

МЕТОДЫ ХАОТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ В ЗАДАЧАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВАГОНПОТОКОВ

У роботі досліджено можливості методів хаотичної динаміки стосовно актуальних задач аналізу та прогнозування економічних та технологічних властивостей вагонопотоків, що представлені відповідними часовими рядами. Встановлено також доцільність використання методу узагальненого логістичного відображення для побудови оперативного прогнозу часових рядів.

Ключові слова: прогнозування властивостей вагонопотоків, методи хаотичної динаміки, аналіз часових рядів, узагальнене логістичне відображення

В работе исследованы возможности методов хаотической динамики применительно к актуальным задачам анализа и прогнозирования экономических и технологических свойств вагонопотоков, представленных соответствующими временными рядами. Установлена также целесообразность использования метода обобщенного логистического отображения для построения оперативного прогноза поведения временных рядов.

Ключевые слова: прогнозирование свойств вагонопотоков, методы хаотической динамики, анализ временных рядов, обобщенное логистическое отображение

The possibilities of chaotic dynamics methods applied to the topical analysis and forecasting problems of economic and technological properties of wagon streams represented by the related time series are studied. The advisability of using the generalized logistic map method for the construction of time series behavior operational forecasting is also determined.

Keywords: forecasting of properties of wagon streams, chaotic dynamics methods, time series analysis, generalized logistic map

Введение. Проблемы анализа свойств вагонопотоков и методы хаотической динамики

Одной из актуальных и важных задач для организации экономически эффективных грузовых железнодорожных перевозок является прогнозирование технологических, а значит и соответствующих экономических, параметров процессов перевозок. Решение этой задачи осложняется существующими при этом условиями неопределенности, связанными, например, с неравномерностью суточной погрузки по станциям. На рис. 1 представлен график фактических объемов погрузки за один из периодов (в вагонах). В то же время при планировании перевозок предполагается обеспечение равномерной погрузки.

Одним из общих подходов к анализу и прогнозированию свойств процессов является рассмотрение их как временных рядов [1, 2]. Оперативное прогнозирование на основе временных рядов наблюдений выступает в качестве важной задачи для эффективного планирования и управления многими технологическими и экономическими процессами [1, 2], в том числе вагонопотоками. Исследования свойств временных рядов параметров вагонопотоков на железных дорогах Украины, рис. 2, а,

рис. 2, б, позволили установить, что часто они имеют сложное поведение, иногда похожее на «хаотическое». Известно, что в настоящее время развиты математические модели хаотической динамики, которые все больше используются при решении задач анализа и прогнозирования экономических систем [2 – 4]. Развитию этого направления исследований применительно к технолого-экономическим свойствам вагонопотоков и посвящена настоящая работа.

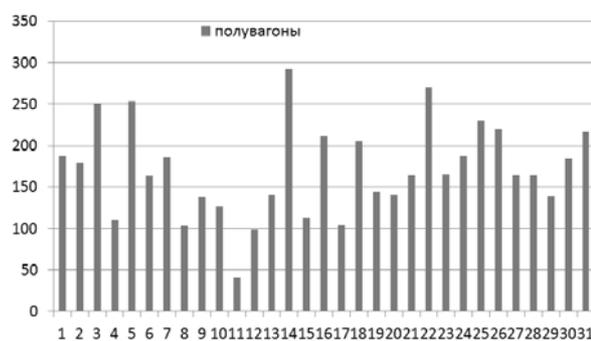


Рис. 1. Суточная неравномерность погрузки, станция Червоная, июль 2010 г.

В статье исследованы возможности методов хаотической динамики применительно к двум актуальным задачам анализа и прогнозирования свойств вагонопотоков. В первой из них для анализа временных рядов используется

R/S-анализ Херста [1 – 3]. На основании его применения удается установить некоторые дополнительные свойства относительно тенденций изменения параметров вагонопотоков. А именно, получить оценки относительно сохранения/изменения свойств временного ряда. Кроме того, можно рассчитать период сохранения тенденций. Будет показано, что имеются временные ряды, построенные на основе значений параметров вагонопотоков, которые обладают адекватной моделью уравнения регрессии, но одновременно имеют показатель Херста меньше 0,5. Для таких, антиперсистентных, рядов ожидается смена тенденции развития процессов, что противоречит общепринятому статистическому методу анализа.

Для решения другой задачи, прогнозирования значений уровней ряда, применяется новый метод прогнозирования на основе модели обобщенного логистического отображения [3]. Несмотря на то, что это отображение является детерминированным, в [1, 2] и ряде других исследований показано, что даже простые нелинейные модели при определенных значениях параметров могут иметь «хаотическое» поведение, которое представляется случайным. Вместе с тем, в этих моделях это хаотическое поведение порождается именно нелинейностью. В статье представлены данные о применении таких моделей к прогнозированию уровней временных рядов, представляющих технологические экономические свойства вагонопотоков.

Использование R/S-анализа для исследования свойств вагонопотоков

Рассматривается задача совершенствования методов оперативного прогнозирования параметров вагонопотоков (технологических, экономических и др.) на основе статистического анализа свойств соответствующих временных рядов, рис. 2. Возможность улучшения прогноза ожидаемых значений исследуемых величин связывается с решением задачи классификации процессов, представленных рядами наблюдений. Для такой классификации степени стохастичности временного ряда используется показатель Херста, по значениям которого динамические процессы разделяются на детерминированные, случайные и хаотически детерминированные. В последнем случае процесс содержит «память» о прошлых наблюдениях, о прошлом поведении ряда, причем не краткосрочную, а долгосрочную. Эта дополнительная информация может быть использована в процедурах

оперативного прогнозирования ожидаемых значений уровней ряда.

Существует несколько основных методов расчета показателя Херста, представленных в [1 – 3]. Заметим, что их использование позволяет вычислить две основные характеристики временного ряда – значение показателя Херста H в интервале $[0; 1]$, период сохранения тенденции для персистентного ряда.

Наряду с корреляционным и спектральным анализом одним из мощных методов исследования долгосрочной памяти во временных рядах и выяснения степени их фрактальности является применение R/S-анализа (Rescaled Range Analysis), который был предложен Херстом (Hurst) [2, 5]. Мандельброт Б. обобщил метод Херста с целью исследования временных рядов произвольной природы. Идея этого метода заключается в измерении изменения со временем уровня накопления отклонений от среднего значения временного ряда. Установлено, что для некоторых временных рядов зависимость R/S от количества наблюдений N имеет следующий эмпирический закон распределения [3]:

$$(R/S)_n = (R/S)_0 N^H, \quad (1)$$

где $(R/S)_0$ – константа;

N – количество временных периодов наблюдений;

H – экспонента Херста; $(R/S)_n$ определяется как:

$$(R/S)_n = \frac{\max_{1 \leq t \leq N} A(t, N) - \min_{1 \leq t \leq N} A(t, N)}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (S(t) - \langle S \rangle_N)}}, \quad (2)$$

где $A(t, N)$ – накопление отклонения временного ряда $S(t)$ от среднего за N периодов $\langle S \rangle_N$:

$$A(t, N) = \sum_{i=t}^{t+N} (S(i) - \langle S \rangle_N). \quad (3)$$

Если показатель H примерно равен 0,5, это свидетельствует о случайных блужданиях уровней ряда. При H отличных от 0,5 наблюдения значений уровней не являются независимыми, а каждое из них содержит «память» о прошлых уровнях, наблюдениях, предыдущем поведении ряда. Причем необходимо учиты-

вать присутствие не краткосрочной, а именно долговременной памяти.

Если $0 \leq H \leq 0,5$ – то ряд будет отрицательно коррелированным (антиперсистентным), в нем, если наблюдалась тенденция роста уровней ряда в прошлом, следует ожидать в дальнейшем его убывание. Если $0,5 \leq H \leq 1$ – ряд будет положительно коррелированным (персистентным), или трендостойким. Именно, если ряд возрастает (убывает) в прошлом, то вероятно, что такая же тенденция сохранится в течение некоторого времени в будущем. Показатель Херста связан с фрактальной размерностью соотношением: $d_F = 2 - H$ [3].

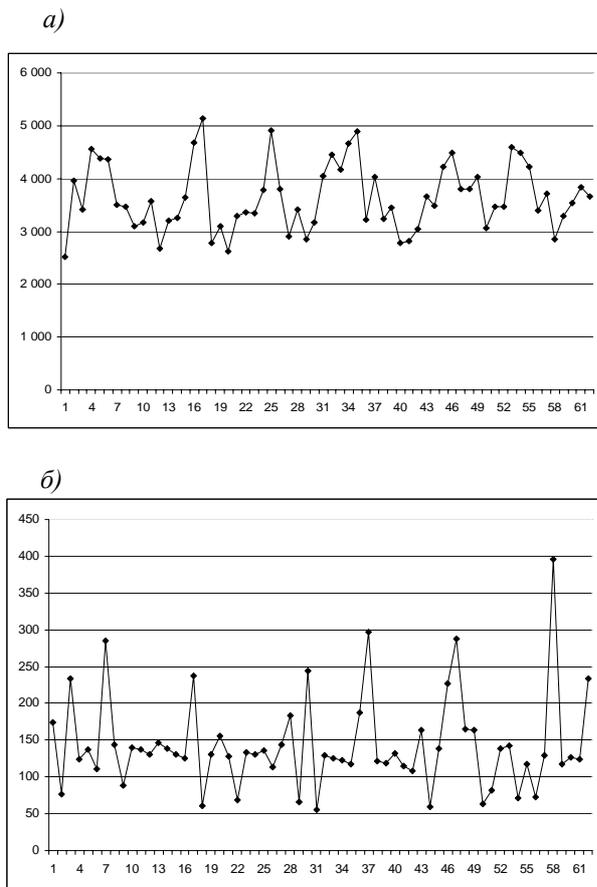


Рис. 2. Графики посуточной передачи вагонов по стыкам полигонов

На практике для оценки показателя H часто используют метод, который заключается в построении функции линейной регрессии $\log(R/S) = H \log N + \varepsilon$. Если построить график этой регрессии в двойных логарифмических координатах, то оценкой показателя Херста будет коэффициент наклона H этой прямой.

На рис. 3 представлены примеры расчета коэффициента Херста: для ряда a его значение находится в диапазоне от 0,343 до 0,389, т.е.

$H < 0,5$ (ряд антиперсистентный, ожидается изменение тенденции); для ряда b – от 0,664 до 0,715, то есть $H > 0,5$ (ряд персистентный, тенденция сохранится).

При регрессионном анализе поведения рядов получим следующие уравнения: для ряда a – $Y = 3565,12 + 2,4223 \cdot X$, для ряда b – $Y = 1715,669 + 1,7944 \cdot X$. Обе полученные функции свидетельствуют об ожидаемом росте прогнозируемых параметров в будущих периодах. Вместе с тем, это противоречит результатам анализа Херста для ряда a , которые указывают на ожидаемое изменение тенденции временного ряда, т.е. на уменьшение показателей в будущем.

Таким образом, для получения более обоснованных и точных прогнозов поведения временных рядов в дополнение к классическим методам прогнозирования целесообразно использовать R/S -анализ Херста.

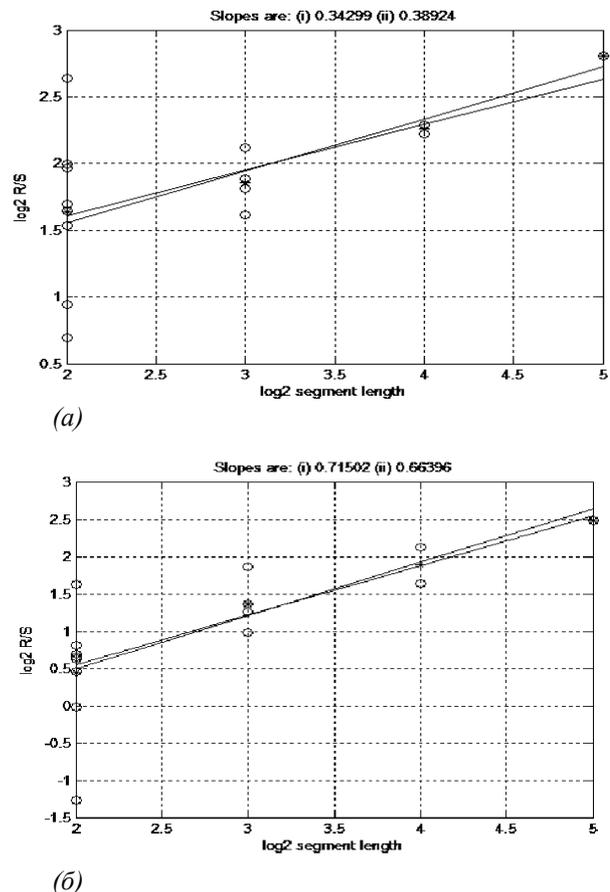


Рис. 3. Графики расчета показателя Херста для процесса передачи вагонов по стыкам

Трудность применения R/S -анализа на практике обусловлена не только его недостаточным распространением, но и отсутствием в настоящее время общепринятых методик интерпретации результатов для анализа случая антиперси-

стентных рядов, представляющих исследуемые экономические или же технологические процессы. В случае антиперсистентных процессов, а значит и соответствующих временных рядов, прогнозирование все же может быть обоснованным и выполненным с использованием известных методик. При этом, однако, следует учесть возможности существующих расчетных методик. Для обоснованной интерпретации результатов R/S -анализа можно поступать, например, следующим образом.

На основе исходного временного ряда формируется последовательность вспомогательных производных рядов, уровни которых являются средними значениями для рядом стоящих значений исходного временного ряда (рис. 4). Такая процедура осреднения выполняется до тех пор, пока новый, производный, ряд не окажется персистентным по данным измерения коэффициента Херста. Это требование всегда обеспечивается, поскольку в пределе ряд заменяется средним значением. Для практики такой результат часто вполне приемлем – предельной оценкой прогноза является среднее значение ряда за некоторый период измерения. Суммируя, приходим к следующему утверждению. При антиперсистентных свойствах (экономических, технологических и других) процессов можно обеспечить прогноз только производного ряда, полученного из суммарных значений показателей, рассчитанных за некоторый период. Интервал осреднения, разумеется, зависит от свойств временного ряда. При выборе этого интервала в качестве критерия можно использовать минимальное значение последовательных уровней ряда, при которых производный ряд становится персистентным или случайным.

Для антиперсистентного ряда рис. 2, а, оказалось достаточным одного цикла осреднения, чтобы соответствующий производный ряд, полученный за счет осреднения двух рядом стоящих уровней, стал персистентным, имеющим $H = 0,57$; для следующего шага, сформированного путем осреднения по 4-м рядом стоящим уровням ряда, значение показателя Херста равно $H = 0,7$. На основании этого можно сделать осредненные прогнозы значений ряда за два периода, или же более определенные на четыре.

Прогнозирование уровней временных рядов на основе обобщенного логистического отображения

В работе [7] приведены примеры применения предложенного в [6] метода использования обобщенного логистического отображения

[3, 4] для построения оперативного прогноза на один и два шага для числовых параметров вагонопотоков, представленных временными рядами, которые имеют различные свойства относительно показателя Херста – долговременной памяти о предыдущих реализации перевозок в течение определенного методом R/S -анализа срока.



(а)



(б)

Рис. 4. Графики процедуры осреднения исходного и антиперсистентного временного ряда по 2 и 4 уровням

Исследование свойств рядов параметров вагонопотоков позволили установить, что часто они имеют сложное поведение, похожее на «хаотическое». Известно, что существуют модели хаотической динамики, которые все больше применяются в экономических системах. Развитию этих исследований и посвящена работа. В ней для прогнозирования временных рядов было использовано модель обобщенного логистического отображения, задаваемого следующим рекуррентным соотношением:

$$x_{n+1} = \lambda x_n^\alpha (N - x_n^\beta), \quad (4)$$

где λ , α и β – разыскиваемые на основе метода наименьших квадратов (МНК) параметры модели;

N – максимальное значение уровней ряда.

Построение прогноза, в соответствии с вышеуказанным методом [6, 7], происходит рекуррентно. Отображение (1) является одномер-

ным нелинейным и использует лишь предварительный уровень ряда. Согласно [4, 5], даже простые нелинейные модели могут иметь при достаточном количестве уровней ряда поведение, подобное хаотическому, которое близко к случайному. При реализации метода [6] на практике прогнозирование выполняется на основе обобщения результатов расчетов для нескольких моделей вида (4). При этом параметры каждой модели рассчитывают методом МНК для фрагментов временных рядов различной длины. Прогнозирование на основе отражения (4) проводится на 1 или 2 шага. Общая схема расчета прогноза следующая:

1. По МНК проводится расчет параметров модели вида (1), когда используются 15, 10 и 5 предыдущих значений ряда.

2. Проводится построение прогноза на следующий период по найденным параметрам и определение следующего уровня ряда (или двух).

3. На основе прогнозов для 15, 10 и 5 предыдущих значений ряда рассчитывают среднее значение результатов моделей с 15 и 10, и 5 уровнями, так же и для 10 и 15 уровней.

4. Для расчета прогноза уровней на один и два шага вперед находят среднее значение для исходного ряда и его абсолютное отклонение от среднего. Добавляется абсолютное отклонение от средних значений моделей с 15 и 10, и 5, так же и для моделей с 10 и 15 предыдущими уровнями ряда.

Полученные на основе (4) результаты в целом свидетельствуют о достаточно приемлемых возможностях предложенного метода оперативного прогнозирования на основе обобщенного логистического отображения [6]. В частности, исследования свойств рядов отклонений, рассчитанных на основе различий между исходными рядами и моделями на основе логистического отображения, дают основания утверждать об адекватности последних [6, 7].

Выводы

Представлены результаты исследования технологических, а также экономических

свойств вагонопотоков на основе методов хаотической динамики. Рассмотрено две основные задачи – анализ статистических свойств процессов, прогнозирование уровней временных рядов. Установлено, что использование R/S -анализа позволяет уточнить процедуры прогнозирования, используя данные о показателе Херста. Исследованы возможности прогнозирования временных рядов на основе обобщенного логистического отображения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ширяев, А. Н. Основы стохастической финансовой математики [Текст] : Т. 1. Факты. Модели / А. Н. Ширяев. – М.: ФАЗИС, 1998. – 512 с.
2. Петерс, Э. Фрактальный анализ финансовых рынков. Применение теории хаоса в инвестициях и экономике [Текст] / Э. Петерс. – М.: Интернет-трейдинг, 2004. – 304 с.
3. Шарапов, О. Д. Економічна кібернетика [Текст] : навч. посібник / О. Д. Шарапов, В. Д. Дербенцев, Д. Є. Семьонов. – К.: КНЕУ, 2004. – 231 с.
4. Безручко, Б. П. Математическое моделирование и хаотические временные ряды [Текст] / Б. П. Безручко, Д. А. Смирнов. – Саратов: Гос. УНЦ «Колледж», 2005. – 320 с.
5. Сергеева, Л. Н. Моделирование поведения экономических систем методами нелинейной динамики (теории хаоса) [Текст] / Л. Н. Сергеева. – Запорожье: ЗНУ, 2002. – 227 с.
6. Скалозуб, В. В. Метод прогнозування часових рядів на основі логістичного відображення [Текст] / В. В. Скалозуб, І. В. Клименко. // Тез. докл. V-й Межд. науч.-практ. конф. «Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании». – Д., 2011. – С. 67-68.
7. Про застосування методу прогнозування на основі логістичного відображення для економічних часових рядів із довготерміною пам'яттю [Текст] / Г. А. Крамаренко [та ін.] // Тез. докл. V-й Межд. науч.-практ. конф. «Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании». – Д., 2011. – С. 63-65.

Поступила в редколлегию 14.04.2011.

Принята к печати 26.04.2011.