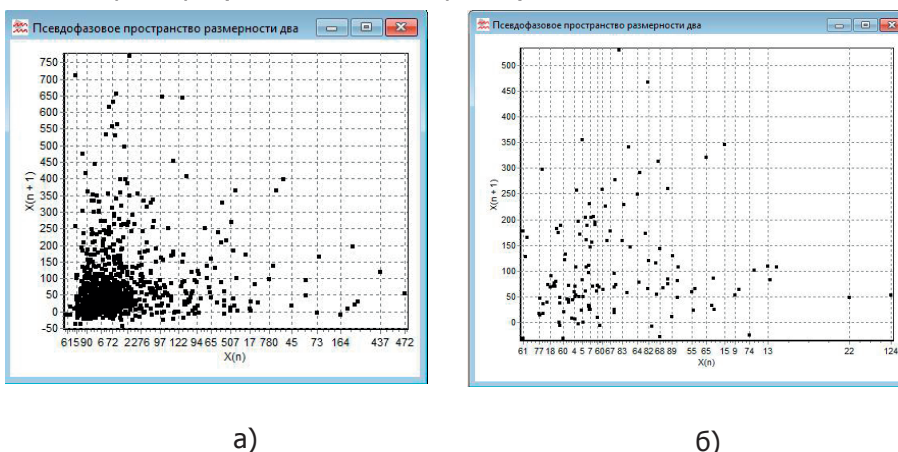


Рис. 2. Псевдофазовые пространства временных рядов: (а) ВР «Турпоток 1»; (б) ВР «Турпоток 2»

Наличие странного аттрактора характеризуется такими точками псевдофазового пространства ВР, которые сгруппированы вокруг биссектрисы положительного ортанта декартовых координат. Разброс точек псевдофа-

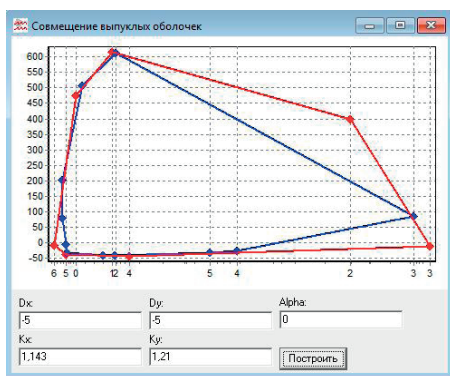
зового пространства для ВР «Турпоток 1» и «Турпоток 2» не позволяет нам сделать подобный вывод. Для подтверждения гипотезы о наличии странного аттрактора в настоящем случае необходимо определить наличие зависимости параметров системы от времени, выражающейся в дрейфе аттрактора.

Шаг 3. Определяем наличие зависимости параметров системы от времени. Для проведения теста значения ВР разделены на $k=4$ части и определим параметры дрейфа (нелинейного тренда) [12], чтобы удалить его из временных рядов. С помощью интерактивной процедуры построены выпуклые оболочки, изображённые на рисунках 3а и 3б, и определены параметры аффинного преобразования: сжатие по оси абсцисс $OX - kx$, сжатие по оси $OY - ky$, угол поворота $-\alpha$, перенос по $OX - dx$ и по $OY - dy$. Найденные значения позволяют вычислить величины параметров дрейфа аттрактора, т.е. скорости: линейного смещения, сжатия и поворота [1]. Найденные параметры представлены в табл. 1-2:

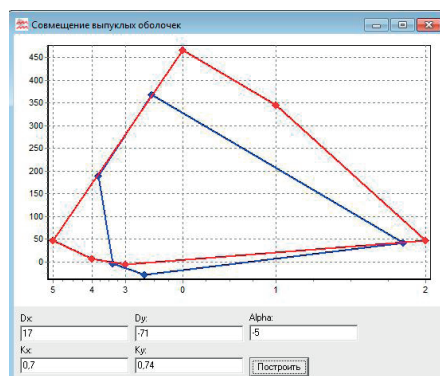
Таблица 1

Параметры аффинного преобразования дрейфующего аттрактора исследуемых ВР

Параметры аффинного преобразования	ВР «Турпоток 1»	ВР «Турпоток 2»
Dx	1,141	0,7
Dy	1,21	0,74
Kx	0	17
Ky	-5	-71
α	-5	-5



а)



б)

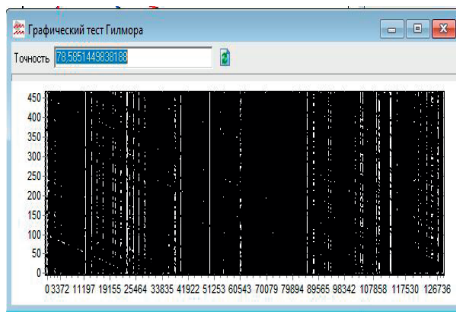
Рис. 3. Совмещение выпуклых оболочек временного ряда: (а) ВР «Турпоток 1»; (б) ВР «Турпоток 2»

Таблица 2

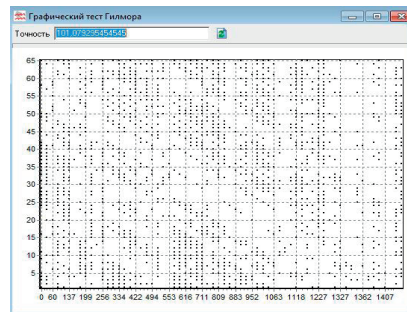
Оценки параметров дрейфа аттрактора исследуемых ВР

Оценка параметров дрейфа аттрактора	«Турпоток 1»	«Турпоток 2»
скорость линейного смещения (U_x)	-0,00539	0,12782
скорость линейного смещения (U_y)	-0,00539	-0,53383
скорость сжатия (U_{rx})	1,000142	0,997322
скорость сжатия (U_{ry})	0	1,006918
скорость поворота (ω)	0	0,009648

Шаг 4. На 4-м шаге проведен тест Гилмора [12, 10] (в соответствии с рис. 4), который позволяет обнаружить признаки хаотического поведения. На графике 4б (результат теста Гилмора для ВР «Турпоток 2») наблюдаем наличие пустых областей, характерных для интервального джокера [3, 4], что позволяет выдвинуть предположение о возможности использования для дальнейшего исследования этих рядов с помощью такого класса моделей, как динамические системы с джокером. На другом графике пустые области и полосы выражены не явно или не наблюдаются, сделать вывод о наличии джокера для ВР «Турпоток 1» невозможно.



а)



б)

Рис. 4. Результаты теста Гилмора:
(а) ВР «Турпоток 1»; (б) ВР «Турпоток 2»

Заключение

Таким образом, в результате выполнения первого этапа проводимого анализа получены временные ряды, очищенные от линейного тренда. Рассчитанные оценки дрейфа позволяют очистить исследуемые временные ряды от нелинейного тренда и подготовить их для дальнейшего анализа (второго этапа), на котором рассчитываются метрические характеристики (величина корреляционной размерности; показатель Ляпунова; мера К-энтропии Колмогорова; величина показателя Херста H ; выполнение теста остатков Брока; тестирование тасующей диагностики), которые позволяют

определить вид динамики и соответственно выбрать наиболее подходящие модели прогноза.

Список источников

1. Белайчук Л.В. Как обнаружить джокер в эксперименте // *Сб. Математика. Компьютер. Образование*, no. 5, часть II, 1998, с. 17-31.
2. Белайчук Л.В., Малинецкий Г.Г. Прodelки джокера на одномерном отображении // *Труды Международной конференции «Математика. Компьютер. Образование»*. Пущино, 1997, с. 24-31.
3. Государственная программа «Развитие туризма, курортов и молодежной политики Карачаево-Черкесской Республики на 2016–2020 годы». Доступно: <http://docs.cntd.ru/document/422402870> (дата обращения: 30.04.2019).
4. Давнис В.В. Основы моделирования адаптивно-таргетированных прогнозных траекторий и анализ их устойчивости // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2018, no. 9 (105), с. 17-31.
5. Кумратова А.М. Снижение экономического риска на базе предпрогнозного анализа // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2015, no. 3 (63), с. 18-28.
6. Кумратова А.М. Выявление тренд-сезонных компонент во временных рядах экономических процессов // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2018, no. 6 (102), с. 20-30.
7. Кумратова А.М. Концептуальная основа получения и исследования максимального времени прогноза с заранее заданной точностью // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2017, no. 6 (90), с. 23-31.
8. Позднякова А.Ю. Применение графического теста для анализа динамических систем с джокером // *Динамические системы*, 2000, вып. 16, с. 180-186.
9. Сергеева Л.Н. *Моделирование экономических систем методами нелинейной динамики (теория хаоса)*. Запорожье, ЗГУ, 2001.
10. Соловьев В.И. Современные подходы к учету случайности, неопределенности и риска при анализе макроэкономических процессов // *Вестник Университета (Государственный университет управления)*, 2001, no. 1 (2), с. 228-242.
11. Янгишиева А.М. Моделирование экономических рисков методами нелинейной динамики: Автореферат дисс. канд. экон. наук / Ставропольский государственный университет. Ставрополь, 2005.
12. Gilmore C.G. A new test for chaos // *Journal of economic behavior and organization*, no. 22, 1993, pp. 209-237.

ADAPTED METHODS OF NONLINEAR DYNAMICS FOR PREPARATION OF ECONOMICAL TIME SERIES DATA TO FORECASTING PROCEDURE

Kumratova Alfira Menligulovna, Cand. Sc. (Econ.)

Popova Elena Vitalyevna, Dr. Sc. (Econ.), Prof.

Turliy Svetlana Ivanovna, Cand. Sc. (Econ.)

Nedogonova Tatiana Alekseevna, master

Kuban State Agrarian University, Kalinina st., 13, Krasnodar, Russia, 350044; e-mail: nedogonovat@gmail.com

Purpose: authors propose to use adapted methods of nonlinear dynamics for preparation of economical time series data to forecasting procedure in order to identify chaotic dynamics and choose forecasting methods and models. *Discussion:* each step of the proposed set of methods for preliminary data processing allows us to put forward proposals on certain properties of the time series under study. This, in turn, proves that in order to obtain reliable and reasonable conclusions about the type of behavior of the system under study, there are not enough results from one of the many existing tests. *Results:* conducting a comprehensive analysis will make it possible to most correctly determine the behavior type of the time series and its characteristics, which will make it possible to obtain a further reliable forecast.

Keywords: complex analysis, time series, nonlinear trend, linear trend, visualization, Gilmore test, pseudo-phase space, attractor.

References

1. Belaychuk L.V. Kak obnaruzhity dzhoker v eksperimente [How to Detect a Joker in an Experiment]. *Sb. Matematika. Kompyuter. Obrazovaniye*, no. 5, chasty II, 1998, pp. 17-31. (In Russ.)
2. Belaychuk L.V., Malinetskiy G.G. Prodelki dzhokera na odnomernom otobrazhenii [Joker tricks on a one-dimensional map]. *Trudy Mezhdunarodnoy konferentsii «Matematika. Kompyuter. Obrazovaniye»*. Pushchino, 1997, pp. 24-31. (In Russ.)
3. Gosudarstvennaya programma «Razvitie turizma, kurortov i molodezhnoy politiki Karachaevo-Cherkesskoy Respubliki na 2016-2020 goda» [State program «Development of the tourism, resorts and youth policy of the Karachay-Cherkessia Republic for 2016-2020»]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/422402870> (accessed: 30.04.2019). (In Russ.)
4. Davnis V.V. Osnovy modelirovaniya adaptivno-targetirovannykh prognoznykh traektoriy i analiz ikh ustoychivosti [Fundamentals of modeling adaptive-targeted predictive trajectories and analysis of their stability]. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya*, 2018, no. 9 (105), pp. 17-31. (In Russ.)
5. Kumratova A.M. Snizhenie ekonomicheskogo riska na baze predprognoznogo analiza [Reducing the economic risk on the basis of a predictive analysis]. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya*, 2015, no. 3 (63), pp. 18-28. (In Russ.)
6. Kumratova A.M. Vyyavlenie trend-

sezonnnykh komponent vo vremennykh ryadakh ekonomicheskikh protsessov [Identification of trend-seasonal components in the time series of economic processes]. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya*, 2018, no. 6 (102), pp. 20-30. (In Russ.)

7. Kumratova A.M. Kontseptual'naya osnova polucheniya i issledovaniya maksimal'nogo vremeni prognoza s zaranee zadannoy tochnostyyu [Conceptual basis for obtaining and researching the maximum forecast time with a predetermined accuracy]. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya*, 2017, no. 6 (90), pp. 23-31. (In Russ.)

8. Pozdnyakova A.Yu. Primenenie graficheskogo testa dlya analiza dinamicheskikh sistem s dzhokerom [Use of the graphic test for the analysis of dynamic systems with a joker]. *Dinamicheskie sistemy*, 2000, vyp. 16, pp. 180-186. (In Russ.)

9. Sergeeva L.N. *Modelirovanie econo-*

micheskikh sistem metodami nelineynoi dinamiki (teoriya khaosa) [Modeling of economic systems by methods of non-linear dynamics (chaos theory)]. Zaporozhye, ZGU, 2001. (In Russ.)

10. Soloviev V.I. Sovremennye podkhody k uchetu sluchaynosti, neopredelennosti i riska pri analize makroekonomicheskikh protsessov [Modern approaches to accounting for randomness, uncertainty and risk in the analysis of macroeconomic processes]. *Vestnik Universiteta (Gosudarstvennyy universitet upravleniya)*, 2001, no. 1 (2), pp. 228-242. (In Russ.)

11. Yangishieva A.M. *Modelirovanie ekonomicheskikh riskov metodami nelineynoy dinamiki* [Modeling of economic risks by non-linear dynamics methods]: avtoreferat diss. kand. ekon. nauk / Stavropol'skiy gosudarstvennyy universitet. Stavropol', 2005. (In Russ.)

12. Gilmore C.G. A new test for chaos. *Journal of economic behavior and organization*, no. 22, 1993, pp. 209-237.