

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

УДК 519.216–047.58:330.4

В. В. СКАЛОЗУБ¹, В. Е. БЕЛОЗЕРОВ², И. В. КЛИМЕНКО³, Б. Б. БЕЛЫЙ^{4*}

¹Каф. «Компьютерные и информационные технологии», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, эл. почта skalozub_vl_v@mail.ru

²Каф. «Информационные технологии», Днепропетровский национальный университет имени Олеса Гончара, пр. Гагарина, 72, г. Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (050) 276 74 22, эл. почта belozvye@mail.ru

³Каф. «Компьютерные и информационные технологии», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, эл. почта vanya_tk@mail.ru

^{4*}Каф. «Компьютерные и информационные технологии», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, эл. почта beliyboris@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОГО ЛОГИСТИЧЕСКОГО ОТОБРАЖЕНИЯ

Цель. Целью выполненных исследований являлось построение модели обобщенного логистического отображения и оценка возможностей ее использования для формирования математического описания, а также проведение оперативных прогнозов параметров сложных динамических процессов, описываемых временными рядами. **Методика.** Результаты исследований получены на основе математического и имитационного моделирования нелинейных систем с использованием инструментария хаотической динамики. **Результаты.** Предложена модель обобщенного логистического отображения, которая применяется для интерпретации характеристик динамических процессов. Рассмотрены некоторые примеры представления процессов на основе обобщенного логистического отображения при вариациях величин параметров модели. Предложены процедуры моделирования и интерпретации данных об исследуемых процессах, представленных временными рядами, а также оперативного прогнозирования их параметров, использующие модели обобщенного логистического отображения. **Научная новизна.** В статье предложены усовершенствованная математическая модель, обобщенное логистическое отображение, предназначенные для исследования нелинейных дискретных динамических процессов. **Практическая значимость.** Проведенные с использованием обобщенного логистического отображения исследования процессов железнодорожного транспорта, в частности по оценке параметров вагонопотоков, свидетельствуют о значительных возможностях его применения на практике для решения задач анализа, моделирования и прогнозирования сложных нелинейных дискретных динамических процессов. Предложенная модель может использоваться при учете условий неопределенности, нерегулярности, проявления хаотической природы технических, экономических и других процессов, в том числе железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: прогнозирование; обобщенное логистическое отображение; имитационное моделирование нелинейных систем; итерации характеристики динамических процессов

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Введение

В настоящее время многочисленные технологические, эксплуатационные, соответствующие им экономические, а также другие процессы, связанные с функционированием железнодорожного транспорта Украины (ЖТ), не достаточно формализованы, характеризуются высоким уровнем сложности, не имеют замкнутого математического описания. Укажем, что одной из актуальных и важных задач организации экономически эффективной работы железнодорожного транспорта является оперативное планирование и прогнозирование деятельности как отдельных предприятий, так и всей отрасли [11]. Решение задач оперативного прогнозирования усложняется условиями неопределенности, нерегулярностью, хаотической природой многих процессов ЖТ, которые могут быть представлены временными рядами (ВР) [4, 5, 10]. Примеры ВР некоторых технологико-экономических процессов приведены на рис. 1 и 2.

В связи с отмеченными свойствами ЖТ актуальными являются задачи моделирования и прогнозирования характеристик технологических, экономических, эксплуатационных и других процессов ЖТ, задачи получения оценок уровней расчетных показателей при различных внешних воздействиях. Эти задачи возникают на различных уровнях управления, принятия решений, а их достоверное решение обеспечивает эффективное функционирование как отдельных подразделений (подсистем), так и всего транспортного комплекса (исследуемой системы) в целом.

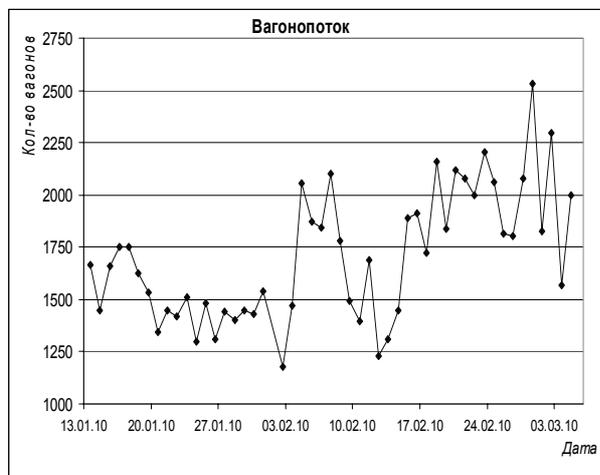


Рис. 1. Временной ряд вагонопотока по станции



Рис. 2. Временной ряд стоимости простоя вагонов на станции

Цель

Развитие метода моделирования и прогнозирования динамических процессов, представленных временными рядами, на основе обобщенного логистического отображения (ОЛО), а также исследование возможностей применения ОЛО для недетерминированных процессов железнодорожного транспорта.

Методика

Для решения задач моделирования, планирования и оперативного прогнозирования показателей процессов, подобных представленным на рис. 1 и 2, используются многие математические и статистические модели и методы, которые разрабатывали и внедряли в экономическую науку отечественные и зарубежные ученые [1, 4, 5, 9, 10, 12]. В последнее время большое внимание уделяется применению методов хаотической динамики для анализа и прогнозирования сложных детерминированных процессов. Вопросы прогнозирования на основе уровней ВР представляют значительный теоретический и прикладной интерес, их исследованию посвящены, в частности, работы [1, 3, 4, 9]. Результаты исследований получены на основе математического и имитационного моделирования нелинейных систем с использованием инструментария хаотической динамики.

Например, в работе [9] для прогнозирования спроса на услуги высших учебных заведений предложена модель спроса на основе обобщенного логистического отображения вида

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

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

где $x_n \in [0,1]$, λ, α, β – числовые параметры.

В рамках подхода к формированию модели авторы считают, что отдельные составляющие (1) соответствуют различным воздействиям (мероприятиям по организации приема абитуриентов) и зависят от групп управляющих факторов. Модель (1) рассматривается как некоторая обобщающая функция, охватывающая все учтенные при анализе факторы одновременно. Использование модели вида (1) для прогнозирования спроса позволяет осуществить интерпретацию параметров процесса организации приема в учебное заведение [9]. Далее модель ОЛО имеет следующий вид:

$$x_{n+1} = \prod_k \lambda_k x_n^{\alpha_k} \prod_j \mu_j (1 - x_n)^{\beta_j}. \quad (2)$$

Для решения задачи моделирования, интерпретации и прогнозирования уровней ВР транспортных процессов исследуются возможности использования модели обобщенного логистического отображения (ОЛО) вида (2), представленные ниже. При этом форма модели (2) применяется в качестве основной структуры для процедур интерпретации данных, описывающих исследуемые сложные технологические, экономические и другие процессы.

Содержательно процедура интерпретации сводится к следующему. Априори предполагается, что наблюдаемый и представленный временным рядом процесс может быть описан уравнением (2). На основе данных ВР необходимо получить оценки параметров модели (2). Для формирования модели процесса следует связать все или же некоторые из расчетных значений параметров (2) с оценками управлений, влияющих на процессы, формирующие ВР. Тогда открывается возможность «объяснения характеристик ВР» на основе значений коэффициентов – уровней управляющих воздействий.

Результаты

Предложены модель обобщенного логистического отображения, которая применяется для интерпретации характеристик динамических процессов; процедуры моделирования и интерпретации данных об исследуемых процессах, представленных временными рядами, а также

оперативного прогнозирования их параметров, использующие модели обобщенного логистического отображения.

Представление транспортных и других процессов согласно (2) в литературе не исследовано. Для формирования таких моделей процессов, интерпретации ВР наблюдений над процессом, а также последующего прогнозирования значений показателя x_n – количественная мера ряда, необходимо задать содержательный смысл влияющих факторов, интегральный эффект которых дается исследуемым временным рядом:

$$x_0, x_1, x_2, x_3, \dots \quad (3)$$

Для получения интерпретаций (3) в терминах (2), формирования модели на основе структуры (2) принимается, что коэффициенты (2) отображают влияние различных управляющих характеристик:

$$\begin{aligned} (\lambda_1; \alpha_1) &– \text{воздействия фактора 1;} \\ (\lambda_2; \alpha_2) &– \text{воздействия фактора 2;} \\ (\mu_1; \beta_1) &– \text{фактор } (k+1), \dots; \\ (\mu_2; \beta_2) &– \text{фактор } (k+2), \dots \end{aligned} \quad (4)$$

Уровни ряда (3) используются для идентификации (оценок) значений параметров (4). При этом значения (4) определяются при последовательном рассмотрении уровней (3), полученных на основе уравнения (2). Еще не определенные значения параметров модели (2), (4) отбрасываются (принимают значение (0;1) – выбираются нужным образом), а также вычисляются из систем алгебраических уравнений. Пример процедуры формирования модели приведен далее.

Остановимся на рассмотрении вопросов исследования свойств некоторых форм модели обобщенного логистического отображения (2) при различных значениях коэффициентов – степенях членов. Укажем, что с методической точки зрения введенные в структуру отображения (2) дополнительные относительно (1) параметры связываются с некоторыми внешними, в том числе управляющими, факторами. Значения их величин характеризуют воздействия на систему.

Целью анализа является оценка влияния значений и соотношения этих параметров на формы итерационных процессов, соответ-

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

вующих дискретным отображениям вида (2), их предельные свойства, а также установление возможности оценки зависимости (хотя бы на качественном уровне) общей формы и структуры отображения от значений параметров (2). Практически такая интерпретация позволяет устанавливать связь между коэффициентами (2) и соответствующими внешними факторами, воздействующими на рассматриваемые процессы. Тогда выбор значений («назначение» коэффициентов) модели (2) можно считать процедурой задания «воздействия» на динамические процессы сложной структуры.

Ставя перед собой задачу использования модели вида (2) для оперативного прогнозирования уровней динамических процессов, представленных на рис. 1 и 2, рассмотрим в первую очередь не предельные свойства хаотической динамики дискретных отображений, а процессы итераций, порождающие сложные поведения, зависящие от параметров модели. Такие процессы, например, могут образовывать шумящие циклы и др. В основе формирования оперативного прогноза лежит гипотеза, согласно которой считаем, если начальный (ближайший прилегающий) участок последовательности значений удовлетворяет (2) для установленных величин параметров, то и последующие прогнозные значения уровней ряда будут соответствовать тому же (2).

Рассмотрим несколько примеров и разных представлений процессов для дискретного обобщенного логистического отображения при вариациях величин параметров модели.

1. Стандартное отображение при $\mu = 1$, $\alpha = 1$, $\beta = 1$ (рис. 3).

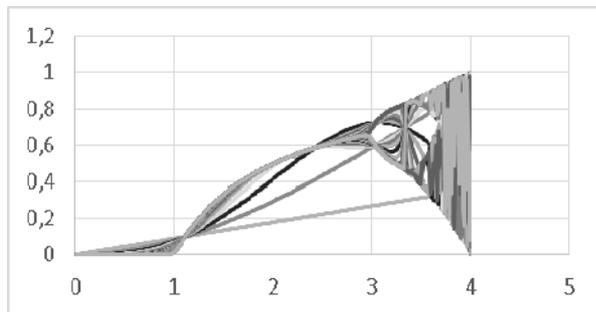


Рис. 3. График отображения при $\mu = 1$, $\alpha = 1$, $\beta = 1$

2. Отображение при $\mu = 1$, $\alpha = 0,5$, $\beta = 1$ (рис. 3).

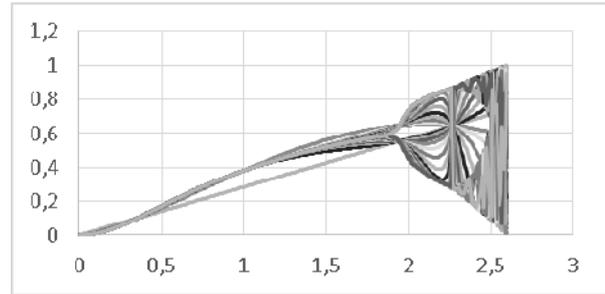


Рис. 4. График отображения при $\mu = 1$, $\alpha = 0,5$, $\beta = 1$

3. Отображение при $\mu = 1$, $\alpha = 1$, $\beta = 2$ (рис. 5).

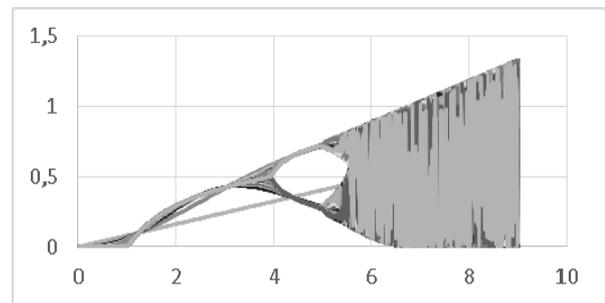


Рис. 5. График отображения при $\mu = 1$, $\alpha = 1$, $\beta = 2$

4. Отображение при $\mu = 1$, $\alpha = 0,5$, $\beta = 2$ (рис. 6).

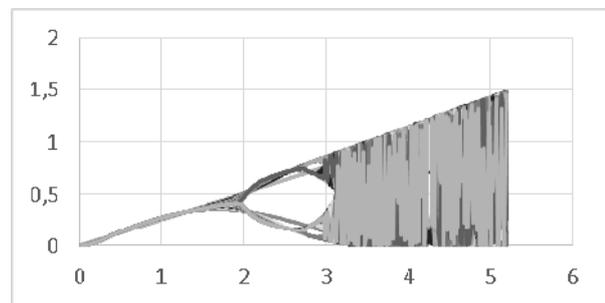


Рис. 6. График отображения при $\mu = 1$, $\alpha = 0,5$, $\beta = 2$

5. Отображение при $\mu = 2$, $\alpha = 1$, $\beta = 1$ (рис. 7).

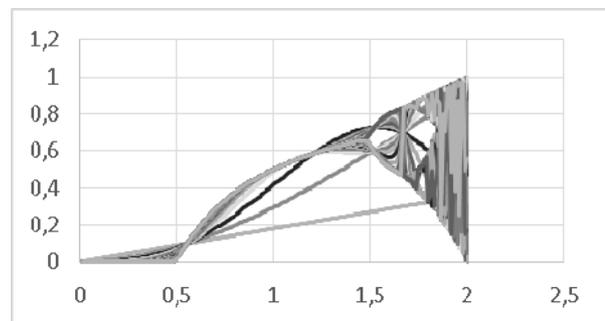


Рис. 7. График отображения при $\mu = 2$, $\alpha = 1$, $\beta = 1$

Изменение функции отображения первых итераций при разных α приведено на рис. 8, 9.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

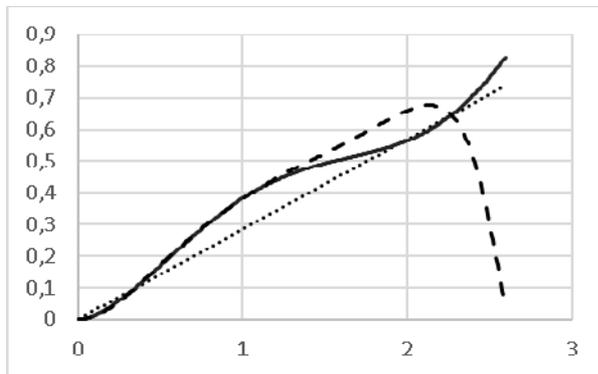
Рис. 8. Стандартное логистическое отображение $\alpha = 1$ Рис. 9. Отображение (2) при $\alpha = 0,5$

Рис. 9 показывает, что по сравнению со стандартным отображением ($\mu = 1, \alpha = 1, \beta = 1$) при уменьшении коэффициента степени α итерации расположены более плотно и идут практически вдоль первой итерации. Это приводит к тому, что значения функции (2) раньше достигают до предела отображения; точки начала хаотического процесса расположены дальше друг от друга.

Изменение функции отображения первых 6 итераций при изменении β приведено на рис. 10.

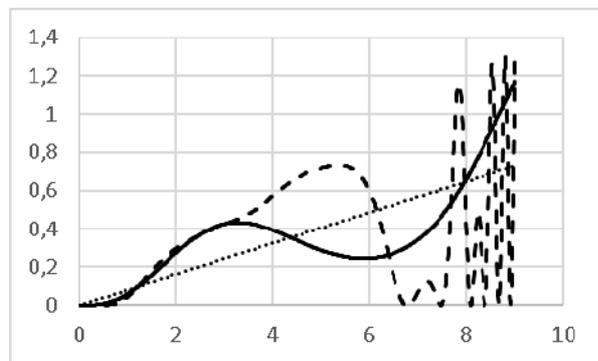
Рис. 10. Отображение ОЛО при $\beta = 2$

Рис. 10 показывает, что при увеличении коэффициента β итерации расположены менее плотно друг от друга, но все равно следуют вдоль первой итерации. Это позволяет точкам каждой итерации в хаотическом отображении располагаться более плотно и увеличить предел отображения функции. В целом же за счет выбора нескольких значений параметров (2) возможно приближенно представить сложные динамические процессы.

Остановимся на анализе процедур моделирования и интерпретации данных об исследуемых процессах, а также оперативного прогнозирования их параметров, использующих модели обобщенного логистического отображения (2). Укажем основную процедуру оценки параметров (4) в виде последовательности систем уравнений следующего вида. Из системы

$$\begin{cases} x_1 = \lambda_1 x_0^{\alpha_1}, \\ x_2 = \lambda_1 x_1^{\alpha_1}, \end{cases} \quad (5)$$

находят значения параметров (λ_1, α_1) . Считая, что уровни x_3, x_4 и другие в последовательности (3) получены по (2) с учетом (λ_1, α_1) , формируют новую систему уравнений для определения (λ_2, α_2) :

$$\begin{cases} x_3 = \lambda_1 x_2^{\alpha_1} \cdot \lambda_2 x_2^{\alpha_2}, \\ x_4 = \lambda_1 x_3^{\alpha_1} \cdot \lambda_2 x_3^{\alpha_2}, \end{cases} \quad (6)$$

из которой рассчитываются значения (λ_2, α_2) . Последующие новые параметры компонентов модели (2) оцениваются, исходя из известных значений ее параметров (λ_1, α_1) ; (λ_2, α_2) и так далее, используя ту же методику. Другая возможность использования ВР (3) для представления и интерпретации (2) на основе (4) состоит в формировании систем уравнений большей размерности, например, объединяющих системы (5) и (6), и совместного вычисления соответствующего количества параметров.

Заметим, что значения параметров (μ_1, β_1) и дальнейших в (2) получают на основе уравнений типа (5), (6) либо путем рассуждений, как в работе [10]: задавая некоторое значение уровня ВР, рассчитывают очередной параметр модели. Далее по модели (1) или (2) с известными параметрами (4) строят прогнозы следующих этапов процессов, уровней ВР (3).

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Полученная таким путем модель в форме ОЛО процессов, представленных ВР, может использоваться для оперативного прогнозирования. Для повышения точности прогноза после идентификации всех параметров модели вида (2) возможна корректировка значений ее параметров за счет расчета нового набора значений параметров управления (4), исходя из других уровней ВР (3). Можно считать, что возникновение «ошибок» в оценках уровней ВР связано, например, с неполнотой системы факторов (4). Некоторые возможности построения оперативного прогноза экономических показателей параметров вагонопотоков на основании моделей (1), (2) изучены в [11].

В предыдущих разделах рассмотрены вопросы моделирования на основе обобщенного логистического отображения (2). Остановимся на его использовании и для решения задач оперативного прогнозирования. Прогнозирование значений уровней ВР проводится на основе модели (1). В соответствии с [3, 7, 9], а также исследованиями [1, 4, 10], даже простые детерминированные нелинейные модели при некоторых значениях параметров могут иметь хаотическое поведение при достаточном количестве уровней ряда. Для представленных в работе заданий оперативного прогнозирования на практике осуществляется обобщение результатов расчетов для нескольких моделей вида (1), параметры которых рассчитываются по методу наименьших квадратов (МНК) для фрагментов ВР разной длины и при различных начальных уровнях процесса итераций.

Построение прогноза в нашем исследовании выполняется рекуррентно. Для прогнозирования на 1 или 2 шага с использованием модели (1) выполняется следующая последовательность операций. Построение модели вида (1) проводится по 15, 10 и 5 предыдущим значениям ВР. По МНК производится поиск таких значений λ , α и β , чтобы минимизировать квадрат ошибки. В соответствии с выбранным количеством предыдущих значений ряда определяется N и производится расчет параметров (λ , α и β). Выполняется построение прогноза на следующий период по найденным параметрам – определяется следующий уровень ряда (или двух). На основе прогнозов для 15, 10 и 5 предыдущих значений ряда определяем среднее

значение результатов моделей из 15, 10 и 5 уровней, а также и для 10 и 15 уровней. Рассчитываем среднее значение для исходного ряда и его абсолютное отклонение от среднего. Суммируем абсолютное отклонение к средним значениям моделей из 15, 10 и 5, а также и для моделей из 10 и 15 предыдущих уровней ряда. При этом получаем прогноз № 1 и прогноз № 2 на один и два шага вперед соответственно.

На рис. 11 представлены графики указанных процессов оперативного прогнозирования ВР на основе (1). Необходимо отметить, что предложенная процедура предназначена в первую очередь для оперативного прогнозирования, поэтому расхождения между уровнями исходного и прогнозного значения рядов неизбежно, оно не характеризует точность метода моделирования (2) в целом. Рис. 11 лишь демонстрирует возможности модели (1) относительно пошагового представления сложного технологического процесса железнодорожного транспорта, описанного с помощью ВР.



Рис. 11. Графики прогнозирования уровней ВР на основе (1)

В табл. 1 приведены результаты числовых расчетов по построению оперативного прогноза, а также относительные погрешности величин прогнозов, указанные в процентах. Две последние строки непосредственно представляют значения оперативного прогноза на один и два шага соответственно. Именно они (две последние строки 02.02.10 и 03.02.10) демонстрируют цель предыдущих расчетов и являются приемлемыми для практического применения метода.

Результаты оперативного прогнозирования параметров ВР

Дата	Кол-во вагонов	Среднее (5, 10 и 15)	Среднее (5 и 10)	Прогноз № 1	Прогноз № 2	Ошибка прогноза № 1, %	Ошибка прогноза № 2, %
12.01.10	3 059						
13.01.10	3 577	2 916	2 851	3 363	3 298	5,98	7,79
14.01.10	3 232	2 760	2 658	2 862	2 761	11,45	14,59
15.01.10	3 100	2 859	2 781	2 889	2 810	6,81	9,34
16.01.10	3 465	2 902	2 834	3 237	3 169	6,57	8,54
17.01.10	3 468	2 790	2 696	3 129	3 034	9,79	12,51
18.01.10	3 388	2 789	2 695	3 048	2 953	10,04	12,84
19.01.10	2 782	2 812	2 723	3 160	3 070	13,58	10,36
20.01.10	3 103	3 018	2 979	3 045	3 006	1,87	3,13
21.01.10	2 674	2 901	2 833	3 357	3 288	25,53	22,97
22.01.10	3 441	3 063	3 035	3 374	3 347	1,94	2,75
23.01.10	2 907	2 797	2 704	3 020	2 927	3,87	0,68
24.01.10	3 716	2 970	2 919	3 556	3 505	4,29	5,68
25.01.10	3 412	2 724	2 614	3 006	2 897	11,89	15,10
26.01.10	2 625	2 805	2 714	3 310	3 219	26,09	22,62
27.01.10	3 199	3 084	3 062	3 153	3 131	1,42	2,12
28.01.10	2 774	2 870	2 794	3 225	3 149	16,27	13,53
29.01.10	2 849	3 021	2 983	3 302	3 264	15,91	14,56

Научная новизна и практическая значимость

В статье получены новые результаты, научная новизна которых состоит в усовершенствовании математической модели логистического отображения, предназначенной для исследования нелинейных дискретных динамических процессов, а также создании процедур по ее формированию. Практическая значимость результатов исследований определяется возможностями использования ОЛЮ для анализа сложных процессов железнодорожного транспорта, в частности, для оценки параметров вагонопотоков. Проведенные расчеты свидетельствуют о значительных возможностях ОЛЮ на практике для решения задач анализа, моделирования и оперативного прогнозирования сложных нелинейных дискретных динамических процессов. Предложенная модель может использоваться при учете условий неопреде-

ленности, при проявления хаотической природы технических, экономических и других процессов железнодорожного транспорта.

Выводы

Разработанные в статье методы моделирования и оперативного прогнозирования динамических процессов, представленных временными рядами, на основе обобщенного логистического отображения, а также процедуры получения математических описаний и содержательной интерпретации значений их параметров, могут быть использованы для исследования и организации более обоснованного управления многочисленными недетерминированными процессами. Предложенная в работе модель (2) открывает новые возможности изучения дискретных систем с дискретным временем.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Безручко, Б. П. Математическое моделирование и хаотические временные ряды / Б. П. Безручко, Д. А. Смирнов. – Саратов : Гос. УНЦ «Колледж», 2005. – 320 с.
2. Босов, А. А. Структурная сложность систем / А. А. Босов, В. М. Ильман // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 40. – С. 173–179.
3. Исследования одномерного логистического отображения, родственных дискретных структур и их использование в задачах долгосрочного прогнозирования / под общ. ред. Г. Ю. Ризниченко // Сб. трудов XII междунар. конф. «Математика. Компьютер. Образование». – Ижевск, 2005. – С. 702–710.
4. Максишко, Н. К. Моделювання економіки методами дискретної нелінійної динаміки / Н. К. Максишко. – Запоріжжя : Поліграф, 2009. – 416 с.
5. Моделі і методи соціально-економічного прогнозування : підручник / В. М. Геєць, Т. С. Клебанова, О. І. Черняк та ін. – Х. : ВД «ІНЖЕК», 2005. – 396 с.
6. Нестеренко, Б. Б. Формальные средства для моделирования сложных дискретных систем / Б. Б. Нестеренко, М. А. Новотарский // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2007. – Вип. 17. – С. 156–161.
7. Про застосування методу прогнозування на основі логістичного відображення для економічних часових рядів із довготерміною пам'яттю / Г. А. Крамаренко, И. В. Клименко, А. В. Нечай, В. Вл. Скалозуб // Тез. докл. V Международной науч.-практ. конф. «Современные информ. технологии на трансп., в пром-сти и образовании». – Д., 2011. – С. 63–65.
8. Прогнозирование остаточного ресурса ходовых частей подвижного состава, исчерпавших свой срок / А. В. Донченко, Л. С. Ольгард, С. В. Бондарев, Л. Г. Волков // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2007. – Вип. 15. – С. 83–87.
9. Сергеева, Л. Н. Моделирование динамики спроса на услуги высших учебных заведений на основании обобщенного логистического отображения / Л. Н. Сергеева, Т. Ю. Огаренко // Тез. докл. II Международной науч.-практ. конф. «Современные проблемы моделирования социально-эконом. систем». – Запорожье, 2010. – С. 97–100.
10. Сергеева, Л. Н. Нелинейная экономика: модели и методы / Л. Н. Сергеева. – Запорожье : Полиграф, 2003. – 218 с.
11. Скалозуб, В. В. Обобщенная модель логистического отображения для анализа и интерпретации свойств временных рядов процессов управления / В. В. Скалозуб, И. В. Клименко // Тез. докл. науч.-практ. конф. «Екон. кібернетика: реалії часу». – Д., 2012. – С. 125–129.
12. Тимохин, В. Н. Методология моделирования экономической динамики / В. Н. Тимохин. – Донецк : ООО «Юго-Восток Лтд», 2007. – 269 с.
13. Ahmad, S. Some Solutions to the Missing Feature Problem in Vision / S. Ahmad, V. Tresp // Neural Information Processing Systems. – 1993. – № 5. – P. 393–440.
14. Mandziuk, J. Chaotic time series prediction with feed-forward and recurrent neural nets / J. Mandziuk, R. Mikołajczak // Control and Cybernetics. – 2002. – № 2. – P. 383–406.
15. Kadiramanathan, V. Nonlinear Adaptive Filtering in Nonstationary Environments / V. Kadiramanathan, M. Niranjan // Proc. of the Intern. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing. – Cambridge, 1991. – P. 2177–2180.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

В. В. СКАЛОЗУБ¹, В. Є. БЕЛОЗЬОРОВ², І. В. КЛИМЕНКО³, Б. Б. БІЛИЙ^{4*}

¹Каф. «Комп'ютерні та інформаційні технології», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, ел. пошта skalozub_vl_v@mail.ru

²Каф. «Інформаційні технології», Дніпропетровський національний університет імені Олеса Гончара, пр. Гагаріна, 72, м. Дніпропетровськ, 49010, тел. +38 (050) 276 74 22, ел. пошта belozvye@mail.ru

³Каф. «Комп'ютерні та інформаційні технології», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, ел. пошта vanya_tk@mail.ru

^{4*}Каф. «Комп'ютерні та інформаційні технології», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, ел. пошта beliyboris@mail.ru

МОДЕЛЮВАННЯ Й ПРОГНОЗУВАННЯ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ УЗАГАЛЬНЕНОГО ЛОГІСТИЧНОГО ВІДОБРАЖЕННЯ

Мета. Метою виконаних досліджень була побудова моделі узагальненого логістичного відображення та оцінка можливостей її використання для формування математичного опису, а також проведення оперативних прогнозів параметрів складних динамічних процесів, описуваних часовими рядами. **Методика.** Результати досліджень отримані на основі математичного та імітаційного моделювання нелінійних систем із використанням інструментарію хаотичної динаміки. **Результати.** Запропоновано модель узагальненого логістичного відображення, яка застосовується для інтерпретації характеристик динамічних процесів. Розглянуто деякі приклади представлення процесів на основі узагальненого логістичного відображення при варіаціях величин параметрів моделі. Запропоновано процедури моделювання та інтерпретації даних про досліджувані процеси, представлені часовими рядами, а також оперативного прогнозування їх параметрів, що використовують моделі узагальненого логістичного відображення. **Наукова новизна.** У статті запропоновано вдосконалену математичну модель та узагальнене логістичне відображення, призначені для дослідження нелінійних дискретних динамічних процесів. **Практична значимість.** Проведені з використанням узагальненого логістичного відображення дослідження процесів залізничного транспорту, зокрема за оцінкою параметрів вагонопотоків, свідчать про значні можливості його застосування на практиці для вирішення завдань аналізу, моделювання та прогнозування складних нелінійних дискретних динамічних процесів. Запропонована модель може використовуватися при обліку умов невизначеності, нерегулярності, прояву хаотичної природи технічних, економічних та інших процесів, у тому числі залізничного транспорту.

Ключові слова: прогнозування; узагальнене логістичне відображення; імітаційне моделювання нелінійних систем; ітерації характеристики динамічних процесів

V. V. SKALOZUB¹, V. E. BELOZEROV², I. V. KLIMENKO³, B. B. BELYI^{4*}

¹Dep. «Computer and Information Technology», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 35, e-mail skalozub_vl_v@mail.ru

²Dep. «Information Technology», Oles Gonchar Dnipropetrovsk National University, Gagarin Av., 72, Dnipropetrovsk, 49010, tel. +38 (050) 276 74 22, e-mail belozvye@mail.ru

³Dep. «Computer and Information Technology», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 35, e-mail vanya_tk@mail.ru

^{4*}Dep. «Computer and Information Technology», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 35, e-mail beliyboris@mail.ru

SIMULATION AND PREDICTION OF THE PROCESS BASED ON THE GENERAL LOGISTIC MAPPING

Purpose. The aim of the research is to build a model of the generalized logistic mapping and assessment of the possibilities of its use for the formation of the mathematical description, as well as operational forecasts of parameters of complex dynamic processes described by the time series. **Methodology.** The research results are obtained on the basis of mathematical modeling and simulation of nonlinear systems using the tools of chaotic dynamics. **Findings.** A model of the generalized logistic mapping, which is used to interpret the characteristics of dynamic

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

processes was proposed. We consider some examples of representations of processes based on enhanced logistic mapping varying the values of model parameters. The procedures of modeling and interpretation of the data on the investigated processes, represented by the time series, as well as the operational forecasting of parameters using the generalized model of logistic mapping were proposed. **Originality.** The paper proposes an improved mathematical model, generalized logistic mapping, designed for the study of nonlinear discrete dynamic processes. **Practical value.** The carried out research using the generalized logistic mapping of railway transport processes, in particular, according to assessment of the parameters of traffic volumes, indicate the great potential of its application in practice for solving problems of analysis, modeling and forecasting complex nonlinear discrete dynamical processes. The proposed model can be used, taking into account the conditions of uncertainty, irregularity, the manifestations of the chaotic nature of the technical, economic and other processes, including the railway ones.

Keywords: forecasting; generalized logistic mapping; simulation of nonlinear systems; iterated characteristics of dynamic processes

REFERENCES

1. Bezruchko B.P., Smirnov D.A. *Matematicheskoye modelirovaniye i khaoticheskiye vremennyye ryady* [Mathematical modeling and chaotic time series], Saratov, Gos. UNTs «Kolledzh» Publ., 2005. 320 p.
2. Bosov A.A., Ilman V.M. *Strukturnaya slozhnost sistem* [Structural complexity of systems]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 40, pp. 173-179.
3. Riznichenko G.Yu. *Issledovaniya odnomernogo logisticheskogo otobrazheniya, rodstvennykh diskretnykh struktur i ikh ispolzovaniye v zadachakh dolgosrochnogo prognozirovaniya* [Studies of one-dimensional logistic mapping, related discrete structures and their use in long-term forecasting tasks]. *Sbornik trudov XII mezhdunarodnoy konferentsii «Matematika. Kompyuter. Obrazovaniye»* [Proc. of the XII Int. Conf. «Mathematics. Computer. Education»]. Izhevsk, 2005, pp. 702-710.
4. Maksyshko N.K. *Modeliuvannia ekonomiky metodamy dyskretnoi neliniinoi dynamiky* [Economics modeling using the methods of discrete non-linear dynamics]. Zaporizhzhia, Polihraf Publ., 2009. 416 p.
5. Heiets V.M., Klebanova T.S., Cherniak O.I., Ivanov V.V., Dubrovina N.A., Stavitskiy A.V. *Modeli i metody sotsialno-ekonomichnoho prohozuvannia* [Models and methods of social and economic forecasting]. Kharkiv, VD «INZhEK» Publ., 2005. 396 p.
6. Nesterenko B.B., Novotarskiy M.A. *Formalnyye sredstva dlya modelirovaniya slozhnykh diskretnykh sistem* [Formal means for modeling of complex discrete systems]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 17, pp. 156-161.
7. Kramarenko H.A., Klymenko Y.V., Nechai A.V., Skalozub V.VI. *Pro zastosuvannia metodu prohozuvannia na osnovi lohistychnoho vidobrazhennia dlia ekonomichnykh chasovykh riadiv iz dovhoterminovoiu pamiattiu* [On the application of forecasting methods based on logistic mapping for economic historical series with long-term memory]. *Tezisy dokladov V Mezhdunarodnoi nauchno-praktycheskoi konferentsii «Sovremennyye informatsyonnyye tekhnologii na transporte, v promyshlennosti i obrazovanii»* [Abstracts of Papers of the V Int. Scientific and Practical Conf. «Modern information technologies on transport, in production and education»]. Dnipropetrovsk, 2011, pp. 63-65.
8. Donchenko A.V., Olgard L.S., Bondarev S.V., Volkov L.G. *Prognozirovaniye ostatochnogo resursa khodovykh chastey podvizhnogo sostava, ischerpavshikh svoyi srok* [Prediction of residual operation time of the running parts for rolling stock, which have exceeded their life]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 15, pp. 83-87.
9. Sergeeva L.N., Ogarenko T.Yu. *Modelirovaniye dinamiki sprosa na uslugi vysshikh uchebnykh zavedeniy na osnovanii obobshchennogo logisticheskogo otobrazheniya* [Modeling of the demand dynamics for the services of higher educational establishments based on the logistic mapping]. *Tezisy dokladov V Mezhdunarodnoi nauchno-praktycheskoy konferentsii «Sovremennyye problemy modelirovaniya sotsialno-ekonomicheskikh sistem»* [Abstracts of Papers of the V Int. Sci. and Practical Conf. «Modern Problems of modeling of social and economic systems»]. Zaporozhye, 2010, pp. 97-100.
10. Sergeeva L.N. *Nelineynaya ekonomika: modeli i metody* [Non-linear economics: models and methods]. Zaporozhye, Poligraf Publ., 2003. 218 p.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

11. Skalozub V.V., Klimenko I.V. Obobshchennaya model logisticheskogo otobrazheniya dlya analiza i interpretatsii svoystv vremennykh ryadov protsessov upravleniya [Generalized model of logistic mapping for analysis and interpretation of the historical series of management processes]. *Tezisy dokladov nauchno-praktycheskoi konferentsii «Ekonomichna kibernetika: realii chasu»* [Abstracts of Papers of Sci. and Practical Conf. «Economic Cybernetics: Time realias»]. Dnipropetrovsk, 2012, pp. 125-129.
12. Timokhin V.N. *Metodologiya modelirovaniya ekonomicheskoy dinamiki* [Modeling methodology of economic dynamics]. Donetsk, ООО «Yugo-Vostok Ltd» Publ., 2007. 269 p.
13. Ahmad S., Tresp V. Some Solutions to the Missing Feature Problem in Vision. *Neural Information Processing Systems*, 1993, no. 5, pp. 393-440.
14. Mandziuk J., Mikolajczak R. Chaotic time series prediction with feed-forward and recurrent neural nets. *Control and Cybernetics*, 2002, no. 2, pp. 383-406.
15. Kadiramanathan V., Niranjan M. Nonlinear Adaptive Filtering in Nonstationary Environments. Proc. of the Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing. Cambridge, 1991, pp. 2177-2180.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. А. И. Михалевым (Украина); д.т.н., проф. С. А. Пичуговым (Украина)

Поступила в редколлегию 09.09.2013

Принята к печати 06.11.2013