

## СЕКЦІЯ 9 МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 330.43

**Берегова Г.І.***кандидат фізико-математичних наук,  
доцент кафедри економіки та інформаційних технологій  
Львівського інституту «Університету банківської справи»***Козицький В.А.***кандидат фізико-математичних наук,  
доцент кафедри математичної економіки та економетрії  
Львівського національного університету імені Івана Франка*

### ПРОБЛЕМИ МІГРАЦІЇ: МОДЕЛЬ СИСТЕМНОЇ ДИНАМІКИ

У статті досліджено структурні взаємозв'язків між макроекономічними показниками ринку праці України, які формують міграційні потоки в різних напрямках. Розроблено імітаційну модель системної динаміки, що враховує причинно-наслідкові зворотні циклічні зв'язки між міграцією та низкою чинників. Зокрема, обґрунтовано вагомість впливу відмінностей між середньою заробітною платою, рівнем безробіття, рівнем життя, ВВП на особу в Україні та за кордоном.

**Ключові слова:** міграція; системна динаміка; модель; безробіття; заробітна плата.

#### **Береговая Г.И., Козицкий В.А. ПРОБЛЕМЫ МИГРАЦИИ: МОДЕЛЬ СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ**

В статье исследованы структурные взаимосвязи между макроэкономическими показателями рынка труда Украины, которые формируют миграционные потоки в различных направлениях. Разработана имитационная модель системной динамики, учитывающая причинно-следственные обратные циклические связи между миграцией и рядом факторов. В частности, обоснована значимость влияния различий между средней заработной платой, уровнем безработицы, уровнем жизни, ВВП на человека в Украине и за рубежом.

**Ключевые слова:** миграция; системная динамика; модель; безработицы; заработная плата.

#### **Beregova G.I., Kozitskyi V.A. MIGRATION PROBLEMS: THE SYSTEM DYNAMICS MODEL**

The article investigates the structural relationships between macroeconomic indicators of the Ukrainian labor market that form migration flows in different directions. The model of system dynamics has been developed. The simulation modeling take into account causal and inverse cyclic relationships between migration and a number of factors. In particular, the importance of the influences in the differences between the average wages, the levels of unemployment, living standards, GDP per capita in Ukraine and abroad has been substantiated.

**Keywords:** migration; system dynamics; model; unemployment; salary.

**Постановка проблеми.** Впродовж останніх десятиліть в Україні відбувається значне скорочення загальної кількості населення, що спричинено низкою факторів. Погіршення загальної макроекономічної ситуації призводить до загострення протиріч у соціально-трудої сфері, посилення яких зумовлено відсутністю дієвих структурних змін у зайнятості [1], звуженням можливостей працевлаштування, неповним використанням зайнятої робочої сили [2], зниженням реальних доходів від зайнятості. Економічні та демографічні відмінності в різних країнах впливають на форму мобільності робочої сили та напрями міграції. На сучасному етапі глобалізації посилення міграційних динамічних процесів спостерігається не тільки в Україні, але й в усьому світі. Зокрема, багаті суспільства в Європі відчувають швидке старіння населення, що зумовлює погіршення та скорочення їх внутрішнього трудового потенціалу. Брак робочої сили, особливо в сегменті низькокваліфікованого ринку праці, швидко збільшується. Крім того, статистичні дослідження засвідчують, що ефект старіння населення продовжуватиме зростати. Тому значна кількість країн намагаються подолати дефіцит робочої сили та послабити проблеми старіння суспільства

за допомогою використання міграційних ресурсів, зокрема зовнішньої мобільності робочої сили. Україна також характеризується значними проблемами щодо старіння населення та характеризується високим відсотком населення старшого віку (рис. 1). Водночас унаслідок низького рівня життя значна частина молодого населення стає трудовими емігрантами, що лише посилює негативні тенденції на вітчизняному ринку праці.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблемам ринку праці та міграції зокрема присвячують свої праці відомі українські та зарубіжні науковці. Вчені виявляють наявні проблеми нестабільності функціонування ринку праці [3], диспропорції у постійних коливаннях попиту та пропозиції [4], обґрунтовують наявність демографічних, інформаційних, структурних і ринкових диспропорцій у соціально-трудоїх відносинах [5; 6; 7], відзначають загрози відпливу висококваліфікованих кадрів за кордон та нелегальної трудової міграції. Науковці підтверджують, що дисбаланс між освітою робочої сили та потребами ринку праці в Україні приводить до неузгодженості та невідповідності між рівнем кваліфікації працівників і робочими місцями, які вони займають, до погіршення кількісної та якісної структури ринку

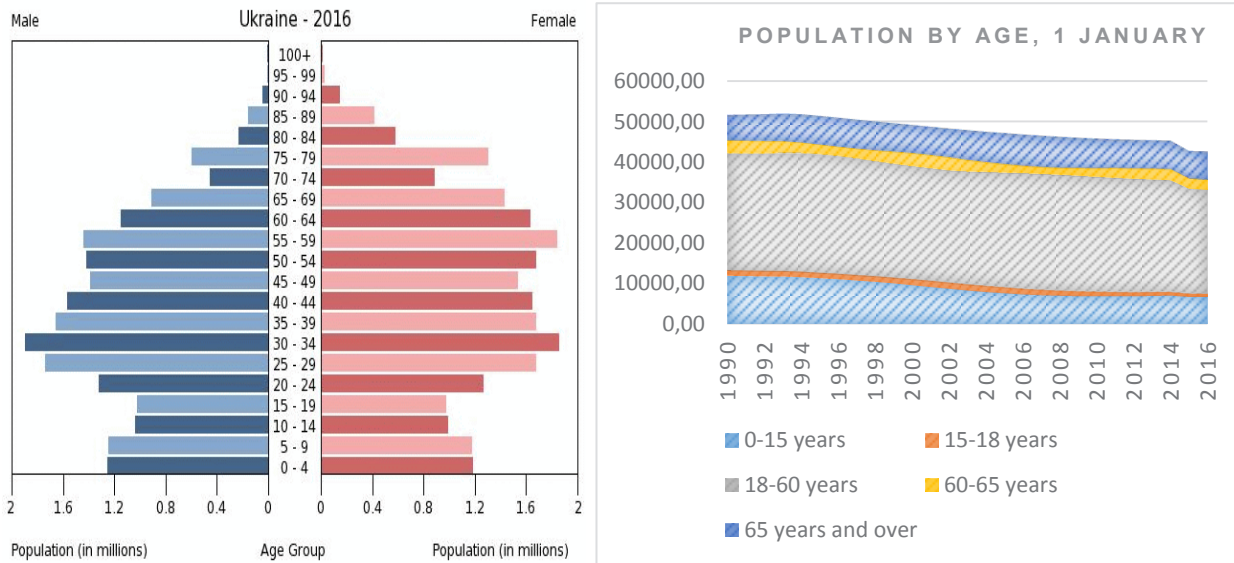


Рис. 1. Динаміка кількості населення України за віковими групами

Джерело: оцінки авторів (на підставі даних Державної служби статистики України)

праці [8]. Вивчаючи вплив на реальну економіку та зайнятість населення глобалізаційних та інтеграційних процесів, що відбуваються у фінансовому секторі [9; 10], дослідники визначають переваги та недоліки їх впливу, аналізують напрями та інтенсивність впливу процесів регіональної економічної інтеграції на зайнятість і доходи населення, визначають залежність інтеграційних ефектів у сфері зайнятості від рівня економічного розвитку країни та її галузевої спеціалізації [11].

Водночас недостатньо дослідженими залишаються проблеми та моделювання міграційних динамічних процесів, їх вплив на процеси українському ринку праці на підставі застосування системних підходів, поєднання засобів статистики, економічної теорії та математики, що дають змогу описати довгострокову динаміку і короткострокові коливання змінних.

**Постановка завдання.** Метою статті є системне дослідження чинників міграції робочої сили та розроблення моделі системної динаміки, що дасть змогу описати динаміку та структуру міграційних процесів, які характеризують національний ринок праці.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Основою емпіричного моделювання взаємозв'язків між чинниками еміграції слугуватиме певна модифікація макроекономічної економіко-математичної моделі еміграції. Емпірична модель враховує основні макроекономічні показники трудової сфери, зокрема середню заробітну плату, рівень безробіття, ВВП на душу населення. Ряди даних цих показників названі відповідно: ряд еміграції – *emigr*, середня заробітна плата – *avr\_wage*, рівень безробіття – *unempl\_r*, ВВП на душу населення – *gdp\_p\_c*. Тобто розглядатимемо явище еміграції як функцію від цих чинників  $emigr = f(avr\_wage, unempl\_r, gdp\_p\_c)$ . Моделювання базовано на статистичних даних з 1996 року по 2016 рік.

Для емпіричного моделювання проблем міграції використано підхід системної динаміки [12]. Системна динаміка як метод стратегічного моделювання поведінки на основі теорії систем зворот-

ного зв'язку використовує емпіричні підходи до діагностики, кількісного оцінювання та дослідження процесів, що описують динаміку соціальних, технічних, природних і біологічних систем. Методи системної динаміки знайшли широке застосування у вивченні процесів організаційних перетворень, управління проектами та вдосконалення процесів в макроекономіці, дослідженні економічних циклів, змін клімату, епідеміології, еволюції екосистем, організації систем охорони здоров'я та медичних дослідженнях.

Аналітичний інструментарій системної динаміки охоплює методи оцінювання динамічних моделей, методи оптимізації та динамічного програмування, методи прийняття рішень та базується на ідеях формалізації структурних взаємозв'язків між змінними, що описують запаси та потоки в системі. Підхід системної динаміки характеризується акцентом на ендогенності пояснення динамічних явищ. Динаміка пояснюється як та, яка виникає насамперед внаслідок взаємодій між елементами та суб'єктами в системі в окреслених дослідником межах моделі, а не внаслідок екзогенних впливів. Водночас модель описує причинно-наслідкові зв'язки реалістично, базуючи кількісні висновки на наявних статистичних даних.

Математично основна структура моделі системної динаміки визначається системою нелінійних диференціальних (або інтегральних) рівнянь першого порядку

$$\frac{d}{dt} x(t) = f(x, p), \quad (1)$$

де  $x$  характеризує вектор рівнів (запасів),  $p$  є набором параметрів, а  $f$  – нелінійна вектор-функція. Кількісні результати отримано на підставі розбиття часового періоду, для якого проводиться моделювання, на дискретні інтервали довжиною  $dt$ . Значення змінних у кожному періоді обчислено на підставі попередніх значень та швидкостей зміни  $x'(t)$ :

$$x(t) = x(t - dt) + x'(t - dt) * dt. \quad (2)$$

Завданням моделювання є пояснення поведінки складної системи з плином часу. Закономірні у поведінці системи визначаються її структурою, розуміння якої є важливим для розроблення та реалізації ефективної політики.

Статистичні спостереження міграційних процесів засвідчують, що тенденції трудової міграції в Україні не є позитивними. Незважаючи на труднощі, з якими стикаються працівники-мігранти в період економічної кризи в приймаючих країнах, масове повернення додому не спостерігається, що пояснюється тим, що ситуація в приймаючих країнах є більш сприятливою, ніж в Україні.

Основними рушійними факторами міграції для українських трудових мігрантів є поліпшенням їхнього життя та перспектива підвищення заробітної плати. Однак дохід не є єдиним чинником мотивації для міграції; процес прийняття рішення включає в себе також і соціальні переваги та культурні цінності. Тому модель системної динаміки охоплюватиме фактори, що враховують різницю в середній заробітній платі, різницю у вартості життя, різницю в рівні безробіття, різницю обсягу ВВП на душу населення.

На основі теоретичних міркувань та принципів системної динаміки визначено базову структуру моделі, яка враховує зворотні зв'язки. Причинно-наслідкову схему моделі зображено на рис. 1.

Підхід системної динаміки передбачає перевірку та обґрунтування вибору теоретичних гіпотез на підставі реальних даних. Побудова імітаційної моделі системної динаміки є основою на стадії тестування, перевірки та подальшого прогнозування. Моделювання на підставі системно-динамічного підходу дає змогу пояснити структурні чинники міграційних тенденцій, прокладає шлях для сценарного вивчення варіантів політики, які можуть сприяти регулюванню проблеми.

В основу математичної моделі покладено модель популяції, яка враховує імміграційний потік *Immigration* та еміграційний потік *Emigration*. Крім того, кількість населення *Population* як запас визначається вхідним потоком *Birth* і вихідним потоком *Death*.

STOCKS:

$$d \text{ Emigrants } (t) / dt = ( \text{ Emigration } (t) - \text{ Emigrants\_Return } (t) )$$

$$\text{INIT Emigrants} = \text{DATA\_emigrants}$$

UNITS: persons

$$\text{Population } (t) = \text{Population } (t - dt) + ( \text{ Immigration}(t) + \text{ Birth}(t) + \text{ Emigrants\_return}(t) - \text{ Emigration}(t) - \text{ Death } (t) ) * dt$$

$$\text{INIT population} = \text{DATA\_population}$$

UNITS: persons

INFLOWS:

$$\text{Emigration} = \text{Fraction\_of\_emigration} * \text{Population}$$

UNITS: persons/years

$$\text{Immigration} = \text{Population} * \text{Fraction\_immigration\_rate}$$

UNITS: persons/years

$$\text{Birth} = \text{Birth\_rate} * \text{Population}$$

UNITS: persons/years

$$\text{Emigrants\_return} = \text{Emigrants} * \text{Percentage\_of\_return}$$

UNITS: persons/years

OUTFLOWS:

$$\text{Emigrants\_return} = \text{Emigrants} * \text{Percentage\_of\_return}$$

UNITS: persons/years

$$\text{Emigration} = \text{Fraction\_of\_emigration} * \text{Population}$$

UNITS: persons/years

$$\text{Death} = \text{Death\_rate} * \text{Population}$$

UNITS: persons/years

Статистичною базою для моделювання слугували дані Державної служби статистики України та усереднені дані для країн, які в основному вибирають українці для трудової міграції, а саме Польщі, Росії, Чехії, Іспанії та Італії. Вплив ефектів на еміграцію враховано через конвектер *Fraction of emigration*. Також враховано вплив ефектів на повернення українців із-за кордону.

Причини, які спонукають людей до еміграції, враховано в моделі за допомогою низки ефектів: *Effect of wage difference on emigration*, *Effect of the difference in GDP per capita on emigration*, *Effect of the difference in the unemployment rate on emigration*, *Effect of the average cost of living on emigration*.

Змінна *Effect of wage difference on emigration* (рис. 2)

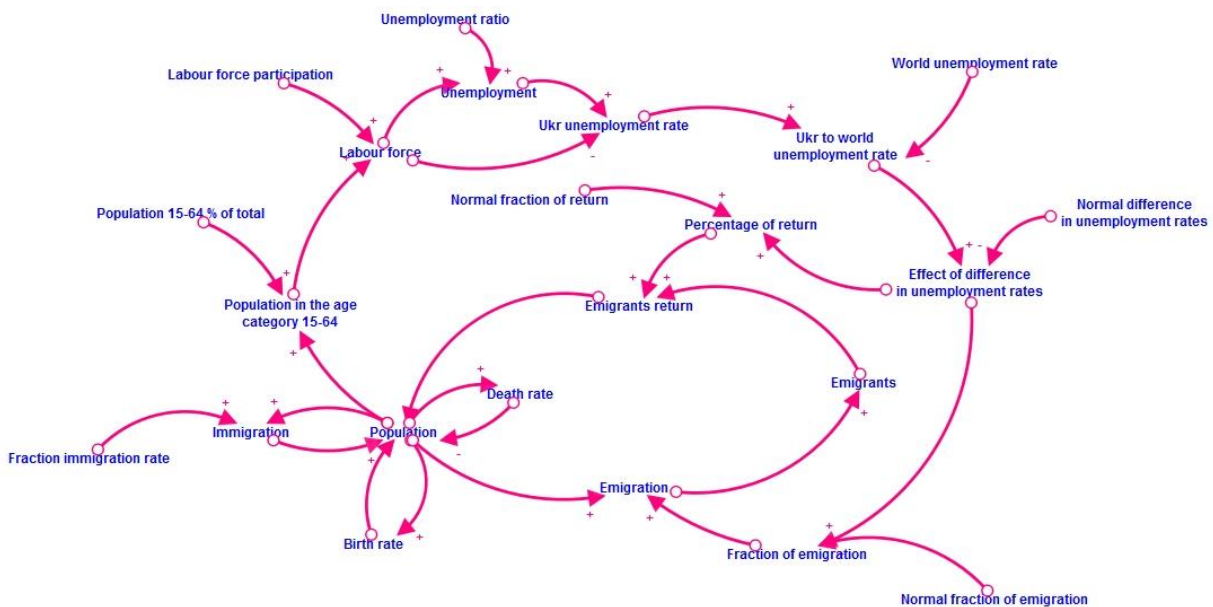


Рис. 1. Діаграма причинно-наслідкових зв'язків моделі системної динаміки

Джерело: розроблено авторами

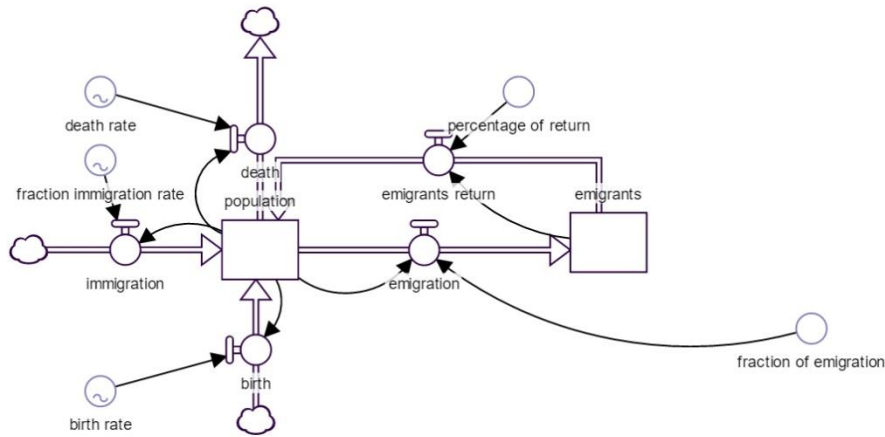


Рис. 2. Базова структура моделі системної динаміки

Джерело: розроблено авторами.

визначається як відношення між *Ukraine to world wage* і *Normal difference in wage*. Водночас *Ukraine to world wage* характеризує відношення *Ukraine's average wage* і *World wage*, а *Ukraine's average wage* – відношення між *Nominal wage* і *Employment*. *Nominal wage* – це добуток *GDP* і *Labor income share*.

Ще один ефект *Effect of difference in the unemployment rate* (рис. 3) визначено як співвідношення між *Ukraine to world unemployment rate* і *Normal difference in the unemployment rate*. Змінну *Ukraine to World unemployment rate* обчислено як відношення між *Unemployment rate* в Україні і в світі. Рівень безробіття *Ukraine's unemployment rate* – це відношення кількості безробітних *Unemployment* до кількості робочої сили *Labor force*. Робоча сила *Labor force* визначена як добуток кількості економічно активного населення (у віці від 15 років до 65) і коефіцієнта участі в робочій силі *Labor force participation*.

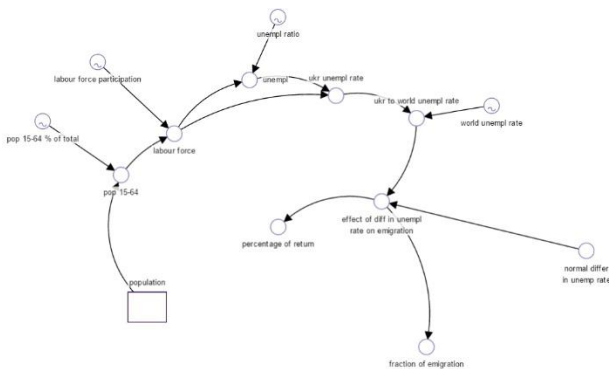


Рис. 3. Ефект різниці у рівнях безробіття на еміграцію

Джерело: розроблено авторами

Модель також враховує *Effect of difference in GDP per capita on emigration* (рис. 4), що визначається як відношення між середнім ВВП на душу населення у світі *World to Ukraine GDP per capita* і *Normal difference in GDP per capita*. Змінна *World to Ukraine GDP per capita* характеризує відношення між *GDP per capita in the world* і в Україні. *Ukraine's GDP per capita* визначається як відношення *GDP* до *Population*.

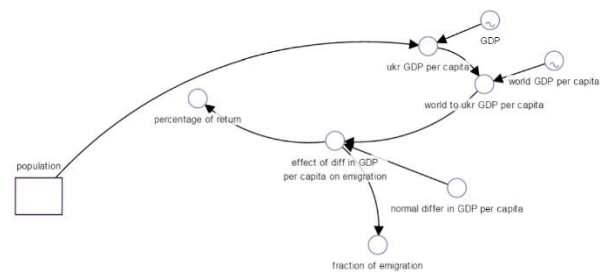


Рис. 4. Ефект різниці у рівні ВВП на душу населення на еміграцію

Джерело: розроблено авторами

Також розглянуто *Effect of the average cost of living on emigration*, що обчислюється як відношення між *Ukraine to world-price wage ratio* і *Normal difference in average cost of living*. Змінну *Ukraine to world price-wage ratio* отримано внаслідок ділення *Ukraine to world price ratio* на *Ukraine to world wage*. Загальну схему моделі, яка враховує зазначені ефекти впливу, подано на рис. 5.

Тестування побудованої моделі базовано на кількісних оцінках здатності моделі відтворити поведінку системи, а також широкому спектрі діагностичних тестів. Зокрема, у процесі дослідження було проведено оцінювання адекватності структури моделі, протестовано поведінку системи за екстремальних умов, перевірено модель на здатність до відтворення поведінки основних індикаторів, досліджено вплив випадкових збурень, проведено аналіз чутливості моделі до зміни її параметрів.

**Висновки.** Ринок праці залежать від багатьох внутрішніх і зовнішніх факторів, може спостерігатися або як окрема складна система із змінною структурою, або як підсистема більш складної системи з нечітко визначеними структурами в динаміці. Складність його функціонування стимулює дослідження адекватних математичних інструментів, базованих на принципах системної динаміки, зокрема макромоделей ринку праці різних рівнів складності, реалізація яких дасть змогу побудувати та вивчити сценарії соціально-економічного розвитку в різних поєднаннях інструментів регулювання ринку праці. Розроблена модель системної динаміки дає змогу провести



