Економіка

УДК 330.46

Васильцова Юлія Володимирівна
студентка
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОЦІНКА МІГРАЦІЙНИХ ПОТОКІВ МІЖ РЕГІОНАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАСОБІВ СИСТЕМНОЇ ДИНАМІКИ

Анотація. *Внутрішня міграція значною мірою впливає на чисельність населення, його вікову та статеву структуру, народжуваність та смертність, а також на розподіл трудових ресурсів між регіонами, а таким чином діє на основні економічні показники, рівень та умови життя населення. Це зумовлює актуальність вивчення механічного руху населення та важливість його прогнозування.*

На основі модифікаційної гравітаційної моделі міграції, що враховує влив соціально-економічних показників на внутрішню міграцію, було побудовано модель зміни чисельності населення для прогнозування міграційного процесу між регіонами. У статті були застосовані такі методи дослідження як регресійний та кореляційний аналіз, статистичні методи, використання інформаційних технологій.

Ключові слова: *міграційний потік, кореляційний аналіз, регресійний аналіз, моделювання, системна динаміка, прогнозування.*

Постановка проблеми. Демографічний стан регіонів та якісний і кількісний склад міграційних потоків між ними значним чином впливають на соціально-економічний стан суспільства та ефективність розвитку держави. Тому дуже важливим завданням державної політики є забезпечення кожного

жителя якісними умовами для життя та розвитку. Основною метою моделювання міграційного процесу є прогноз прибуття та вибуття населення, що дозволить досягти більшої ефективності в керуванні соціально-економічним розвитком регіону.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Є декілька найбільш поширених моделей, що використовуються для аналізу міграційних процесів, зокрема трудової міграції. Побудову регресійних рівнянь для дослідження міграційного процесу використовували вчені Єльдяєва [1], Волошин [2], Вакуленко, Мкртчян, Фурманов [3].

Іншою методологією є побудова агент-орієнтовної імітаційної моделі, що зображується в роботах Макарова, Бахтизіна, Бекларяна, Акопова, Ровенської, Стрілковського [4].

Для дослідження міжрегіонального міграційного процесу, Горелова та Мандель застосовували імітаційне моделювання, а саме такий його вид як когнітивне моделювання [5].

Використання факторних моделей зображено в роботах Антосика, Івашиної [6], Вакуленко [7], що використовують гравітаційну модель міграції, де аналізується зв'язок між міграційними рухами та економікою країни та виділяються основні фактори впливу на міграційний процес. Стоуфер, в якості альтернативи, використовував модель проміжних можливостей, що враховувала вплив показників регіонів, що знаходяться між пунктами прибуття та вибуття [8].

Балансові рівняння для прогнозування динаміки міграційних потоків використовували Единак, Коровкін [9].

Мета статті. Метою статті є моделювання міграційних потоків між регіонами з метою прогнозування міжрегіонального міграційного процесу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для аналізу міграційного процесу було обрано гравітаційну модель. Класична гравітаційна модель заснована на сформульованому Ньютоном законі всесвітнього тяжіння. У

випадку з механічним рухом населення, у якості сили гравітаційної взаємодії виступає міграційний потік між 2 регіонами, замість маси зазвичай використовується чисельність населення. Фактор, який послаблює дію гравітаційних сил – відстань. Базова гравітаційна модель міграції виглядає наступним чином:

$$M_{ij}=A\frac{P_i \cdot P_j}{D_{ij}^{2}}, \qquad (1)$$

де M_{ij} – сила міграційного тяжіння;

$P_i (P_j)$ – чисельність населення i (j) населеного пункту (регіону);

A – коефіцієнт відповідності;

D_{ij} – відстань між i і j населеними пунктами (регіонами).

Недоліком моделі (1) є статичність показників, бо міграція безпосередньо залежить від чисельності населення, яке постійно змінюється під впливом природного руху. Для отримання прогнозу, необхідно розробити динамічну модель, що описує і зміну населення в цілому.

Для вирішення цієї проблеми можна використати еконофізичну концепцію інформаційних взаємодій [11], яка описана Чернявським [12], і має вигляд (2).

$$\frac{du_i}{dt}=\frac{1}{t_i}u_i-\sum_{j=0}^{n} b_{i,j} \cdot u_j \cdot u_i - a_i . u_i^{2}+D_i \Delta u_j, \qquad (2)$$

де $u_i(u_j)$ – кількість носіїв i-ої $(j$-ої$)$ інформації;

t_i, a_i, $b_{i,j}$ – параметри моделі;

$D_i \Delta u_j$ – розподіл носіїв інформації у просторі.

Таким чином, можна провести аналогію між парними взаємодіями в природі та гравітаційними взаємодіями, що використовуються для опису міграційного процесу. Загальний вигляд моделі динаміки чисельності N пов'язаних територій має вигляд (3):

$$x'_i = \frac{d\,x_i}{dt} = f(x_i) - \sum_{j=1, i\neq j}^{N} m_{j,i} \cdot x_i + \sum_{j=1, i\neq j}^{N} m_{i,j} \cdot x_j, \qquad (3)$$

де $f(x_i)$ – функція локального відтворення, що являє собою приріст населення на i-й території за відсутності міграції;

$m_{j,i}$ $(m_{i,j})$ – доля мігрантів з i-го(j-го) регіону в j-й(i-й) регіон.

Другий та третій доданки системи (3) – описуються міграційні потоки прибуття та вибуття для i-ї території, що роблять свій вклад в приріст населення, а перший доданок являє собою функцію відтворення населення.

Для опису локальної динаміки можна скористатись моделлю Мальтуса, що має вигляд:

$$f(x) = k \cdot x. \qquad (4)$$

В (4) величина k – різниця між коефіцієнтами народжуваності та смертності, тому ця величина може бути як додатною, так і від'ємною.

В загальному випадку $m_{j,i}$ $(m_{i,j})$ можуть бути функціями, залежними від багатьох факторів. Для комплексного аналізу міграційного процесу краще використовувати модифіковану гравітаційну модель міграції, тому що вона враховує інші фактори [9]. У загальному вигляді модель можна представити за допомогою формули (5).

$$M_{ij} = A \frac{P_i^{\alpha} \cdot P_j^{\beta} \cdot \Sigma_{i=1}^{N} X_i^{\mu} \Sigma_{j=1}^{M} X_j^{\sigma}}{D_{ij}^{\gamma}}, \qquad (5)$$

де M_{ij} – сила міграційного притягування;

P_i (P_j) – чисельність населення i (j) населеного пункту (регіону);

X_i (X_j) – фактори i-го (j-го) населеного пункту (регіону);

A – коефіцієнт відповідності;

D_{ij} – відстань між i і j населеними пунктами (регіонами);

$\alpha, \beta, \gamma, \mu, \sigma$ – деякі константи.

Оцінки параметрів $\alpha, \beta, \gamma, \mu, \sigma$ отримуються шляхом логарифмування правої та лівої частини рівняння (5) і побудови регресійного рівняння,

використовуючи статистичні дані по факторам моделі. Таким чином, з (2.6) отримаємо:

$$ln(M_{ij}) = lnA + \alpha \cdot lnP_i + \beta \cdot lnP_j + \sum_{i=1}^{N} \mu_i \cdot ln(X_i) + \sum_{i=1}^{N} \sigma_i \cdot ln(X_j) - \gamma \cdot lnD_{ij}. \quad (6)$$

Для оцінки факторів впливу на міжрегіональні міграційні потоки необхідно мати статистичну інформацію про чисельний склад потоків між областями. Кількість мігрантів, що прибули з регіону i в регіон j можна розрахувати за формулою (7):

$$m_{ij} = \frac{a_{ij} \cdot x_i \cdot x_j}{r_{ij}^2}. \quad (7)$$

Потоки вибуття і прибуття для кожного окремого взятого населеного пункту можна представити у вигляді суми міграційних потоків між регіонами. Отже, для розрахунку сумарного потоку прибуття для і-го регіону скористаємось формулою (9).

$$A_i = \sum m_{ji} = \sum \frac{a_{ij} x_i \cdot x_j}{r_{ij}^2}, \quad (8)$$

$$i,j=1,2,\ldots N,$$

де A_i – кількість прибулих в i-й населений пункт;

N – кількість населених пунктів.

Виконаємо заміну: $\frac{a_{ji}}{r_{ji}^2} = k_{ji}$, та отримаємо наступні формули для розрахунку потоку прибуття та вибуття:

$$A_i = \sum m_{ji} = \sum k_{ij} x_i \cdot x_j, \quad (9)$$

$$i,j=1,2,\ldots N.$$

Врахуємо той факт, що міграційні потоки прибутті і вибуття симетричні, тобто потік прибулих з i-го регіону в j-й регіон буде дорівнювати потокові вибуття з j -го регіону в i-й регіон. Тобто, має місце рівність: $k_{i,j} = k_{j,i}$.

Тоді розрахунок кількісного виразу міграційних потоків між кожною парою регіонів зводиться до розв'язання системи (10).

$$\begin{cases} D_i = \sum m_{ji} = \sum k_{ji} x_i \cdot x_j, \\ A_i = \sum m_{ji} = \sum k_{ij} x_i \cdot x_j, \\ i, j = 1,2, \dots N, \end{cases} \quad (10)$$

де D_i – кількість вибулих з i-го населеного пункту.

Для більш зручного розрахунку міжрегіональних міграційних потоків згрупуємо області. При аналізі не враховуються тимчасово непідконтрольні регіони (Донецька, Луганська області та АР Крим).

Основою для об'єднання регіонів слугувало їх близьке територіальне розміщення, схожі демографічні тенденції, подібний рівень життя та соціально-економічного розвитку. Таким чином, було сформовано 11 груп, склад яких відображений у табл. 1.

Таблиця 1

Склад груп областей

№ групи	Області, що входять до складу
1	Вінницька, Житомирська, Хмельницька
2	Волинська, Рівненська, Тернопільська
3	Дніпропетровська, Запорізька
4	Івано-Франківська, Чернівецька, Закарпатська
5	Київська
6	Кіровоградська, Черкаська
7	Миколаївська, Херсонська
8	Сумська, Полтавська, Чернігівська
9	Львівська
10	Одеська
11	Харківська

Не для всіх областей, що входять до складу груп є характерною повна однорідність демографічних показників та рівня соціально-економічному розвитку, але загальні демографічні тенденції зберігаються.

Використовуючи статистичні дані за 11 років, знайдемо коефіцієнти системи (12) за допомогою програмного забезпечення Mathcad. Враховуючи, що система рівнянь є недовизначеною (кількість рівнянь менша за кількість змінних), для розв'язання скористаємося 4 способами:

1) методом найменших квадратів у матричному вигляді за допомогою формули: $X = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T * Y$;

2) за допомогою вбудованої функції *lsolve*, що використовується для розв'язання лінійних рівнянь;

3) використовуючи функцію *minerr*, що дозволяє отримати наближене значення коренів рівнянь. Її недоліком є використання вектору початкових наближень для розв'язку системи;

4) методом найменших квадратів в загальному вигляді.

Таблиця 2

Похибки при знаходженні коренів системи рівнянь при використанні різних методів

Рік	Значення похибки			
	1 спосіб	2 спосіб	3 спосіб	4 спосіб
2008	$3{,}32 \cdot 10^{33}$	0,348	0,348	1,183
2009	82,097	0,092	0,092	0,526
2010	$8{,}04 \cdot 10^{34}$	0,033	0,033	0,483
2011	105,999	0,3	0,3	3,128
2012	37,887	0,047	0,047	1,205
2013	$2{,}72 \cdot 10^{33}$	0,067	0,067	1,618
2014	$1{,}48 \cdot 10^{32}$	0,66	0,66	2,2
2015	$1{,}516 \cdot 10^{3}$	0,205	0,205	1,471
2016	240,811	03903	03903	2,101
2017	$1{,}669 \cdot 10^{3}$	4,6740	4,6740	26,417
2018	65,709	0,391	0,391	9,232

В результаті обчислень, внаслідок використання функцій *minerr* були отримані найменші значення похибки, які були використані для розрахунку міграційних потоків між регіонами.

Після збору даних по факторам для кожної групи були розраховані агреговані значення по кожному показнику та проведений кореляційний аналіз. На основі проведеного дослідження було відібрано 10 факторів, зумовлюють позначення в моделі, що відображені у табл. 3.

Таблиця 3

Позначення показників, що використовуються при реалізації моделі

Позначення в моделі	Пояснення позначення
x_i	Населення *i*-ї групи
$housing_i$	Житловий фонд *i*-ї групи
CPI_i	Індекс споживчих цін *i*-ї групи
$dens_i$	Щільність населення *i*-ї групи
$urban_i$	Частка міського населення *i*-ї групи
Позначення в моделі	Пояснення позначення
$male_i$	Відношення чоловіків до жінок *i*-ї групи
dem_i	Рівень демографічного навантаження для *i*-ї групи
$employ_i$	Рівень зайнятості *i*-ї групи
$income_i$	Середньодушові доходи населення *i*-ї групи
min_i	Частка населення з середньодушовими доходами нижче прожиткового мінімуму для *i*-ї групи
com_i	Кількість малих підприємств на 1000 осіб населення для *i*-ї групи
m_{ij}	Міграційний потік між *i*-ю та *j*-ю групою

Для міграційних потоків кожної групи регіонів були побудовані регресійні рівняння, використавши дані по факторам за 10 років. Для побудови рівнянь скористаємось формулою (7). За допомогою програмного забезпечення Mathcad були розраховані оцінки, використавши метод найменших квадратів та було побудовано регресійні моделі для потоків прибуття кожної групи. Для кожної з побудованих залежностей значення відхилення було наближеним до 0, що свідчить про високу точність оцінок факторів моделі.

Для оцінки коефіцієнту *k* з формули для кожної групи був розрахований середньозважений показник різниці коефіцієнтів народжуваності та смертності, використовуючи дані за 11 років у табл. 4.

Таблиця 4

Розраховані значення коефіцієнту *k* для кожної групи

№ групи	Значення коефіцієнту
1	-0,005581234
2	-0,000940817
3	-0,00606238

4	-0,000338036
5	-0,005288996
6	-0,00729316
7	-0,004846597
8	-0,008790152
9	-0,001895446
10	-0,003031273
11	-0,006061528

Згідно отриманих значень коефіцієнту, можна зробити висновок, що найменше за рахунок природного руху населення зменшується чисельність населення 2 та 4 груп, найбільше – 8 групи.

Отже, оцінивши всі параметри та зібравши статистичні дані, можна перейти до програмної реалізації моделі динаміки чисельності населення з урахуванням впливу міграційного процесу.

Модель була реалізована за допомогою інструментів системної динаміки в програмному середовищі Anylogic за допомогою потокових процесів та різницевих рівнянь системної динаміки. Математично моделі системної динаміки представляють собою системи диференціальних рівнянь, які називають рівняннями стану.

Основні поняття системної динаміки – «фонд» і «потік», які також є центральними елементами системно-динамічних діаграм. Фонд в системній динаміці використовується для представлення таких об'єктів реального світу, в яких зосереджуються певні ресурси. Їх значення змінюються з плином часу відповідно до існуючих в системі потоків. Іншим важливим елементом є потік, який, як правило, обмежується фондом. На значення потоку можна впливати, тобто збільшувати або зменшувати його інтенсивність за допомогою алгебраїчних виразів. Для реалізації моделі в якості потоків були використані міграційні потоки між групами регіонів, що розраховуються за рівнянням регресії.

Схематично модель міграційного процесу можна зобразити у вигляді сукупності фондів, сполучених між собою міграційними потоками, направленими у різному напрямку.

Для опису поведінки системи використовуються не тільки фонди та потоки, але й змінні і параметри. Змінна (як правило динамічна) зазвичай використовується для показників, що характеризують мінливий стан моделі, і її значення може змінюватись під час моделювання. Параметр використовується для статичних характеристик моделі і зазвичай зберігає одне й те сама значення протягом усього прогону моделі.

Тобто змінні будемо використовувати для компонентів, значення яких залежить від інших показників, а параметри для позначення констант.

В нашій моделі в якості параметрів виступають значення середньозваженого коефіцієнту, що характеризує народжуваність та смертність, а також оцінки параметрів регресійних рівнянь. Динамічні змінні використовуватимемо для відображення значення факторів впливу на міграційний процес.

Всі змінні, параметри та потоки, що використовуються у розрахунку з'єднуються відповідно зв'язками. Зв'язок використовується для задання залежності між елементами діаграми потоків та фондів. Якщо якийсь елемент системної динаміки (фонд, потік, динамічна змінна або параметр) згадується у формулі потоку або змінної, то такий зв'язок відображається прямою лінією.

Таким чином, в середовищі ***Anylogic*** була побудована модель системної динаміки, що відображає всю сукупність взаємозв'язків математичної моделі. Зовнішній вигляд діаграми станів відображений на рис. 1.

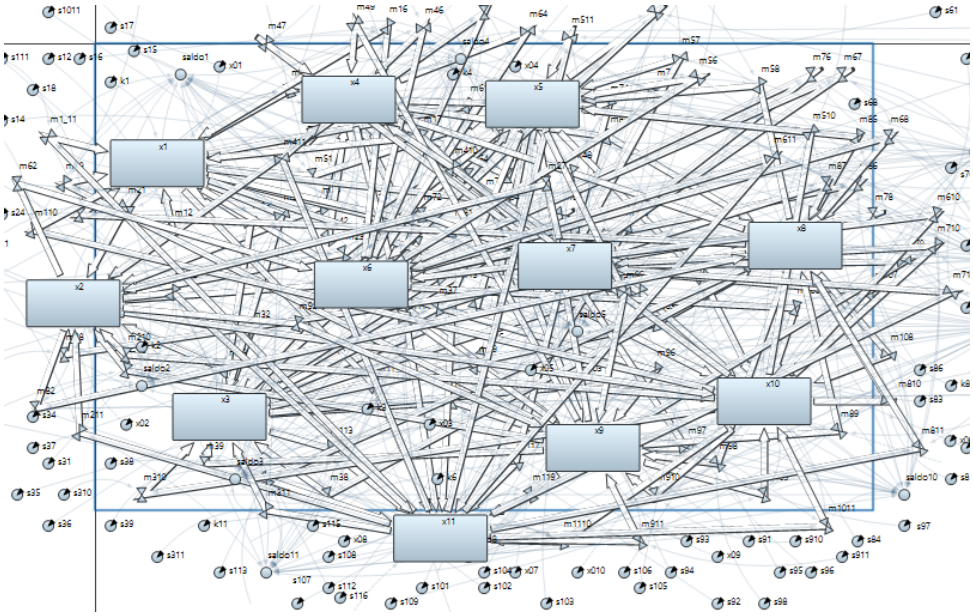

Рис. 1. Зовнішній вигляд імітаційної моделі в Anylogic

Після запуску моделі були отримані значення чисельності населення та міграційного сальдо для кожного регіону за 2020 рік та 2021 рік. При порівнянні отриманих результатів за 2020 рік похибка була несуттєва, що свідчить про відповідність моделі реальному стану. Результати моделювання представлені на табл. 5.

Таблиця 5

Результати запуску імітаційної моделі і прогнозу чисельності населення кожної групи на 2020-2021 рр.

№ групи	Розрахована чисельність населення за 2020 рік	Розрахована чисельність населення за 2021 рік	Фактична чисельність населення за 2020 рік	Похибка обчислень (для 2020 року)
1	4057012,90	4032707,67	4045292,00	0,0029
2	3235573,75	3219860,43	3238510,00	0,0009
3	4924558,59	4894959,21	4912313,00	0,0025
4	3541735,92	3541104,51	3534428,00	0,0021
5	1756170,07	1758000,31	1767940,00	0,0067
6	2158652,29	2140845,41	2151900,00	0,0031
7	2174191,97	2160182,35	2168736,00	0,0025
8	3495616,28	3463337,92	3487602,00	0,0023
9	2525734,47	2521855,96	2522021,00	0,0015
10	2379268,67	2375446,00	2380308,00	0,0004
11	2683357,52	2672715,32	2675598,00	0,0029

Внаслідок отриманих результатів можна зробити висновок про стабільне зменшення чисельності населення для кожної групи. Результати по міграційному сальдо представлені на табл. 6.

Таблиця 6

Результати запуску імітаційної моделі і прогнозу міграційного сальдо для кожної групи на 2020-20201 рр.

№ групи	Розраховане сальдо за 2020 рік	Розраховане сальдо за 2021 рік	Фактичне сальдо за 2020 рік	Похибка обчислень (для 2020 року)
1	-4730,86	-4728,92	-5939,00	0,2
2	-2733,41	-2619,94	-2850,00	0,04
3	278,78	252,22	380,00	0,27
4	673,45	658,00	866,00	0,22
5	21146,47	21100,42	27142,00	0,22
6	-4140,10	-4116,83	-4762,00	0,13
7	-3523,70	-3488,62	-4486,00	0,21
8	-3140,10	-3687,63	-3915,00	0,2
9	1895,80	1899,10	2066,00	0,08
10	6397,66	6369,87	7696,00	0,17
11	5619,33	5562,35	4534,00	0,24

Відхилення прогнозованих значень від фактичних за 2020 рік незначне, отже модель можна вважати продуктивною і використовувати для подальшого моделювання міграційного процесу між групами регіонів. На рис. 9 представлений графік залежності міграційного сальдо від часу для кожної групи, побудований після запуску імітаційної моделі.

Висновки. В статті було проведено дослідження міграційних потоків між регіонами України, об'єднаними в 11 груп. Для моделювання міграційних потоків була використана модифікована гравітаційна модель динаміки. При оцінці міграційних потоків був врахований вплив на них демографічних та економічних факторів. Для моделювання регіональних потоків було вибрано системну динаміку. Модель була реалізована в програмному середовищі AnyLogic.

В ході моделювання було прогнозовано чисельність населення регіонів та міграційне сальдо між групами регіонів. Взявши за початкові значення показників фактичні значення за 2019 рік було виконано прогноз на 2020 та 2021 роки. Отриману модель можна використовувати при прогнозуванні чисельності населення під дією внутрішніх міграційних рухів, враховуючи вплив на них економічних факторів.

Література

1. Ельдяеева Н. А. Многомерный анализ влияния миграции на социально-экономическую жизнь регионов / Н. А. Єльдяєва, Є. С. Кованова // Економіка, Статистика та Інформатика. 2013. №6.
2. Волошин Г.В. Проблеми моделювання міграційного приросту населення країн-членів ЄС // Ефективна економіка. 2011. № 8.
3. Вакуленко Е.С., Мкртчян Н.В., Фурманов К.К. Опыт моделирования миграционных потоков на уровне регионов и муниципальных образований в РФ // Высшая школа экономики. 2010. С. 431-450.
4. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С., Ровенская Е.А., Стрелковский Н.В. Укрупненная агент-ориентированная имитационная модель миграционных потоков Европейского союза // Экономика и математические методы. 2019. №1. С. 3-15.
5. Математические методы в экономике / Г.В. Горелова, М.В. Мандель. Имитационное моделирование как инструмент исследования регионального рынка труда // Математические методы в экономике. 2012. С. 230-240.
6. Антосик Л.В., Ивашина Н.В. Моделирование пространственной зависимости миграционных потоков выпускников вузов РФ // Прикладная эконометрика. 2019. №54. С. 70-89.
7. Вакуленко Е.С. Миграционные процессы в городах России: економетричний анализ // Прикладная эконометрика, 2012. №1. С. 25-50.

8. Stouffer S.A. Intervening Opportunities: A Theory Relating Mobility and Distance [Електронний ресурс] / S.A. Stouffer // The American Sociological Review. 1940. № 6. URL: https://www.jstor.org/stable/2084520?seq=1
9. Единак Е.А., Коровкин А.Г. Построение баланса территориального движения занятого населения // Труд и занятость. №13. 2012. С. 72-85.
10. Хавинсон М.Ю, Кулаков М.П. Концепция динамической гравитационной модели миграции населения // Региональные проблемы. 2016. №4. С. 12-19.
11. Чернавський Д.С. Синергетика и информация: Динамическая теория информации. М.: СРСР. 2016. С. 304.