

УДК 332:314.3

К. Р. Іванов,

магістр, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-8935-5897>

DOI: 10.32702/2306-6792.2024.15.96

МОДЕЛЬНА ОЦІНКА ЗВ'ЯЗКУ ПОКАЗНИКІВ РИНКУ ПРАЦІ ТА МІГРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ В УКРАЇНІ

K. Ivanov,

Master, Oles Honchar Dnipro National University

MODEL ASSESSMENT OF THE RELATIONSHIP OF LABOR MARKET INDICATORS AND MIGRATION PROCESSES IN UKRAINE

Стаття присвячена дослідженню зв'язку між рівнем безробіття в Україні та сальдо міграції. Застосування синергетичного підходу дозволило побудувати динамічну економіко-математичну модель оцінки причинно-наслідкових зв'язків елементів системи, яка відображає адитивно-мультиплікативний характер їх взаємодії. Адекватність моделі підтверджується узгодженістю результатів чисельного експерименту і наявних статистичних даних міграції та безробіття в Україні. Встановлено, що міграція з позитивним сальдо, яке забезпечується одночасно і працюючими, і безробітними, призводить до нестійкої ситуації на ринку праці, що є наслідком неефективної конкуренції на ринку праці. Міграція, при якій сальдо формується різним характером міграції працюючих та безробітних, супроводжується стійким коливальним характером кількості працюючих та безробітних на ринку праці, що супроводжується ефективною конкуренцією на ринку праці. В умовах відносно стабільної соціально-економічної ситуації в Україні міграційні процеси супроводжуються стійкою помірно-коливальною динамікою на ринку праці, яка порушується при суттєвій зміні соціально-економічного стану в країні.

The article is devoted to the study of the relationship between the level of unemployment in Ukraine and the balance of migration. It was noted that the increase in the intensity of migration flows in Ukraine is accompanied by the loss of the productive population of working age, the consequence of which in the long term may be a decrease in the potential for economic growth, a decrease in labor productivity, an increase in the pension burden ratio, etc. This actualizes systematic studies of migration processes, in particular, based on the development and application of adequate economic and mathematical methods, as an effective tool for their quantitative and qualitative assessment. The purpose of the study is a quantitative and qualitative assessment of the interaction of the Ukrainian labor market and migration processes, taking into account synergistic effects within the studied system. The use of a synergistic approach made it possible to build a dynamic economic-mathematical model for evaluating the cause-and-effect relationships of system elements. The built model reflects the additive-multiplicative nature of their interaction. The adequacy of the model is confirmed by the consistency of the results of the numerical experiment and the available statistical data on migration and unemployment in Ukraine. It has been established that migration with a positive balance, which is provided by both the employed and the unemployed, leads to an unstable situation in the labor market, which is a consequence of ineffective competition in the labor market. It was established that migration, in which the balance is formed by the different nature of the migration of employed and unemployed, is accompanied by a stable fluctuating nature of the number of employed and unemployed in the labor market, which is accompanied by effective competition in the labor market. In the conditions of a relatively stable socio-economic situation in Ukraine, migration processes are accompanied

by stable, moderately fluctuating dynamics in the labor market, which is disrupted by a significant change in the socio-economic situation in the country. The obtained results can be used in the formation and implementation of migration policy.

Ключові слова: сальдо міграції, рівень безробіття, ринок праці, динамічна модель, адитивно-мультиплікативний зв'язок.

Key words: balance of migration, unemployment rate, labor market, dynamic model, additive-multiplicative relationship.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

У зв'язку з трендом сучасного суспільства на глобалізацію, яка прямо або опосередковано впливає на процеси міграції, актуалізуються задачі формування середньострокової та довгострокової соціально-економічної політики, спрямованої на зменшення соціально-економічних ризиків, пов'язаних з тенденціями розвитку ринку праці, міграційних процесів та визначених пріоритетних напрямів детінізації економіки.

Слід погодитись з тим, що рівень міграції є одним з визначальних факторів функціонування ринку праці та індикатором соціально-економічної стабільності. При цьому процеси міграції мають свої переваги та недоліки. Це і відтік працездатного населення, наслідком чого може бути зменшення темпів економічного зростання, і зниження тиску на ринок праці, що сприяє скороченню соціальної нерівності, збільшенню доходів населення та притоку грошових коштів від трудових мігрантів. При цьому переваги та ризики, спровоковані міграцією, можуть стати визначальними у функціонуванні та розвитку країн і регіонів [1], в яких спостерігається перерозподіл населення між територіями, зміни структури та характеристик населення [2].

В Україні посилення інтенсивності міграційних потоків супроводжується втратою продуктивного населення працездатного віку, наслідком чого у довгостроковому періоді може бути зменшення потенціалу економічного зростання, зниження продуктивності праці, підвищення коефіцієнта пенсійного навантаження та ін., що актуалізує системні дослідження міграційних процесів, зокрема на основі розробки та застосування адекватних економіко-математичних методів, як ефективного інструментарію їх кількісної та якісної оцінки.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Значний внесок у теоретичні та емпіричні дослідження феномену міграції та функціонування ринку праці, зокрема, на основі еконо-

міко-математичних методів та моделей зробили такі вітчизняні та іноземні вчені як: А. Айзенштадт, Е. Андерсон, В. Андрейко, З. Бараник, Т. Бауер, О. Бланчард, Д. Богиня, Дж. Борхас, К. Бренке, Ф. Віллекенс, А. Вілсон, Д. Віт, В. Вітлінський, О. Воронцова, В. Геець, Т. Гнатюк, П. Григоруку, А. Гур'янова, Д. Емерсон, В. Занг, Т. Кір'ян, А. Колот, Т. Клебанова, Т. Лаплоу, Е. Лі, Е. Лібанова, А. Лісогор, С. Левицький, І. Лук'яненко, Т. Меркулова, О. Малиновська, І. Мостова, М. Негрей, М. Олісевич, Т. Пуу, Е. Равенштейн, О. Ровенчак, М. Скрипниченко, В. Шелюк та інші.

Підкреслюючи важливість вивчення міграційних процесів методами економіко-математичного моделювання слід відзначити ефективність застосування таких з них, як: гравітаційні, регресійні, марківські, оптимізаційні, нейромережеві, імітаційні, агент-орієнтовані та ін.

Так, в роботі [3] розглянуті питання міжнародної міграції та її вплив на економічний та демографічний розвиток країни. Використання методів аналізу та синтезу, статистичної оцінки та кореляційного аналізу дозволило визначити соціально-економічні фактори, що впливають на міжнародну міграцію населення. Прогнозування було проведено з використанням нейромережевих алгоритмів.

При цьому автори статті [4] відзначають, що вибір моделі прогнозування міграції та чисельності населення має залежати від намагання мінімізувати помилки в процесі прогнозування та пропонують модель штучної нейронної мережі для прогнозування міграції населення Фіджі.

Важливість точності прогнозування міграції людей відзначають автори дослідження [5], наголошуючи на його важливість у міському плануванні, міжнародній торгівлі, поширенні інфекційних захворювань, природоохоронному плануванні та ін. Критичний аналіз традиційних моделей мобільності людей (гравітаційні моделі, моделі радіації та ін.) дав підстави наголосити, що вони мають фіксовану форму і тому не здатні відобразити складнішу динаміку міграції.

Систематичний огляд літератури щодо машинного навчання моделей зворотної міграції для прогнозування населення представлено в роботі [6].

Метод сценаріїв, який лежить в основі побудови дерева рішень використовується також при реалізації сценарного моделювання, при якому сценарії організовані ієрархічно і фіксують функціональні особливості системи на різних рівнях абстракції (групи сценаріїв, сценарії та підсценарії) [7].

Часто для дослідження міграційних процесів використовуються методи агент-орієнтованого моделювання (АОМ), які є спеціальним класом моделей, створених для комп'ютерних симуляцій та основаних на індивідуальній поведінці агентів [8].

Гнучкість таких моделей досягається за рахунок можливості розгляду великої кількості керованих параметрів, що дозволяє проводити з використанням АОМ найсучасніші експерименти з відтворення можливих сценаріїв розвитку соціально-економічної системи та вимір її реакції на зміни управлінських впливів [9].

При використанні АОМ передбачається, що поведінка агентів спрямована на максимізацію власної функції корисності (наприклад: максимізація доходу, для чого може обиратись регіон — місце проживання, регіон — місце роботи та конкретний вид підприємництва). При цьому держава в межах своєї влади може керувати такими змінними, як ставки різних податків, розвиток транспортної системи зайнятості та ін. Ці параметри моделі є керованими, що дозволяє апробувати різні варіанти міграції [10].

Агент-орієнтовані моделі внутрішньої міграції в європейських країнах представлені в роботах [11, 12], у яких агенти приймають рішення про переїзд залежно від ступеня задоволеності своїм трудовим статусом і рівнем доходів. Вибір цільового регіону агенти при цьому здійснюють з урахуванням різниці між економічними показниками регіонів і рівнем безробіття в них, а також відстані між регіонами.

Інший тип мотивації агентів представляють моделі, в яких міграція викликана небезпечними подіями. Тут, зазвичай, йдеться про міждержавну міграцію, і механізм вибору мети переміщення агентів пов'язані не з економічними, а, швидше, з інституційними умовами різних країн, їхньою здатністю приймати мігрантів [13].

Слід виділити ще один клас моделей, що активно використовується при моделюванні міграційних процесів — імітаційні моделі. Імітаційну модель можна розглядати як множину

правил (диференціальних рівнянь, карт станів, автоматів, мереж тощо), які визначають, який стан система перейде у майбутньому із заданого поточного стану [14].

Імітаційне моделювання з використанням методу Монте-Карло дозволяє побудувати математичну модель з невизначеними значеннями параметрів і, при припущенні про імовірнісний розподіл параметрів та зв'язок між змінами параметрів (кореляції), отримати розподіл демографічних результатів. Приклад застосування такого методу представлений у роботі [15], в якій проведена оцінка ризику зовнішніх міграцій з країн Балтії.

У припущенні, що народжуваність низька, а тривалість життя населення зростає, що є характерним для розвинених країн, виникає завдання організації керованого міграційного потоку, який буде заповнювати трудові ресурси і створювати необхідні умови для економічного розвитку, зокрема визначення величини необхідної міграції для підтримання заданої фіксованої чисельності населення. Таке завдання було вирішено у роботі [16]. Авторами реалізована модель, яка є задачею оптимального управління віковою щільністю населення з обмеженнями. При цьому поведінка об'єкта управління описується диференціальним рівнянням Кендріка — фон Форестера першого порядку у частинних похідних на нескінченному проміжку часу.

Деякі автори для моделювання міграції використовують динамічні моделі. При цьому, в роботах Е. Андерсона, М. Бекмана, А. Вілсона, В. Занга, Т. Пуу для дослідження міграційної динаміки міст методом просторово динамічного наближення використовується неперервний простір.

Основним математичним апаратом в цьому випадку є теорія диференціальних рівнянь, а модель формалізується системою автономних диференціальних рівнянь у вигляді:

$$\dot{x}_i = F_i(x_1, x_2, \dots, x_n), (i = \overline{1; n}) \quad (1),$$

де x_i — деяка кількісна характеристика досліджуваного процесу, яка відповідає координаті вектору в n -вимірному економічному просторі.

Так, в роботі [17], автором розглядаються багатофакторні динамічні моделі міграційних процесів, що протікають в обмеженому двовимірному просторі (території міста). Зокрема, побудовано модель, в якій формування міського простору описується змінами густини населення та земельної ренти.

Апробація побудованої гетерогенної моделі міграції населення в межах міста, по-

Таблиця 1. Динаміка рівня економічно активного населення в Україні 2015–2022 р.р. (дані на 01.01 зазначеного року)

Рік	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Населення (тис. осіб)	42928,9	42760,5	42584,5	42386,4	42153,2	41902,4	41588,4	41167,3
Економічно активне населення (тис. осіб)	19035,2	17396	17303,6	17193,2	17296,2	17381,8	16917,8	16666,8
Частка економічно активного населення	0,44	0,407	0,406	0,406	0,41	0,415	0,407	0,405

Джерело: за матеріалами [21].

рівняння її з конкретними статистичними даними з метою перевірки висунутих вище гіпотез була проведена в дослідженні [18], в якому, зокрема, підтверджено факт існування хвильових структур типу стоячих хвиль з притаманними для них особливими областями типу вузлів та пучностей, характер виникнення та існування яких у географо-топологічному економічному просторі цілком відповідає процесам формування колективної економічної поведінки, яка супроводжує міграційні процеси.

Останнім часом дослідники досить активно використовують різні комбінації підходів та методів дослідження міграційних потоків: методи агентно-орієнтованого моделювання, системна динаміка, імітаційне моделювання, різні економетричні та ймовірнісні моделі.

Прикладом такого комбінування є робота [19], в основі якої покладена ідея простої динамічної моделі для опису зміни зайнятості та безробіття в аспекті погодження попиту на робочу силу та її пропозиції та використання соціальних мереж. Подібний підхід був використаний в роботі [20]. Реалізовані підходи моделювання динаміки чисельності зайнятих, безробітних та економічно неактивного населення в регіоні базуються на принципі парних взаємодій, яка вперше була застосована в природничих науках, а в сучасних дослідженнях успішно використовується у вивченні суспільства.

Розглянуті вище моделі призначені для вирішення певних завдань аналізу та прогнозу-

вання міграції. На наш погляд, вибір інструменту для аналізу та прогнозування міграційних потоків залежить від цілей дослідження. Використання лише однієї моделі може знижувати інформаційну значущість результатів та обмежувати їхню інтерпретацію. Тому останнім часом набули широкого поширення комбіновані підходи до побудови моделей міграції. Такий синтез дає можливість використовувати переваги відразу кількох інструментів.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є кількісна та якісна оцінка взаємодії ринку праці України та міграційних процесів з урахуванням синергетичних ефектів всередині досліджуваної системи.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

В представленому дослідженні використовується припущення про те, що найбільший вплив на міграційні процеси в Україні здійснюють показники рівня безробіття. Це дає підстави застосувати згадувані вище динамічні моделі для якісного аналізу цієї взаємодії.

Розглянемо наявні статистичні дані (з 2015 року без врахування АР Крим, м. Севастополь та частини Донбасу) щодо зайнятості в Україні (див. таблицю 1).

Враховуючи показники економічно активного населення (див. таблицю 1) та динаміку безробіття в Україні [21] наведемо дані, щодо абсолютних показників працюючих-безробітних (див. таблицю 2).

Таблиця 2. Динаміка показників зайнятості в Україні 2015–2022 р.р. (дані на 01.01 зазначеного року)

Рік	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Рівень безробіття, %	9,7	9,5	9,7	9,9	9,1	8,6	9,9	10,3
Кількість працюючих, тис. осіб	17188,8	15743,4	15625,2	15491,1	15722,2	15887,0	15242,9	14950,1
Кількість безробітних, тис. осіб	1846,41	1652,62	1678,45	1702,13	1573,95	1494,83	1674,86	1716,68

Джерело: за матеріалами [21].

Таблиця 3. Динаміка показників зайнятості та міграції в Україні 2015–2022 р.р. (дані на 01.01 зазначеного року)

Рік	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Сальдо міграції економічно активного населення, осіб	-29118	-8924	-22077	-20463	-13652	-3241	-884	336
Сальдо міграції безробітних, осіб	-2824	-848	-2142	-2026	-1242	-279	-88	35
Сальдо міграції працюючих, осіб	-26294	-8076	-19935	-18437	-12410	-2962	-796	301

Джерело: за матеріалами [21].

В припущенні, що складові міграційних потоків відповідають компонентам економічної активності по Україні в цілому, дані щодо зв'язку міграції та безробіття [21] можуть бути представлені у формі, наведеній в таблиці 3.

В статті [20] містяться результати досліджень, спрямованих на визначення об'єктивних показників динаміки розвитку ринку праці на рівні держави. Одним з головних принципів, відображених в згаданому дослідженні полягає у наявності конкуренції на ринку праці. Через це частина працюючих x_1 може втратити роботу (перейти у статус безробітного) із ймовірністю a_{11} . При цьому існує ймовірність a_{12} того, що безробітний спеціаліст (частина безробітних x_2), який знаходився у пошуках, знайшов роботу.

Залежність, запропонована в [20], яка розкриває динаміку чисельності зайнятих в країні з урахуванням ймовірностей отримання та втрати роботи, описується наступним диференціальним рівнянням:

$$\frac{dx_1}{dt} = x_1(\varepsilon_1 - a_{11}x_1 + a_{12}x_2) \quad (2),$$

де ε_1 — коефіцієнт приросту кількості зайнятих за рахунок зміни економіки країни.

Слід відзначити, що в рівнянні (2) параметр a_{11} можна вважати показником внутрішньої (між вже працюючими) конкуренції, а a_{12} — показником зовнішньої конкуренції (між працюючими та безробітними).

Аналогічно, у статті [20] висунуте припущення, що частина безробітних спеціалістів x_2 , які були у пошуках роботи, із ймовірністю a_{22} її отримали, що призводить до зменшення кількості безробітних. Водночас кількість безробітних зростає із ймовірністю a_{21} .

Залежність, яка характеризує динаміку чисельності безробітних в країні з урахуванням ймовірностей отримання і втрати роботи, може бути задана таким диференціальним рівнянням:

$$\frac{dx_2}{dt} = x_2(\varepsilon_2 - a_{22}x_2 + a_{21}x_1) \quad (3),$$

де ε_2 — коефіцієнт приросту кількості безробітних за рахунок зміни економіки країни.

В рівнянні (3) параметр a_{22} можна вважати показником внутрішньої (між безробітними) конкуренції, а a_{21} — показником зовнішньої конкуренції (між працюючими та безробітними).

Таким чином, взаємовідносини в системі, що відображає динаміку чисельності зайнятих та безробітних в країні, в роботі

[20] представлені системою диференціальних рівнянь типу (1):

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = x_1(\varepsilon_1 - a_{11}x_1 + a_{12}x_2); \\ \frac{dx_2}{dt} = x_2(\varepsilon_2 - a_{22}x_2 + a_{21}x_1), \end{cases} \quad (4),$$

для якої відзначено, що в загальному випадку $a_{11} \neq a_{22}$ та $a_{12} \neq a_{21}$.

При цьому на нашу думку внутрішня (між безробітними) конкуренція в моделі не має суттєвого впливу на динаміку кількості безробітних, що дає підстави прийняти параметр $a_{22} = 0$, що зводить модель (4) до форми:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = x_1(\varepsilon_1 - a_{11}x_1 + a_{12}x_2); \\ \frac{dx_2}{dt} = x_2(\varepsilon_2 + a_{21}x_1), \end{cases} \quad (5).$$

В дослідженні [19] функціональна залежність, яка пов'язує міграцію та зміни відношення груп населення на ринку праці, використовується у вигляді:

$$\frac{du}{dt} = p - Hu \quad (6),$$

де u — фазова змінна; p — параметр, що описує міграцію; H — параметр, що характеризує швидкість змін групи населення.

У такому припущенні модель взаємодії на ринку праці має бути представлена у вигляді:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = \varepsilon_1 + x_1(-a_{11}x_1 + a_{12}x_2); \\ \frac{dx_2}{dt} = \varepsilon_2 + a_{21}x_1x_2. \end{cases} \quad (7).$$

У цей же час, на нашу думку головними факторами, що впливають на динаміку працюючих безробітні на ринку праці в сучасних українських реаліях є конкуренція між цими групами. Тому доцільно розглянути динамічну модель взаємозв'язку міграції та безробіття у формі

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = x_1(\varepsilon_1 + a_{12}x_2); \\ \frac{dx_2}{dt} = x_2(\varepsilon_2 + a_{21}x_1), \end{cases} \quad (8),$$

яка й буде використана для подальшого аналізу.

Відзначимо, що модель (8), яка враховує принцип парних взаємодій, є динамічною моделлю міграційних процесів.

Якісний аналіз моделі (8) проведемо з огляду на теорію звичайних диференціальних рівнянь [22], згідно з якою особливі точки систем (8) визначаються згідно з умовою

$$\begin{cases} x_1(\varepsilon_1 + a_{12}x_2) = 0; \\ x_2(\varepsilon_2 + a_{21}x_1) = 0. \end{cases} \quad (9).$$

Особливими точками фазового простору є: $x_1 = x_2 = 0$; $x_2 = -\varepsilon_1/a_{12}$ та $x_1 = -\varepsilon_2/a_{21}$.

Проаналізуємо характер стійкості визначених особливих точок. Для особливої точки фазового простору $x_1 = x_2 = 0$ характеристичне рівняння має вигляд:

$$\begin{vmatrix} \varepsilon_1 - k & 0 \\ 0 & \varepsilon_2 - k \end{vmatrix} = (\varepsilon_1 - k)(\varepsilon_2 - k) = 0.$$

Отже, корені характеристичного рівняння: $k_1 = \varepsilon_1$; $k_2 = \varepsilon_2$.

Як відомо [22], стан буде стійким, якщо обидва дійсних кореня є від'ємними. Тобто, якщо параметри міграції ε_1 ; ε_2 працюючих та безробітних будуть від'ємними (від'ємне сальдо міграції), точка $x_1 = x_2 = 0$ буде стійкою (стійкий вузол). Але з соціально-економічної точки зору $x_1 = x_2 = 0$ означає відсутність як працюючих, так і безробітних. Тобто економічно активне населення відсутнє.

В досліджуваній ситуації міграційні процеси супроводжуються комбінацією додатне-додатне сальдо міграції працюючих-безробітних, тобто стан $x_1 = x_2 = 0$ є нестійким, що цілком природним для ринкової економіки.

Для особливої точки фазового простору $x_2 = -\varepsilon_1/a_{12}$; $x_1 = -\varepsilon_2/a_{21}$ характеристичне рівняння має вигляд:

$$\begin{vmatrix} -k & -\varepsilon_2 a_{12} \\ -\varepsilon_1 a_{21} & -k \end{vmatrix} = k^2 - \varepsilon_1 \varepsilon_2 = 0.$$

Тобто

$$k^2 = \varepsilon_1 \varepsilon_2; k_{1,2} = \pm \sqrt{\varepsilon_1 \varepsilon_2} \quad (10).$$

З огляду на корені (10) характеристичного рівняння особлива точка $x_2 = -\varepsilon_1/a_{12}$; $x_1 = -\varepsilon_2/a_{21}$ буде нестійкою у випадку, коли параметри міграції ε_1 ; ε_2 мають однакові знаки (одночасно додатні або від'ємні). В усіх інших випадках цей особливий стан має характер граничного циклу — кривої, до якої наближається фазова траєкторія двовимірної динамічної системи при автоколиваннях.

Проілюструємо відповідну динаміку із застосуванням пакету моделювання Mathcad [23], використавши, для початку, модельні дані.

Так, нестійка динаміка системи (8) наведена на рисунку 1. При цьому для модельних да-

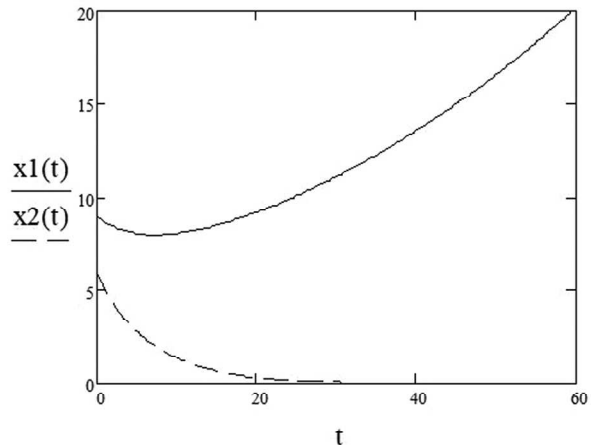


Рис. 1. Динаміка працюючих-безробітних згідно моделі (8): $\varepsilon_1 = 0,02$; $\varepsilon_2 = 0,015$; $a_{12} = -0,01$; $a_{21} = -0,02$; $x_1(0) = 9$ (млн. осіб); $x_2(0) = 6$ (млн. осіб)

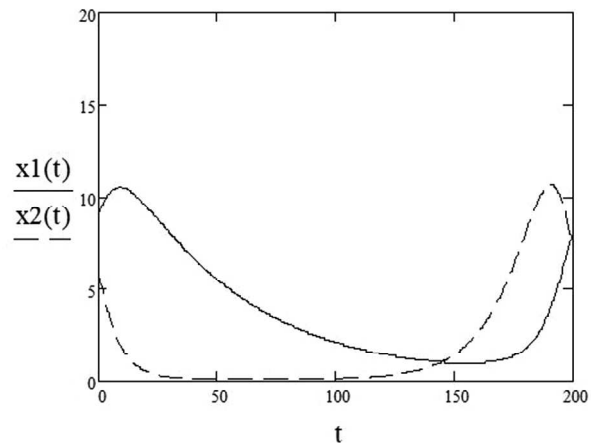


Рис. 2. Динаміка працюючих-безробітних згідно моделі (8): $\varepsilon_1 = -0,02$; $\varepsilon_2 = 0,08$; $a_{12} = 0,01$; $a_{21} = -0,02$; $x_1(0) = 9$ (млн. осіб); $x_2(0) = 4$ (млн. осіб)

них $\varepsilon_1 = 0,02$; $\varepsilon_2 = 0,015$, з огляду на координати особливої точки $x_2 = -\varepsilon_1/a_{12}$; $x_1 = -\varepsilon_2/a_{21}$ та соціально-економічні особливості задачі, згідно з якими x_1 та x_2 не можуть бути від'ємними, параметри a_{12} ; a_{21} мають бути від'ємними.

При різному характері міграції працюючих та безробітних $\varepsilon_1 = -0,02$; $\varepsilon_2 = 0,08$ та, відповідно, показниках конкуренції $a_{12} = 0,01$; $a_{21} = -0,02$ спостерігається коливальна динаміка кількості працюючих та безробітних (див. рис. 2).

Проведемо модельний експеримент з огляду на наявні статистичні дані (див. табл. 2, 3). Згідно з даними таблиці 2 задамо: $x_1(0) = 17$ (млн. осіб); $x_2(0) = 1,8$ (млн. осіб). Згідно з таблицею 3 та введенням припущення: $\varepsilon_1 = -0,06$; $\varepsilon_2 = 0,001$. Для забезпечення координат особливої точки $x_2 = -\varepsilon_1/a_{12}$; $x_1 = -\varepsilon_2/a_{21}$ задаємо $a_{12} = 0,032$; $a_{21} = -0,0006$.

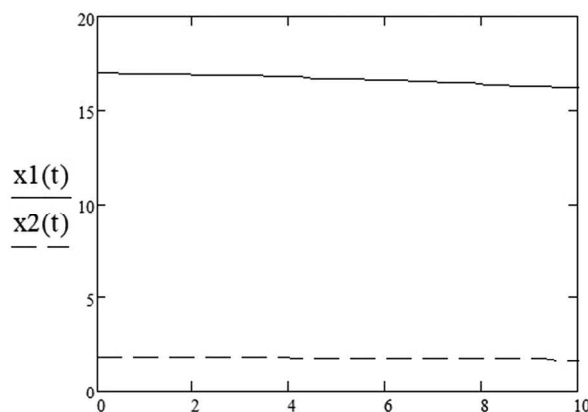


Рис. 3. Динаміка працюючих-безробітних в Україні за 2015–2021 р.р. згідно моделі (8) при $\varepsilon_1 = -0,06$; $\varepsilon_2 = 0,001$; $a_{12} = 0,032$ $a_{21} = -0,0006$; $x_1(0) = 17$ (млн. осіб); $x_2(0) = 1,8$ (млн. осіб)

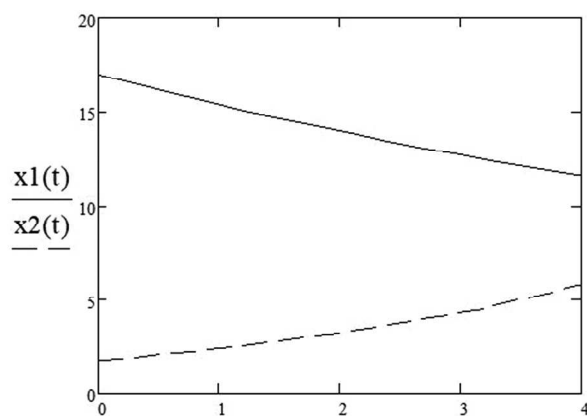


Рис. 4. Динаміка працюючих-безробітних в Україні у 2022 р.р. згідно моделі (8) при $\varepsilon_1 = -0,10$; $\varepsilon_2 = 0,3$; $a_{12} = 0,001$; $a_{21} = -0,0006$; $x_1(0) = 17$ (млн. осіб); $x_2(0) = 1,8$ (млн. осіб)

Динаміка працюючих-безробітних в Україні за 2015-початок 2021 р.р. (період обрано з огляду на відносно стабільну військово-політичну ситуацію в Україні) наведена на рисунку 3.

Порівняння рисунка 3 з динамікою показників зайнятості в Україні за досліджуваний період (див. таблицю 2) дозволяє говорити про адекватне відображення динамічною моделлю (8) досліджуваного процесу.

Слід відзначити помірно-коливальний характер ринку праці в Україні під впливом міграційних процесів в умовах відносно стабільної соціально-економічної ситуації в країні протягом 2015 — початок 2022 р.р.

Початок війни в Україні в 2022 супроводжувався суттєвою зміною міграційного сальдо (–1817737 осіб) та стрімким зростанням безробіття (21,1 %) [21].

Ця ситуація відповідним чином відображається в межах побудованої моделі, що про-

демонстровано на рисунку 4. Слід відзначити, що при відсутності формування відповідної державної політики (збереження параметрів моделі) дисбаланс на ринку праці може призвести до суттєвих негативних наслідків для економіки країни.

ВИСНОВКИ

В статті досліджено сумісну динаміку вплив показників ринку праці України та сальдо міграції. Застосування методів динамічного моделювання дозволило побудувати економіко-математичну модель оцінки причинно-наслідкових зв'язків в межах введених припущень. Модель побудована в межах синергетичного підходу та відображає адитивно-мультиплікативний характер внутрішньої взаємодії. Адекватність моделі підтверджується узгодженістю результатів чисельного експерименту і наявних статистичних даних міграції та безробіття в Україні.

Згідно з проведеним аналізом можна відзначити:

— міграція з позитивним сальдо, яке забезпечується одночасно і працюючими, і безробітними, призводить до нестійкої ситуації на ринку праці, яка супроводжується економічно необґрунтованим збільшенням числа працюючих, що, крім іншого, є наслідком неефективної конкуренцією на ринку праці;

— міграція, при якій сальдо формується різним характером міграції працюючих та безробітних, супроводжується стійким коливальним характером кількості працюючих та безробітних на ринку праці, що, зокрема, пояснюється тим, що ефективна конкуренція на ринку праці, яка призводить до зростання працюючих, може провокувати еміґ-

рацію представників цієї складової ринку праці;

— в умовах відносно стабільної соціально-економічної ситуації в Україні міграційні процеси супроводжуються стійкою помірно-коливальною динамікою на ринку праці, що відповідає показникам 2015—2021 р.р.;

— початок війни в Україні в 2022 характеризується суттєвою зміною міграційного салдо та стрімким зростанням безробіття. Збереження дисбалансу на ринку праці може призвести до суттєвих негативних наслідків для економіки країни.

Проведення подальших досліджень передбачає застосування отриманих результатів для обґрунтування стратегій покращення міграційної політики в Україні.

Література:

1. Вишневецька, А. М., Петренко, К. В. (2022). Вплив глобалізації на міграційні процеси у Світі та Європі. *Економічний вісник НТУУ "Київський політехнічний інститут"*, 23, 34—39. doi: 10.20535/2307-5651.23.2022.264626
2. Томашук, І., Болтовська, Л. (2022). Міграційні процеси у контексті глобалізації світової економіки. *Економіка та суспільство*, 40. doi: 10.32782/2524-0072/2022-40-50
3. Ovchinnikova, O., Belovsky, C., Khan, O. (2021). Neural Network Forecasting of International Population Migration. In 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), pp. 147—152. IEEE.
4. Qiokata, V., Khan, M. G. (2015). Modeling emigration of Fiji's population using Artificial Neural Network. In 2015 2nd Asia-Pacific World Congress on Computer Science and Engineering (APWC on CSE), pp. 1—8. IEEE.
5. Robinson, C., Dilkina, B. (2018). A machine learning approach to modeling human migration. In *Proceedings of the 1st ACM SIGCAS Conference on Computing and Sustainable Societies*, pp. 1—8.
6. Hussain, N. H. M. (2021). Machine learning of the reverse migration models for population prediction: a review. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, vol. 12, no.5, pp. 1830—1838.
7. Bai, X., Tsai, W. T., Paul, R., Feng, K., Yu, L. (2002). Scenario-based modeling and its applications. In *Proceedings of the Seventh IEEE International Workshop on Object-Oriented Real-Time Dependable Systems (WORDS 2002)*, pp. 253—260. IEEE.
8. Омеляничук, Д. А. (2013). Агентно-орієнтоване моделювання економіки: особливості, види, проблеми. *Теорія оптимальних рішень*, 9—17.
9. Makarov, V., Bakhtizin, A., Sushko, E. (2020). Agent-based model as a tool for controlling environment of the region. *Journal of the New Economic Association*, 45 (1), 151—171.
10. Billari, F. C., Prskawetz, A. (Eds.). (2003). *Agent-based computational demography: Using simulation to improve our understanding of demographic behaviour*. Springer Science & Business Media.
11. Heiland, F. (2003). The collapse of the Berlin Wall: Simulating state-level East to West German migration patterns. In *Agent-based computational demography: using simulation to improve our understanding of demographic behaviour* (pp. 73—96). Heidelberg: Physica-Verlag HD.
12. Pablo-Marti, F., Santos, J. L., Kaszowska, J. (2015). An agent-based model of population dynamics for the European regions. *Emergence: Complexity & Organization*, 17 (2).
13. Groen, D. (2016). Simulating refugee movements: Where would you go?. *Procedia Computer Science*, 80, 2251—2255.
14. Rozinat, A., Mans, R. S., Song, M., & van der Aalst, W. M. (2009). Discovering simulation models. *Information systems*, 34 (3), 305—327.
15. Manakov A., Suvorkov P., Stanaitis S. (2017). Simulation of Migration and Forecast of Population in the Baltic Countries by the Year 2096. *Geography and Education: Science Almanac*, 5, 19—39. DOI: 10.15823/ge.2017.2
16. Simon, C., Skritek, B., Veliov, V. M. (2013). Optimal immigration age-patterns in populations of fixed size. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 405 (1), 71—89.
17. Zhang, W. B. (2013). *Synergetic economics: time and change in nonlinear economics* (Vol. 53). Springer Science & Business Media.
18. Іванов П.В. (2012). Моделювання коливальної компоненти динаміки земельної ренти в межах міста. *Економічний простір*, 60, 152—158.
19. Bramoulle, Y., Saint-Paul, G. (2010). Social networks and labor market transitions. *Labour economics*, 17 (1), 188—195.
20. Огліх В.В., & Заславська Н.М. (2009). Моделювання динаміки розвитку ринку праці за наявності зв'язків між працівниками. *Вісник ДНУ*, Т.17, № 10 (1), 121—128.
21. Державна служба статистики України. Retrieved from <https://ukrstat.gov.ua>
22. Zhang, Z. (1992). *Qualitative theory of differential equations* (Vol. 101). American Mathematical Soc.

23. Maxfield, B. (2006). Engineering with Mathcad: using Mathcad to create and organize your engineering calculations. Elsevier.

References:

1. Vishnevskaya, A. M., and Petrenko, K. V. (2022), "Impact of globalization on migration processes in the World and Europe", *Ekonomichnyi visnyk NTUU "Kyivskiy politekhnichnyi instytut"*, vol. 23, pp. 34—39. doi: 10.20535/2307-5651.23.2022.264626

2. Tomashuk, I., and Boltovska, L. (2022), "Migration processes in the context of globalization of the world economy", *Ekonomika ta suspilstvo*, vol. 40. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-40-50>

3. Ovchynnikova, O., Belovsky, C., and Khan, O. (2021), "Neural Network Forecasting of International Population Migration", In 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), pp. 147—152.

4. Qiokata, V., and Khan, M. G. (2015), "Modeling emigration of Fiji's population using Artificial Neural Network", In 2015 2nd Asia-Pacific World Congress on Computer Science and Engineering (APWC on CSE), pp. 1—8.

5. Robinson, C., and Dilkina, B. (2018, June), "A machine learning approach to modeling human migration", In Proceedings of the 1st ACM SIGCAS Conference on Computing and Sustainable Societies, pp. 1—8.

6. Hussain, N. H. M. (2021), "Machine learning of the reverse migration models for population prediction: a review", *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, vol. 12, no. 5, pp. 1830—1838.

7. Bai, X., Tsai, W. T., Paul, R., Feng, K., and Yu, L. (2002), "Scenario-based modeling and its applications", In Proceedings of the Seventh IEEE International Workshop on Object-Oriented Real-Time Dependable Systems. (WORDS 2002), pp. 253—260.

8. Omelyanchuk, D. A. (2013), "Agent-oriented modeling of the economy: features, types, problems", *Teoriia optymalnykh rishen*, pp. 9—17.

9. Makarov, V., Bakhtizin, A., and Sushko, E. (2020), "Agent-based model as a tool for controlling environment of the region", *Journal of the New Economic Association*, vol. 45, no. 1, pp. 151—171.

10. Billari, F. C., and Prskawetz, A. (2003), *Agent-based computational demography: Using simulation to improve our understanding of demographic behaviour*, Springer Science & Business Media, Berlin, Germany.

11. Heiland, F. (2003), "The collapse of the Berlin Wall: Simulating state-level East to West German migration patterns", In *Agent-based computational demography: using simulation to improve our understanding of demographic behaviour*, pp. 73—96, Physica-Verlag HD, Heidelberg, Germany.

12. Pablo-Marti, F., Santos, J. L., and Kaszowska, J. (2015), "An agent-based model of population dynamics for the European regions", *Emergence: Complexity & Organization*, vol. 17, no. 2.

13. Groen, D. (2016), "Simulating refugee movements: Where would you go?", *Procedia Computer Science*, vol. 80, pp. 2251—2255.

14. Rozinat, A., Mans, R. S., Song, M., and van der Aalst, W. M. (2009), "Discovering simulation models", *Information systems*, vol. 34 (3), pp. 305—327.

15. Manakov A., Suvorkov P., and Stanaitis S. (2017), "Simulation of Migration and Forecast of Population in the Baltic Countries by the Year 2096", *Geography and Education: Science Almanac*, vol. 5, pp. 19—39. DOI: 10.15823/ge.2017.2

16. Simon, C., Skritek, B., and Veliov, V. M. (2013), "Optimal immigration age-patterns in populations of fixed size", *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, vol. 405, no. 1, pp. 71—89.

17. Zhang, W. B. (2013), *Synergetic economics: time and change in nonlinear economics* (Vol. 53), Springer Science & Business Media, Berlin, Germany.

18. Ivanov R.V. (2012), "Modeling the fluctuating component of land rent dynamics within the city", *Ekonomichnyi prostir*, vol. 60, pp. 152—158.

19. Bramouille, Y., & Saint-Paul, G. (2010), "Social networks and labor market transitions", *Labour economics*, vol. 17, no. 1, pp. 188—195.

20. Oglii V.V., and Zaslavskaya N.M. (2009), "Modeling the dynamics of labor market development in the presence of connections between employees", *Visnyk DNU*, Vol. 17, no. 10 (1), pp. 121—128.

21. State Statistics Service of Ukraine (2024), available at: <https://ukrstat.gov.ua> (Accessed 15 July 2024).

22. Zhang, Z. (1992), *Qualitative theory of differential equations* (Vol. 101), American Mathematical Soc., Providence, USA.

23. Maxfield, B. (2006), *Engineering with Mathcad: using Mathcad to create and organize your engineering calculations*, Elsevier, Amsterdam, Netherlands.

Стаття надійшла до редакції 25.07.2024 р.