

Кісь М.Я.аспірантка кафедри менеджменту і міжнародного підприємництва
Національного університету «Львівська політехніка»ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1221-3657>**Русин-Гриник Р.Р.**PhD, доцент кафедри підприємництва та екологічної експертизи товарів
Національного університету «Львівська політехніка»ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2895-6437>**Kis Marianna, Rusyn-Hrynyk Roman**

Lviv Polytechnic National University

**ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ
ЗОВНІШНЬОГО ІНВЕСТИВАННЯ ПІДПРИЄМСТВ
В УМОВАХ ВОЄННОГО І ПОСТВОЄННОГО СТАНІВ****ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODEL FOR THE DEVELOPMENT
OF EXTERNAL INVESTMENT SYSTEMS FOR ENTERPRISES
IN WARTIME AND POST-WAR CONDITIONS**

У статті аргументовано, що застосування комплексного підходу, який поєднує макроекономічні моделі загальної рівноваги (CGE) та моделі на основі агентів (ABM), є найбільш доцільним для розробки економіко-математичної моделі розвитку системи зовнішнього інвестування підприємств в умовах воєнного і поствоєнного стану. Таке поєднання дозволяє врахувати як макроекономічні фактори, що впливають на економічний розвиток в цілому, так і деталі поведінки окремих економічних агентів, зокрема підприємств та інвесторів. Доведено, що впровадження стохастичних елементів у моделі інвестицій та продуктивності, а також перехід до динамічного моделювання макроекономічних змінних та ризиків, суттєво підвищують адекватність моделювання економічних процесів в умовах підвищеної невизначеності, характерної для воєнного і поствоєнного періодів. Це дозволяє більш точно відображати вплив випадкових шоків та невизначених факторів на інвестиційні процеси та економічний розвиток. Обґрунтовано, що врахування різних типів інвесторів та їхніх інвестиційних стратегій, а також впливу інновацій та технологічного розвитку на продуктивність підприємств, є критично важливим для створення стійкої системи зовнішнього інвестування. Це сприяє формуванню ефективних стратегій залучення інвестицій, особливо в умовах поствоєнного відновлення економіки, де інноваційні процеси можуть виступати ключовим фактором економічного зростання. Побудована модель, яка включає структурні зміни в економіці та адаптацію підприємств до цих змін, дозволяє оцінити вплив змін в окремих секторах на загальні економічні показники. Це є надзвичайно важливим для розробки політик та стратегій, які спрямовані на підтримку сталого економічного розвитку в період після завершення воєнних дій. Отже, розроблена економіко-математична модель надає всебічний інструментарій для аналізу та прогнозування розвитку системи зовнішнього інвестування в умовах воєнного і поствоєнного стану. Це забезпечує ефективне управління економічними процесами, що сприяє відновленню та стійкому зростанню економіки, а також створює сприятливий інвестиційний клімат.

Ключові слова: зовнішнє інвестування, поствоєнний стан, економіко-математична модель, сталий розвиток, макроекономічні моделі.

The article argues that applying a comprehensive approach that combines Computable General Equilibrium (CGE) models and Agent-Based Models (ABM) is the most appropriate method for developing an economic and mathematical model for the evolution of external investment systems for enterprises in wartime and post-war conditions. This integration enables consideration of both macroeconomic factors affecting overall economic development and the behavior of individual economic agents, particularly enterprises and investors. It is demonstrated that the incorporation of stochastic elements into investment and productivity models, as well as the transition to dynamic modeling of macroeconomic variables and risks, significantly enhances the accuracy of simulating economic processes under heightened uncertainty, which is typical of wartime and post-war periods.

This allows for a more precise representation of the effects of random shocks and uncertain factors on investment processes and economic growth. It is substantiated that accounting for various types of investors and their strategies, as well as the impact of innovation and technological advancement on enterprise productivity, is critically important for building a resilient external investment system. This supports the formulation of effective strategies for attracting investment, especially in the context of post-war economic recovery, where innovation can be a key driver of growth. The developed model, which includes structural changes in the economy and the adaptation of enterprises to these changes, makes it possible to assess the impact of sectoral transformations on overall economic indicators. This is essential for designing policies and strategies aimed at ensuring sustainable economic development in the post-conflict period. Therefore, the proposed economic and mathematical model provides a comprehensive toolset for analyzing and forecasting the development of external investment systems under wartime and post-war conditions. It ensures effective economic management, contributes to recovery and sustained economic growth, and creates a favorable investment climate.

Keywords: external investment, post-war conditions, economic and mathematical model, sustainable development, macroeconomic models.

Постановка проблеми. Економіко-математичне моделювання є критично важливим для аналізу і прогнозування розвитку системи зовнішнього інвестування підприємств, особливо в умовах воєнного і поствоєнного станів. Економічні системи під час війни зазнають значних структурних змін, які супроводжуються підвищеною невизначеністю та нестабільністю ринків. Це потребує комплексного аналізу та прогнозування з урахуванням множинних змінних та факторів, які можуть мати взаємовплив. Зовнішнє інвестування підприємств в таких умовах піддається впливу як глобальних, так і локальних чинників, включаючи політичну нестабільність, зміни у законодавстві, коливання валютних курсів, зростання ризиків, пов'язаних з інвестуванням, та інших. Економіко-математичне моделювання дозволяє кількісно оцінити ці фактори та їх вплив на інвестиційний клімат, що є важливим для ухвалення обґрунтованих управлінських рішень. В умовах поствоєнного відновлення економіка стикається з викликами, такими як реконструкція інфраструктури, відновлення виробничих потужностей, створення нових робочих місць та залучення іноземних інвестицій. Економіко-математичне моделювання забезпечує інструментарій для розробки оптимальних стратегій залучення інвестицій, враховуючи специфіку регіонів та галузей, що зазнали найбільших втрат. Це дозволяє прогнозувати економічне зростання та визначати пріоритети інвестування для забезпечення сталого розвитку. Крім того, моделювання сприяє формуванню стійкої системи зовнішнього інвестування шляхом аналізу сценаріїв розвитку, що дозволяє враховувати можливі ризики та варіанти їх мінімізації. Це особливо важливо в умовах поствоєнного стану, коли невизначеність і ризики залишаються на високому рівні, а економіка потребує значних інвестицій для свого відновлення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Актуальність дослідження підтверджується працями вітчизняних та зарубіжних

науковців, серед яких слід відзначити S. Alarcon, M. Sanchez [1], S. A. Mushnykova [2], P. Wang [3], V. Voloshchuk, Y. Voloshchuk, O. Ivanyshyn [4], A. Nikitina, O. Shersheniuk, I. Kyrchata, K. Popkova, O. Khrystoforova [5], I. Kryvonohova [6], V. Shepylenko [7], O. Horiashchenko, O.G. Knysh [8], N. Kotvytska, K. Boiaryna, M. Fridrikhson [9]. Їхні дослідження охоплюють аспекти ризик-менеджменту, формування сприятливого інвестиційного клімату, інституційних умов залучення капіталу, а також роль державної політики в підтримці інвесторів.

Втім, незважаючи на наявність значного теоретичного доробку, недостатньо дослідженим залишається питання побудови ефективної моделі розвитку інвестування, в умовах воєнного та поствоєнного періодів. Зокрема, існує потреба у виокремленні груп ризиків, можливостей, обмежень та стимулів для інвесторів з урахуванням специфіки воєнної економіки, динаміки структурних змін та ролі міжнародної допомоги. Крім того, важливим є застосування інтегрованих економіко-математичних підходів, які дозволять кількісно оцінити вплив цих факторів та спрогнозувати ефективні стратегії розвитку системи зовнішнього інвестування у довгостроковій перспективі.

Мета статті – розробити інтегровану економіко-математичну модель розвитку системи зовнішнього інвестування підприємств в умовах воєнного та поствоєнного станів, яка поєднує макроекономічний (CGE) та мікроекономічний (ABM) підходи з урахуванням динамічних, стохастичних факторів, інноваційного потенціалу, ризиків та поведінкових характеристик інвесторів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Економіко-математичні моделі відіграють ключову роль у забезпеченні прозорості та підзвітності інвестиційних процесів, сприяючи формуванню довіри з боку інвесторів та покращенню інвестиційного клімату. Вони дозволяють оцінювати ефективність інвестиційних проектів,

прогнозувати їх вплив на економіку та оцінювати довгострокові результати. Таким чином, економіко-математичне моделювання розвитку системи зовнішнього інвестування підприємств є не лише необхідним, але й незамінним інструментом для аналізу, прогнозування та управління в умовах воєнного та поствоєнного стану. Це забезпечує системний підхід до вирішення складних економічних задач, сприяє ефективному розподілу ресурсів та стимулює сталий економічний розвиток.

Аналіз можливих варіантів економіко-математичного моделювання розвитку системи зовнішнього інвестування підприємств в умовах воєнного та поствоєнного стану передбачає розгляд кількох підходів, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Оскільки такі умови характеризуються високим ступенем невизначеності та зміною економічних параметрів, моделі повинні враховувати ці фактори для забезпечення адекватних прогнозів та рекомендацій. Розглянемо кілька альтернативних підходів до економіко-математичного моделювання:

1. Макроекономічні моделі загальної рівноваги. Макроекономічні моделі загальної рівноваги, такі як модель Computable General Equilibrium (CGE), дозволяють аналізувати вплив зовнішніх інвестицій на різні сектори економіки, враховуючи взаємодії між ними.

2. Моделі динамічного стохастичного загальної рівноваги (DSGE). DSGE моделі допомагають враховувати вплив випадкових шоків, таких як воєнні конфлікти, на економічну систему.

3. Моделі на основі агентів (Agent-Based Models, ABM). Моделі на основі агентів дозволяють моделювати поведінку окремих підприємств та інвесторів в умовах невизначеності, враховуючи взаємодію між ними та з навколишнім середовищем.

4. Економетричні моделі та панельні дані. Економетричні моделі, зокрема моделі з панельними даними, дозволяють аналізувати залежності між інвестиційними потоками та економічними показниками, враховуючи тимчасові та просторові аспекти.

5. Оптимізаційні моделі. Оптимізаційні моделі, зокрема моделі лінійного та нелінійного програмування, можуть бути використані для розробки оптимальних стратегій залучення і розподілу зовнішніх інвестицій.

В умовах воєнного і поствоєнного станів, найбільш доцільним варіантом є поєднання макроекономічних моделей загальної рівноваги (CGE) та моделей на основі агентів (ABM). Такий підхід дозволить отримати комплексний аналіз, що враховує як макроекономічні впливи зовнішніх інвестицій на загальноекономічний рівень, так і детальні аспекти поведінки

окремих підприємств і інвесторів. Макроекономічні моделі загальної рівноваги забезпечують аналіз впливу зовнішніх факторів на економіку в цілому, що є важливим для розуміння загальних тенденцій і наслідків інвестиційних процесів.

Модель розвитку системи зовнішнього інвестування підприємств в умовах воєнного і поствоєнного станів повинна враховувати складну взаємодію між макроекономічними факторами, що впливають на економіку в цілому, і мікроекономічними аспектами, пов'язаними з поведінкою окремих агентів. Нижче представлено поєднання макроекономічної моделі загальної рівноваги (CGE) та моделі на основі агентів (ABM), яке дозволяє охопити різні рівні аналізу.

1. Макроекономічна частина моделі (CGE)

1.1. Вихідні змінні: Y – сукупний випуск (ВВП); C – споживання домогосподарств; I – інвестиції, включаючи зовнішні інвестиції; G – державні витрати; X – експорт; M – імпорт; P – ціни на товари та послуги; E – обмінний курс; T – податки.

1.2. Основні рівняння моделі

1.2.1. Сукупний випуск (ВВП):

$$Y = C + I + G + (X - M). \quad (1)$$

1.2.2. Споживання домогосподарств:

$$C = \alpha Y_d \cdot P^{-\epsilon} \quad (2)$$

де α – коефіцієнт пропорційності; Y_d – дохід домогосподарств; ϵ – еластичність попиту за ціною

$$Y_d = Y - T. \quad (3)$$

1.2.3. Інвестиції

$$I = \beta_0 + \beta_1 r + \beta_2 E + \beta_3 \text{ризик} + \beta_4 \text{стабільність},$$

де $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ – коефіцієнт регресії; r – процентна ставка

1.2.4. Попит на імпорт:

$$M = \gamma_0 + \gamma_1 Y + \gamma_2 E \quad (4)$$

де $\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2$ – коефіцієнт регресії.

1.2.5. Пропозиція експорту:

$$X = \delta_0 + \delta_1 P + \delta_2 E + \delta_3 \text{конкурентоспроможність},$$

де $\delta_0, \delta_1, \delta_2, \delta_3$ – коефіцієнт регресії.

1.3. Аналіз шоків.

1.3.1. Воєнні шоки. Зміна G через збільшення витрат на безпеку

$$\Delta G_{\text{воєнні}} = G_0 \cdot \theta_{\text{безпека}} \quad (5)$$

де G_0 – початковий рівень державних витрат; $\theta_{\text{безпека}}$ – коефіцієнт витрат на безпеку; зниження I через зростання ризиків

$$\Delta I_{\text{ризик}} = I_0 \cdot k_{\text{ризик}} \quad (6)$$

де I_0 – початковий рівень інвестицій; $k_{\text{безпека}}$ – коефіцієнт зниження через ризики.

1.3.2. Поствоєнні шоки. Збільшення G на відновлення

$$\Delta G_{\text{відновлення}} = G_0 \cdot \theta_{\text{відновлення}}, \quad (7)$$

де $\theta_{\text{відновлення}}$ – коефіцієнт витрат на відновлення; зростання I через покращення інвестиційного клімату

$$\Delta I_{\text{покращення}} = I_0 \cdot k_{\text{інвестиції}}, \quad (8)$$

де $k_{\text{інвестиції}}$ – коефіцієнт зростання через покращення умов.

1.4. Сценарії розвитку

1.4.1. Воєнний сценарій:

$$G_{\text{воєнні}} = G_0 \cdot \Delta G_{\text{воєнні}}, \quad (9)$$

Зниження I :

$$I_{\text{воєнні}} = I_0 \cdot \Delta I_{\text{ризиків}}, \quad (10)$$

1.4.2. Поствоєнний сценарій. Збільшення G на відновлення.

$$G_{\text{поствоєнні}} = G_0 + \Delta G_{\text{відновлення}}, \quad (11)$$

Зростання I :

$$I_{\text{поствоєнні}} = I_0 + \Delta I_{\text{покращення}}, \quad (12)$$

2. Мікроекономічна частина моделі (ABM).

2.1. Вихідні змінні: A_i – агент (підприємство) i ; I_{ij} – інвестиції від інвестора j до підприємства i ; R_i – ризик підприємства i ; P_i – продуктивність підприємства i ; Π_i – прибуток підприємства i ; Θ – ризикова толерантність інвестора j .

2.2. Взаємодія агентів

2.2.1. Розподіл інвестицій:

$$I_{ij} = f(P_i, R_i, \Theta_j), \quad (13)$$

де I_{ij} – обсяг інвестицій, отриманих підприємством i від інвестора j .

2.2.2. Моделювання поведінки підприємств:

2.2.2.1. Продуктивність підприємства:

$$P_i = P_{i,0} + \alpha_i I_{ij} - \beta_i R_i, \quad (14)$$

де $P_{i,0}$ – початкова продуктивність підприємства; α_i – коефіцієнт впливу інвестицій на продуктивність; β_i – коефіцієнт впливу ризиків на продуктивність.

2.2.2.2. Прибуток підприємства:

$$\Pi_i = \gamma_i P_i - \delta_i R_i, \quad (15)$$

де γ_i – коефіцієнт прибутковості продуктивності; δ_i – коефіцієнт впливу ризиків на прибуток.

2.2.3. Моделювання поведінки інвесторів.

Інвестиційна функція:

$$I_{ij} = \Theta_j \cdot (P_i - R_i), \quad (16)$$

де Θ_j – ризикова толерантність інвестора j .

2.3. Сценарії розвитку

2.3.1. Воєнний сценарій. Зниження інвестицій через зростання ризиків:

$$I_{ij}^{\text{воєнні}} = I_{ij} \cdot (1 - k_{\text{ризиків}}). \quad (17)$$

2.3.2. Поствоєнний сценарій. Зростання інвестицій через покращення умов:

$$I_{ij}^{\text{поствоєнні}} = I_{ij} \cdot (1 + k_{\text{інвестиції}}). \quad (18)$$

3. Інтеграція CGE та ABM

3.1. Поєднання макро-та мікрорівнів

3.1.1. Вплив макроекономічних змін на мікрорівень. Вплив сукупного випуску Y на продуктивність підприємств:

$$P_i = f(Y, P_{i,0}, I_{ij}, R_i) \quad (19)$$

3.1.2. Вплив мікроекономічних змін на макрорівень. Вплив змін інвестицій I_{ij} на загальні інвестиції:

$$I = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M I_{ij}. \quad (20)$$

3.2. Моделювання сценаріїв.

3.2.1. Воєнний сценарій.

3.2.1.1. Зміни на макрорівні:

$$Y_{\text{воєнні}} = f(C, G_{\text{воєнні}}, I_{\text{воєнні}}, X, M). \quad (21)$$

3.2.1.2. Зміни на мікрорівні:

$$P_i^{\text{воєнні}} = f(Y_{\text{воєнні}}, P_{i,0}, I_{ij}^{\text{воєнні}}, R_i). \quad (22)$$

3.2.2. Поствоєнний сценарій:

3.2.2.1. Зміни на макрорівні:

$$Y_{\text{поствоєнні}} = f(C, G_{\text{поствоєнні}}, I_{\text{поствоєнні}}, X, M). \quad (23)$$

3.2.2.2. Зміни на мікрорівні:

$$P_i^{\text{поствоєнні}} = f(Y_{\text{поствоєнні}}, P_{i,0}, I_{ij}^{\text{поствоєнні}}, R_i). \quad (24)$$

Спробуємо удосконалити побудовану модель.

1. Врахування невизначеності через стохастичні елементи

1.1 Стохастичне моделювання інвестицій. Замість використання детермінованої функції для інвестицій, можна додати стохастичний компонент для моделювання невизначеності:

$$I = \beta_0 + \beta_1 r + \beta_2 E + \beta_3 \text{ризик} + \beta_4 \text{стабільність} + \epsilon_i. \quad (25)$$

де $I_i \sim N(0, \sigma_i^2)$ – стохастичний шум, який моделює невизначеність в інвестиціях.

1.2. Стохастичне моделювання продуктивності підприємств. Додавання стохастичного компоненту до моделі продуктивності:

$$P_i = P_{i,0} + \alpha_i I_{ij} - \beta_i R_i + \epsilon_P,$$

де $\epsilon_P \sim N(0, \sigma_P^2)$ – стохастичний шум для моделювання невизначеності продуктивності.

2. Динамічне моделювання

2.1. Динаміка макроекономічних змінних. Замість статичної моделі, використаємо динамічний підхід:

$$Y_t = C_t + I_t + G_t + (X_t - M_t), \quad (27)$$

де t – часовий індекс.

2.2. Динаміка інвестицій. Врахування лагових ефектів в інвестиціях:

$$I_t = \beta_0 + \beta_1 r_t + \beta_2 E_t + \beta_3 \text{ризик}_t + \beta_4 \text{стабільність}_t + \rho I_{t-1} + \epsilon_I, \quad (28)$$

де ρ – коефіцієнт автокореляції, який враховує вплив попередніх інвестицій на поточні.

2.3. Динаміка ризиків

Врахування динаміки ризиків підприємств:

$$R_i(t) = R_{i,0} e^{-\lambda t} + \eta_i(t), \quad (29)$$

де λ – коефіцієнт зниження ризиків з часом; $\eta_i(t)$ – стохастичний процес, що моделює випадкові зміни ризиків.

3. Моделювання інновацій та технологічного розвитку

3.1. Вплив інновацій на продуктивність. Введення додаткової змінної для інновацій:

$$P_i = P_{i,0} + \lambda_i \text{інновації}_i - \beta_i R_i + \epsilon_P, \quad (30)$$

де λ_i – коефіцієнт впливу інновацій на продуктивність.

3.2. Динаміка інновацій. Моделювання динамічного процесу інновацій:

$$\text{інновації}_i(t) = \text{інновації}_{i,0} + \mu_i I_{ij}(t) - \delta_i \text{ризик}_i(t),$$

де μ_i – коефіцієнт впливу інвестицій на інновації; δ_i – коефіцієнт впливу ризиків на інновації.

4. Моделювання різних типів інвесторів

4.1. Врахування типів інвесторів. Розширення моделі інвестицій, враховуючи різні типи інвесторів j :

$$I_{ij} = \Theta_j (\Pi_i - R_i) \cdot \text{тип}_j, \quad (31)$$

де тип_j – тип інвестора (наприклад, венчурний інвестор, стратегічний інвестор).

4.2. Вплив типу інвестора на інвестиції. Розрізнення типів інвесторів для моделювання їхнього впливу:

$$I_{ij} = \Theta_j \cdot \phi_j (\Pi_i - R_i), \quad (32)$$

де ϕ_j – коефіцієнт, який відображає стратегію та ризикопереносимість конкретного типу інвестора.

5. Врахування структурних змін в економіці

5.1. Структурні зміни в макроекономічних рівняннях. Введення структурних змін через параметри:

$$Y = \sum_k a_k S_k \cdot (C_k + I_k + G_k + (X_k - M_k)), \quad (33)$$

де k – індекс сектора; S_k – частка сектора в економіці; a_k – коефіцієнт ефективності сектора.

5.2. Моделювання адаптації підприємств до структурних змін. Розширення функції продуктивності:

$$P_i = P_{i,0} + \alpha_i I_{ij} + \sigma_i S_i - \beta_i R_i + \epsilon_P, \quad (34)$$

де σ_i – коефіцієнт адаптації підприємства до структурних змін.

Як бачимо, запропонована економіко-математична модель поєднує макроекономічний аналіз з мікроекономічною деталізацією, що дозволяє всебічно оцінити вплив зовнішніх інвестицій на розвиток економіки в умовах воєнного і поствоєнного станів. Це забезпечує не лише розуміння загальноекономічних тенденцій, але й дозволяє ретельно вивчати поведінку окремих підприємств і інвесторів, що є ключовим для розробки ефективних стратегій інвестиційної політики.

Сутність пропозицій із удосконалення початкової економіко-математичної моделі розвитку системи зовнішнього інвестування підприємств в умовах воєнного і поствоєнного станів полягає в наступному:

1. Врахування невизначеності: додано стохастичні елементи до моделей інвестицій і продуктивності, що дозволяє моделювати вплив випадкових факторів і невизначеності на економічні процеси.

2. Динамічне моделювання: Перейдено від статичних моделей до динамічних, що дозволяє враховувати часовий розвиток макроекономічних показників, інвестицій та ризиків.

3. Моделювання інновацій: введено змінні для інновацій і технологічного розвитку, що дає можливість оцінювати вплив інновацій на продуктивність підприємств і економічне зростання.

4. Типізація інвесторів: враховано різні типи інвесторів, їхні стратегії та ризикопереносимість, що покращує моделювання процесу залучення інвестицій.

5. Структурні зміни: введено структурні зміни в економіці та адаптацію підприємств до цих змін, що дозволяє моделювати вплив змін в економічних секторах на загальні економічні показники.

Запропоновані удосконалення дозволяють враховувати динамічні аспекти економіки, стохастичну природу ризиків та інвестицій, вплив інновацій, різні типи інвесторів і структурні зміни. Це сприяє більш точному моделюванню та прогнозуванню розвитку системи зовнішнього інвестування підприємств в умовах воєнного і поствоєнного станів, забезпечуючи ефективніші та обґрунтовані рішення для управління економічними процесами.

Таким чином, інтегрована економіко-математична модель, яка враховує вищенаведені пропозиції має такий остаточний вигляд:

1. Макроекономічна частина моделі (CGE)

1.1. Вихідні змінні: Y_t – сукупний випуск (ВВП) в час t ; C_t – споживання домогосподарств в час t ; I_t – інвестиції, включаючи зовнішні інвестиції, в час t ; G_t – державні витрати в час t ; X_t – експорт в час t ; M_t – імпорт в час t ; P_t – ціни на товари та послуги в час t ; E_t – обмінний курс в час t ; T_t – податки в час t .

1.2. Основні рівняння моделі.

1.2.1. Сукупний випуск (ВВП)

$$Y_t = C_t + I_t + G_t + (X_t - M_t). \quad (35)$$

1.2.2. Споживання домогосподарств:

$$C_t = \alpha Y_{d,t} \cdot P_t^{-\epsilon},$$

де α – коефіцієнт пропорційності; $Y_{d,t}$ – дохід домогосподарств в час t ; ϵ – еластичність попиту за ціною:

$$Y_{d,t} = Y_t - T_t. \quad (36)$$

1.2.3. Інвестиції. Інвестиції з врахуванням невизначеності:

$$I_t = \beta_0 + \beta_1 r_t + \beta_2 E_t + \beta_3 \text{ризик}_t + \beta_4 \text{стабільність}_t + p I_{t-1} + \epsilon_{I,t},$$

де $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ – коефіцієнт регресії; r_t – процентна ставка в час t ; p – коефіцієнт автокореляції; $\epsilon_{I,t} \sim N(0, \sigma_I^2)$ – стохастичний шум, який моделює невизначеність в інвестиціях.

1.2.4. Попит на імпорт:

$$M_t = \gamma_0 + \gamma_1 Y_t + \gamma_2 E_t + \epsilon_{M,t}, \quad (37)$$

де $\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2$ – коефіцієнт регресії; $\epsilon_{M,t} \sim N(0, \sigma_M^2)$ – стохастичний шум.

1.2.5. Пропозиція експорту:

$$X_t = \delta_0 + \delta_1 P_t + \delta_2 E_t + \delta_3 \text{конкурентоспроможність}_t + \epsilon_{X,t}, \quad (38)$$

де $\delta_0, \delta_1, \delta_2, \delta_3$ – коефіцієнт регресії $\epsilon_{X,t} \sim N(0, \sigma_X^2)$ – стохастичний шум.

1.3. Динаміка макроекономічних змінних.

1.3.1. Воєнні шоки. Зміна державних витрат:

$$\Delta G_{\text{воєнні}} = G_0 \cdot \theta_{\text{безпека}}, \quad (39)$$

де G_0 – початковий рівень державних витрат; $\theta_{\text{безпека}}$ – коефіцієнт витрат на безпеку. Зниження інвестицій через зростання ризиків:

$$\Delta I_{\text{ризик}} = I_0 \cdot k_{\text{ризик}}, \quad (40)$$

де I_0 – початковий рівень інвестицій; $k_{\text{безпека}}$ – коефіцієнт зниження через ризики.

1.3.2. Поствоєнні шоки. Збільшення державних витрат на відновлення.

$$\Delta G_{\text{відновлення}} = G_0 \cdot \theta_{\text{відновлення}}. \quad (41)$$

Зростання інвестицій через покращення умов:

$$\Delta I_{\text{покращення}} = I_0 \cdot k_{\text{інвестиції}}. \quad (42)$$

1.4. Сценарії розвитку.

1.4.1. Воєнний сценарій:

1.4.1.1. Підвищення державних витрат на оборону:

$$G_{\text{воєнні}} = G_0 + \Delta G_{\text{воєнні}}. \quad (43)$$

1.4.1.2. Зниження інвестицій:

$$I_{\text{воєнні}} = I_0 - \Delta I_{\text{ризик}}. \quad (44)$$

1.4.2. Поствоєнний сценарій:

1.4.2.1. Збільшення державних витрат на відновлення:

$$G_{\text{поствоєнні}} = G_0 + \Delta G_{\text{відновлення}}. \quad (45)$$

1.4.2.2. Зростання інвестицій:

$$I_{\text{поствоєнні}} = I_0 + \Delta I_{\text{покращення}}. \quad (46)$$

2. Мікроекономічна частина моделі (ABM)

2.1. Вихідні змінні: A_j – агент (підприємство) i ; I_{ij} – інвестиції від інвестора j до підприємства i ; R_i – ризик підприємства i ; P_i – продуктивність підприємства i ; Π_i – прибуток підприємства i ; Θ_j – ризикова толерантність інвестора j .

2.2. Взаємодія агентів.

2.2.1. Розподіл інвестицій:

$$I_{ij} = f(P_i, R_i, \Theta_j), \quad (47)$$

де I_{ij} – обсяг інвестицій, отриманих підприємством i від інвестора j .

2.2.2. Моделювання поведінки підприємств.

2.2.2.1. Продуктивність підприємства з врахуванням інновацій та невизначеності:

$$P_i = P_{i,0} + \alpha_i I_{ij} + \gamma_i \text{інновації}_i - \beta_i R_i + \epsilon_{P,i} \quad (48)$$

де α_i – коефіцієнт впливу інвестицій на продуктивність; γ_i – коефіцієнт впливу інновацій на

продуктивність; β_i – коефіцієнт впливу ризиків на продуктивність; $\epsilon_{M,t} \sim N(0, \sigma_M^2)$ – стохастичний шум.

2.2.2.2. Прибуток підприємства:

$$\Pi_i = \gamma_i P_i - \delta_i R_i, \quad (49)$$

де γ_i – коефіцієнт прибутковості продуктивності;

δ_i – коефіцієнт впливу ризиків на прибуток

2.2.3. Моделювання поведінки інвесторів. Інвестиційна функція з врахуванням типу інвестора:

$$I_{ij} = \Theta_j \cdot \phi_j (\Pi_i - R_i), \quad (50)$$

де ϕ_j – коефіцієнт, який відображає стратегію та ризикопереносимість конкретного типу інвестора.

2.3. Динаміка ризиків. Динаміка ризиків підприємств:

$$R_i(t) = R_{i,0} e^{-\lambda t} + \eta_i(t), \quad (51)$$

де λ – коефіцієнт зниження ризиків з часом;

$\eta_i(t) \sim N(0, \sigma_\eta^2)$ – стохастичний процес.

2.4. Динаміка інновацій. Моделювання динамічного процесу інновацій:

$$\text{інновації}_i(t) = \text{інновації}_{i,0} + \mu_i I_{ij}(t) - \delta_i \text{ризик}_i(t), \quad (52)$$

де μ_i – коефіцієнт впливу інвестицій на інновації;

δ_i – коефіцієнт впливу ризиків на інновації.

3. Інтеграція CGE та ABM.

3.1. Поєднання макро- та мікрорівнів

3.1.1. Вплив макроекономічних змін на мікрорівень

Вплив сукупного випуску на продуктивність підприємств:

$$P_i = f(Y_t, P_{i,0}, I_{ij}, R_i). \quad (53)$$

3.1.2. Вплив мікроекономічних змін на макрорівень. Вплив змін інвестицій на загальні інвестиції:

$$I_t = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M I_{ij}. \quad (54)$$

3.2. Моделювання сценаріїв

3.2.1. Воєнний сценарій

3.2.1.1. Зміни на макрорівні:

$$Y_{\text{воєнні},t} = f(C_t, G_{\text{воєнні},t}, I_{\text{воєнні},t}, X_t, M_t). \quad (55)$$

3.2.1.2. Зміни на мікрорівні:

$$P_i^{\text{воєнні}} = f(Y_{\text{воєнні},t}, P_{i,0}, I_{ij}^{\text{воєнні}}, R_i). \quad (56)$$

3.2.2. Поствоєнний сценарій

3.2.2.1. Зміни на макрорівні:

$$Y_{\text{поствоєнні},t} = f(C_t, G_{\text{поствоєнні},t}, I_{\text{поствоєнні},t}, X_t, M_t). \quad (57)$$

3.2.2.2. Зміни на мікрорівні:

$$P_i^{\text{поствоєнні}} = f(Y_{\text{поствоєнні},t}, P_{i,0}, I_{ij}^{\text{поствоєнні}}, R_i). \quad (58)$$

Висновки. Побудована інтегрована модель, що поєднує макроекономічний та мікроекономічний підходи, дозволяє всебічно аналізувати та прогнозувати розвиток системи зовнішнього інвестування підприємств в умовах воєнного і поствоєнного станів. Вона враховує динамічні аспекти економічних змін, стохастичну природу ризиків та інвестицій, вплив інновацій та різних типів інвесторів, а також структурні зміни в економіці. Це забезпечує точніше відображення реальних економічних процесів і підтримку ухвалення обґрунтованих управлінських рішень.

Список використаних джерел:

1. Alarcon S. & Sanchez M. (2013). External and internal R&D, capital investment and business performance in the Spanish agri-food industry. *Journal of Agricultural Economics*, 64(3), 654–675. DOI: <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12015>
2. Mushnykova S. A. (2015). Theoretical issues of formation of security systems of industrial enterprise development. *Technology Audit and Production Reserves*, 1, 4–7. DOI: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2015.38587>
3. Wang P. (2016). Discussion on the innovation of enterprise investment management. *Proceedings of the 2016 4th International Education, Economics, Social Science, Arts, Sports and Management Engineering Conference (IEESASM 2016)*. DOI: <https://doi.org/10.2991/ieesasm-16.2016.241>
4. Voloshchuk V., Voloshchuk Y. & Ivanyshyn O. (2020). Investment in innovative development of enterprises. *Innovative economy*, 3–4. DOI: <https://doi.org/10.37332/2309-1533.2020.3-4.22>
5. Nikitina A., Shersheniuk O., Kyrchata I., Popkova K. & Khrystoforova O. (2020). Management of investment projects as an important component of enterprise management in the global space, 2, 473–481. DOI: <https://doi.org/10.18371/fcaptp.v2i33.207210>
6. Kryvonohova I. (2021). Conceptual approaches to the development of a strategy for innovation and investment activity in a food enterprise. *Scientific Bulletin of Mukachevo State University. Series "Economics"*, 8(3), 60–66. DOI: [https://doi.org/10.52566/msu-econ.8\(3\).2021.60-66](https://doi.org/10.52566/msu-econ.8(3).2021.60-66)
7. Shepylenko V. (2022). Investment component of the enterprise's activities. *Problems of systems approach in the economy*, 2. DOI: <https://doi.org/10.32782/2520-2200/2022-2-13>
8. Horiashchenko Y., & Knysh O.G. (2022). Investment resources of enterprises and sources of their formation. *Economic Innovations*, 4(85), 38–47. DOI: [https://doi.org/10.31520/ei.2022.24.4\(85\).38-47](https://doi.org/10.31520/ei.2022.24.4(85).38-47)

9. Kotvytska N., Boiaryna K., & Fridrikhson M. (2022). Investment mechanism in agricultural enterprises during war. *Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology*, 33. 238–243. DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2022-3-33>

References:

1. Alarcon S. & Sanchez M. (2013). External and internal R&D, capital investment and business performance in the Spanish agri-food industry. *Journal of Agricultural Economics*, 64(3), 654–675. DOI: <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12015>.
2. Mushnykova S. A. (2015). Theoretical issues of formation of security systems of industrial enterprise development. *Technology Audit and Production Reserves*, 1, 4–7. DOI: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2015.38587>
3. Wang P. (2016). Discussion on the innovation of enterprise investment management. *Proceedings of the 2016 4th International Education, Economics, Social Science, Arts, Sports and Management Engineering Conference (IEESASM 2016)*. DOI: <https://doi.org/10.2991/ieesasm-16.2016.241>
4. Voloshchuk V., Voloshchuk Y. & Ivanyshyn O. (2020). Investment in innovative development of enterprises. *Innovative economy*, 3–4. DOI: <https://doi.org/10.37332/2309-1533.2020.3-4.22>
5. Nikitina A., Shersheniuk O., Kyrchata I., Popkova K. & Khrystoforova O. (2020). Management of investment projects as an important component of enterprise management in the global space, 2, 473–481. DOI: <https://doi.org/10.18371/fcaptp.v2i33.207210>
6. Kryvonohova I. (2021). Conceptual approaches to the development of a strategy for innovation and investment activity in a food enterprise. *Scientific Bulletin of Mukachevo State University. Series "Economics"*, 8(3), 60–66. DOI: [https://doi.org/10.52566/msu-econ.8\(3\).2021.60-66](https://doi.org/10.52566/msu-econ.8(3).2021.60-66)
7. Shepylenko V. (2022). Investment component of the enterprise's activities. *Problems of systems approach in the economy*, 2. DOI: <https://doi.org/10.32782/2520-2200/2022-2-13>
8. Horiashchenko Y. & Knysh O.G. (2022). Investment resources of enterprises and sources of their formation. *Economic Innovations*, 4(85), 38–47. DOI: [https://doi.org/10.31520/ei.2022.24.4\(85\).38-47](https://doi.org/10.31520/ei.2022.24.4(85).38-47)
9. Kotvytska N., Boiaryna K. & Fridrikhson M. (2022). Investment mechanism in agricultural enterprises during war. *Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology*, 33. 238–243. DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2022-3-33>