

**Література**

1. Нечипоренко, О. В. Системный анализ и оценка методов сжатия данных для баз данных лазерных технологических комплексов [Текст] / О. В. Нечипоренко, С. А. Миценко // Вісник Хмельницького національного університету. — 2014. — № 1. — С. 94–100.
2. Ватолин, Д. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео [Текст] / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. — М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. — 384 с.
3. Селомон, Д. Сжатие данных, изображений и звука [Текст] / Д. Селомон. — М.: Техносфера, 2004. — 368 с.
4. Salomon, D. Data Compression: The Complete Reference [Text] / D. Salomon. — Ed. 4. — London: Springer-Verlag, 2007. — 1092 p. doi:10.1007/978-1-84628-603-2
5. Linde, Y. An Algorithm for Vector Quantizer Design [Text] / Y. Linde, A. Buzo, R. Gray // IEEE Transactions on Communications. — 1980. — Vol. 28, № 1. — P. 84–95. doi:10.1109/tcom.1980.1094577
6. Stollnitz, E. J. Wavelets for Computer Graphics: Theory and Applications [Text] / E. J. Stollnitz, T. D. DeRose, D. H. Salesin. — San Francisco: Morgan Kaufmann, 1996. — 245 p.
7. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений [Текст]: пер. с англ. / Р. Гонсалес, Р. Вудс. — Москва: Техносфера, 2006. — 1072 с.
8. Anderson, M. VCR quality video at 1,5 Mbit/s [Text] / M. Anderson. — Chicago: National Communication Forum, October 1990. — 128 p.
9. Chen, C.-T. A K-Th Order Adaptive Transform Coding Algorithm For Image Data Compression [Text] / Cheng-Tie Chen, Didier J. Le Gall // Proc. SPIE 1153, Applications of Digital Image Processing XII. — January 30, 1990. — Vol. 7. — Available at: \www/URL: http://dx.doi.org/10.1117/12.962304

10. Le Gall, D. J. The MPEG video compression algorithm [Text] / D. J. Le Gall // Signal Processing: Image Communication. — 1992. — Vol. 4, № 2. — P. 129–140. doi:10.1016/0923-5965(92)90019-c
11. Кривошеев, М. И. Цифровое телевидение [Текст] / под ред. М. И. Кривошеева. — М.: Связь, 1980. — 264 с.

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ КОМПАКТНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ**

В работе проведен анализ основных методов и алгоритмов сжатия графической информации в компьютерных системах. Рассмотрены основные характеристики методов и показатели сжатия алгоритмов. Выделены преимущества и недостатки методов и алгоритмов. Установлено влияние использования комбинаций методов компрессии-декомпрессии графических данных на результаты выполнения основных алгоритмов сжатия.

**Ключевые слова:** сжатие с потерями, сжатие без потерь, графическая информация, компрессия-декомпрессия, метод, алгоритм.

*Корпань Ярослав Васильович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра спеціалізованих комп'ютерних технологій, Черкаський державний технологічний університет, Україна, e-mail: populusdocti@gmail.com.*

*Корпань Ярослав Васильевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра специализированных компьютерных технологий, Черкасский государственный технологический университет, Украина.*

*Korpan Yaroslav, Cherkassy State Technological University, Ukraine, e-mail: populusdocti@gmail.com*

УДК 681.5:338.32.053.4:519.7

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.44932

**Гече Ф. Е.,  
Мулеса О. Ю.,  
Гече С. Ф.,  
Вашкеба М. М.**

**РОЗРОБКА МЕТОДУ СИНТЕЗУ ПРОГНОЗУЮЧОЇ СХЕМИ НА ОСНОВІ БАЗОВИХ ПРОГНОЗУЮЧИХ МОДЕЛЕЙ**

*Пропонується схема прогнозування часових рядів, яка синтезується за допомогою базових прогнозуючих моделей на заданому проміжку часу. Оптимальний крок передісторії визначається за умови мінімізації функціоналу середньоквадратичного відхилення при оптимальних параметрах моделі авторегресії. При синтезі прогнозуючої схеми для кожної базової моделі визначається ваговий коефіцієнт, з яким вона входить у кінцеву прогнозуючу схему.*

**Ключові слова:** тренд, модель прогнозування, часовий ряд, функціонал, крок прогнозу, авторегресія, навчання.

**1. Вступ**

Розвиток нових інформаційних технологій, зокрема, засобів штучного інтелекту, забезпечує нові можливості для якісного управління складними системами, в тому числі економічними. Якісне прогнозування економічних показників призведе до покращення функціонування відповідних систем, дозволить діяти з випередженням і мінімізувати можливість появи критичного стану в роботі підприємств. Часто необхідні рішення за метою покращення основних показників, які характеризують досліджуваний процес, треба приймати в умовах впливу неконтрольованих факторів, у відсутності достатніх знань

про середовища, в якій знаходиться суб'єкт (об'єкт) та інших невизначеностей.

При прогнозуванні систем економічних показників, за допомогою яких визначається фінансовий стан або ефективність використання виробничих ресурсів підприємства, не можна вказати один «найкращий» метод прогнозу, тому що внутрішні закономірності (тренди) різних систем показників відрізняються і виникає проблема вибору методу прогнозу досліджуваної системи показників.

Отже, розроблення нових прогнозуючих моделей, які в результаті навчання налаштовуються на відповідні системи показників є актуальною і важливою задачею.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Задача моделювання та прогнозування процесів різноманітної природи є актуальною і виникає в різних сферах: управлінні підприємництвом [1, 2], плануванні [3], дослідженні динаміки зміни кліматичних умов [4], в банківській сфері [5] тощо. Відомі моделі і методи прогнозування базуються на використанні інтегральної інформації про передісторію прогнозованих процесів [3, 6]. Серед задач прогнозування вагоме місце займає прогнозування часових рядів [6]. Наукові праці останніх років свідчать про ефективність застосування апарату нечітких множин [7], експертних моделей і методів [8], генетичних та нейромережних методів [9, 10] при їх дослідженні. Існує багато різних методів для прогнозу технічних, економічних процесів [11, 12]. Перед фахівцями предметної області виникає проблема, яку із відомих прогнозуючих моделей використати для прогнозу відповідного часового ряду, що описує досліджуваній процес. Для одного часового ряду найкращою прогнозуючою моделлю може бути модель авторегресії, для другого — модель Брауна, для третього — модель Вінтерса тощо. У даній роботі для вирішення цієї проблеми розроблено метод синтезу прогнозуючої схеми на основі базових прогнозуючих моделей, в основі якого є визначення вагових коефіцієнтів тих моделей, які входять у результуючу модель.

## 3. Об'єкт, ціль та задачі дослідження

Об'єктом дослідження є моделі та методи прогнозування часових рядів.

Метою дослідження є розроблення ефективної схеми прогнозування часових рядів, яка автоматично (в результаті навчання) налаштовується на відповідну систему економічних, соціально-екологічних і інженерно-технічних показників і може бути успішно використана при розробці якісних стратегічних планів у сфері економіки, екології та при прогнозі різних природничих процесів.

Для досягнення поставленої мети було поставлено такі задачі:

- побудувати математичну модель задачі прогнозування;
- побудувати прогнозуючу схему для підвищення точності прогнозування;
- виконати порівняльний аналіз результатів роботи розробленої схеми з результатами роботи деяких релевантних методів при прогнозуванні конкретних часових рядів;
- здійснити експериментальну верифікацію розробленого методу прогнозування.

## 4. Принцип побудови прогнозуючої схеми на базі відомих моделей

Нехай  $v_1, v_2, \dots, v_t, \dots, v_n$  — часовий ряд і  $\tilde{v}_t$  прогнозне значення елемента  $v_t$  у момент часу  $t$ . Тоді функціональну залежність між  $\tilde{v}_t$  і елементами часового ряду можна виразити так [3]:

$$\tilde{v}_t = f(a_1, \dots, a_r, v_{t-1}, \dots, v_{t-k}, t),$$

де  $a_1, \dots, a_r$  — параметри моделі  $f$ ,  $k$  — глибина передісторії. Для знаходження параметрів  $a_1, \dots, a_r$ , як правило, будується функціонал:

$$L(a_1, \dots, a_r) = \sum_{t=1}^n (v_t - \tilde{v}_t)^2,$$

який мінімізується. Нехай  $a_1^*, \dots, a_r^*$  значення параметрів  $a_1, \dots, a_r$  при яких функціонал  $L$  приймає мінімальне значення. Тоді прогнозне значення  $\tilde{v}_{n+\tau}$  за моделлю  $f$  з оптимальними параметрами  $a_1^*, \dots, a_r^*$  знаходиться так:

$$\tilde{v}_{n+\tau} = f(a_1^*, \dots, a_r^*, v_{t-1}, \dots, v_{t-k}, n+\tau),$$

де  $\tau$  — крок прогнозу. В залежності від типу функцій  $f$  з параметрами  $a_1^*, \dots, a_r^*$  маємо різні оптимальні моделі прогнозування часового ряду.

Для визначення оптимального року передісторії  $k_\tau^*$  застосовуємо метод авторегресії. В авторегресійній моделі припускається, що значення показнику  $v_t$  у момент часу  $t$  залежить від  $v_{t-\tau}, v_{t-\tau-1}, \dots, v_{t-\tau-k_\tau+1}$ , де  $k_\tau$  — параметр передісторії при фіксованому  $\tau$ . Прогнозне значення  $\tilde{v}_{n+\tau}$  за методом авторегресії знаходиться за наступною моделлю [3]:

$$\tilde{v}_{n+\tau} = a_1^{(\tau)} v_n + a_2^{(\tau)} v_{n-1} + \dots + a_{k_\tau}^{(\tau)} v_{n-k_\tau+1}. \quad (1)$$

Для визначення оптимальних значень параметрів  $a_t^{(\tau)}$  ( $t=1, 2, \dots, k_\tau$ ) при фіксованому  $\tau = \tau_0$  мінімізуємо функціонал:

$$L(a_1^{(\tau)}, \dots, a_{k_\tau}^{(\tau)}) = \sum_{t=k_\tau+\tau}^n (v_t - a_1^{(\tau)} v_{t-\tau} - \dots - a_{k_\tau}^{(\tau)} v_{t-\tau-k_\tau+1})^2,$$

тобто розв'язуємо систему рівнянь:

$$\frac{\partial L}{\partial a_t^{(\tau)}} = 0, \quad t=1, 2, \dots, k_\tau. \quad (2)$$

Нехай  $a_1^{*(\tau)}, \dots, a_{k_\tau}^{*(\tau)}$  є розв'язком системи (2). Тоді згідно (1) маємо:

$$\tilde{v}_t = a_1^{*(\tau)} v_{t-\tau} + a_2^{*(\tau)} v_{t-\tau-1} + \dots + a_{k_\tau}^{*(\tau)} v_{t-\tau-k_\tau+1},$$

де  $t \geq k_\tau + \tau$ .

Очевидно, що значення  $\tilde{v}_t$  при фіксованому  $\tau = \tau_0$  залежить від параметра  $k_\tau$  ( $1 \leq k_\tau \leq n - \tau$ ). Для визначення оптимального значення параметра передісторії  $k_\tau$  при  $\tau = \tau_0$  для заданого часового ряду  $v_t$  розглянемо величини:

$$\delta_1 = \frac{1}{n-\tau} \sum_{t=\tau+1}^n (v_t - a_1^{*(\tau)} v_{t-\tau})^2,$$

$$\delta_2 = \frac{1}{n-\tau-1} \sum_{t=\tau+2}^n (v_t - a_1^{*(\tau)} v_{t-\tau} - a_2^{*(\tau)} v_{t-\tau-1})^2,$$

.....

$$\delta_{n-\tau} = (v_n - a_1^{*(\tau)} v_{n-\tau} - \dots - a_{n-\tau}^{*(\tau)} v_1)^2,$$

і знаходимо  $\min\{\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_{n-\tau}\} = \delta_{k_\tau^*}$ . Величина  $k_\tau^*$  визначає оптимальне значення параметра передісторії в моделі авторегресії при фіксованому  $\tau = \tau_0$ .

Після знаходження  $k_\tau^*$ , при фіксованому  $\tau = \tau_0$ , розглянемо базові моделі прогнозування  $M_1, M_2, \dots, M_q$  часового ряду з кроком прогнозу  $\tau$ , тобто моделі на основі яких синтезується нова прогноуюча схема та визначимо параметр схеми  $\xi$  в залежності від кроку прогнозу  $\tau$  наступним чином:  $\xi = k_\tau^*$ , якщо  $\tau \geq k_\tau^*$  та  $\xi \in \{\tau, \tau+1, \dots, k_\tau^* - 1\}$  – у протилежному випадку. Параметр  $\xi$  задає передісторію у базових моделях. Використовуючи результати прогнозу вищенаведених моделей на часовому проміжку  $t = n - \xi + 1, n - \xi + 2, \dots, n$  для фіксованого  $\xi$  побудуємо табл. 1.

Таблиця 1

Прогнозні значення часового ряду

Моделі прогнозування	Елементи часового ряду $v_t$			
	$v_{n-\xi+1}$	$v_{n-\xi+2}$	...	$v_n$
$M_1$	$\tilde{v}_{n-\xi+1}^{(1)}(\xi)$	$\tilde{v}_{n-\xi+2}^{(1)}(\xi)$	...	$\tilde{v}_n^{(1)}(\xi)$
$M_2$	$\tilde{v}_{n-\xi+1}^{(2)}(\xi)$	$\tilde{v}_{n-\xi+2}^{(2)}(\xi)$	...	$\tilde{v}_n^{(2)}(\xi)$
⋮	⋮	⋮	...	⋮
$M_q$	$\tilde{v}_{n-\xi+1}^{(q)}(\xi)$	$\tilde{v}_{n-\xi+2}^{(q)}(\xi)$	...	$\tilde{v}_n^{(q)}(\xi)$

У кожному стовпчику  $v_{n-\xi+1}, v_{n-\xi+2}, \dots, v_n$  табл. 1 знаходимо найменший квадрат різниці між прогнозними і реальними значеннями відповідних членів часового ряду. Математично це можна записати так:

$$j_1(\xi) = n - \xi + 1 \quad \text{і}$$

$$\epsilon_1(\xi) = \min \left\{ (v_{j_1(\xi)} - \tilde{v}_{j_1(\xi)}^{(1)}(\xi))^2, \dots, (v_{j_1(\xi)} - \tilde{v}_{j_1(\xi)}^{(q)}(\xi))^2 \right\},$$

$$j_2(\xi) = n - \xi + 2 \quad \text{і}$$

$$\epsilon_2(\xi) = \min \left\{ (v_{j_2(\xi)} - \tilde{v}_{j_2(\xi)}^{(1)}(\xi))^2, \dots, (v_{j_2(\xi)} - \tilde{v}_{j_2(\xi)}^{(q)}(\xi))^2 \right\},$$

.....

$$j_\xi = n \quad \text{і} \quad \epsilon_\xi(\xi) = \min \left\{ (v_n - \tilde{v}_n^{(1)}(\xi))^2, \dots, (v_n - \tilde{v}_n^{(q)}(\xi))^2 \right\},$$

де  $\tilde{v}_t^{(i)}(\xi)$  – прогнозне значення часового ряду  $v_t$  у момент часу  $t$  за  $i$ -тою моделлю з передісторією  $\xi$ .

Визначимо множини  $I_1(\xi), I_2(\xi), \dots, I_\xi(\xi)$  наступним чином:

$$I_1(\xi) = \left\{ i \in \{1, 2, \dots, q\} \mid \epsilon_1(\xi) = (v_{j_1(\xi)} - \tilde{v}_{j_1(\xi)}^{(i)}(\xi))^2 \right\},$$

$$I_2(\xi) = \left\{ i \in \{1, 2, \dots, q\} \mid \epsilon_2(\xi) = (v_{j_2(\xi)} - \tilde{v}_{j_2(\xi)}^{(i)}(\xi))^2 \right\},$$

.....

$$I_\xi(\xi) = \left\{ i \in \{1, 2, \dots, q\} \mid \epsilon_\xi(\xi) = (v_n - \tilde{v}_n^{(i)}(\xi))^2 \right\},$$

і для кожного фіксованого  $\xi$  побудуємо відповідну таблицю (табл. 2).

Таблиця 2

Параметри для визначення вагових коефіцієнтів моделей

Моделі прогнозування	$j_1$	...	$j_\xi$	Результуючий стовпчик
$M_1$	$a_{11}(\beta_\xi)$	...	$a_{1\xi}(\beta_\xi)$	$S_1(\beta_\xi)$
$M_2$	$a_{21}(\beta_\xi)$	...	$a_{2\xi}(\beta_\xi)$	$S_2(\beta_\xi)$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$M_q$	$a_{q1}(\beta_\xi)$	...	$a_{q\xi}(\beta_\xi)$	$S_q(\beta_\xi)$

$$\text{де } a_{ps}(\beta_\xi) = \begin{cases} \beta_\xi^{\xi-s}, & \text{якщо } s \in I_s, \\ 0, & \text{якщо } s \notin I_s, \end{cases}$$

$$\text{і } S_p(\beta_\xi) = \sum_{j=1}^{\xi} a_{pj}(\beta_\xi), \quad 0 < \beta_\xi \leq 1, \quad (p = 1, 2, \dots, q, s = 1, 2, \dots, \xi).$$

За допомогою  $S_p(\beta_\xi)$  і  $S(\beta_\xi) = \sum_{p=1}^q S_p(\beta_\xi)$  визначимо вагові коефіцієнти  $\frac{S_p(\beta_\xi)}{S(\beta_\xi)}$  прогноуючих моделей  $M_p$  ( $1 \leq p \leq q$ ), з якими вони входять у наступну прогноуючу схему:

$$\tilde{v}_{n+\tau}(\xi) = \frac{S_1(\beta_\xi)}{S(\beta_\xi)} \tilde{v}_{n+\tau}^{(1)}(\xi) + \frac{S_2(\beta_\xi)}{S(\beta_\xi)} \tilde{v}_{n+\tau}^{(2)}(\xi) + \dots + \frac{S_q(\beta_\xi)}{S(\beta_\xi)} \tilde{v}_{n+\tau}^{(q)}(\xi). \quad (3)$$

Коефіцієнти прогноуючих моделей у схемі (3) залежать від параметру  $\beta_\xi$ , що визначає вплив елемента  $v_t$  на прогнозне значення  $\tilde{v}_{n+\tau}(\xi)$ . Чим більше віддалений елемент  $v_t$  від прогнозної точки  $\tilde{v}_{n+\tau}(\xi)$ , тим менший його вплив на прогнозне значення ( $0 < \beta_\xi < 1$ ). У випадку  $\beta_\xi = 1$ , всі точки часового ряду  $v_t$  є рівноцінними, тобто в моделі (3) не буде враховано віддаленість елемента  $v_t$  від прогнозної точки  $\tilde{v}_{n+\tau}(\xi)$ .

Синтез прогноуючої схеми (3) буде завершено після її навчання відносно  $\beta_\xi$  для всіх допустимих  $\xi$ . Побудуємо функціонал:

$$L(\beta_\xi) = \sum_{i=1}^{\xi} \left( v_{j_i} - \frac{S_1(\beta_\xi)}{S(\beta_\xi)} \tilde{v}_{j_i}^{(1)}(\xi) - \dots - \frac{S_q(\beta_\xi)}{S(\beta_\xi)} \tilde{v}_{j_i}^{(q)}(\xi) \right)^2,$$

$$(j_i = n - \xi + i),$$

і мінімізуємо його шляхом варіюванням значення  $\beta_\xi$ . Інтервал  $(0, 1]$  розбиваємо на  $m_\xi$  рівновеликих інтервалів і знаходимо значення  $L(\beta_\xi(i))$  в точках  $\beta_\xi(i) = i/m_\xi$  ( $i = 1, 2, \dots, m_\xi$ ). Очевидно, що  $m_\xi$  задає точність знаходження мінімуму функціоналу  $L(\beta_\xi(i))$  при фіксованому  $\xi$ . Нехай  $L(\beta_\xi^*) = \min\{L(\beta_\xi(i)) | i = 1, 2, \dots, m_\xi\}$  та  $L(\beta_\xi^*) = \min\{L(\beta_\xi^*) | \beta_\xi^* \in G_\tau\}$ , де  $G_\tau = \{k_\tau^*\}$ , якщо  $\tau \geq k_\tau^*$  та  $G_\tau = \{\tau, \tau + 1, \dots, k_\tau^* - 1\}$ , у протилежному випадку. Тоді прогноз часового ряду проводимо за схемою (3), поклавши замість  $\beta_\xi$  величину  $\beta_\xi^*$  і замість  $\xi$  значення  $\xi^*$ .

## 5. Експериментальна верифікація результатів дослідження

Для здійснення експериментальної верифікації дослідження було відібрані такі дані по кількостях перевезених пасажирів у різні роки починаючи з 1980 по 2013 [13] (табл. 3).

Таблиця 3

Відправлення (перевезення) пасажирів за видами транспорту загального користування, (тис. пас.)

Рік	Залізничний	Автомобільний (автобуси)	Авіаційний
1980	648869	7801058	12492,4
1981	653177	7794859	12720
1982	656485	7874069	12728,7
1983	668287	7876161	12711,6
1984	687645	7998739	12777,8
1985	695129	8076846	12616
1986	734204	8230409	12797,5
1987	717461	8383820	12670,4
1988	711123	8552803	13065,3
1989	704078	8382872	14299,6
1990	668979	8330512	14833
1991	537407	7450322	13959,6
1992	555356	6464891	5669,3
1993	501495	4795664	1947,4
1994	630959	4039917	1673,3
1995	577432	3483173	1914,9
1996	538569	3304600	1724
1997	500839	2512147	1484,5
1998	501429	2403425	1163,9
1999	486810	2501708	1087
2000	498683	2557515	1164
2001	467825	2722002	1289,9
2002	464810	3069136	1767,5
2003	476742	3297505	2374,7
2004	452226	3720326	3228,5
2005	445553	3836515	3813,1
2006	448422	3987982	4350,9
2007	447094	4173034	4928,6
2008	445466	4369126	6181
2009	425975	4014035	5131,2
2010	427241	3726289	6106,5
2011	429785	3611830	7504,8
2012	429115	3450173	8106,3
2013	425217	3343660	8107,2

При реалізації прогнозуючої схеми за базові моделі вибрано:  $M_1$  — модель авторегресії,  $M_2$  — модель найменших квадратів з вагами,  $M_3$  — лінійна модель Брауна,  $M_4$  — квадратична модель Брауна,  $M_5$  — модель Вінтерса. Синтезована схема (3) задана параметрами  $\beta = \beta_\xi^*$  і  $\xi = \xi^*$ .

Для оцінки якості роботи прогнозуючих моделей (базових та розробленої моделі) використано середню квадратичну похибку ( $\Delta$ ) та середню відносну похибку ( $\mu$ ) для різних кроків прогнозування ( $\tau$ ), які відповідно обчислюються за формулами:

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (v_t - \tilde{v}_t)^2}{n}},$$

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{v_t - \tilde{v}_t}{v_t} \right|.$$

Результати наведені в табл. 4–6.

Таблиця 4

Значення похибок прогнозування, отримані за різними методами, для категорії «Залізничний транспорт»

Похибка	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$	Синтезована схема
$\Delta (\tau = 1)$	3462,6	12061,3	29919,9	12540,1	1495,5	<b>1400,9*</b>
$\mu (\tau = 1)$	0,0041	0,015	0,0358	0,0159	<b>0,0014*</b>	<b>0,0014*</b>
$\Delta (\tau = 3)$	5010,3	23409,	25498,9	5290,0	1615,2	<b>1131,3*</b>
$\mu (\tau = 3)$	0,0052	0,0281	0,0276	0,0058	0,0015	<b>0,00099*</b>
$\Delta (\tau = 5)$	3462,6	12061,3	29919,9	12540,1	1698,0	<b>1260,3*</b>
$\mu (\tau = 5)$	0,0041	0,015	0,0358	0,0159	0,0016	<b>0,0012*</b>

**Примітка:**  $\Delta$  — середня квадратична похибка;  $\mu$  — середня відносна похибка;  $\tau$  — крок прогнозування; \* — мінімальне значення похибки для заданого кроку

Таблиця 5

Значення похибок прогнозування, отримані за різними методами, для категорії «Автомобільний транспорт»

Похибка	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$	Синтезована схема
$\Delta (\tau = 1)$	69874,6	987745,6	904007,2	551797,7	31704,4	<b>29750,2*</b>
$\mu (\tau = 1)$	0,0115	0,1680	0,1478	0,086	0,0050	<b>0,0045*</b>
$\Delta (\tau = 3)$	248138,6	603545,6	404362,6	520123,7	<b>35732,3*</b>	<b>35732,3*</b>
$\mu (\tau = 3)$	0,032	0,0863	0,0588	0,0693	<b>0,0051*</b>	<b>0,0051*</b>
$\Delta (\tau = 5)$	155548,2	412020,8	1043364,7	575095,1	<b>38646,7*</b>	<b>38646,7*</b>
$\mu (\tau = 5)$	0,0233	0,0595	0,1482	0,0797	<b>0,0051*</b>	<b>0,0051*</b>

**Примітка:**  $\Delta$  — середня квадратична похибка;  $\mu$  — середня відносна похибка;  $\tau$  — крок прогнозування; \* — мінімальне значення похибки для заданого кроку

Таблиця 6

Значення похибок прогнозування, отримані за різними методами, для категорії «Авіаційний транспорт»

Похибка	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	Синтезована схема
Δ (τ = 1)	308,0	631,4	4134,2	608,8	148,1	<b>100,1*</b>
μ (τ = 1)	0,0219	0,0804	0,4250	0,0747	0,0149	<b>0,0128*</b>
Δ (τ = 3)	1374,4	1265,5	2151,7	1440,1	144,8	<b>103,4*</b>
μ (τ = 3)	0,1101	0,1456	0,2108	0,1587	0,0165	<b>0,0125*</b>
Δ (τ = 5)	339,7	828,1	2496,8	1435,0	<b>143,9*</b>	<b>143,9*</b>
μ (τ = 5)	0,0203	0,1095	0,2443	0,1627	<b>0,0151*</b>	<b>0,0151*</b>

**Примітка:** Δ — середня квадратична похибка; μ — середня відносна похибка; τ — крок прогнозування; \* — мінімальне значення похибки для заданого кроку

Як видно з табл. 4–6 найменших значень похибок було досягнуто в результаті використання синтезованої схеми (в деяких випадках значення похибок результатів, отриманих синтезованою схемою, співпали зі значеннями похибок у методі Вінтерса). Отже, використовуючи побудовану прогноуючу схему, можна покращити результати прогнозу базових моделей.

Результати прогнозу за синтезованою схемою наведені в табл. 7.

Таблиця 7

Результати прогнозу синтезованої схеми

Категорія	Крок прогнозування (рік)	Прогноуюча схема	Прогнозоване значення (тис. пас.)
Залізничний транспорт	τ = 1 (2014)	$\tilde{v}_{34+1} = 0,01 * \tilde{v}_{34+1}^{(1)} + 0 * \tilde{v}_{34+1}^{(2)} + 0 * \tilde{v}_{34+1}^{(3)} + 0 * \tilde{v}_{34+1}^{(4)} + 0,99 * \tilde{v}_{34+1}^{(5)}$	426541,7
	τ = 3 (2016)	$\tilde{v}_{34+3} = 0 * \tilde{v}_{34+3}^{(1)} + 0 * \tilde{v}_{34+3}^{(2)} + 0 * \tilde{v}_{34+3}^{(3)} + 0,15 * \tilde{v}_{34+3}^{(4)} + 0,85 * \tilde{v}_{34+3}^{(5)}$	422479,0
	τ = 5 (2018)	$\tilde{v}_{34+5} = 0 * \tilde{v}_{34+5}^{(1)} + 0 * \tilde{v}_{34+5}^{(2)} + 0 * \tilde{v}_{34+5}^{(3)} + 0,13 * \tilde{v}_{34+5}^{(4)} + 0,87 * \tilde{v}_{34+5}^{(5)}$	415156,4
Автомобільний транспорт	τ = 1 (2014)	$\tilde{v}_{34+1} = 0,1 * \tilde{v}_{34+1}^{(1)} + 0 * \tilde{v}_{34+1}^{(2)} + 0 * \tilde{v}_{34+1}^{(3)} + 0 * \tilde{v}_{34+1}^{(4)} + 0,9 * \tilde{v}_{34+1}^{(5)}$	3425508,5
	τ = 3 (2016)	$\tilde{v}_{34+3} = 0 * \tilde{v}_{34+3}^{(1)} + 0 * \tilde{v}_{34+3}^{(2)} + 0 * \tilde{v}_{34+3}^{(3)} + 0 * \tilde{v}_{34+3}^{(4)} + 1 * \tilde{v}_{34+3}^{(5)}$	3325865,0
	τ = 5 (2018)	$\tilde{v}_{34+5} = 0 * \tilde{v}_{34+5}^{(1)} + 0 * \tilde{v}_{34+5}^{(2)} + 0 * \tilde{v}_{34+5}^{(3)} + 0 * \tilde{v}_{34+5}^{(4)} + 1 * \tilde{v}_{34+5}^{(5)}$	3067384,6
Авіаційний транспорт	τ = 1 (2014)	$\tilde{v}_{34+1} = 0,1 * \tilde{v}_{34+1}^{(1)} + 0 * \tilde{v}_{34+1}^{(2)} + 0 * \tilde{v}_{34+1}^{(3)} + 0 * \tilde{v}_{34+1}^{(4)} + 0,9 * \tilde{v}_{34+1}^{(5)}$	7708,5
	τ = 3 (2016)	$\tilde{v}_{34+3} = 0,05 * \tilde{v}_{34+3}^{(1)} + 0 * \tilde{v}_{34+3}^{(2)} + 0 * \tilde{v}_{34+3}^{(3)} + 0 * \tilde{v}_{34+3}^{(4)} + 0,95 * \tilde{v}_{34+3}^{(5)}$	8036,9
	τ = 5 (2018)	$\tilde{v}_{34+5} = 0 * \tilde{v}_{34+5}^{(1)} + 0 * \tilde{v}_{34+5}^{(2)} + 0 * \tilde{v}_{34+5}^{(3)} + 0 * \tilde{v}_{34+5}^{(4)} + 1 * \tilde{v}_{34+5}^{(5)}$	8560,3

## 6. Обговорення результатів дослідження прогнозування часових рядів

Розроблена схема прогнозування часових рядів інтегрує в собі базові моделі прогнозування шляхом аналізу їх результатів на певному часовому проміжку, обчислюючи їх вагові коефіцієнти, з якими вони входять у кінцеву прогноуючу схему. Для здійснення аналізу ефективності застосування схеми було проведено порівняння результатів її роботи з результатами базових методів: методу авторегресії, методу найменших квадратів з вагами, лінійної моделі Брауна, квадратичної моделі Брауна, методу Вінтерса. Для досліджуваних часових рядів прогноуюча схема в основному покращила результати базових моделей (табл. 4–6), а при деяких кроках прогнозу τ результати схеми співпали з результатами моделі Вінтерса.

Перевагою розробленої прогноуючої схеми є те, що вона дозволяє додати нові прогноуючі моделі часових рядів, видалити із неї моделі, або групи моделей, а це означає, що схема є гнучкою у використанні.

## 7. Висновки

В роботі проведено дослідження, метою якого є розробка ефективної схеми прогнозування часових рядів. В ході дослідження було:

1. Побудовано математичну модель задачі прогнозування часових рядів та представлено основні міркування, відповідно до яких, як правило, будується прогноуюча модель.

2. Розроблено гнучку схему прогнозування економічних, соціально-екологічних і інженерно-технічних процесів, яка базується на базових прогноуючих моделях. Між моделями, на базі яких будується схема, проводиться конкуренція на заданому проміжку часу і кінцева схема прогнозування представляє собою опуклу лінійну комбінацію моделей переможниць з відповідними ваговими коефіцієнтами. Прогноуюча схема може бути успішно використана при розробці обґрунтованих стратегічних планів та рішень у відповідних сферах людської діяльності.

3. Виконано порівняльний аналіз результатів роботи таких методів прогнозування, як: метод авторегресії, метод найменших квадратів з вагами, лінійна модель Брауна, квадратична модель Брауна, метод Вінтерса з результатами роботи розробленої схеми, яка включила у себе всі зазначені моделі, для часових рядів, які містять дані про кількість пасажирських перевезень на різних видах транспорту. Дослідження показало, що на заданих часових рядах найкращі (або негірші) результати було отримано саме за допомогою прогноуючої схеми.

4. Здійснено експериментальну верифікацію розробленої схеми прогнозування на прикладі зазначених часових рядів.

Отже, розроблена схема прогнозування може ефективно використовуватися для розв'язування задач у різних сферах людської діяльності.

## Література

- Яркіна, Н. М. Економетричне моделювання в управлінні підприємницьким ризиком [Текст] / Н. М. Яркіна // Фінанси України. — К., 2003. — № 11. — С. 77–80.

2. Тимашова, Л. Економіко-математичні моделі оцінки діяльності підприємства в ринковій економіці [Текст] / Л. Тимашова, О. Степаненко // Вісник Академії праці і соціальних відносин Федерації профспілок України. — Київ, 2004. — № 3(27). — С. 79–90.
3. Кухарев, В. Н. Экономико-математические методы и модели в планирование и управлении [Текст] / В. Н. Кухарев, В. Н. Салли, А. М. Эрперт. — К.: Вища школа, 1991. — 328 с.
4. Козадаев, А. С. Прогнозирование временных рядов с помощью аппарата искусственных нейронных сетей. Краткосрочный прогноз температуры воздуха [Текст] / А. С. Козадаев, А. А. Арзамасцев // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. — 2006. — № 3, Т. 11. — С. 299–304.
5. Орлова, И. В. Прогнозирование выдачи ипотечных кредитов с помощью модели Брауна [Текст] / И. В. Орлова, М. А. Махвытов // Современные наукоемкие технологии. — 2014. — № 7–3. — С. 22–24.
6. Снитюк, В. Є. Прогнозування. Моделі. Методи. Алгоритми [Текст]: навч. посіб. / В. Є. Снитюк. — К.: «Маклаут», 2008. — 364 с.
7. Матвійчук, А. В. Моделювання економічних процесів із застосуванням методів нечіткої логіки [Текст] / А. В. Матвійчук. — К.: КНЕУ, 2007. — 264 с.
8. Мендель, А. С. Метод аналогов в прогнозировании коротких временных рядов: экспертно-статистический подход [Текст] / А. С. Мендель // Автоматика и телемеханика. — 2004. — № 4. — С. 143–152.
9. Зайченко, Ю. П. Нечіткі нейронні мережі і генетичні алгоритми в задачах макроекономічного прогнозування [Текст] / Ю. П. Зайченко, Моамед Мухамед, Н. В. Шаповаленко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». — 2002. — № 4. — С. 20–30.
10. Kasabov, N. K. DENFIS: dynamic evolving neural-fuzzy inference system and its application for time-series prediction [Text] / N. K. Kasabov, Qun Song // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. — 2002. — Vol. 10, № 2. — P. 144–154. doi:10.1109/91.995117
11. Chatfield, C. The analysis of time series: an introduction [Text] / C. Chatfield. — CRC Press, 2013. — 352 p.
12. Van Gestel, T. Financial time series prediction using least squares support vector machines within the evidence framework [Text] / T. Van Gestel, J. A. K. Suykens, D.-E. Baestaens, A. Lambrechts, G. Lanckriet, B. Vandaele, B. De Moor, J. Vandewalle // IEEE Transactions on Neural Networks. — 2001. — Vol. 12, № 4. — P. 809–821. doi:10.1109/72.935093
13. Транспорт і зв'язок України 2013 рік [Текст]: статистичний збірник / Державна служба статистики. — К., 2013. — 552 с.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СИНТЕЗА ПРОГНОЗНОЙ СХЕМЫ НА ОСНОВЕ БАЗОВЫХ ПРОГНОЗИРУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ

Предлагается схема прогнозирования временных рядов, которая синтезируется с помощью базовых прогнозирующих моделей на заданном промежутке времени. Оптимальный шаг предьстории определяется при минимизации функционала среднеквадратичного отклонения при оптимальных параметрах модели авторегрессии. При синтезе прогнозирующей схемы для каждой базовой модели определяется весовой коэффициент, с которым она входит в конечную прогнозирующую схему.

**Ключевые слова:** тренд, модель прогнозирования, временной ряд, функционал, шаг прогноза, авторегрессия, обучение.

*Гече Федір Елемірович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри кібернетики і прикладної математики, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна, e-mail: fgeche@hotmail.com.*

*Мулеца Оксана Юрїївна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра кібернетики і прикладної математики, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна, e-mail: mulesa.oksana@gmail.com.*

*Гече Сандра Федорівна, кандидат економічних наук, викладач, кафедра економічної теорії, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна, e-mail: bonatia666@mail.ru.*

*Вашкеба Михайло Михайлович, аспірант, кафедра кібернетики і прикладної математики, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна, e-mail: vashkebam1991@gmail.com.*

*Гече Федор Елемірович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри кібернетики і прикладної математики, ГВУЗ «Ужгородський національний університет», Україна.*

*Мулеца Оксана Юрїївна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра кібернетики і прикладної математики, ГВУЗ «Ужгородський національний університет», Україна.*

*Гече Сандра Федорівна, кандидат економічних наук, преподаватель, кафедра економічної теорії, ГВУЗ «Ужгородський національний університет», Україна.*

*Вашкеба Михайл Михайлович, аспірант, кафедра кібернетики і прикладної математики, ГВУЗ «Ужгородський національний університет», Україна.*

*Geche Fedir, Uzhgorod National University, Ukraine, e-mail: fgeche@hotmail.com.*

*Mulesa Oksana, Uzhgorod National University, Ukraine, e-mail: mulesa.oksana@gmail.com.*

*Geche Sandra, Uzhgorod National University, Ukraine, e-mail: bonatia666@mail.ru.*

*Vashkeba Mykhailo, Uzhgorod National University, Ukraine, e-mail: vashkebam1991@gmail.com*

УДК 004.021

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.44992

Мочалин А. Е.

## БИНАРНО-ВЕЩЕСТВЕННОЕ КОДИРОВАНИЕ РЕШЕНИЙ В ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМАХ

Проанализированы основные достоинства и недостатки наиболее распространенных способов кодирования решений в генетических алгоритмах: бинарного и вещественного. Представлен новый бинарно-вещественный метод кодирования. Проведены исследования эффективности использования нового метода кодирования в генетических алгоритмах, показано в каких ситуациях он имеет преимущества над бинарным кодированием и над кодированием действительными числами.

**Ключевые слова:** генетический алгоритм, бинарное кодирование, вещественное кодирование, оптимизация.

### 1. Введение

При расчете различных задач очень часто возникает проблема поиска оптимальных решений. Более того,

можно утверждать, что большинство задач науки и техники относятся к обширному классу проблем поиска оптимальных решений, то есть к оптимизационным задачам [1]. Таким образом, задачи оптимизации играют