

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2026-84-152>

УДК 330.342:519.867

# АГЕНТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ РОЗВИТКУ ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ

## AGENT-BASED MODELING AS A TOOL FOR STUDYING THE DYNAMICS OF ECONOMIC SYSTEM DEVELOPMENT

**Кришталь Галина Олександрівна**

доктор економічних наук, професор,  
Міжрегіональна Академія управління персоналом  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3420-6253>

**Kryshstal Halyna**

Interregional Academy of Personnel Management

У статті обґрунтовано концептуальні підходи до застосування агентного моделювання як ефективного інструменту для аналізу та прогнозування динаміки розвитку економічних систем. Розглянуто особливості функціонування економічних систем у умовах цифровізації та трансформаційних змін, акцентовано увагу на необхідності врахування поведінкових, ресурсних та стратегічних характеристик окремих агентів. Запропоновано класифікацію типів агентів та описано їхні поведінкові механізми і взаємодії, які формують макророзподілу системи та визначають її продуктивність, стійкість і розвиток. Досліджено переваги агентного моделювання у порівнянні з традиційними макроекономічними та агрегованими моделями, зокрема здатність моделювати нелінійні ефекти, emergent phenomena, каскадні процеси та адаптивну поведінку агентів у змінних економічних умовах. Розглянуто методологічні підходи інтеграції класичних економіко-математичних моделей із сучасними агентними моделями, що дозволяє забезпечити комплексний аналіз економічних систем, поєднуючи макро- та мікроперспективи, технологічні, поведінкові та організаційні чинники.

**Ключові слова:** агентне моделювання, аналіз, динаміка економічних систем, прогнозування, управління економічними процесами, поведінкові агенти, прикладна економіка.

The article substantiates conceptual approaches to the application of agent-based modeling (ABM) as an effective and versatile tool for analyzing and forecasting the dynamics of economic systems. The study focuses on the functioning of economic systems in the context of digitalization and transformational changes, highlighting the growing importance of considering behavioral, resource, and strategic characteristics of individual agents. A comprehensive classification of agent types is proposed, with a detailed description of their behavioral mechanisms, decision-making strategies, and interactions, which collectively shape the macro-level behavior of the system, determining its productivity, stability, and long-term development. The study emphasizes the advantages of agent-based modeling compared to traditional macroeconomic and aggregated approaches. ABM enables the simulation of nonlinear effects, emergent phenomena, adaptive behaviors, and cascading processes that are inherent in complex economic systems. Unlike conventional models, which often abstract away individual differences, ABM captures the heterogeneity of agents, their interactions, and the resulting systemic outcomes. This capability is particularly valuable in dynamically changing economic environments, where technological innovations, market transformations, and policy interventions influence both individual and collective behaviors. Methodologically, the article explores approaches for integrating classical economic-mathematical models with modern agent-based techniques, enabling a holistic analysis that combines macro- and micro-perspectives. The integration of technological, behavioral, and organizational factors allows researchers and practitioners to model real-world complexity more accurately, evaluate the impact of management decisions and digital technologies on system performance, and anticipate potential risks and opportunities. Through scenario modeling, ABM provides insights into threshold effects, critical points of instability, and potential pathways for improving efficiency and resilience within economic systems.

**Keywords:** agent-based modeling, analysis, dynamics of economic systems, forecasting, economic process management, behavioral agents, applied economics.



**Постановка проблеми.** Сучасна економіка характеризується високою динамічністю, невизначеністю та комплексністю взаємозв'язків між її суб'єктами. Традиційні методи аналізу та прогнозування економічних процесів, що спираються на агреговані статистичні дані та лінійні моделі, часто виявляються недостатньо ефективними для оцінки впливу численних взаємодіючих факторів та поведінкових особливостей економічних агентів. В умовах трансформаційної економіки та прискореної цифровізації виникає потреба у використанні інструментів, які здатні моделювати нелінійну динаміку, враховувати адаптивну поведінку агентів та їхні локальні взаємодії.

Агентне моделювання як підхід до аналізу складних систем дозволяє формалізувати поведінку окремих економічних агентів та оцінювати наслідки їхніх взаємодій на рівні всієї системи. Проте застосування агентних моделей у вітчизняній економічній практиці та наукових дослідженнях поки що обмежене, а методологічні аспекти інтеграції агентного моделювання в економічний аналіз потребують подальшого розвитку.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Проблематика застосування економіко-математичного моделювання та інформаційних технологій у дослідженні економічних систем привертає значну увагу науковців. У своїх працях Дзямулич М. І., Шматковська Т. О. [1; 2] досліджували вплив сучасних інформаційних систем і технологій на формування цифрової економіки, підкреслюючи роль цифрових інструментів у підвищенні ефективності управлінських рішень. Іващук О. Т. [3] у своїй праці з економіко-математичного моделювання систематизував підходи до формалізації економічних процесів, що є методологічною основою для побудови агентних моделей, які враховують поведінкові особливості агентів і їхню взаємодію в економічних системах.

Чалюк Ю. О. [4; 5] досліджував соціальні послуги, демографічні зміни та економічні можливості, що підкреслює необхідність інтеграції соціально-поведінкових параметрів у моделі динаміки економічних систем. Західні дослідники Becker J., Rosemann M., Von Uthmann C. [8] розробили методологічні підходи до моделювання бізнес-процесів, які можуть бути адаптовані для агентного моделювання економічних систем. Dahal R. K. [9] аналізує зміну ролі управлінського обліку в умовах глобалізації, що відображає світові тенденції інтеграції кількісних моделей та управлінських практик.

Узагальнення наукових джерел показує, що агентне моделювання має значний потенціал для дослідження динаміки економічних систем, проте вітчизняні дослідження ще не повністю інтегрували цей підхід. Існуючі праці створюють методологічну та концептуальну базу для подальшої розробки моделей, які дозволяють враховувати взаємодію агентів у цифровій та трансформаційній економіці.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Аналіз наукових джерел показує, що значна увага приділялася економіко-математичному моделюванню, цифровізації економіки та застосуванню великих даних. У дослідженнях розглядалися теоретичні основи моделювання, аналіз бізнес-процесів, цифрові трансформації та управління економічними системами.

Водночас досі залишається невирішеною проблема ефективного застосування агентного моделювання для вивчення динаміки розвитку економічних систем. Зокрема, потребує подальшого опрацювання:

- врахування поведінкових особливостей агентів у моделях складних економічних систем;
- оцінка впливу цифрових технологій на поведінку агентів та їхню взаємодію у бізнес-процесах;
- прогнозування ефектів цифровізації в умовах трансформаційної економіки та визначення порогових значень її впливу на продуктивність систем;
- інтеграція класичних економіко-математичних моделей із агентними підходами для комплексного аналізу систем.

Отже, незважаючи на значний науковий доробок у сфері цифровізації та економіко-математичного моделювання, питання системного використання агентного моделювання для всебічного аналізу динаміки економічних систем залишається відкритим, що підкреслює актуальність подальших досліджень у цьому напрямі.

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Метою статті є дослідження агентного моделювання як інструменту для аналізу та прогнозування динаміки розвитку економічних систем та визначення основних механізмів взаємодії агентів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Агентне моделювання (agent-based modeling, ABM) є потужним і гнучким інструментом для дослідження складних економічних систем, що функціонують у умовах швидкоплинних трансформацій та цифровізації.

На відміну від традиційних макроекономічних моделей, які розглядають економіку як агреговану систему, агентне моделювання дозволяє моделювати індивідуальні агенти – підприємства, споживачів, фінансові установи, державні органи – і їх взаємодію в рамках системи. Такий підхід дає змогу виявляти нелінійні ефекти, *emergent phenomena*, що виникають у результаті взаємодії окремих агентів, і які не можна передбачити за допомогою класичних моделей.

Важливою перевагою агентного моделювання є можливість враховувати поведінкові аспекти агентів, їх адаптацію до змін зовнішнього середовища, реакцію на інформаційні, технологічні та економічні стимули. Це особливо актуально в умовах цифровізації, коли технологічні інновації, великі дані та автоматизація бізнес-процесів формують нові механізми функціонування ринків і організаційних структур. Агентне моделювання дозволяє оцінити, яким чином впровадження цифрових технологій змінює поведінку агентів, їхні взаємодії та, в кінцевому результаті, загальну продуктивність та стійкість економічної системи.

Крім того, АВМ надає можливості для прогнозування розвитку систем у динамічних умовах. Через моделювання сценаріїв поведінки агентів можна передбачати вплив різних стратегій управління, політичних рішень або технологічних інновацій на економічні результати. Це особливо важливо для аналізу трансформаційних процесів, визначення порогових значень впливу змін на систему, оцінки ризиків і потенційних можливостей для підвищення ефективності ресурсів [6].

Методологічно агентне моделювання дозволяє інтегрувати класичні економіко-математичні підходи з сучасними технологіями комп'ютерного моделювання, що відкриває шлях до комплексного аналізу економічних систем. Поєднання макроекономічних та мікроекономічних перспектив, а також врахування взаємодії технологічних, організаційних та поведінкових факторів, робить АВМ незамінним інструментом для стратегічного планування, оцінки ефективності політик і формування адаптивних управлінських рішень у цифрову епоху [7].

Таким чином, агентне моделювання стає ключовим інструментом для глибокого аналізу та прогнозування динаміки економічних систем, дозволяючи не лише описувати існуючі процеси, а й формувати науково обґрунтовані сценарії їх розвитку в умовах цифровізації та трансформаційних змін економіки.

Для кращого розуміння механізмів агентного моделювання та його впливу на динаміку розвитку економічних систем доцільно виділити ключові категорії агентів, їх поведінкові характеристики та очікуваний вплив на загальну систему. У наведеній таблиці представлені основні типи агентів, визначені на основі аналізу сучасних підходів до моделювання економічних систем, а також їх поведінкові особливості та роль у формуванні динаміки економічної діяльності.

Аналіз таблиці дозволяє зробити висновок, що агентне моделювання забезпечує гнучкий та комплексний підхід до дослідження економічних систем. Визначення типів агентів і їх поведінкових закономірностей дозволяє не лише прогнозувати потенційні сценарії розвитку, але й оцінювати вплив окремих агентів на ефективність системи в цілому. Це підкреслює практичну цінність агентного підходу для стратегічного планування, оптимізації бізнес-процесів та прийняття обґрунтованих управлінських рішень у умовах цифровізації та трансформаційної економіки.

Агентне моделювання дає унікальну можливість досліджувати динаміку економічних систем на основі поведінки окремих агентів, які виступають носіями певних цілей, ресурсів і стратегій. У центрі уваги такого підходу знаходиться саме взаємодія агентів, оскільки саме вона формує макropоведінку економічної системи та визначає ефективність її функціонування.

Взаємодія агентів у складних економічних системах має багаторівневий характер і включає як прямі економічні зв'язки, так і непрямі, соціально-економічні впливи. По-перше, агенти здійснюють прямий обмін ресурсами та інформацією, що може проявлятися у торгівлі, фінансових операціях, обміні даними та знаннями. Ці транзакції відображають безпосередній вплив дій одного агента на стан іншого і стають фундаментом для моделювання ринкової взаємодії.

По-друге, важливим є адаптивний механізм поведінки, коли агенти змінюють свої стратегії під впливом поведінки інших учасників системи. Це дозволяє моделювати явища конкуренції, кооперації, формування альянсів та поведінкові патерни, які в реальному житті проявляються як реакція на зміни ринкового середовища чи поведінку партнерів.

Третій аспект – мережеві взаємозв'язки, які з'єднують агентів у системи залежностей, де зміни в поведінці одного або групи агентів можуть викликати каскадні ефекти на всю

Таблиця 1

**Агентне моделювання економічної системи:  
типи агентів, їх поведінка та вплив на динаміку розвитку системи**

Тип агента	Основні характеристики	Поведінка в моделі	Взаємодія з іншими агентами	Очікуваний вплив на систему
Підприємство	Розмір, ринкова частка, інвестиційна спроможність	Приймає рішення щодо інвестицій у цифрові технології, адаптує бізнес-процеси	Конкурує та співпрацює з іншими підприємствами, взаємодіє з постачальниками та споживачами	Збільшення продуктивності, зміна ринкових відносин
Споживач	Потреби, платоспроможність, рівень цифрових навичок	Обирає товари/ послуги, реагує на маркетингові стимули	Взаємодіє з підприємствами через покупку та оцінки	Формує попит, впливає на динаміку продажів
Фінансова установа	Капітал, кредитна політика	Надання кредитів, оцінка ризиків інвестицій	Взаємодіє з підприємствами та регулятором	Впливає на фінансову стабільність та інвестиційні потоки
Регулятор / Держава	Політика, регуляторні норми	Встановлює правила, субсидії, податкові стимули	Взаємодіє з підприємствами та споживачами	Формує загальні умови ринку, стимулює або стримує цифровізацію
Постачальник технологій	Інноваційний потенціал, пропозиція рішень	Пропонує цифрові рішення, оновлює продукти	Взаємодіє з підприємствами та фінансовими установами	Прискорює цифровізацію, змінює продуктивність та структуру бізнес-процесів

*Джерело: сформовано авторами на основі [5-9]*

систему. Такі механізми дозволяють виявляти критичні вузли, визначати потенційні точки системної нестабільності та аналізувати ефекти системного ризику.

Четвертий механізм полягає у прийнятті рішень на основі правил і алгоритмів, де поведінка агентів визначається наборами стратегій, які можуть бути адаптивними, стохастичними або базуватися на навчанні з досвіду. Такий підхід дає змогу відтворювати реалістичні сценарії розвитку економічних процесів і оцінювати ймовірність різних результатів.

Нарешті, агенти функціонують у змінному зовнішньому середовищі, що накладає обмеження та створює нові стимули для прийняття рішень. Макроекономічні коливання, регуляторні зміни, технологічні інновації та соціальні тенденції безпосередньо впливають на дії агентів, а через їх взаємодію – на поведінку системи в цілому.

Таким чином, аналіз механізмів взаємодії агентів дозволяє не лише моделювати поточ-

ний стан економічної системи, а й прогнозувати її розвиток у довгостроковій перспективі. Розуміння цих механізмів є ключовим для побудови достовірних моделей, що відтворюють складні економічні процеси, оцінюють ефективність управлінських рішень та визначають стратегічні орієнтири для цифровізації і трансформації економіки.

**Висновок.** Агентне моделювання підтверджує свою ефективність як потужний інструмент для аналізу та прогнозування динаміки економічних систем. На відміну від традиційних агрегованих моделей, воно дозволяє враховувати індивідуальні характеристики агентів, їхні цілі, ресурси та стратегії, що формує більш реалістичну та детальну картину взаємодії економічних суб'єктів у складних умовах цифровізації та трансформаційної економіки.

Особлива цінність АВМ полягає у можливості відтворювати поведінку агентів, які адаптуються до змін зовнішнього середо-

вища, реагують на інформаційні, економічні та технологічні стимули, а також взаємодіють між собою. Саме через ці взаємодії виникають нелінійні ефекти та emergent phenomena, що визначають макropоведінку системи і впливають на її продуктивність, стійкість та розвиток.

Агентне моделювання дає змогу прогнозувати потенційні сценарії розвитку економічних систем. Моделювання різних стратегій управління, технологічних інновацій та політичних рішень дозволяє оцінювати порогові значення впливу змін, визначати критичні точки системної нестабільності та передбачати ризики і можливості підвищення ефективності ресурсів. Це особливо актуально для трансформаційних економік, де швидкі зміни технологій і ринкових умов створюють потребу у науково обґрунтованому прогнозуванні та стратегічному плануванні.

Методологічна інтеграція класичних економіко-математичних підходів із сучасними агентними моделями відкриває шлях до комплексного аналізу систем, що враховує взаємодію макро- та мікроперспектив, поведінкових, технологічних і організаційних чинників. Це робить АВМ незамінним інструментом для оптимізації бізнес-процесів, формування адаптивних управлінських рішень та стратегічного розвитку економічних систем у цифрову епоху.

Таким чином, агентне моделювання дозволяє не лише описувати існуючі процеси, а й прогнозувати їх розвиток, оцінювати ефективність управлінських рішень і визначати стратегічні орієнтири для цифровізації та трансформації економіки. Його застосування відкриває нові горизонти для наукових досліджень і практичної діяльності у сфері управління складними економічними системами.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Дзямулич М. І., Шматковська Т. О. Вплив сучасних інформаційних систем і технологій на формування цифрової економіки. *Економічний форум*. 2022. No 2. С. 3–8.
2. Дзямулич М. І., Шматковська Т. О., Борисюк О. В. Великі дані та їх роль у формуванні цифрової економіки. *Галицький економічний вісник*. 2021. Том 70. No 3. С. 16–21.
3. Іващук О. Т. Економіко-математичне моделювання: навчальний посібник. Тернопіль : ТНЕУ «Економічна думка», 2008. 704 с.
4. Чалюк Ю. О. Соціальні послуги в умовах соціалізації глобальної економіки: теорія та практика: монографія. Київ: КНЕУ, 2022. 320 с.
5. Чалюк Ю. О. Срібна економіка: демографічні зміни та економічні можливості. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі*. 2023. No 1(107). С. 50–59.
6. Шматковська Т. О., Дзямулич М. І. Сучасні інформаційні та комунікаційні технології в професійній діяльності у системі нових тенденцій цифровізації економіки. *Економічні науки. Серія «Регіональна економіка»: Збірник наукових праць Луцького національного технічного університету*. 2021. No 18(71). С. 248–255.
7. Шматковська Т. О., Стащук О. В., Дзямулич М. І. Великі дані та бізнес-моделювання економічних систем. *Ефективна економіка*. 2021. No 5. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8906>. DOI: 10.32702/2307-2105-2021.5.96.
8. Becker J., Rosemann M., Von Uthmann C. Guidelines of business process modeling. In: *Business Process Management: Models, Techniques, and Empirical Studies*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2002. P. 30–49.
9. Dahal R. K. Changing role of management accounting in 21st Century. *Review Pub Administration Manag.* 2019. Vol. 7(3). P. 203–222.

#### REFERENCES:

1. Dziamulych M. I., Shmatkovska T. O. (2022). Vplyv suchasnykh informatsiinykh system i tekhnolohii na formuvannya tsyfrovoy ekonomiky [The influence of modern information systems and technologies on the formation of the digital economy]. *Ekonomichnyi forum*, vol. 2, pp. 3–8.
2. Dziamulych M. I., Shmatkovska T. O., Borysiuk O. V. (2021). Velyki dani ta yikh rol u formuvanni tsyfrovoy ekonomiky [Big data and its role in shaping the digital economy]. *Galytskyi ekonomichnyi visnyk*, vol. 70(3), pp. 16–21.
3. Ivashchuk O. T. (2008). Ekonomiko-matematychnye modeliuвання [Economic and mathematical modeling]. Ternopil: TNEU "Economic Thought", 704 p.
4. Chaliuk Yu. O. (2022). Sotsialni poslугy v umovakh sotsializatsii globalnoi ekonomiky: teoriya ta praktyka [Social services in the conditions of socialization of the global economy: theory and practice]. Kyiv: KNEU, 320 p.

5. Chaliuk Yu. O. (2023). Sribna ekonomika: demografichni zminy ta ekonomichni mozhlyvosti [The Silver Economy: Demographic Change and Economic Opportunity]. *Naukovyi visnyk Poltavskoho universytetu ekonomiky i torhivli*, vol. 1(107), pp. 50–59.
6. Shmatkovska T. O., Dziamulych M. I. (2021). Suchasni informatsiini ta komunikatsiini tekhnolohii v profesiinii diialnosti u systemi novykh tendentsii tsyfrovizatsii ekonomiky [Modern information and communication technologies in professional activity in the system of new trends in digitalization of the economy]. *Ekonomichni nauky. Seria "Regionalna ekonomika"*, vol. 18(71), pp. 248–255.
7. Shmatkovska T. O., Stashchuk O. V., Dziamulych M. I. (2021). Velyki dani ta bisnes-modeliuvannia ekonomichnykh system [Big data and business modeling of economic systems]. *Efektivna ekonomka*, vol. 5. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8906> DOI: 10.32702/2307-2105-2021.5.96
8. Becker J., Rosemann M., Von Uthmann C. (2002). Guidelines of business process modeling. In *Business Process Management: Models, Techniques, and Empirical Studies* (pp. 30–49). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
9. Dahal R. K. (2019). Changing role of management accounting in 21st Century. *Review Pub Administration Manag*, vol. 7(3), pp. 203–222.

Дата надходження статті: 18.03.2026

Дата прийняття статті: 13.04.2026

Дата публікації статті: 17.04.2026