

КІБЕРНЕТИКА та КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 338.5

DOI:10.34229/2707-451X.24.4.4

Е.П. КАРПЕЦЬ

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ КЕРУВАННЯ РЕСУРСАМИ В УМОВАХ ІНФОРМАЦІЙНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Вступ. Аналітично-дослідні задачі збалансування чи перерозподілу ресурсного потенціалу країни викликані як економічними глобальними чинниками (уповільнення світової економіки внаслідок руйнації налагоджених товарно-збутових ланцюгів, зростання цін на сировину та енергоресурси, зокрема підвищення загальних міжнародних ризиків, нарощення рівня світової конфронтації та оборонних витрат), так і міжгалузевим зменшенням ресурсного забезпечення окремих видів економічної діяльності (ВЕД) через руйнування виробничої потужності, руйнування чи порушення інфраструктурних зв'язків, скорочення робочої сили, зменшення обсягу споживчих витрат; переорієнтація державних видатків та ряду інфляційних процесів. Всі ці чинники, що визначені науковцями-економістами [1] суттєво впливають на зміну внутрішньогалузевої структури економіки країни та потребують визначення можливих сценаріїв оптимального перерозподілу її ресурсного потенціалу.

Зокрема, надзвичайні виклики постали в умовах війни перед ринком праці України: втрата кваліфікованих кадрів унаслідок міграції та мобілізації на фоні підвищення рівня безробіття (особливо серед внутрішньо переміщених осіб). Це ознаки загострення структурного безробіття в країні [2].

При необхідності оптимізації розподілу певного обсягу обмежених ресурсів для визначених сценаріїв економічної діяльності, задача пошуку розв'язків може забезпечуватись використанням підходу імітаційного моделювання для прийняття рішень в умовах невизначеності та браку інформації.

Постановка проблеми та її значення. В даній статті розглянемо підходи до оптимізації розподілу фінансових надходжень Фонду загальнообов'язкового державного соціального страхування на випадок безробіття (далі – Фонду). Це може бути реалізовано через адекватне моделювання фінансових потоків соціального забезпечення незайнятого населення та

Запропоновано використовувати метод імовірісно-автоматного моделювання як інструмент оптимального керування фінансовими ресурсами регіонального ринку праці в умовах невизначеності та підвищення соціально-демографічного навантаження на систему в умовах війни. Наведено систему формування цільових фінансових надходжень та напрямки їх руху згідно стратегічним заходам державної політики з регулювання ринку праці як автоматну модель.

Ключові слова: імітаційне моделювання, система імовірнісних автоматів, ініціальний імовірнісний автомат Мура, регіональний ринок праці, сценарії фінансового забезпечення соціально-економічних процесів.

© Е.П. Карпець, 2024

розширення фінансування на користь заходів активної політики на ринку праці (підвищення професійної мобільності працездатних громадян, зокрема серед ВПО; фінансова підтримка самозайнятості та створення нових робочих місць тощо). Такий підхід підсилить можливість розробки обґрунтованих сценаріїв розподілу ресурсного забезпечення з підтриманням як стратегічно визначених галузей, так і інноваційно важливих.

Мета роботи. Метою розроблюваних методів є визначення таких підходів, що в умовах порушення міжгалузевих взаємозв'язків та загального макроекономічного спаду, викликаних широкомасштабним військовим вторгненням, дозволяють досліджувати варіанти фінансового забезпечення національного ринку праці, що при оптимальному використанні чи перерозподілі ресурсів сприятиме відновленню його відносно структурної збалансованості.

Аналіз досліджень і публікацій. Імітаційне моделювання як інструмент керування ресурсами в умовах інформаційної невизначеності виправдало себе для вирішення задач оптимізації виробничо-технологічних процесів, логістичної, банківської і фінансової діяльності та удосконалення міської (територіальної) інфраструктури [3–7]. Питання моделювання складних соціально-економічних систем за допомогою методу автоматного моделювання досліджувалося багатьма науковцями.

Імовірно-автоматний підхід розроблено в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України (ІК НАН України), зокрема в працях Бакаєва А.А., Костіної Н.І. та Яровицького Н.В. [8–11]. В подальшому метод імовірно-автоматного моделювання активно розвивали та застосовували для відповідного відтворення як соціально-економічних систем і процесів, так і потоків у банківсько-фінансовій сфері [12–19].

Питання імовірно-автоматного моделювання динаміки ринку праці останнім часом досить детально розроблені, в тому числі й співробітниками ІК НАН України [12, 13]. Зміст методу полягає у тому, що при побудові імовірно-автоматної моделі об'єкти місцевого ринку праці, тобто вивільнені працівники, безробітні, працевлаштовані, вакантні робочі місця тощо, ототожнюються з системою ймовірнісних автоматів, які мають певний внутрішній стан, що в даному випадку відповідає професійній, віковій та соціальній структурі незайнятого населення.

За допомогою цього підходу можна як постійно контролювати параметри місцевого ринку праці, так і прогнозувати зміни його стану і обирати найбільш прийнятні заходи регулювання відповідних процесів. Але питання відповідного регулювання фінансового забезпечення бюджетних заходів на ринку праці ще чекає свого вирішення. Як один з можливих варіантів, що дозволяють моделювати сценарії розподілу фінансового забезпечення національного ринку праці, нами пропонується підхід з позицій імовірно-автоматного моделювання, розробленого в ІК НАН України [20].

Викладення основного матеріалу. Для визначення досліджуваних процесів як механізму переходу системи з одного стану в інший, імітуємо рух фінансових коштів будь-якого рівня за допомогою таких елементів моделювання, як *системи імовірнісних автоматів*.

Під імовірнісним автоматом розуміють дискретний ініціальний імовірнісний автомат Мура з детермінованими виходами, тобто деякий об'єкт, що має імовірнісну природу, наділений певним внутрішнім станом та спроможний сприймати вхідний сигнал і видавати вихідний. Для побудови досить складної моделі задають систему імовірнісних автоматів, об'єднання яких відбувається через ототожнення вихідних сигналів одних автоматів з вхідними сигналами інших.

Визначено систему формування цільових фінансових надходжень до Фонду та напрями їх руху згідно стратегічних заходів державної політики з регулювання ринку праці.

Мета моделювання даної системи – це досягнення оптимального співвідношення між обмеженим надходженням коштів на певні першочергові заходи щодо політики на ринку праці та збіль-

шенням витрат у разі підвищення соціально-демографічного навантаження на систему в умовах війни. Щоб задати *автоматну модель* системи, введемо такі значення:

$a_i(t)$ – обсяг накопичених фінансових коштів Фонду, призначений відповідно на заходи пасивної ($i=1$) й активної ($i=2$) політики на ринку праці у момент часу t ;

$b_i(t)$ – потреби ринку праці у коштах на здійснення заходів пасивної ($i=1$) й активної ($i=2$) політики у момент t ;

$d_i(t)$ – обсяг відповідного фінансування, що надійшло за проміжок часу $(t; t+1)$;

$c_i(t)$ – потреби ринку праці у коштах на здійснення відповідних заходів за проміжок часу $(t; t+1)$;

$f(t)$ – показник режиму надходження фінансових коштів на відповідні заходи політики на ринку праці у момент часу t , тобто $f(t)=0$, якщо в момент t фінансування відбувається у підвищеному режимі, та $f(t)=1$, коли режим надходження занижений.

Значення випадкових величин $a_i(t)$, $b_i(t)$, $c_i(t)$, $d_i(t)$, $f(t)$ – внутрішній стан автоматів відповідно А, В, С, D, F. Динаміку зміни *значень внутрішніх станів* цих автоматів записуємо як систему незалежних різницевих стохастичних рівнянь:

$$\begin{aligned} a(t+1) &= \max\{0, a(t) + d(t) - b(t) \pm c(t)\}; \\ b(t+1) &= \max\{0, b(t) - d(t) - a(t) \pm c(t)\}; \\ c(t+1) &= \xi; \\ d(t+1) &= \eta_0(1 - f(t)) + \eta_1 f(t); \\ f(t+1) &= d(t)[f(t) \cdot (1 - y(t)) + (1 - f(t)) \cdot (1 - x(t))] + \\ &\quad + (1 - f(t))[f(t) \cdot y(t) + (1 - f(t)) \cdot x(t)]. \end{aligned}$$

Тут використані такі визначення:

$$\begin{aligned} x(t) &= \begin{cases} 0, & a(t) - b(t) < U_0, \\ 1, & a(t) - b(t) \geq U_0, \end{cases} \\ y(t) &= \begin{cases} 0, & a(t) - b(t) > U_1, \\ 1, & a(t) - b(t) \leq U_1. \end{cases} \end{aligned}$$

Випадкова величина ξ , що приймає невід’ємні (в т.ч. нульові) значення – загальний обсяг потреби (кількість заявок), що надходять в систему за одиницю часу. Водночас $M\xi = \mu$.

η_0 , η_1 – невід’ємні випадкові величини, що відповідають надходженням коштів в одиницю часу (квартал) відповідно за умов підвищеного (профіцит) або заниженого (дефіцит) режиму надходження коштів. При цьому $M\eta_0 = \lambda_0 < \mu < \lambda_1 = M\eta_1$.

Визначимо індикатори та вихідні параметри моделі, вводячи такі значення:

$e(t)$ – значення режиму інтенсивності фінансування, узятє з запізненням на одиницю часу;

$r_1(t)$ – проміжок часу, що пройшов від останньої зміни режиму надходження фінансів до моменту t ;

$r_2(t), (r_3(t))$ – накопичена за час $(0, t]$ кількість періодів підвищеного U_0 (зниженого U_1) режиму;

$r_4(t), (r_5(t))$ – накопичений за інтервал $(0, t]$ сумарний час перебування системи у підвищеному (зниженому) режимі;

$r_6(t), (r_7(t))$ – наближене значення математичного очікування проміжку підвищеного U_0 (зниженого U_1) режиму фінансування;

$r_8(t)$ – частка часу знаходження системи в стані підвищеного режиму;

$s_0(t)$ – накопичені за час $(0, t]$ значення додаткових витрат на допомогу безробітним, які не були працевлаштовані (або не змогли розпочати власного бізнесу) на суму вище заданого рівня α_0 ;

$s_1(t)$ – накопичені за час $(0, t]$ значення бюджетних заощаджень вище заданого рівня α_1 від зняття з обліку працевлаштованих громадян понад заплановані показники;

$s_2(t)$ – значення математичного очікування збитків від додаткових витрат на допомогу безробітним, які не були працевлаштовані (або не змогли розпочати власного бізнесу) на суму вище заданого рівня α_0 ;

$s_3(t)$ – значення математичного очікування накопичених бюджетних заощаджень вище заданого рівня α_1 від зняття з обліку працевлаштованих громадян понад заплановані показники;

$s_4(t)$ – математичне очікування сумарних витрат по системі за одиницю часу;

$t(t)$ – номер поточної одиниці часу, t — ціле.

Таким чином, визначено внутрішній стан 15 автоматів (E, R₁, R₂, R₃, R₄, R₅, R₆, R₇, R₈, S₀, S₁, S₂, S₃, S₄, T), котрі становлять вихідні дані моделі та її індикатори. Місце цих автоматів та взаємозв'язок між основними автоматами системи наочно демонструє граф міжавтоматних зв'язків системи (рисунок), враховуючи автомати індикатора.

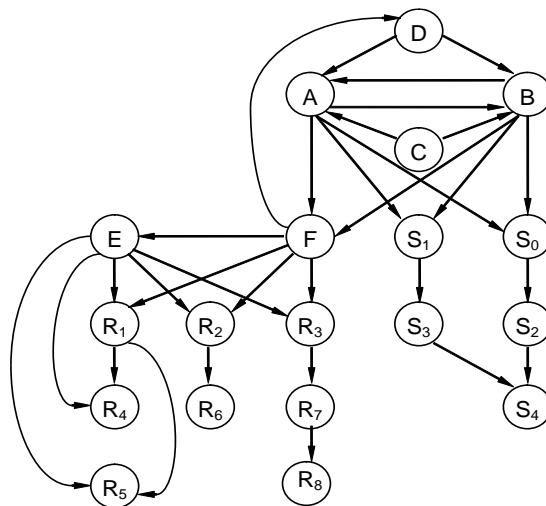


РИСУНОК. Граф міжавтоматних зв'язків системи керування бюджетними коштами на першочергові заходи політики на ринку праці

Висновки.

Імітаційне моделювання як інструмент керування ресурсами в умовах інформаційної невизначеності виправдало себе для вирішення задач оптимізації виробничо-технологічних процесів, логістичної, банківської і фінансової діяльності та удосконалення міської (територіальної) інфраструктури. Наведена імовірно-автоматна модель дозволяє досягти адекватного моделювання оптимального співвідношення між обмеженим надходженням коштів на певні першочергові заходи щодо політики на ринку праці та збільшенням витрат у разі підвищення соціально-демографічного навантаження на систему в умовах війни.

Застосування запропонованої автоматної моделі руху фінансових ресурсів регіонального ринку праці та формалізовану схему надання послуг місцевим центром зайнятості доцільно розширити на випадок фінансування більшого спектру активних заходів та послуг ринку праці. За допомогою цього підходу можна не тільки постійно контролювати параметри місцевого ринку праці, а прогнозувати зміни його стану і обирати найбільш прийнятні заходи регулювання відповідних процесів.

Список літератури

1. Доповідь про оцінку економічних втрат України внаслідок збройної агресії РФ. Державна установа «Інститут економіки та прогнозування НАН України», Постанова Президії НАН України від 30.03.2022. <https://files.nas.gov.ua/PublicMessages/Documents/0/2022/04/220402004217613-7463.pdf> (звернення: 03.11.2024)
2. Студеннікова І. Ринок праці в умовах війни: демографічні виклики для України. Центр аналізу публічних фінансів та публічного управління при Київській школі економіки. <https://voxukraine.org/rynok-pratsi-v-umovah-vijny-demografichni-vyklyky-dlya-ukrayiny> (звернення: 03.11.2024)
3. Forrester J.W. System dynamics, systems thinking, and soft OR. *System Dynamics Review*. 1994. **10** (2-3). P. 245–256.
4. Бартоломью Д. Стохастические модели социальных процессов. М.: Финансы и статистика, 1985. 295 с.
5. Вітлінський В. Зміна парадигми в сучасній теорії економіко-математичного моделювання. *Економіка України*. 2007. № 11. С. 35–43.
6. Жерновий Ю.В. Імітаційне моделювання систем масового обслуговування: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. 307 с. http://zyurvas.narod.ru/Queuing/Imit_model.pdf (звернення: 03.11.2024)
7. Гужва В.М. Моделювання мультиагентних систем для управління логістичними процесами на підприємствах: Дис... канд. наук: 08.03.02. 2003. 118 с.
8. Яровицкий Н.В., Костина Н.И. Вероятностные автоматы и имитационное моделирование. *Кибернетика и системный анализ*. 1993. № 3. С. 20–30.
9. Бакаев А.А., Костина Н.И., Яровицкий Н.В. Имитационные модели в экономике. К.: Наукова думка, 1978. 300 с.
10. Kostina N.I. Automaton Modeling as an Instrument for the Forecasting of Complex Economic Systems. System Dynamics Society, July 20–24, New York City, USA, 2003. P. 135–145.
11. Костина Н.И., Сучок С.В. Імовірно-автоматне моделювання як інструмент наукового обґрунтування банківської діяльності. *Науковий вісник Національного університету державної податкової служби України*. 2004. № 5. С. 35–40.
12. Карпець Е.П. Імітаційне моделювання регіонального ринку праці : Дис. канд.еко.наук. 1996. 151 с.
13. Карпець Е.П. Закономірності та принципи побудови системи ймовірно-автоматних моделей динаміки регіонального ринку праці. *Науково-практична конференція „Проблеми впровадження інформаційних технологій в економіці”*. Ірпінь, 2002. С. 20–30.
14. Сявавко М., Рибицька О. Математичне моделювання за умов невизначеності. Львів: НВФ Українські технології, 2000. 320 с.
15. Костина Н.И., Сучок С.В. Деякі аспекти прогнозування валютного курсу за допомогою технології нейро-автоматного моделювання. *Вісник НБУ*. 2003. № 1. С. 38–45.
16. Костина Н.И., Сучок С.В. Оптимізація активно-пасивних операцій на основі імовірно-автоматного моделювання в банківській справі. *Науковий вісник Національної академії державної податкової служби України*. 2006. № 1–2. С. 98–101.

17. Костіна Н.І., Сучок С.В. Комерційні банки: моделювання діяльності та прогноз. Ірпінь : НУДПСУ, 2010. 224 с.
18. Костіна Н.І., Сучок С.В., Яковенко Н.В. Модель кредитування населення комерційним банком за різними видами послуг. *Науковий вісник Національного університету державної податкової служби України*. 2012. № 1. С. 43–48.
19. Приймак В.І., Скорупка Д. Економіко-математичні методи та моделі в управлінні ринком праці. *Економіка: реалії часу*. 2013. № 2. С. 6–15. <https://economics.net.ua/files/archive/2013/No2/6-15.pdf>
20. Карпець Е.П. Імітаційне моделювання керування рухом бюджетних коштів ринку праці. *Автоматика 2024: Тези XXVII Міжнародної конференції з автоматичного керування, Дніпро, 20-22 листопада 2024 р.* Дніпро: ДНУ, 2024. С. 117–118.

Одержано 05.11.2024

Карпець Елеонора Петрівна,

кандидат економічних наук, старший науковий співробітник
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ.
eleonora.karpets@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2143-4225>

УДК 519.85

Е.П. Карпець

Імітаційне моделювання як інструмент керування ресурсами в умовах інформаційної невизначеності

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ
Листування: eleonora.karpets@gmail.com

Вступ. В статті запропоновано використовувати метод імовірісно-автоматного моделювання до оптимізації розподілу фінансових надходжень Фонду загальнообов'язкового державного соціального страхування на випадок безробіття (далі – Фонду) через розширення фінансування на користь заходів активної політики на ринку праці.

Мета роботи. Метою розроблених методів є визначення таких підходів, що в умовах макроекономічного спаду дозволяють досліджувати варіанти фінансового забезпечення національного ринку праці, що при оптимальному використанні ресурсів сприятиме відновленню його відносної структурної збалансованості.

Результати. Для визначення досліджуваних процесів як механізму переходу системи з одного стану в інший, імітуємо рух фінансових коштів за допомогою системи імовірнісних автоматів, об'єднання яких відбувається через ототожнення вихідних сигналів одних автоматів з вхідними сигналами інших.

Визначимо систему формування цільових фінансових надходжень до Фонду та напрями їх руху згідно стратегічним заходам державної політики з регулювання ринку праці. Мета моделювання даної системи – це досягнення оптимального співвідношення між обмеженим надходженням коштів на першочергові заходи щодо політики на ринку праці та збільшенням витрат у разі підвищення соціально-демографічного навантаження на систему в умовах війни. Щоб задати автоматну модель системи, введено значення випадкових величин $a_i(t)$, $b_i(t)$, $c_i(t)$, $d_i(t)$, $f(t)$, що є внутрішнім станом автоматів відповідно А, В, С, D, F. Динаміку зміни значень внутрішніх станів цих автоматів наведено як систему незалежних від'ємних стохастичних рівнянь. Визначено внутрішній стан 15 автоматів (E, R₁, R₂, R₃, R₄, R₅, R₆, R₇, R₈, S₀, S₁, S₂, S₃, S₄, T), що становлять вихідні дані моделі та її індикатори. Місце цих автоматів та взаємозв'язок між основними автоматами системи наочно демонструє граф міжавтоматних зв'язків системи, враховуючи автомати індикатора.

Висновки. Наведена імовірісно-автоматна модель дозволяє досягти моделювання оптимального співвідношення між обмеженим надходженням коштів на певні першочергові заходи щодо політики на ринку праці та збільшенням витрат в разі підвищення соціально-демографічного навантаження на сис-

тему в умовах війни. Застосування запропонованої автоматної моделі руху фінансових ресурсів регіонального ринку праці та формалізовану схему надання послуг місцевим центром зайнятості доцільно розширити на випадок фінансування більшого спектру активних заходів та послуг ринку праці. За допомогою цього підходу можна не тільки постійно контролювати параметри місцевого ринку праці, а прогнозувати зміни його стану і обирати найбільш прийнятні заходи регулювання відповідних процесів.

Ключові слова: імітаційне моделювання, система імовірнісних автоматів, ініціальний імовірнісний автомат Мура, імовірнісно-автоматний метод і модель, регіональний ринок праці, сценарії фінансового забезпечення соціально-економічних процесів.

UDC 519.85

Eleonora Karpets

Simulation Modeling as a Tool for Resource Management in Conditions of Information Uncertainty

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, Kyiv

Correspondence: eleonora.karpets@gmail.com

Introduction. The article proposes the use of the probabilistic-automaton modeling method to optimize the allocation of financial resources from the Compulsory State Social Insurance Fund for Unemployment (hereinafter referred to as the Fund). This approach aims to increase funding in favor of active labor market policy measures.

Objective. The purpose of the proposed methods is to identify approaches that, under conditions of macroeconomic decline, enable the exploration of financial support scenarios for the national labor market. By optimally utilizing resources, this would contribute to restoring its relative structural balance.

Results. To define the studied processes as mechanisms of transition from one state to another, financial flows are simulated using a system of probabilistic automata. These automata are interconnected by matching the output signals of some automata with the input signals of others.

The system for forming the targeted financial inflows to the Fund and their allocation in accordance with the strategic measures of state labor market regulation policy is determined. The purpose of modeling this system is to achieve an optimal balance between limited funds for priority labor market policies and increased expenditures due to heightened socio-demographic pressure on the system during wartime.

To construct the automaton model of the system, random variables $a_i(t)$, $b_i(t)$, $c_i(t)$, $d_i(t)$, $f(t)$, representing the internal states of automata A, B, C, D, F, were introduced. The dynamics of changes in these internal states are presented as a system of independent negative stochastic equations. The internal states of 15 automata (E, R₁, R₂, R₃, R₄, R₅, R₆, R₇, R₈, S₀, S₁, S₂, S₃, S₄, T) were determined, forming the output data and indicators of the model. The position of these automata and their interconnections between basic automata of the system are visually demonstrated by the inter-automaton connection graph, which includes indicator automata.

Conclusions. The proposed probabilistic-automaton model allows for the simulation of an optimal balance between limited funds allocated to priority labor market policy measures and increased expenditures in the case of increase of socio-demographic pressure on the system during wartime. Applying the suggested automaton model to financial resource flows in the regional labor market and formalized service schemes at local employment centers is recommended to expand funding for a broader range of active labor market measures and services. This approach not only facilitates continuous monitoring of regional labor market parameters but also enables forecasting changes in its state and selecting the most appropriate regulatory measures for relevant processes.

Keywords: simulation modeling, system of probabilistic automata, initial probabilistic Moore automaton, probabilistic-automaton method and model, regional labor market, financial provision scenarios of socioeconomic processes.