

Фізико-математичні науки

УДК 519.216.3

**Пустовіт Дмитро Тарасович**

студент

Національного технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Pustovit Dmytro Tarasovych**

студент

Национального технического университета Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

**Pustovit Dmytro Tarasovych**

Student of the

National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

**МАРКІВСЬКИЙ ПІДХІД В ЗАДАЧІ ПЕРЕДБАЧЕННЯ КРИЗОВИХ  
ЯВИЩ РИНКУ ПРАЦІ В УКРАЇНІ  
МАРКОВСКИЙ ПОДХОД В ЗАДАЧЕ ПРЕДВИДЕНИЯ КРИЗИСНЫХ  
ЯВЛЕНИЙ НА РЫНКЕ ТРУДА УКРАИНЫ  
PREDICTING LABOR MARKET DOWNTURNS IN UKRAINE USING  
MARKOV APPROACH**

**Анотація.** Досліджено можливість вирішення проблеми прогнозування кризових явищ шляхом побудови прихованого марківського ланцюга. Створено систему раннього сповіщення для криз ринку праці в Україні.

**Ключові слова:** прихований ланцюг маркова, система раннього сповіщення, рівень безробіття, криза.

**Аннотация.** Исследована возможность решения проблемы прогнозирования кризисных явлений путем построения скрытой

марковской цепи. Создана система раннего оповещения для кризисов рынка труда в Украине.

**Ключевые слова:** скрытая цепь Маркова, система раннего оповещения, уровень безработицы, кризис.

**Abstract.** The possibility of solving the crisis prediction problem based on hidden Markov models was investigated. An early warning system for labor market crises in Ukraine was created.

**Keywords:** hidden markov models, early warning system, unemployment rate, crisis.

**Постановка проблеми.** Історично людина в процесі своєї діяльності прагне уникати хаосу, непередбачуваних ситуацій та нестабільності. Сьогодні як ніколи світ потребує ефективного засобу виявлення та боротьби з кризовими явищами, в першу чергу в таких сферах як економіка, міжнародні відносини, соціальна сфера, екологія. Втім, кризу можна розглядати і як переломний момент у розвитку системи, який дає простір для нового витка економічних змін. З такої точки зору особливо корисним буде існування системи раннього сповіщення про кризові явища, яке дозволило б максимально контролювати кризові процеси та відвертати катастрофічні наслідки можливих криз ринку праці для економіки та суспільства. Цій проблемі було присвячено безліч різноманітних праць, проте більшість моделей виявляються неефективними в умовах ризиків, невизначеності інформації чи стрибкоподібних змін.

**Мета статті.** В цій роботі пропонується зосередити увагу на альтернативному – Марківському підході, тобто на побудові моделей, для яких діє марківське припущення про незалежність станів. Цим шляхом пішло досить багато науковців, досліджуючи проблеми різного характеру в різних галузях, зокрема розпізнавання мови та штучного перекладу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Однією з найпотужніших марківських моделей, використаній і в даній роботі є приховані марківські

ланцюги. Вони були успішно застосовані щодо військових конфліктів, зокрема точність короткострокових прогнозів для війни в Югославії (у період з січня 1991 по січень 1999) досягала 92% [5, с. 29]. Також ця модель отримала застосування в проблемах міграції [3, с. 25-30], аналізі ризиків при формуванні інвестиційного портфелю [1, с. 5-10], аналізі фондового ринку [6, с. 32-45], навіть для передбачення результатів виборів [2, с. 26-30].

**Виклад основного матеріалу.** Основою запропонованої моделі стане прихований марківський ланцюг з п'ятьма прихованими станами: велике падіння, мале падіння, ринок без змін, мале зростання та велике зростання (кризове явище). В даній роботі для навчання було обрано місячні дані показників безробіття в Україні за 2010-2017 роки. Додамо ще 5 станів, які будуть спостережуваними, і використовуватимуться для класифікації початкових даних.

Формально таку модель представляють у вигляді структури:  $\{S, V, \Pi, A, B\}$ , де:

1)  $S = \{1, \dots, 5\} = \{s_1, \dots, s_5\}$  – це множина станів.

2)  $V = \{v_1, \dots, v_M\}$  – це вихідний алфавіт. В даному випадку  $M$  – це кількість можливих значень які ми можемо спостерігати:  
 $V = \{1.2, 1.3, \dots, 2.1, 2.2\}$

3)  $\Pi = \{\pi_i\}_{i \in S}$  – початковий розподіл, тобто  $\pi_i = \mathcal{P}\{s_1 = i\}$

4)  $A = \{A_j^i\}_{i, j \in S}$  – матриця ймовірнісних переходів (матриця перехідних імовірностей), тобто:

$$A_j^i = \mathcal{P}\{s_{t+1} = i \mid s_t = j\}, \quad 1 \leq i, j \leq 5$$

5)  $B_{x_t}^j = \{b_j(x_t)\}$  – розподіл ймовірності спостережень, тобто:

$$B_{x_t}^j = \mathcal{P}\{x_t = k, s_t = j\}, \quad k \in V$$

Навчання моделі здійснюватиметься за варіацією EM-алгоритму для прихованих Марківських ланцюгів – алгоритму Баума-Велша [4, с.11-17]:

Спершу слід ввести 2 додаткові змінні:

$$\begin{aligned} \xi(t, i, j) &= \mathcal{P}\{s_t = i, s_{t+1} = j | \vec{x}, \mu\} = \frac{\mathcal{P}\{s_t = i, s_{t+1} = j, \vec{x} | \mu\}}{\mathcal{P}\{\vec{x} | \mu\}} = \\ &= \frac{\alpha_i(t) * A_j^i * B_{x_t}^i * \beta_j(t+1)}{\sum_{m=1}^N \alpha_m(t) \beta_m(t)} = \frac{\alpha_i(t) * A_j^i * B_{x_t}^i * \beta_j(t+1)}{\sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N \alpha_m(t) * A_j^i * B_{x_t}^i * \beta_n(t)} \\ \gamma_i(t) &= \mathcal{P}\{s_t = i, | \vec{x}, \mu\} = \sum_{j=1}^N \mathcal{P}\{s_t = i, s_{t+1} = j | \vec{x}, \mu\} = \sum_{j=1}^N \xi(t, i, j) \end{aligned}$$

Тепер формули пошуку оптимальних параметрів моделі в нових позначеннях виглядають так:

$$\begin{aligned} \tilde{\pi}_i &= \mathcal{P}\{s_0 = i, | \vec{x}, \mu\} = \gamma_i(0) \\ \tilde{A}_j^i &= \frac{\sum_{t=1}^T \mathcal{P}\{s_t = i, s_{t+1} = j | \vec{x}, \mu\}}{\sum_{t=1}^T \mathcal{P}\{s_t = i, | \vec{x}, \mu\}} = \frac{\sum_{t=1}^T \xi(t, i, j)}{\sum_{t=1}^T \gamma_i(t)} \\ &= \frac{\sum_{t=1}^T \alpha_i(t) * A_j^i * B_{x_{t+1}}^j * \beta_j(t+1)}{\sum_{t=1}^T \alpha_i(t) * \beta_i(t)} \\ \tilde{B}_k^i &= \frac{\sum_{t=1}^T \mathbb{1}\{x_t \in k\} * \mathcal{P}\{s_t = i, | \vec{x}, \mu\}}{\sum_{t=1}^T \mathcal{P}\{s_t = i, | \vec{x}, \mu\}} = \frac{\sum_{t=1}^T \mathbb{1}\{x_t \in k\} \gamma_i(t)}{\sum_{t=1}^T \gamma_i(t)} \\ &= \frac{\sum_{t=1}^T \mathbb{1}\{x_t \in k\} * \alpha_i(t) * \beta_i(t)}{\sum_{t=1}^T \alpha_i(t) * \beta_i(t)} \quad (2.10) \end{aligned}$$

$\alpha_i(t)$  та  $\beta_i(t)$  тут являють собою наступні ймовірності:

$$\begin{aligned} \alpha_i(t) &= \mathcal{P}\{x_1, x_2, \dots, x_T, z_t = s_i, A, B\} \\ \beta_i(t) &= \mathcal{P}\{x_T, \dots, x_1, z_t = s_i, A, B\} \end{aligned}$$

Їх можна знайти безпосередньо, або ж використати алгоритми динамічного програмування. Наприклад пошук  $\alpha_i(t)$  здійснюється з допомогою алгоритму Прямого Проходу (англ. Forward Procedure):

Ініціалізація:

$$\alpha_i(0) = \pi_i, \quad i = 1..|S|$$

Рекурсія:

$$\alpha_j(t) = \sum_{i=1}^{|S|} \alpha_i(t-1) * A_j^i * B_{x_t}^i, \quad j = 1..|S|, \quad t = 1..T$$

Повністю аналогічну процедуру пошуку  $\beta_i(t)$  називають Зворотнім Проходом (Backward Procedure).

Для прогнозів переходу в кризовий стан можна було б використати класичний алгоритм Вітербі, але він недостатньо потужний для вирішення цієї вузької задачі. У зв'язку з цим прогнозування здійснюватиметься за лобовим методом:

$$\mathcal{P}\{\text{в найближчі } n \text{ кроків криза}\} = \sum_{i=1}^n \mathcal{P}\{\text{криза настане на } i - \text{му кроці}\}$$

$$= \sum_{i=1}^n \sum_{s_j \in \mathcal{S} \setminus s_1} \mathcal{P}\{z_1 \in s_j, z_2 \in s_j, \dots, x_{i-1} \in s_j, z_i = s_1\}$$

Це не буде настільки швидкий алгоритм, як алгоритм Вітербі, але для короткострокових прогнозів даний підхід дає кращі результати.

Відповідно, застосувавши такий підхід до даних ринку праці України 2010-2017 років матимемо таку систему раннього сповіщення про кризові явища, зображену в часовому розрізі на Рисунку 1:

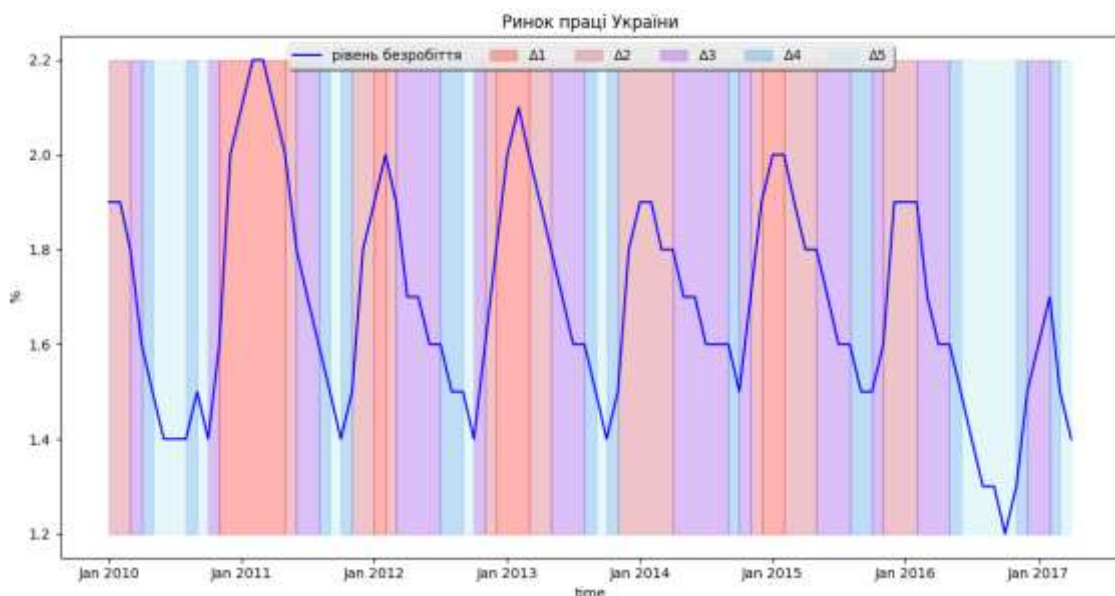


Рисунок 1. Система раннього сповіщення (Розробка автора)

Для кожної з цих п'яти областей було обчислено ймовірності переходу в кризовий стан в короткостроковий період (Таблиця 1). Кризою

при цьому вважатимемо таку ситуацію, де значення досліджуваного індексу перевищує середнє значення більше ніж на одне стандартне відхилення.

*Таблиця 1*

Ймовірність короткострокової кризи  
(Розробка автора)

Область	Ймовірність настання Кризи
$\Delta_1$	0.7364154270871943
$\Delta_2$	0.2660487971938277
$\Delta_3$	0.10102797022557222
$\Delta_4$	0.08134463978183368
$\Delta_5$	0.0255177875929092

**Висновки.** Отже, як було показано задача прогнозування кризових явищ може бути успішно вирішена з допомогою марківського підходу. Побудований прихований марківський ланцюг дозволив створити систему раннього сповіщення про кризові явища ринку праці України на основі показників безробіття 2010-2017 років. Відповідно станом на червень 2017 року ймовірність настання кризи ринку праці України в короткостроковому періоді становить лише 2,5%. Такий результат лише підтверджує загальну тенденцію до зниження рівня безробіття за останні кілька років.

## **Література**

1. Hidden Markov Model of Portfolio Credit Risk / [S. Ahuja,, S. Bunsupha,, K. Tan and el.]. – Stanford, 2011. – 17 p.
2. Wagner. C. S. Presidential Election Forecasts: Through the Lense of Linear Algebra [Електронний ресурс] / Cassia S. Wagner // Electronic Thesis and Dissertation Repository. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: <http://docplayer.net/26233199-U-s-presidential-election-forecasts-through-the-lense-of-linear-algebra-cassia-s-wagner.html>.
3. Constant A. The Dynamics of Repeat Migration: A Markov Chain Analysis / A. Constant, K. Zimmermann. – Bonn: CEPR, 2004. – 39p.
4. McCallum A. Hidden Markov models Baum Welch algorithm [Електронний ресурс] / Andrew McCallum // College of Information and Computer Sciences. – 2004. – Режим доступу до ресурсу: <https://people.cs.umass.edu/~mccallum/courses/inlp2004a/lect10-hmm2.pdf>.
5. Schrodtt P. A. Pattern Recognition of International Crises using Hidden Markov Models [Електронний ресурс] / Philip Schrodtt Schrodtt // Parus Analytical Systems.. – 1997. – Режим доступу до ресурсу: <http://eventdata.parusanalytics.com/papers.dir/schro97b.pdf>
6. Zhang Y. J. Prediction of financial time series with hidden Markov models [Електронний ресурс] / Ying jian Zhang // Simon Fraser University. – 2001. – Режим доступу до ресурсу: [https://www.cs.sfu.ca/~anoop/students/rzhang/rzhang\\_msc\\_thesis.pdf](https://www.cs.sfu.ca/~anoop/students/rzhang/rzhang_msc_thesis.pdf).