



DOI 10.28925/2663-4023.2025.31.1039

УДК 004.942+519.816

Пашко Анатолій Олексійович

доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри теоретичної кібернетики

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ORCID: 0000-0001-6944-8477

aapashko@gmail.com

Дякон Дмитро Валерійович

аспірант

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Київ, Україна

ORCID: 0000-0001-6826-7455

dmitro.dyakon@gmail.com

**ЗАСТОСУВАННЯ ЛАНЦЮГІВ МАРКОВА ДЛЯ РОЗРОБЛЕННЯ СЦЕНАРІЇВ
РОЗВИТКУ ЛОКАЛЬНИХ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ**

Анотація. В статті представлена методика використання ланцюгів Маркова для побудови сценаріїв розвитку локальних соціально-економічних систем в умовах невизначеності. Соціально-економічні системи, маючи власну динаміку, можуть перебувати в різних станах, основними з яких є сталий розвиток, стабільність, наявність ризику, спад та відновлення. При побудові сценаріїв розвитку локальних соціально-економічних систем, як правило, використовують SWOT, PEST аналіз, експертне оцінювання. А з варіантів сценаріїв – реалістичний оптимістичний та песимістичний. Однак, в умовах стрімкої зміни економічної ситуації, структурних реформ, військової агресії, методи, які транслюють ретроспективу на майбутнє стають не придатними. Використання ланцюгів Маркова при побудові сценаріїв дозволяє особі, що приймає рішення спроектувати різні варіанти розвитку подій, спираючись на чіткі припущення щодо зовнішнього оточення, внутрішньої структури та темпів її розбудови, дослідити поведінку системи за декілька кроків. Запропоновану методику застосовано для побудови сценарію розвитку територіальної громади, провідною галуззю економіки якої є сільське господарство. Ключовими критеріями є показники ефективності сільськогосподарського виробництва. Застосування ланцюгів Маркова при побудові сценаріїв дозволило розробити обґрунтовані сценарії сталого розвитку територіальної громади за різної виробничої спеціалізації та диверсифікації виробництва та екологічного навантаження. В роботі запропоновано вибір функцій на основі експертного опитування. Ключовим аспектом методики є побудова матриці переходів. Дані про фактори виробництва та екологічні чинники можуть бути змінені, що вплине на ймовірності переходів через індикатори, і, матриця переходів автоматично змінюватиметься, що дозволить унаочнити процес моделювання.

Ключові слова: інформаційна технологія; ланцюги Маркова; сценарії; невизначеність; локальна соціально-економічна система.

ВСТУП

Розвиток соціально-економічних систем вже протягом тривалого часу відбувається в умовах зростання відкритості, стирання кордонів та меж, поглиблення взаємного впливу різних систем і глобальних чинників. Як наслідок – зміна як динаміки, так і структури соціально-економічних систем різних рівнів, формування нових закономірностей та загальних тенденцій їх розвитку. Нового значення набуває й проблема забезпечення сталого (збалансованого) розвитку. Потрібен підхід, який дозволяє забезпечувати ефективність управлінських рішень в умовах системної невизначеності, характерної для сучасного етапу розвитку соціально-економічних



систем. Такий підхід базується на синтезі інформаційних технологій, які поєднують, збір та оброблення даних з численних джерел, застосуванні математичних моделей, алгоритмів машинного навчання та методів симуляційного моделювання, що дозволяють не лише ідентифікувати поточний стан системи, а й прогнозувати її майбутній розвиток, не базуючись виключно на ретроспективі, а виходячи з нових реалій та пропонувати оптимальні шляхи розвитку.

Тому, потрібні нові підходи до підтримки прийняття рішень, а саме, методики застосування математичного апарату для розроблення адаптивних стратегій, побудови сценаріїв, які дозволяють оперативно та адекватно реагувати на зміни зовнішнього середовища, його найбільш повно враховувати вплив на параметри системи.

Постановка проблеми. Стаття присвячена розв'язанню актуальної задачі – удосконаленню методики прогнозування та планування розвитку громад та регіонів в умовах невизначеності. Розроблювана методика передбачає застосування математичних моделей – ланцюгів Маркова у процесі побудови сценаріїв розвитку соціально-економічних систем, які входять до складу як однієї, так і різних громад. Її перевагами є те, що в умовах відсутності інформації, яка в повній мірі описує стан та динаміку досліджуваних систем, її використання дозволяє окреслити перспективну галузеву структуру економіки, врахувати переваги від кооперації та спеціалізації виробництва досліджуваних громад та районів. Це дозволить розробляти стратегії та плани розвитку локальних соціально-економічних систем забезпечуючи узгодження цілей та виробничої структури в контексті стратегії сталого розвитку;

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням дослідження теоретико-методологічної основи розроблення інформаційно-аналітичних технологій, здатних забезпечити підтримку прийняття ефективних управлінських рішень щодо розвитку соціально-економічних систем, присвячено значну кількість робіт вітчизняних та закордонних фахівців. Адже важливо, не лише об'єктивно оцінити поточний стан системи, а й прогнозувати її розвиток, виявляти критичні елементи та забезпечувати ефективне управління розвитком соціально-економічних систем в умовах невизначеності, як зазначається у роботах [1] та [2].

Особливе місце серед аналітичного інструментарію, посідають математичні моделі. Математичні моделі сьогодні широко застосовується для дослідження та прогнозування розвитку соціально-економічних систем, характеризується різноманітністю моделей та їх композицій. В умовах невизначеності, коли потрібно передбачити майбутню ситуацію не лише на основі ретроспективних даних, а враховуючи зміни, що мають відбуватись, зокрема у галузевій структурі чи складі територіальної громади, в нагоді стають ймовірно-статистичні моделі. Особливості застосування ймовірно-статистичних моделей байєсівського типу представлені у роботі П. І. Бідюка та О.І. Загірської [3]. Як зазначають автори, перевагами застосування ймовірного підходу є можливість навчання моделі по мірі надходження нової інформації, що дозволяє переглядати та оновлювати побудовані сценарії, змінювати початкові події, спрощуючи тим чамим застосування кількісних моделей.

Серед стохастичних моделей вирізняються підходи, основу яких складають ланцюги Маркова. Так, В. М. Соловйов та І. О. Стратійчук [4] зазначають, що високо-порядкові ланцюги Маркова, які можуть мати «пам'ять», доцільно застосовувати для моделювання більш реалістичних сценаріїв розвитку фінансово-економічних систем. В [5] проведено аналіз світової економічної динаміки (перехід між режимами зростання економічних циклів) використовуючи ланцюги Маркова, зазначено переваги використання власних значень матриці переходів. В роботі В. Швейцера та ін. [6]



запропоновано підхід, який перетворює всі можливі еволюційні траєкторії соціально-економічної системи в переходи ланцюга Маркова, на основі аналізу так званого cross-impact балансу, що є корисним для застосування для дослідження соціально-економічних систем, що зазнають структурних зрушень. К. Дорошкевич та ін. [7], відзначають ефективність застосування ланцюгів Маркова на мікрорівні, зокрема, їх переваги для підтримки прийняття рішень у стратегічному плануванні інноваційної діяльності. Вказаний підхід доцільно застосувати й для побудови сценаріїв розвитку інших соціально-економічних систем, таких, наприклад, як територіальні громади. Аналогічний підхід, розглянутий у роботі [8], де для побудови сценаріїв просторового розвитку потужної агломерації, використаний підхід, основу якого становлять ланцюги Маркова. Питання застосування моделей на основі ланцюгів Маркова, яка описує перехід між просторовими одиницями, розглянуте у роботах [9], [10], [11] [12] є актуальним і для аналізу структурно-динамічних змін, характерних для локальних соціально-економічних систем.

Мета статті. Метою статті є висвітлення підходів, застосованих до розроблення нових інформаційних технологій, призначених для використання у системах підтримки прийняття рішень в управлінні розвитком локальних соціально-економічних систем в умовах невизначеності, що дозволить ефективно розбудовувати мезорівень країни.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Системний аналіз складних соціально-економічних систем передбачає цілісне вивчення взаємодії елементів і підсистем із урахуванням динаміки зовнішнього середовища та внутрішніх зв'язків. У контексті локальних соціально-економічних систем основними об'єктами дослідження виступають: галузева структура економіки та її динаміка, соціальна інфраструктура, фінансовий ринок, ринок праці, зовнішньоекономічні зв'язки та інституційне середовище

Зміни між станами системи описуються ймовірностями переходів — тобто, наскільки ймовірно, що система перейде з одного рівня розвитку в інший. Модель базується на ланцюгах Маркова першого порядку, де:

- майбутній стан залежить тільки від поточного;
- усі ймовірності переходів фіксовані у матриці переходів.

Позначимо, що S - множина можливих станів системи:

$$[S = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5\}]$$

Можливі стани системи представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Опис станів системи, визначених для цілей дослідження

Позначення	Назва	Опис
S_1	сталого розвитку	система функціонує стабільно, має високий рівень сталості, збалансованість економічних, соціальних і екологічних компонентів
S_2	стабільний	система відносно стабільна, але без активного розвитку; потенційна вразливість до зовнішніх шоків
S_3	ризик (під загрозою)	система перебуває у стані ризику (економічна стагнація, соціальна напруга, екологічні проблеми)
S_4	спад	погіршення показників, деградація інфраструктури, зниження соціальної якості життя
S_5	відновлення	система відновлюється після кризового стану завдяки політичним, економічним або соціальним заходам



Кожний елемент матриці (P_{ij}) означає ймовірність того, що система перейде зі стану S_i у стан S_j за один часовий крок.

Еволюцію системи у часі описує вектор стану $x_t = [p_1, p_2, p_3, p_4, p_5]$, який описує ймовірності перебування системи в кожному стані у момент часу t . Тоді:

$$x_{t+1} = x_t P$$

Повторюючи цей процес, отримуємо зміну стану у часі:

$$x_{t+1} = x_0 P^t$$

Якщо процес триває довго, система прагне до стаціонарного стану — розподілу ймовірностей, який більше не змінюється:

$$\pi = \pi P$$

π — це власний вектор матриці (P^T), що відповідає власному значенню 1.

Тобто, у довгостроковій перспективі система приблизно 31% часу система перебуватиме у сталому стані, 27% — стабільна, а майже 17% — під ризиком.

Це свідчить про помірну, але несталу рівновагу, яка залежить від політики й зовнішніх факторів. Щоб дослідити динаміку соціально-економічної системи, модель проводить багаторазові випадкові симуляції (тисячі траєкторій), де кожна траєкторія — можливий сценарій її розвитку.

Еволюція станів показує, як із часом змінюється частина системи, яка перебуває у кожному стані.

Даний підхід пропонується для побудови сценаріїв розвитку регіонів, окремих громад та їх об'єднань, аналізу ефективності державної регіональної політики; дослідження ризиків дестабілізації соціально-економічної системи.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

При побудові сценаріїв розвитку локальних соціально-економічних систем пропонується використовувати не лише традиційний набір сценаріїв: реалістичний оптимістичний та песимістичний, а варіанти, які в більшій мірі відображають розвиток системи на перспективу, спираючись на чіткі припущення щодо зовнішнього оточення, внутрішньої структури та темпів розбудови. Для кожного сценарію треба попередньо дослідити умови функціонування системи, за допомогою SWOT та PEST-аналізу визначити докладні характеристики кожного сценарію, їхні ключові допущення, можливі (бажані) траєкторії та секторальні ефекти.

Наприклад, для громад, де переважає сільськогосподарська галузь, ключовими індикаторами, є показники ефективності сільськогосподарського виробництва. Адже, для сільських громад саме аграрний бізнес є основою економіки та соціального забезпечення, важливим екологічним чинником. Для такої громади основними факторами розвитку, в тому числі й наповнення місцевого бюджету, будуть прибуток від аграрного бізнесу, спеціалізація виробництва та екологічне навантаження. Для цілей даного дослідження «спеціалізація» розглядається з точки зору розподілу ресурсів за видами активами, ринками, продуктами, послугами, тощо.

Для обчислення індикаторів розвитку аграрного сектору пропонується наступний підхід.



$$P_{ro} = \sum_{i=1}^n (A_i \cdot Y_i \cdot P_i - A_i \cdot C_i)$$

де A_i — зібрана площа i , га, Y_i — урожайність культури i , т/га, P_i — ціна i , грн/т, C_i — виробничі витрати на гектар вирощуваної культури i , грн/га, n — кількість культур.

Диверсифікація виробництва — в даному дослідженні увагу зосереджено на розподілі ресурсів між активами, ринками, продуктами чи послугами.

$$Dv = 1 - \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i}{\sum_{j=1}^n A_j} \right)^2.$$

Чим вища диверсифікація (близько 1), тим більша стійкість системи, а низька диверсифікація (близько 0), означає, що виробництво має більш високий ризик збитковості.

Екологічне навантаження в даному дослідженні розглядається як сукупний вплив на екосистеми від вирощування різних сільськогосподарських культур:

$$EL = \sum_{i=1}^n A_i \cdot im_i,$$

де im_i — коефіцієнт впливу культури на ґрунт та екологію.

Алгоритм формування елемента матриці переходів реалізований за наступні кроки.

Спочатку, формується матриця переходів. Нехай, поточний стан системи $S_t = s$, наступний стан $S_{t+1} = s'$. Тоді елемент матриці переходів $P[s, s']$ можна записати як функцію індикаторів:

$$P[s, s'] = \frac{f_{s \rightarrow s'}(Pro, Dv, EL)}{\sum_k f_{s \rightarrow k}(Pro, Dv, EL)}.$$

Тобто, спочатку обчислюємо оцінки ймовірності $f_{s \rightarrow s'}$, а потім нормалізуємо їх, щоб сума у рядку матриці переходів дорівнювала 1.

Використовуючи статистичні дані сільськогосподарських підприємств [13], можна розрахувати елементи матриці переходів

Таблиця 1

Середні значення показників, що характеризують сільськогосподарське виробництво громад району

Культура	Площа, га	Урожайність, т/га	Ціна, тис.грн/т
Пшениця озима	658,1	4,83	5,06
Соняшник	18,7	2,53	13,89
Овочі	47	19,4	24,17

Розглянемо раціональний сценарій розвитку та розрахуємо елементи матриці переходів з використанням даних, наведених в табл. 2.

Розрахунок функцій $f_{s \rightarrow s'}$ для кожного стану системи відбувається наступним чином.



Перехід між станами $S_1 \rightarrow \{S_1, S_2\}$:

$$f_{S_1 \rightarrow S_1} = b_1 + b_2 \cdot \mathbf{1}_{\{Pro > P_{th}\}} + b_3 \cdot \mathbf{1}_{\{Dv > D_{th}\}} - b_4 \cdot \mathbf{1}_{\{EL > E_{th}\}},$$
$$f_{S_1 \rightarrow S_2} = 1 - f_{S_1 \rightarrow S_1},$$

де P_{th}, D_{th}, E_{th} — порогові значення прибутку, спеціалізації та екологічного навантаження, $\mathbf{1}_{\{\cdot\}}$ — індикаторна функція, яка дорівнює 1, якщо умова виконується, і 0 — якщо ні.

Коефіцієнти b_1, b_2, b_3, b_4 оцінюються експертним шляхом — в даному випадку фахівцями-аграріями.

Перехід між станами $S_2 \rightarrow \{S_1, S_2, S_3\}$

$$f_{S_2 \rightarrow S_1} = d_1 \cdot \mathbf{1}_{\{Pro > P_{th}\}},$$
$$f_{S_2 \rightarrow S_2} = d_2,$$
$$f_{S_2 \rightarrow S_3} = d_3 \cdot \mathbf{1}_{\{Pro < P_{th} \text{ or } EL > E_{th}\}}.$$

Коефіцієнти d_1, d_2, d_3 оцінюються експертним шляхом.

Перехід між станами $S_3 \rightarrow \{S_2, S_3, S_4, S_5\}$

$$f_{S_3 \rightarrow S_2} = e_1 \cdot \mathbf{1}_{\{Pro > P_{th}\}},$$
$$f_{S_3 \rightarrow S_3} = e_2,$$
$$f_{S_3 \rightarrow S_4} = e_3 \cdot \mathbf{1}_{\{Pro < P_{th}\}},$$
$$f_{S_3 \rightarrow S_5} = e_4 \cdot \mathbf{1}_{\{Pro > P_{th} \text{ and } Dv > D_{th}\}}.$$

Коефіцієнти e_1, e_2, e_3, e_4 оцінюються експертним шляхом.

Перехід між станами $S_4 \rightarrow \{S_3, S_4, S_5\}$

$$f_{S_4 \rightarrow S_3} = h_1 \cdot \mathbf{1}_{\{Pro > P_{th}\}},$$
$$f_{S_4 \rightarrow S_4} = h_2,$$
$$f_{S_4 \rightarrow S_5} = h_3 \cdot \mathbf{1}_{\{Pro > P_{th} \text{ and } Dv > D_{th}\}}.$$

Коефіцієнти h_1, h_2, h_3 оцінюються експертним шляхом.

Перехід між станами $S_5 \rightarrow \{S_1, S_2, S_5\}$

$$f_{S_5 \rightarrow S_1} = g_1 \cdot \mathbf{1}_{\{Pro > P_{th} \text{ and } EL < E_{th}\}},$$
$$f_{S_5 \rightarrow S_2} = g_2 \cdot \mathbf{1}_{\{Pro > P_{th}\}},$$
$$f_{S_5 \rightarrow S_5} = g_3.$$

Коефіцієнти g_1, g_2, g_3 оцінюються експертним шляхом.

Для ранжування та визначення вагових коефіцієнтів використовуються методи аналізу ієрархій та зваженого балового оцінювання. За допомогою методу аналізу ієрархій експерти проводять парні порівняння кожного з факторів, отримуючи матрицю порівнянь, яка дозволяє обчислити відносні ваги - w_i . Формально ефективність прийняття рішень може бути оцінена за формулою:

$$E = \sum_{i=1}^n w_i f_i(X_I)$$

де $f_i(X_i)$ – функція впливу i -го фактора, яка може бути як лінійною, так і нелінійною, залежно від природи зв'язку.

Після обчислення $f_{s \rightarrow s'}$ для всіх можливих s' виконується нормалізація рядків.

$$P[s, s'] = \frac{f_{s \rightarrow s'}}{\sum_k f_{s \rightarrow k}}.$$

Таким чином, забезпечено правильну ймовірнісну інтерпретацію ситуації.

Як показали розрахунки, змінюючи дані про структуру та обсяги сільськогосподарського виробництва, можна визначити безпосередній вплив спеціалізації сільського господарства громади (району) на ймовірності переходів через індикатори, а матриця переходів автоматично змінюється, якщо змінюються площі, урожайність або інші показники.

В результаті, отримано матрицю переходів (фінальний етап):

$$\begin{bmatrix} 0,872 & 0,128 & 0 & 0 & 0 \\ 0,108 & 0,659 & 0,233 & 0 & 0 \\ 0 & 0,259 & 0,671 & 0,005 & 0,059 \\ 0 & 0 & 0,315 & 0,638 & 0,047 \\ 0,115 & 0,503 & 0 & 0 & 0,382 \end{bmatrix}$$

Результати розрахунку показників ймовірності розвитку станів, таких як розвитку, сталого функціонування, ризику, спаду та відновлення.

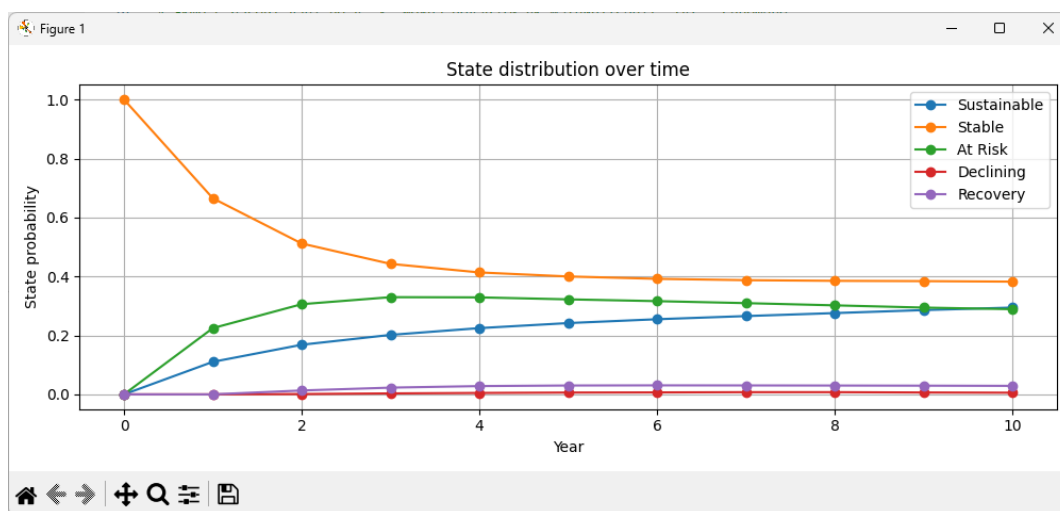


Рис.1 Ймовірності переходів за 10 кроків за обраним сценарієм

Аналіз показує, що починаючи з 4 кроку передбачається стабільний розвиток системи (рис. 1), а досягнення найвищого рівня диверсифікації виробництва, зростання прибутковості агробізнесу може очікуватись починаючи із сьомого кроку (рис. 2).

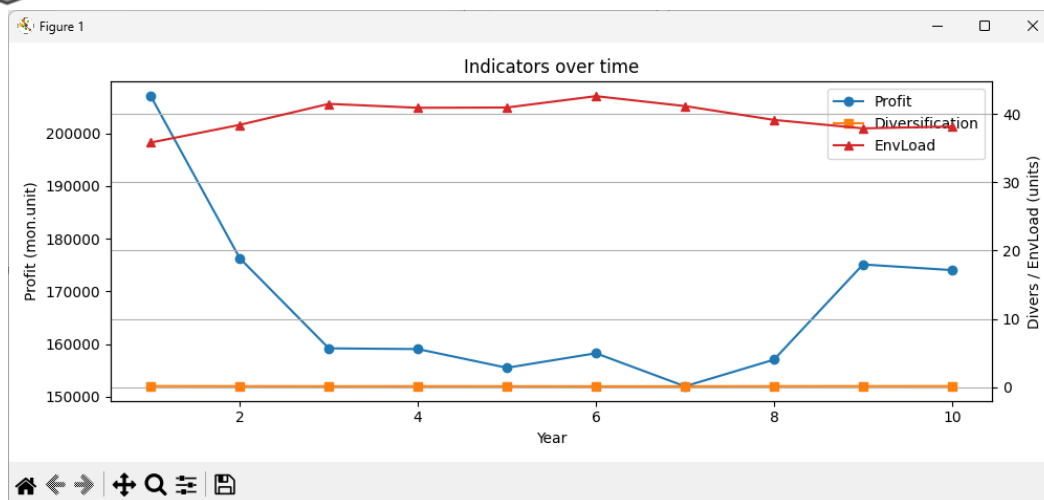


Рис.2 Графік зміни основних індикаторів

Для інших сценаріїв розвитку системи, а саме, оптимістичного, песимістичного або іншого сценарію розвитку, формули для розрахунку елементів матриці потрібно модифікувати під обраний сценарій. Для цього потрібно використати інші порогові значення індикаторів, що відповідають сценарію. Методом експертного оцінювання або регресійного аналізу знайти функції для ймовірностей переходів.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розроблена модель дозволяє оцінювати ймовірнісну траєкторію розвитку системи, визначати критичні точки переходів між станами, прогнозувати довгострокову стабільність або ризики деградації та аналізувати ефективність політики підтримки сталого розвитку. Ефективність політики підтримки сталого розвитку визначається через зміну ймовірностей переходів, а на зміну цих ймовірностей впливають заходи та події політики підтримки.

Для подальшого розвитку моделі планується розширити простір, наприклад, додати стани “Відновлення” та “Інноваційний розвиток”. В подальшому перейти до марківського процесу з неперервним часом, а також реалізувати оптимізацію політики підтримки, тобто, розробити алгоритм знаходження матриці P , що мінімізує ймовірність колапсу при заданих ресурсних обмеженнях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Wollenberg, E. Edmunds, D. & Buck L. (2000) Anticipationg change: scenarios as a tool for adaptive forest management. A guide Retrieved from URL https://www.cifor-icraf.org/publications/pdf_files/scenarios.pdf
2. Schoemaker, P. J. H. Using Scenarios in Strategic Planning. (2004) R&D Meets M&A. Philadelphia: Chemical Heritage Press, 2004. Ch.12. P. 81–90
3. Бідюк, П. І., & Загірська, І. О. (2019). Методика побудови сценарного аналізу із використанням байєсівських методів. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*, (8(84)), 137-142. Retrieved from URL <https://eltechs.op.edu.ua/index.php/journal/article/view/1259> (in Ukrainian)
4. Соловійов В. М., & Стратійчук І. О. (2012, грудень) Застосування складних ланцюгів Маркова для прогнозування складних фінансово-економічних систем. Актуальні проблеми розвитку економічної кібернетики. Міжнародна науково-практична конференція, Київ. (in Ukrainian)



5. Delbianco, F., Fioriti, A. & Tohmé, F. (2023) Markov chains, eigenvalues and the stability of economic growth processes. *Empirical Economics*, 64, 1347–1373. doi:10.1007/s00181-022-02276-8
6. Schweizer VJ, Jamieson-Lane AD, Cai H, Lehner S, & Smerlak M (2023) Pathways for socioeconomic system transitions expressed as a Markov chain. *PLoS ONE* 18(7): e0288928. doi:10.1371/journal.pone.0288928
7. Doroshkevych, K., Maslak, O., Voronovska, V., & Salata, I. (2020) Use of Markov chains for modeling processes of strategic planning of innovative activity of the enterprise. *WSEAS Transactions on environment and development*. 16, PP. 440-447/ doi: 10.37394/232015.2020.16.44
8. Zhao, Y., Xie, D. Zhang, X. & Ma, S. (2021) Integrating Spatial Markov Chains and Geographically Weighted Regression-Based Cellular Automata to Simulate Urban Agglomeration Growth: A Case Study of the Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay Area. *Land*. 10, 8, 633. doi:10.3390/land10060633.
9. Renate N. Thiede, Inger N. Fabris-Rotelli, Pravesh Debba, & Christopher W. Cleghorn, (2023) A Markov chain model for geographical accessibility, *Spatial Statistics*, 55, doi:10.1016/j.spasta.2023.100748.
10. Іхсанов, Ш. М., Лопушанська, В. В. (2011) Використання ланцюгів Маркова для прогнозування соціально-економічних процесів. *Актуальні проблеми економіки*. №1(115). 258-267. . Retrieved from URL <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/175>. (in Ukrainian)
11. Грімнак О. В., Катренко А. В. (2008) Система підтримання прийняття рішень для багатокрокових процесів з використанням ланцюгів Маркова. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Інформаційні системи та мережі»*. 631 (3). С. 148-155. Retrieved from URL <https://science.lpnu.ua/uk/sisn/vsi-vypusky/vypusk-631-2008/systema-pidtrymannya-pryynyattya-rishendlya-bagatokrokovykh> (in Ukrainian)
12. Bányai T., Landschützer C., & Bányai Á, (2018). Markov-Chain Simulation-Based Analysis of Human Resource Structure: How Staff Deployment and Staffing Affect Sustainable Human Resource Strategy. *Sustainability*, 10(10), 1-21, doi:10.3390/su10103692
13. Головне управління статистики і Черкаській області (2020). Сільське, лісове та рибне господарство. Retrieved from URL https://www.ck.ukrstat.gov.ua/?p=stat_inform. (in Ukrainian)

**Anatolii Pashko**

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,
Professor of the Department of Theoretical Cybernetics
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine
ORCID: 0000-0001-6944-8477
aapashko@gmail.com

Dmytro Diakon

Postgraduate Student
Institute of Telecommunications and Global Information
Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: 0000-0001-6826-7455
dmitro.dyakon@gmail.com

APPLICATION OF MARKOV CHAINS TO DEVELOP SCENARIOS FOR THE DEVELOPMENT OF LOCAL SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS

Abstract. The paper is dedicated a methodology of using Markov chains to build scenarios for the development of local socio-economic systems under conditions of uncertainty. These systems, having their own dynamics, can remain in different states: sustainable development, stability, risk, decline and recovery. SWOT, PEST analysis, expert assessment methods are used traditionally. The scenario options are only realistic optimistic and pessimistic. In conditions of rapid changes of the economic situation, structural reforms, military aggression, methods that translate the retrospective into the future become unsuitable. The use of Markov chains in scenarios allows the decision-maker to design different options for the development of events, based on clear assumptions about the external environment, internal structure and the pace of its development, to investigate the behavior of the system in several steps. The proposed methodology was used to build a scenario for the development of a territorial community, the leading sector of the economy of which is agriculture. The key criteria are indicators of the efficiency of agricultural production. The use of Markov chains in building scenarios allowed us to develop substantiated scenarios for the sustainable development of a territorial community with different production specialization and diversification of production and environmental load. The paper proposes the selection of functions based on an expert survey. The key aspect of the methodology is the construction of a transition matrix. Data on production factors and environmental factors can be changed, which will affect the probabilities of transitions through indicators, and the transition matrix will automatically change, which will allow us to visualize the modeling process.

Keywords: information technology; Markov chains; scenarios; uncertainty; local socio-economic system.

REFERENCES

1. Wollenberg, E. Edmunds, D. & Buck L. (2000) Anticipationg change: scenarios as a tool for adaptive forest management. A guide Retrieved from URL https://www.cifor-icraf.org/publications/pdf_files/scenarios.pdf
2. Schoemaker, P. J. H. Using Scenarios in Strategic Planning. (2004) R&D Meets M&A. Philadelphia: Chemical Heritage Press, 2004. Ch.12. P. 81–90
3. Bidyuk, P. I., & Zagirska, I. O. (2019). Metodika pobudovi scenarnogo analizu iz vikoristannyam bajyesivskih metodiv. Elektrotechnichni ta komp'yuterni sistemi, (8(84), 137-142. Retrieved from URL <https://eltechs.op.edu.ua/index.php/journal/article/view/1259>. (in Ukrainian)
4. Solovjov V. M., & Stratijchuk I. O. (2012, gruden) Zastosuvannya skladnih lancyugiv Markova dlya prognozuvannya skladnih finansovo-ekonomichnih sistem. Aktualni problemi rozvitku ekonomichnoyi kibernetiki. Mizhnarodna naukovopraktichna konferenciya, Kiyiv. (in Ukrainian)
5. Delbianco, F., Fioriti, A. & Tohmé, F. (2023) Markov chains, eigenvalues and the stability of economic growth processes. *Empirical Economics*, 64, 1347–1373. doi:10.1007/s00181-022-02276-8



6. Schweizer VJ, Jamieson-Lane AD, Cai H, Lehner S, & Smerlak M (2023) Pathways for socioeconomic system transitions expressed as a Markov chain. *PLoS ONE* 18(7): e0288928. doi:10.1371/journal.pone.0288928
7. Doroshkevych, K., Maslak, O., Voronovska, V., & Salata, I. (2020) Use of Markov chains for modeling processes of strategic planning of innovative activity of the enterprise. *WSEAS Transactions on environment and development*. 16, PP. 440-447/ doi: 10.37394/232015.2020.16.44
8. Zhao, Y., Xie, D. Zhang, X. & Ma, S. (2021) Integrating Spatial Markov Chains and Geographically Weighted Regression-Based Cellular Automata to Simulate Urban Agglomeration Growth: A Case Study of the Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay Area. *Land*. 10, 8, 633. doi:10.3390/land10060633.
9. Renate N. Thiede, Inger N. Fabris-Rotelli, Pravesh Debba, & Christopher W. Cleghorn, (2023) A Markov chain model for geographical accessibility, *Spatial Statistics*, 55, doi:10.1016/j.spasta.2023.100748.
10. Ihsanov, SH. M., Lopushanska, V. V. (2011) Viktoristannya lancyugiv Markova dlya prognozuvannya socialno-ekonomichnih procesiv. Aktualni problemi ekonomiki. №1(115). 258-267. Retrieved from URL <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/175> (in Ukrainian)
11. Grimnak O. V., Katrenko A. V. (2008) Sistema pidtrimannya priynyattya rishen dlya bagatokrokovih procesiv z vikoristannyam lancyugiv Markova. Visnik Nacionalnogo universitetu «Lvivska politehnika» «Informacijni sistemi ta merezhi». 631 (3). С. 148-155. Retrieved from URL <https://science.lpnu.ua/uk/sisn/vsi-vypusky/vypusk-631-2008/systema-pidtrymannya-pryynyattya-rishen-dlya-bagatokrokovyh> (in Ukrainian)
12. Bányai T., Landschützer C., & Bányai Á, (2018). Markov-Chain Simulation-Based Analysis of Human Resource Structure: How Staff Deployment and Staffing Affect Sustainable Human Resource Strategy. *Sustainability*, 10(10), 1-21, doi:10.3390/su10103692
13. Golovne upravlinnya statistiki i CHerkaskij oblasti (2020). Silske, lisove ta ribne gospodarstvo. Retrieved from https://www.ck.ukrstat.gov.ua/?p=stat_inform (in Ukrainian)

