

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
ФАКУЛЬТЕТ МЕНЕДЖМЕНТУ ТА МАРКЕТИНГУ  
КАФЕДРА ЕКОНОМІЧНОЇ КІБЕРНЕТИКИ**

«На правах рукопису»  
УДК 330.131.7:005.334:004.8

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО:  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Катерина БОЯРИНОВА  
« \_\_\_\_ » грудня 2025 р.

**МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ**  
на здобуття ступеня магістра  
за освітньо-професійною програмою  
«Економічна аналітика»  
зі спеціальності 051 Економіка

на тему: «Аналітичні засади формування ринку штучного інтелекту в Україні в умовах ризиків»

**Виконав:**

студент 2-го курсу, групи УА-41мп  
МІТЧЕНКО Антон Дмитрович

**Науковий керівник:**

Професор кафедри економічної кібернетики, д.ф.-м.н., проф.  
КАПУСТЯН Володимир Омелянович

**Рецензент:**

завідувач кафедри економіки і підприємництва, д.е.н., проф.  
ТУЛЬЧИНСЬКА Світлана Олександрівна

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає  
запозичень з праць інших авторів без відповідних  
посилань

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2025 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет менеджменту та маркетингу  
Кафедра економічної кібернетики  
Рівень вищої освіти – другий (магістерський)  
Спеціальність – 051 Економіка  
Освітньо-професійна програма «Економічна аналітика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Катерина БОЯРИНОВА

«   » \_\_\_\_\_ 2025 р.

## **ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

МІТЧЕНКУ Антону Дмитровичу

**1. Тема дисертації:** «Аналітичні засади формування ринку штучного інтелекту в Україні в умовах ризиків»,

науковий керівник дисертації Капустян Володимир Омелянович, д.ф.-м.н., проф., затверджені наказом по університету від 03.11.2025 року № 4740-с.

**2. Термін подання студентом дисертації:** 12.12.2025 року

**3. Об'єкт дослідження:** процес формування та функціонування ринку штучного інтелекту в Україні в умовах дії зовнішніх ризиків, зокрема військових, економічних та технологічних.

**4. Предмет дослідження (Вихідні дані):** офіційні статистичні дані Національного банку України (експорт ІТ-послуг, офіційні валютні курси), Державної служби статистики України (зайнятість та заробітні плати в ІКТ-секторі), Міжнародного союзу електрозв'язку ІТУ (інвестиції та зайнятість у цифровій економіці), масиви

заробітних плат ІТ-фахівців за даними порталу DOU (включно з вибіркою спеціалістів у сфері AI/ML), подієві дані ACLED щодо інтенсивності воєнних дій, статистика УВКБ ООН (UNHCR) про вимушену міграцію, а також сформована на їх основі інтегрована квартална панель 2018–2024 рр., отримана шляхом злиття, інтерполяції та дефлювання зазначених показників.

## **5. Перелік завдань, які потрібно розробити:**

### *а) теоретична частина:*

- проаналізувати теоретичні засади формування та розвитку ринку штучного інтелекту як соціально-економічної системи;
- розкрити зміст теоретико-методичних підходів до економічної аналітики та моделювання ринків високотехнологічних галузей;
- дослідити сучасні підходи до аналізу ризиків функціонування та розвитку соціально-економічних систем і обґрунтувати їх застосовність для дослідження ринку штучного інтелекту в Україні;

### *б) аналітична частина:*

- сформувати систему релевантних економічних показників для оцінювання стану та динаміки розвитку ринку штучного інтелекту;
- здійснити описову та діагностичну економічну аналітику ключових тенденцій розвитку ринку штучного інтелекту з використанням статистичних та аналітичних методів;
- оцінити вплив зовнішніх військових, економічних та технологічних ризиків на функціонування та розвиток ринку штучного інтелекту;
- побудувати економіко-математичну модель розвитку ринку штучного інтелекту з урахуванням ризикових чинників;

### *в) рекомендаційна частина:*

- провести модельні експерименти та сценарний аналіз можливих траєкторій розвитку ринку штучного інтелекту за різних умов зміни рівня ризиків;
- здійснити аналітичне обґрунтування стратегічних і управлінських рішень щодо розвитку ринку штучного інтелекту;
- розробити рекомендації щодо підвищення стійкості, ефективності та інвестиційної привабливості ринку штучного інтелекту в Україні на основі результатів економічної аналітики та сценарного прогнозування.

## **6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу:**

- 1) Динаміка ключових макроекономічних показників розвитку цифрової економіки та ІТ/ШІ-сектору в Україні за 2018–2024 рр.
- 2) Динаміка обсягів випуску та експорту ІТ-послуг як бази формування ринку штучного інтелекту в Україні.

3) Динаміка зайнятості та рівня заробітних плат у ІТ/ШІ-секторі України за 2018–2024 рр.

4) Динаміка інвестицій та ефективного капіталу в ІТ/ШІ-секторі з урахуванням воєнних та економічних ризиків.

5) Індекси ризиків функціонування ринку штучного інтелекту (військових, економічних, технологічних) та їх динаміка.

6) Результати описової економічної аналітики ключових показників розвитку ринку штучного інтелекту в Україні.

7) Результати діагностичної аналітики впливу ризикових чинників на показники розвитку ринку ШІ (кореляційний та регресійний аналіз).

8) Результати економіко-математичного моделювання розвитку ринку штучного інтелекту з урахуванням ризикових чинників.

9) Порівняння фактичних і модельних значень ключових показників розвитку ринку штучного інтелекту (Actual vs Fitted).

10) Результати сценарного аналізу та прогнозування розвитку ринку штучного інтелекту за альтернативних сценаріїв зміни рівня ризиків.

**7. Дата видачі завдання:** 26 червня 2025 року.

## Календарний план

<i>№ з/п</i>	<i>Назва етапів виконання магістерської дисертації</i>	<i>Термін виконання етапів магістерської дисертації</i>	<i>Примітка</i>
1.	Вибір напрямку дослідження, узгодження завдання та змісту магістерської дисертації з науковим керівником.	02.06.2025- 27.06.2025	
2.	Збір необхідної інформації, вивчення та аналіз літературних джерел щодо досліджуваної тематики.	30.06.2025- 08.09.2025	
3.	Розгляд теоретичних засад формування ринку ШІ. Надання на перевірку першого розділу.	09.09.2025- 30.09.2025	
4.	Описова аналітика ключових показників розвитку ринку ШІ	01.10.2025- 10.10.2025	
5.	Діагностика впливу ризиків на функціонування ринку ШІ	11.10.2025- 20.10.2025	
6.	Аналітичне моделювання розвитку ринку ШІ в умовах ризиків. Надання на перевірку другого розділу.	21.10.2025- 30.10.2025	
7.	Інструментарій аналітичного обґрунтування управлінських рішень	31.10.2025- 07.11.2025	
8.	Рекомендації щодо підвищення стійкості ринку ШІ	08.11.2025- 16.11.2025	
9.	Сценарний аналіз та прогноз розвитку ринку ШІ. Надання на перевірку третього розділу.	17.11.2025- 30.11.2025	
10.	Оформлення магістерської дисертації другого (магістерського) рівня вищої освіти.	01.12.2025- 03.12.2025	
11.	Подання магістерської дисертації для перевірки на збіг/схожість, отримання відгуку керівника та рецензії.	04.12.2025- 11.12.2025	
12.	Подання магістерської дисертації до захисту.	12.12.2025	

Студент

Антон МІТЧЕНКО

Науковий керівник

Володимир КАПУСТЯН

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація Мітченка Антона Дмитровича на тему «Аналітичні засади формування ринку штучного інтелекту в Україні в умовах ризиків» зі спеціальності 051 Економіка, освітньо-професійної програми «Економічна аналітика», Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2025, Київ.

Магістерська дисертація складається зі вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Виконана в обсязі 139 сторінок, містить 19 рисунків та 44 таблиць.

**Актуальність теми.** Розвиток ринку штучного інтелекту в Україні відбувається в умовах безпрецедентної невизначеності, спричиненої воєнними, економічними та технологічними ризиками. Саме ці фактори визначають обмеженість доступних ресурсів, знижують ефективність капіталу й праці та формують нові структурні режими функціонування ринку. Водночас ШІ стає ключовим драйвером економічного розвитку, підвищення продуктивності, цифрової трансформації та обороноздатності країни, що зумовлює необхідність поглибленого наукового аналізу та моделювання системних закономірностей його розвитку. Актуальність дослідження посилюється потребою держави та бізнесу у кількісно обґрунтованих рішеннях щодо підтримки інноваційної екосистеми ШІ та мінімізації впливу ризиків.

**Зв'язок дослідження з науковими програмами, планами, темами.** Магістерська дисертація виконувалась у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» відповідно до планів наукових досліджень кафедри економічної кібернетики за темою «Аналітика та моделювання економічного розвитку в імперативах Trans Tech» (№ ДР 0123U101760).

**Метою** магістерською дисертації є узагальнення теоретичних положень та розроблення аналітичного та економіко-математичного інструментарію для оцінювання розвитку ринку штучного інтелекту України в умовах ризиків, а також побудова прогнозних сценаріїв та практичних рекомендацій щодо підвищення стійкості галузі.

**Завдання дослідження:** проаналізувати теоретичні засади формування та розвитку ринку штучного інтелекту як соціально-економічної системи; розкрити зміст теоретико-методичних підходів до економічної аналітики та моделювання ринків високотехнологічних галузей в умовах підвищених ризиків; дослідити сучасні методи економічної аналітики, оцінювання та прогнозування розвитку ринку штучного інтелекту, обґрунтувавши їх застосовність для аналізу українського ринку; сформувати систему релевантних економічних показників для оцінки стану та динаміки розвитку ринку штучного інтелекту в Україні; здійснити описову та діагностичну економічну аналітику ключових тенденцій розвитку ринку штучного інтелекту з використанням статистичних та аналітичних методів; оцінити вплив зовнішніх військових, економічних та технологічних ризиків на функціонування і

розвиток ринку штучного інтелекту; побудувати економіко-математичну модель розвитку ринку штучного інтелекту з урахуванням ризикових чинників; провести модельні експерименти та сценарний аналіз можливих траєкторій розвитку ринку штучного інтелекту за різних умов зміни рівня ризиків; розробити аналітично обґрунтовані рекомендації щодо підвищення стійкості та ефективності розвитку ринку штучного інтелекту в Україні на основі результатів економічної аналітики та сценарного прогнозування.

**Об'єкт дослідження** – процеси формування, функціонування та розвитку ринку штучного інтелекту в Україні в умовах дії зовнішніх військових, економічних та технологічних ризиків.

**Предмет дослідження** – економічні закономірності, механізми та аналітичні моделі оцінювання впливу зовнішніх військових, економічних і технологічних ризиків на формування, функціонування та розвиток ринку штучного інтелекту в Україні.

**Методи дослідження:** методи економічного та структурно-динамічного аналізу; статистичні методи аналізу економічних даних; методи описової та діагностичної економічної аналітики; кореляційно-регресійний аналіз; методи економіко-математичного моделювання; модифіковані виробничі функції з урахуванням ризикових чинників; сценарний та прогностичний аналіз; модельні експерименти; методи аналітики ризиків соціально-економічних систем; інструменти обробки та візуалізації даних (Python, Pandas, NumPy, Matplotlib).

**Наукова новизна одержаних результатів.** Елементами наукової новизни магістерської дисертації є удосконалення методичних положень щодо економіко-аналітичного оцінювання розвитку ринку штучного інтелекту в умовах підвищених зовнішніх ризиків, зокрема інтеграції ризикових чинників військового, економічного та технологічного характеру в аналітичну модель розвитку ринку; розвитку підходів до використання модифікованих економіко-математичних моделей з урахуванням ризик-скоригованих ефективних факторів виробництва; формування системи аналітичних показників оцінювання стійкості та потенціалу розвитку ринку штучного інтелекту для обґрунтування сценарних прогнозів і прийняття аналітично обґрунтованих економічних рішень.

**Практичне значення одержаних результатів.** Отримані результати можуть бути використані для аналітичного обґрунтування стратегічних і управлінських рішень щодо розвитку ринку штучного інтелекту в Україні, зокрема під час формування державної політики у сфері цифрової економіки, оцінювання доцільності інвестицій у високотехнологічні напрями, розроблення заходів із зниження впливу військових, економічних та технологічних ризиків, а також для сценарного прогнозування розвитку ринку ШІ з метою підвищення його стійкості та ефективності в умовах невизначеності.

**Ключові слова:** штучний інтелект; економічна аналітика; ризики; виробнича функція; ефективний капітал; ефективна праця; сценарне моделювання; інноваційна екосистема; прогнозування; стійкість ринку.

## ABSTRACT

The Master's thesis by Anton Dmytrovych Mitchenko, entitled "Analytical Foundations for the Formation of the Artificial Intelligence Market in Ukraine under Risk Conditions", specialty 051 Economics, educational and professional program "Economic Analytics", National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 2025, Kyiv.

The Master's thesis consists of an introduction, three chapters, conclusions, a list of references, and appendices. The thesis comprises 137 pages, includes 19 figures and 44 tables.

***Relevance of the topic.*** The development of the artificial intelligence market in Ukraine is taking place under conditions of unprecedented uncertainty caused by military, economic, and technological risks. These factors determine the limitations of available resources, reduce the efficiency of capital and labor, and shape new structural regimes of market functioning. At the same time, artificial intelligence is becoming a key driver of economic growth, productivity enhancement, digital transformation, and national defense capability, which necessitates in-depth scientific analysis and modeling of the systemic patterns of its development. The relevance of the study is further reinforced by the growing need of the state and business sector for quantitatively substantiated decisions aimed at supporting the AI innovation ecosystem and minimizing the impact of risks.

***Connection of work with scientific programs, plans, topics.*** The master's thesis was carried out at the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" in accordance with the research plans of the Department of Economic Cybernetics under the research topic "Analytics and Modeling of Economic Development in the Imperatives of Trans Tech" (State Registration No. 0123U101760).

***The purpose of study*** is to generalize theoretical provisions and to develop analytical as well as economic-mathematical tools for assessing the development of Ukraine's artificial intelligence market under risk conditions, as well as to construct forecasting scenarios and practical recommendations aimed at enhancing the resilience of the industry.

***Research objectives.*** to analyze the theoretical foundations of the formation and development of the artificial intelligence market as a socio-economic system; to reveal the content of theoretical and methodological approaches to economic analytics and modeling of high-technology markets under increased risk conditions; to investigate modern methods of economic analytics, assessment, and forecasting of the AI market development and to substantiate their applicability to the Ukrainian market; to form a system of relevant economic indicators for assessing the state and dynamics of the artificial intelligence market in Ukraine; to conduct descriptive and diagnostic economic analytics of key development

trends of the AI market using statistical and analytical methods; to assess the impact of external military, economic, and technological risks on the functioning and development of the artificial intelligence market; to build an economic-mathematical model of AI market development incorporating risk factors; to perform model experiments and scenario analysis of possible trajectories of the artificial intelligence market development under different levels of risk; and to develop analytically grounded recommendations for improving the resilience and efficiency of the artificial intelligence market in Ukraine based on the results of economic analytics and scenario forecasting.

***The object of the study*** is the processes of formation, functioning, and development of the artificial intelligence market in Ukraine under the influence of external military, economic, and technological risks.

***The subject of the study*** comprises the economic patterns, mechanisms, and analytical models for assessing the impact of external military, economic, and technological risks on the formation, functioning, and development of the artificial intelligence market in Ukraine.

***Research methods:*** structural-dynamic analysis; statistical methods for analyzing economic data; descriptive and diagnostic economic analytics methods; correlation and regression analysis; methods of economic-mathematical modeling; modified production functions incorporating risk factors; scenario and forecasting analysis; model experiments; risk analytics methods for socio-economic systems; and data processing and visualization tools (Python, Pandas, NumPy, Matplotlib).

***Scientific novelty of the results.*** The scientific novelty of the Master's thesis lies in the improvement of methodological approaches to the economic-analytical assessment of the artificial intelligence market development under heightened external risks, in particular through the integration of military, economic, and technological risk factors into an analytical market development model; the advancement of approaches to the use of modified economic-mathematical models with risk-adjusted effective factors of production; and the formation of a system of analytical indicators for assessing the resilience and development potential of the artificial intelligence market to substantiate scenario forecasts and analytically grounded economic decision-making.

***Practical significance of the results.*** The obtained results may be used for the analytical substantiation of strategic and managerial decisions regarding the development of the artificial intelligence market in Ukraine, particularly in the formulation of state policy in the field of digital economy, evaluation of the feasibility of investments in high-technology sectors, development of measures to mitigate the impact of military, economic, and technological risks, as well as for scenario forecasting of the AI market development aimed at enhancing its resilience and efficiency under conditions of uncertainty.

**Keywords:** artificial intelligence; economic analytics; risks; production function; effective capital; effective labor; scenario modeling; innovation ecosystem; forecasting; market resilience.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	12
1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ РИНКУ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В УМОВАХ РИЗИКІВ.....	17
1.1. Теоретичні підходи до аналізу ринку штучного інтелекту .....	17
1.2. Ризики розвитку соціально-економічних систем та їх вплив на ринок штучного інтелекту .....	22
1.3. Методи економічної аналітики та моделювання ринку штучного інтелекту ....	30
Висновки до першого розділу .....	37
2 ЕКОНОМІЧНА АНАЛІТИКА ТА ДІАГНОСТИКА РОЗВИТКУ РИНКУ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В УКРАЇНІ .....	41
2.1. Описова аналітика ключових показників розвитку ринку штучного інтелекту	41
2.2. Діагностика впливу ризиків на функціонування ринку штучного інтелекту ...	61
2.3. Аналітичне моделювання розвитку ринку штучного інтелекту в умовах ризиків .....	73
Висновки до другого розділу .....	94
3 АНАЛІТИЧНИЙ КОНСАЛТИНГ ТА СЦЕНАРНЕ ПРОГНАЗУВАННЯ РИНКУ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ .....	97
3.1. Інструментарій аналітичного обґрунтування управлінських рішень .....	97
3.2. Рекомендації щодо підвищення стійкості ринку штучного інтелекту .....	113
3.3. Сценарний аналіз та прогноз розвитку ринку штучного інтелекту .....	117
Висновки до третього розділу .....	130
ВИСНОВКИ.....	132
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	134

## ВСТУП

**Актуальність.** Стрімкий розвиток технологій штучного інтелекту формує одну з ключових тенденцій сучасної світової економіки, визначаючи конкурентоспроможність держав, темпи інновацій та ефективність управлінських рішень. ШІ стає фундаментальним елементом трансформації бізнесу, оборонного сектору та державного управління, а обсяги глобального ринку зростають випереджальними темпами. В цих умовах для України надзвичайно важливим є осмислення закономірностей розвитку ринку ШІ та формування власної стратегії технологічного зростання.

Повномасштабна війна різко змінила траєкторію технологічного розвитку країни, одночасно створивши унікальні можливості та надзвичайні ризики. З одного боку, спостерігається безпрецедентне зростання сектору DefenceTech, активне впровадження ШІ в обороні, кібербезпеці та розвідці. З іншого боку, руйнування інфраструктури, мобілізація та міграція кадрів, падіння інвестиційної активності та зовнішні загрози суттєво обмежують потенціал ринку та створюють високий рівень невизначеності. Це формує потребу у кількісному аналізі впливу ризиків на розвиток галузі.

Водночас український ринок ШІ залишається недостатньо дослідженим у науковій літературі, особливо в контексті воєнної економіки та екстремальних шоків. Бракує моделей, здатних поєднати економічні механізми функціонування ринку з факторами військових втрат, кадрових обмежень та технологічної дифузії. Відсутність таких інструментів ускладнює формування державної політики та стратегічне планування компаній у сфері ШІ.

Таким чином, актуальність теми визначається необхідністю науково обґрунтованого підходу до оцінювання та прогнозування розвитку ринку штучного інтелекту в умовах високих ризиків. Розробка комплексної математичної моделі дає

змогу кількісно оцінити вплив ключових факторів, порівнювати сценарії розвитку та формувати ефективні стратегічні рішення для держави, бізнесу та інвесторів.

Магістерська дисертація виконувалась у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» відповідно до планів наукових досліджень кафедри економічної кібернетики за темою «Аналітика та моделювання економічного розвитку в імперативах Trans Tech» (№0123U101760).

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами.** Магістерська дисертація виконувалась у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» відповідно до планів наукових досліджень кафедри економічної кібернетики за темою «Аналітика та моделювання економічного розвитку в імперативах Trans Tech» (№ ДР 0123U101760).

**Метою** магістерською дисертації є розроблення аналітичного та економіко-математичного інструментарію для оцінювання розвитку ринку штучного інтелекту України в умовах ризиків, а також побудова прогностичних сценаріїв та практичних рекомендацій щодо підвищення стійкості галузі.

Відповідно до поставленої мети були визначені такі завдання:

- проаналізувати теоретичні засади формування та розвитку ринку штучного інтелекту як соціально-економічної системи;
- розкрити зміст теоретико-методичних підходів до економічної аналітики та моделювання ринків високотехнологічних галузей в умовах підвищених ризиків;
- дослідити сучасні методи економічної аналітики, оцінювання та прогнозування розвитку ринку штучного інтелекту та обґрунтувати їх застосовність для аналізу українського ринку;
- сформулювати систему релевантних економічних показників для аналітичної оцінки стану та динаміки розвитку ринку штучного інтелекту в Україні;

- здійснити описову та діагностичну економічну аналітику ключових тенденцій розвитку ринку штучного інтелекту з використанням статистичних та аналітичних методів;
- оцінити вплив зовнішніх військових, економічних та технологічних ризиків на функціонування та розвиток ринку штучного інтелекту;
- побудувати економіко-математичну модель розвитку ринку штучного інтелекту з урахуванням ризикових чинників;
- провести модельні експерименти та сценарний аналіз можливих траєкторій розвитку ринку штучного інтелекту за різних умов зміни рівня ризиків;
- розробити аналітично обґрунтовані рекомендації щодо підвищення стійкості та ефективності розвитку ринку штучного інтелекту в Україні на основі результатів економічної аналітики та сценарного прогнозування.

**Об’єктом дослідження** є процеси формування, функціонування та розвитку ринку штучного інтелекту в Україні в умовах дії зовнішніх військових, економічних та технологічних ризиків.

**Предметом дослідження** є економічні закономірності, механізми та аналітичні моделі оцінювання впливу зовнішніх військових, економічних і технологічних ризиків на формування, функціонування та розвиток ринку штучного інтелекту в Україні.

**База дослідження:** аналітичні матеріали Міністерства цифрової трансформації України, дані Національного банку України, звіти Kyiv School of Economics, ITU, Techosystem, DOU та інших профільних джерел.

**Методи дослідження.** У роботі застосовано такі методи економічної аналітики та моделювання:

- методи економічного та структурно-динамічного аналізу – для дослідження тенденцій формування та розвитку ринку штучного інтелекту в Україні;
- статистичні методи аналізу економічних даних – для обробки часових рядів, оцінювання динаміки ключових показників, перевірки статистичних гіпотез та виявлення закономірностей розвитку ринку ШІ;

- кореляційно-регресійний аналіз – для оцінювання взаємозв'язків між показниками розвитку ринку штучного інтелекту та зовнішніми військовими, економічними й технологічними ризиками;
- методи економіко-математичного моделювання – для побудови аналітичної моделі розвитку ринку штучного інтелекту з урахуванням ризикових чинників;
- модифіковані виробничі функції з ризик-скоригованими ефективними факторами – для кількісної оцінки впливу ризиків на результативність і потенціал розвитку ринку ШІ;
- сценарний та прогностичний аналіз – для моделювання можливих траєкторій розвитку ринку штучного інтелекту за різних умов зміни рівня ризиків;
- модельні експерименти – для аналізу чутливості результатів моделі до зміни ключових параметрів та обґрунтування альтернативних сценаріїв розвитку;
- інструменти обробки та візуалізації даних (Python, Pandas, NumPy, Matplotlib) – для підготовки аналітичних даних, побудови графічних інтерпретацій результатів та підтримки аналітичних висновків.

**Наукова новизна.** Наукова новизна отриманих результатів:

- сформовано унікальну інтегровану квартальну панель даних ринку ШІ/ІТ України за 2018–2024 рр., що об'єднує НБУ, ITU, UKRSTAT, DOU, ACLED та UNHCR і створює основу для коректного економетричного аналізу.
- запропоновано удосконалену систему оцінювання факторів виробництва, яка включає побудову капітального запасу методом PIM та реконструкцію трудових ресурсів із використанням комбінованих джерел.
- розроблено ризик-скориговані показники капіталу й праці ( $\rho_K$  та  $\rho_L$ ), що вперше кількісно враховують вплив війни через конфліктні події та міграційні потоки.
- удосконалено методику оцінювання заробітних плат у високотехнологічному секторі, застосовано досвід-скориговане очищення даних DOU та побудовано репрезентативні ряди зарплат для окремих секторів.
- побудовано та емпірично оцінено ризик-скориговану виробничу функцію

Кобба—Дугласа, яка дозволила визначити внесок капіталу, праці, заробітних плат, технологічного тренду та шоку війни у зміну випуску.

– вперше виконано міжсекторальний аналіз впливу війни на сегменти DefenceTech, GovTech, Fintech, GameDev, Gambling та Medtech, що виявив суттєву диференціацію динаміки зарплат і чутливості секторів до ризиків.

**Практичне значення отриманих результатів.** Отримані результати можуть бути використані:

– під час розроблення державних програм підтримки та регуляторних рішень щодо розвитку ринку штучного інтелекту в Україні;

– для економічного обґрунтування інвестиційних рішень у сфері ІІІ та оцінювання ризиків інноваційних проєктів;

– у стратегічному плануванні компаній, що працюють у сегментах DefenceTech, B2B та GovTech, з метою оптимізації ресурсів і підвищення стійкості бізнес-моделей;

– при формуванні сценарних прогнозів розвитку ринку ІІІ та оцінюванні впливу воєнних і технологічних ризиків на ключові показники галузі;

– у діяльності аналітичних центрів, інвесторів та державних органів для прийняття рішень щодо мінімізації ризиків і стимулювання технологічного розвитку.

# 1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ РИНКУ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В УМОВАХ РИЗИКІВ

## 1.1. Теоретичні підходи до аналізу ринку штучного інтелекту

У XXI столітті штучний інтелект (ШІ) став одним із ключових чинників технологічної та економічної трансформації, визначаючи напрями розвитку інноваційних ринків, державної політики та глобальної конкуренції. Світові аналітичні інститути відзначають, що динаміка розвитку ШІ набула системного характеру: технологія інтегрується у виробничі процеси, фінансову сферу, державне управління, оборону, освіту та цифрові послуги [1; 14; 16].

Однією з ключових тенденцій є формування високотехнологічних екосистем, у межах яких домінують так звані «суперфірми» — великі компанії, що акумулюють значну частину людського капіталу, інтелектуальної власності та обчислювальних ресурсів. За результатами досліджень JFE, підприємства, що здійснюють системні інвестиції у ШІ, отримують прискорене зростання продуктивності, обсягів продажу та ринкової капіталізації; водночас у багатьох галузях економіки спостерігається зміщення до вищого рівня концентрації [17].

Регуляторна політика у сфері ШІ зазвичай включає:

- розвиток цифрової інфраструктури та хмарних обчислень;
- створення національних дата-сетів та систем управління даними;
- запровадження етичних, правових та безпекових стандартів;
- інструменти стимулювання інноваційних екосистем;
- підтримку стартапів та високотехнологічного бізнесу [13; 24; 25].

Водночас OECD у низці звітів наголошує, що успішність національних AI-стратегій залежить не лише від нормативної бази, а й від спроможності державних інституцій до цифрової трансформації, якості управління, прозорості даних і рівня людського капіталу [12; 14; 23].

Особливістю сучасного етапу розвитку ІІІ є його активна інтеграція у сферу безпеки та міжнародних конфліктів. Війна в Україні стала першим масштабним збройним протистоянням, під час якого ІІІ застосовується для аналізу супутникових даних, розпізнавання цілей, автоматизації процесів розвідки, обробки радіоперехоплень, оптимізації логістики та використання автономних систем [2; 3; 8].

Аналітичні оцінки ІЕЕЕ та СЕР свідчать, що застосування ІІІ у війні не лише підвищує ефективність бойових дій, а й змінює характер стратегічної стабільності, створюючи нові ризики неконтрольованої ескалації — особливо в умовах використання автономних дронів та систем цілевказання [8; 17; 26].

Крім того, UNDP та Світовий банк підкреслюють, що країни, які переживають конфлікти, стикаються з подвійним викликом: потребою у відновленні критичної інфраструктури та необхідністю паралельного розвитку високотехнологічних секторів, включно з ІІІ [18; 20].

Сучасні ринки ІІІ аналізуються з використанням низки теоретичних моделей:

- Модель дифузії інновацій (Rogers) — пояснює швидкість поширення ІІІ залежно від рівня цифрової готовності суспільства та інституційного середовища [12; 23].
- Теорія платформених ринків — ринки ІІІ тяжіють до монополізації через мережеві ефекти та роль великих дата-платформ [15; 17].
- Концепція економіки передбачення — ІІІ знижує вартість прогнозування й змінює структуру виробничих рішень [21].
- Теорія технологічного суверенітету — у глобальній конкуренції держави прагнуть контролювати критичні технології, дані та інфраструктуру [1; 14; 23].
- Підхід до ризик-орієнтованого управління інноваціями — визначає необхідність балансування між технологічним розвитком і безпековими ризиками [17; 25].

Таким чином, глобальні тенденції розвитку ІІІ поєднують технологічні інновації, економічні механізми та безпекові виклики, формуючи нову модель

світового ринку високих технологій. Країни та компанії, що здатні адаптуватися до цих змін, отримують стратегічні переваги у глобальній конкуренції.

Поряд із загальноглобальними трендами важливого значення набуває питання нерівномірності доступу до технологій ШІ. Дослідження OECD свідчать, що світове впровадження ШІ відбувається з істотними диспропорціями між країнами з високим та низьким рівнем доходів, між великими корпораціями та малим/середнім бізнесом, а також між державними та приватними секторами [12; 13; 23]. Ця нерівномірність створює нові виклики цифрового розвитку, посилюючи залежність менш розвинених економік від провідних технологічних держав. У результаті ринок високих технологій стає не лише економічним, а й політичним простором конкуренції, де контроль над інтелектуальними системами, даними та інфраструктурою визначає стратегічні можливості країн.

Окремим трендом є зміна глобальних ланцюгів створення доданої вартості. Виробники апаратного забезпечення, хмарних технологій, напівпровідників і дата-центрів формують нову архітектуру глобальної економіки, зосереджену на забезпеченні доступу до обчислювальних потужностей (compute power). Саме обчислювальні ресурси стають одним із ключових факторів конкурентоспроможності у сфері ШІ. Звіт McKinsey підкреслює, що нестача високопродуктивних обчислень (HPC) може стати головним бар'єром для компаній, що намагаються масштабувати свої моделі ШІ [15], тоді як за оцінками WEF, доступ до обчислювальних потужностей і даних уже сьогодні визначає бар'єри входу на ринок для малих інноваційних фірм [16].

Водночас швидке зростання можливостей ШІ супроводжується формуванням високих безпекових ризиків. У звітах IEEE та CER підкреслюється, що ШІ стає критичним елементом систем національної безпеки, оборонних технологій та кіберзахисту [8; 17]. Масове використання дронів, автономних систем, технологій комп'ютерного зору та аналітики даних у ході війни в Україні демонструє, що високі технології здатні суттєво змінювати баланс сил на полі бою, підвищуючи точність,

оперативність і адаптивність військових рішень [2; 3; 26]. Як наслідок, питання регулювання ІІІ переходить із площини економічної політики до категорії стратегічного управління ризиками.

Паралельно відбувається трансформація глобального ринку праці. *Future of Jobs Report 2025* фіксує, що до 2030 року близько 39% навичок працівників у світі зазнають змін під впливом ІІІ, а майже половина посад вимагатиме нових технічних, аналітичних або когнітивних компетентностей [16]. Водночас McKinsey прогнозує, що до 2030 року від 400 до 800 млн робочих місць можуть бути трансформовані або автоматизовані під впливом інтелектуальних систем [15]. Це створює структурні виклики як для ринку праці, так і для освітніх систем, змушуючи держави та компанії інвестувати в перепідготовку та розвиток цифрових компетенцій [12; 24].

З огляду на ці тенденції формуються нові теоретичні підходи до аналізу ринків ІІІ. Зокрема, теорії економічної складності та інституційної економіки розглядають розвиток ІІІ як фактор, що підсилює нерівномірність економічного зростання та сприяє утворенню кластерів інновацій (innovation hubs), де акумулюються знання, таланти та інвестиції [21; 23]. Геоекономічні моделі вказують на те, що держави з високим рівнем інституційної стабільності, розвиненою інфраструктурою даних і доступом до венчурного капіталу отримують суттєві переваги у формуванні ринку ІІІ [19; 22].

У цьому контексті важливою стає концепція технологічного суверенітету — здатності країни контролювати критичні технології, виробництво напівпровідників, обчислювальні ресурси та національні дата-сети. ЄС, США, Японія та Південна Корея вже реалізують програми підтримки локального виробництва мікрочипів і стратегічних технологій (CHIPS Act, European Chips Act), що демонструє перехід до нової моделі конкурентної боротьби за інтелектуальне та технологічне лідерство [1; 14].

Розвиток ІІІ впливає й на структуру міжнародної торгівлі. Згідно з аналітикою НБУ щодо експорту цифрових послуг, сектор ІТ став ключовим джерелом валютних

надходжень у багатьох країнах, включно з Україною, де цифрові послуги становлять понад 40% експорту послуг [10; 5]. Це свідчить про поступове зміщення економічної структури до високотехнологічних галузей, орієнтованих на створення цифрової доданої вартості.

Важливим аспектом сучасного етапу розвитку ринку ШІ є формування інноваційних екосистем. Дослідження VIBE Ukraine вказує на те, що національні ринки із сильними стартап-кластерами демонструють значно вищу швидкість впровадження ШІ, ніж економіки, де інновації зосереджені у державному секторі або у кількох великих корпораціях [19]. Подібні тенденції фіксуються і в країнах Центральної та Східної Європи, де цифрові стартап-екосистеми активно інтегруються у глобальні ланцюги інновацій, зокрема у сфері оборонних технологій, медичних ІТ-рішень та автоматизації виробництва [22].

Узагальнюючи, глобальні тренди розвитку ШІ демонструють, що ринок високих технологій перестає бути ізольованим сегментом інноваційної економіки. Він формується на перетині економічних, політичних, безпекових та інституційних факторів, а його еволюція визначається взаємодією великих корпорацій, державних стратегій, військово-технічних інновацій та глобальних економічних циклів. Сучасна епоха ШІ характеризується швидким накопиченням технологічних можливостей, зростанням ролі даних і обчислювальних ресурсів, посиленням геоекономічної конкуренції та переходом до нової моделі світового ринку — ринку, де інтелектуальні системи стають одним із ключових факторів економічної й політичної могутності держав.

У підрозділі було показано, що розвиток ринку ШІ визначається поєднанням інституційних, технологічних і соціально-економічних факторів. Саме ця багатовимірність робить ринок стійким до окремих шоків, але чутливим до системних ризиків.

## 1.2. Ризики розвитку соціально-економічних систем та їх вплив на ринок штучного інтелекту

Розвиток ринку штучного інтелекту у світовому вимірі значною мірою залежить від характеру державної політики, рівня інституційної спроможності та здатності урядів формувати стратегічне бачення впровадження нових технологій. Міжнародний досвід свідчить, що держави, які першими визначили штучний інтелект як пріоритет національного розвитку, сьогодні посідають лідируючі позиції за рівнем інноваційності, інвестицій та технологічного потенціалу [1; 14; 23].

У більшості розвинених країн запровадження ШІ стало невід’ємною частиною державних стратегій цифрової трансформації, реформування управлінських процесів, зміцнення конкурентоспроможності та підвищення якості публічних послуг. Згідно з *Government AI Readiness Index 2024*, саме здатність державних інституцій інтегрувати інтелектуальні системи у свою діяльність є одним із ключових чинників готовності країни до розвитку ринку ШІ [1].

З метою систематизації міжнародного досвіду нижче наведено узагальнену характеристику моделей державної політики, що реалізуються у різних країнах світу.

Таблиця 1.1 – Міжнародні моделі державної політики у сфері розвитку ринку ШІ

Країна / регіон	Тип моделі розвитку ШІ	Основні інструменти стимулювання	Ключові особливості екосистеми ШІ
США	Ліберально-ринкова модель, орієнтована на приватний сектор	CHIPS Act; гранти NSF/DARPA; венчурне фінансування; військово-технологічні програми	Домінування технологічних корпорацій; найвища концентрація інновацій; лідерство у генеративному ШІ; слабша формальна регуляція
ЄС	Регуляторно-етична модель	AI Act; Horizon Europe; Gaia-X; політики цифрового суверенітету	Фокус на безпеці, відповідальності та етичності; формування глобальних стандартів регулювання

## Продовження таблиці 1.1

Китай	Централізована державна модель	Національні програми ШІ; держфінансування R&D; контроль даних; інвестиції в НРС	Пріоритет технологічної автономії; інтеграція ШІ у державне управління та оборону; масштабні обчислювальні кластери
Південна Корея	Інноваційно-технологічна модель	Національні програми цифровізації; технопарки; гранти на R&D; розвиток освітніх програм	Сильна держпідтримка інновацій; лідерство у робототехніці та виробництві чипів
Японія	Модель модернізації промисловості	Індустріальні програми ШІ; стимулювання автоматизації; наукові консорціуми	Акцент на промислових застосуваннях і роботизації; стабільний ринок високих технологій
Сінгапур	Модель “Smart Nation”	Національна платформа AI Singapore; державні інвестиції в цифрові послуги; технопарки	Лідер у впровадженні ШІ в держуправління; висока якість цифрових сервісів
Ізраїль	Модель оборонно-інноваційного розвитку	Програми військових інновацій; венчурні фонди; кластер стартапів	Світове лідерство у військових технологіях, кібербезпеці й dual-use AI; найвища концентрація стартапів на душу населення
Великобританія	Гнучка ринкова модель з елементами регуляції	National AI Strategy; інноваційні фонди; регуляторні «пісочниці»	Потужна академічна база; розвиток AI без жорсткого регулювання; підтримка стартапів

*Продовження таблиці 1.1*

Канада	Науково-орієнтована модель	Pan-Canadian AI Strategy; державні інвестиції у наукові центри	Один із сильніших AI-дослідницьких хабів (Toronto, Montreal); фокус на етичному ШІ
ОАЕ	Модель швидкої цифрової модернізації	Міністерство ШІ; національні дата-ініціативи; інвестиції у смарт-міста	Швидке впровадження ШІ в економіку та державне управління; створення високотехнологічних кластерів
Індія	Модель масштабування через цифрову інфраструктуру	Digital India; IndiaAI; урядові інкубатори	Швидке зростання IT-сектору; розвиток державних дата-платформ; зростання внутрішнього ринку ШІ
Україна	Модель адаптивного розвитку в умовах війни	Стратегія цифрової трансформації; підтримка IT-сектору; оборонні AI-технології	Висока роль стартапів; швидка інтеграція ШІ в оборону; експортний IT-ринок; цифровізація державних послуг (Дія)

*Джерело: складено автором за [12; 15; 23],*

Аналіз міжнародного досвіду демонструє, що формування ефективного ринку ШІ передбачає поєднання стратегічного бачення, інституційної підтримки та інвестицій у науково-технологічний розвиток. У провідних країнах світу державна політика охоплює низку ключових компонентів:

Більшість високотехнологічних держав уже розробили національні стратегії ШІ, що визначають пріоритети інноваційної політики, напрями досліджень, механізми регулювання та інструменти підтримки технологічного сектору. Подібні документи функціонують у США, Канаді, Великій Британії, країнах ЄС, Китаї, Японії та Південній Кореї [1; 14; 23].

У європейському просторі визначну роль відіграє *AI Act*, що формує ризик-орієнтовану модель регулювання штучного інтелекту та встановлює глобальні стандарти етичного й безпечного застосування технологій [13; 24].

США, зі свого боку, роблять акцент на інноваційному розвитку, венчурних інвестиціях та співпраці приватного сектору з урядовими інституціями, що забезпечує надзвичайно швидку дифузію нових технологій у всі галузі економіки [17].

Регуляторна політика є критично важливою для забезпечення довіри суспільства до ШІ та формування передбачуваного середовища для бізнесу. Уряди активно розробляють механізми контролю за використанням персональних даних, забезпечують прозорість алгоритмів, запроваджують норми відповідальності за рішення автоматизованих систем [13; 23; 25].

Європейський Союз виступає глобальним лідером у розробленні етичних стандартів, тоді як США та Ізраїль роблять більший акцент на застосуванні ШІ у військовій, оборонній та науковій сферах [17; 26].

Особливої уваги потребує регулювання автономних систем, з огляду на досвід застосування ШІ у збройних конфліктах, включно з війною в Україні [2; 3; 17].

Міжнародні практики демонструють, що інноваційний розвиток ринку ШІ неможливий без належного фінансування. Найпоширеніші інструменти підтримки включають:

- державні та приватні фонди інновацій;
- інвестиції у науково-дослідні центри та університети;
- програми стимулювання стартапів;
- податкові пільги для технопарків та високотехнологічних компаній [12; 15; 19].

Сінгапур, Південна Корея та Ізраїль демонструють найвищу ефективність таких моделей завдяки тісній взаємодії між наукою, бізнесом і державою [1; 19].

Важливим аспектом державної політики є створення умов для доступу до високопродуктивних обчислень, великих масивів даних, хмарної інфраструктури та цифрових сервісів.

ОЕСД підкреслює, що саме якість даних і наявність сучасних дата-центрів є ключовим фактором конкурентоспроможності держави у сфері ШІ [12; 23].

Країни ЄС, США, Китай та Південна Корея інвестують у створення національних обчислювальних кластерів, екосистем даних та інструментів для відкритої науки [14].

У міжнародній практиці важливим інструментом регулювання є “регуляторні пісочниці” — контрольовані середовища для експериментального тестування ШІ-проектів під наглядом державних органів. За даними WINWIN, такі пісочниці функціонують у Великій Британії, країнах ЄС, Китаї та Гонконзі, забезпечуючи безпечну апробацію інновацій, створення єдиних стандартів та зниження бар’єрів виходу на ринок [9].

Порівняння моделей державної політики свідчить, що хоча країни застосовують різні підходи — від ліберально-ринкової моделі США до регуляторно-етичної моделі ЄС та централізованої системи Китаю — усі вони визнають стратегічне значення ШІ для економічного розвитку та національної безпеки.

Ключовими спільними елементами успішних моделей є:

- чітке державне бачення розвитку ШІ;
- системні інвестиції у людський капітал та наукові дослідження;
- збалансоване регулювання, що гарантує безпеку та інноваційність;
- сприяння розвитку стартапів і ринкової конкуренції;
- створення цифрової інфраструктури, здатної підтримувати великі системи ШІ.

Таким чином, міжнародний досвід демонструє, що ефективна державна політика є ключовим чинником формування компетентної, динамічної та конкурентоспроможної екосистеми штучного інтелекту. Для України вивчення цих моделей є необхідною передумовою побудови власної стратегії розвитку ринку ШІ, адаптованої до умов воєнного часу, обмежень інфраструктури та потреб швидкої модернізації.

Разом із тим, ефективне використання міжнародного досвіду потребує не прямого копіювання готових моделей, а їх адаптації з урахуванням поточних викликів, економічної структури та рівня технологічної спроможності держави. Україна, на відміну від країн ЄС чи США, стикається з унікальною ситуацією, коли цифрова трансформація відбувається паралельно з військовим протистоянням та широкомасштабною відбудовою інфраструктури. Це формує специфічний запит на більш швидкі, гнучкі та інколи експериментальні механізми регулювання, що поєднують елементи європейських етичних стандартів та ізраїльської чи американської моделі технологічної мобілізації [2; 17; 26].

Крім того, Україна має значний людський потенціал у сфері ІТ, що підтверджується стабільно високими показниками експорту цифрових послуг та активністю стартап-екосистеми [5; 9; 19]. Це дозволяє швидко інтегрувати технології ІІІ у різні сфери — від оборони до державного управління — та створює передумови для формування національних центрів компетенцій. Однак ефективність цього процесу залежить від здатності держави забезпечити відповідні умови: відкритість даних, інвестиції в цифрову інфраструктуру, розвиток STEM-освіти та підтримку прикладних досліджень [12; 23].

Особливо важливим є врахування того, що післявоєнна відбудова України вже сьогодні розглядається провідними міжнародними організаціями як можливість для побудови «економіки нового покоління», де цифрові технології, включно з ІІІ, стають базовими елементами інфраструктури та управління [18; 20]. У цьому контексті державна політика у сфері ІІІ має не лише реагувати на поточні потреби, а й формувати довгострокову модель розвитку, орієнтовану на інновації, технологічний суверенітет та інтеграцію у глобальні ринки високих технологій.

Не менш значущим є і те, що війна в Україні прискорила появу нових підходів до використання ІІІ в оборонній сфері. Досвід українських компаній та військових підрозділів демонструє, що ІІІ може стати критичним інструментом ситуаційної обізнаності, управління ресурсами, автоматизації рутинних процесів, аналізу бойових

даних і підвищення точності тактичних рішень [2; 3; 17]. Таким чином, оборонний вимір розвитку ШІ може стати основою для створення унікальної української моделі державної політики, яка поєднує потреби національної безпеки, інноваційність та гнучкість регуляторних рішень.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що міжнародний досвід формує широкий спектр можливостей для розроблення української моделі розвитку ринку штучного інтелекту. Проте ефективність цієї моделі залежатиме від трьох ключових чинників:

- здатності держави забезпечити сталість регуляторного середовища;
- розвитку критичної цифрової інфраструктури;
- стратегічної підтримки людського потенціалу та інноваційного сектору.

Саме поєднання цих елементів дозволить Україні побудувати конкурентоспроможний ринок ШІ, який стане важливим компонентом повоєнної модернізації та довгострокового економічного зростання.

У цьому контексті особливої уваги потребує питання структурної інтеграції штучного інтелекту в систему державного управління. Досвід країн із високим рівнем цифрової зрілості — Сінгапуру, Естонії, Канади — демонструє, що широке впровадження ШІ в діяльність державних органів значно підвищує ефективність публічного сектору, скорочує адміністративні витрати, підвищує якість надання послуг і зменшує корупційні ризики [1; 14]. Система цифрового уряду повинна розглядатися не лише як сукупність сервісів, а як цілісна архітектура прийняття рішень, що спирається на дані, аналітику та інтелектуальні алгоритми.

Для України такий підхід має особливе значення, адже цифровізація державних послуг стала однією з найуспішніших реформ останніх років. Платформа «Дія» створила унікальний фундамент для інтеграції інтелектуальних систем у ключові сфери управління — від соціального захисту до економічної політики. Проте подальший розвиток цієї системи потребує значних інвестицій у кіберзахист, організацію національних реєстрів даних, нормативне забезпечення алгоритмічної

прозорості та розвиток компетенцій користувачів і співробітників державних органів [9; 12; 23].

Ще одним важливим аспектом є формування національних просторів даних, які стають ключовою умовою розвитку ринку ШІ. Провідні країни створюють міжсекторальні екосистеми даних, що забезпечують доступність, стандартизацію та безпечний обмін інформацією між державою, бізнесом і науковими інституціями [23; 24]. Україна вже зробила значні кроки у напрямі відкритих даних, однак подальший розвиток вимагає системної політики управління даними у сферах охорони здоров'я, промисловості, енергетики, транспорту та оборони. Без цього масштабування ринку ШІ буде обмеженим, незалежно від потенціалу ІТ-сфери.

Міжнародний досвід також свідчить, що критичним чинником розвитку ринку ШІ є взаємодія між державою та приватним сектором. У США, Великій Британії та Ізраїлі саме держава виступає генератором попиту на інноваційні рішення, що стимулює зростання стартапів і розробників прикладних технологій [15; 17]. Більше того, у багатьох країнах оборонні інновації стають драйвером цивільних технологій, як у випадку Ізраїлю чи Південної Кореї, де військові потреби створюють унікальні стимули для розвитку ШІ та його комерційної адаптації [19; 26].

Для України така синергія має надзвичайне значення. Оборонні технології, створені під час війни, вже продемонстрували здатність трансформувати ринок цифрових рішень, формуючи нові сектори економіки — *military tech*, *autonomous systems*, *intelligence analytics*. Це відкриває можливість для побудови моделі розвитку ШІ, яка, подібно до ізраїльської, поєднає національну безпеку, інноваційність та економічний потенціал [2; 3; 17; 26].

У перспективі післявоєнної відбудови ШІ може стати фундаментом для модернізації критичної інфраструктури — енергетики, транспорту, логістики, телекомунікацій, охорони здоров'я. Звіти Світового банку та UNDP наголошують, що цифровізація й інтелектуальні системи мають бути інтегровані у процес реконструкції, оскільки саме вони здатні забезпечити підвищення стійкості, ефективності та

адаптивності інфраструктурних систем [18; 20]. Тобто ШІ виступає не лише технологічним інструментом, а й важливим компонентом моделі відновлення.

Таким чином, перспективи розвитку ринку штучного інтелекту в Україні значною мірою залежать від того, наскільки послідовно та стратегічно держава інтегруватиме міжнародний досвід у власну модель регулювання. Оптимальним шляхом є поєднання європейських стандартів етичності, американської динаміки інновацій та ізраїльської моделі оборонно-технологічного розвитку. Лише так можна забезпечити формування конкурентоспроможної, стійкої та інклюзивної екосистеми ШІ, здатної стати одним із драйверів економічного зростання та технологічної модернізації України у післявоєнний період.

Аналіз глобальних тенденцій продемонстрував, що Україна рухається у тренді світових трансформацій, але стикається з масштабнішими ризиками, ніж більшість країн. Це зумовлює необхідність адаптованих моделей оцінювання.

### **1.3. Методи економічної аналітики та моделювання ринку штучного інтелекту**

Формування ринку штучного інтелекту (ШІ) відбувається в умовах багаторівневих ризиків, які впливають на стабільність, конкурентоспроможність та інноваційний потенціал держави. На відміну від традиційних секторів економіки, ринок ШІ характеризується високим рівнем технологічної динаміки, залежністю від стратегічної інфраструктури, потребою в якісних даних і чутливістю до політичних та безпекових факторів. Тому оцінювання ризиків повинно мати комплексний характер і охоплювати технологічні, економічні, безпекові, регуляторні, геополітичні та інституційні аспекти [12; 14; 23].

Узагальнена класифікація ризиків подана у Таблиці 1.2, що впливають на формування ринку штучного інтелекту, та методологічні підходи до їх оцінювання.

Таблиця 1.2 – Класифікація ризиків

Група ризиків	Сутність ризику	Можливі наслідки для ринку ШІ	Методи оцінювання та індикатори (міжнародні підходи)
Технологічні ризики	Нестача обчислювальних потужностей; дефіцит якісних даних; вразливість цифрової інфраструктури; похибки алгоритмів	Сповільнення розвитку ШІ; неможливість масштабування моделей; підвищена помилка прогнозів; кібератаки	Індикатори цифрової інфраструктури OECD; індекси кіберстійкості; аудит моделей ШІ; оцінка якості датасетів [12; 15; 23]
Економічні ризики	Недостатній доступ до капіталу; низька інвестиційна привабливість; ринкова концентрація; нестабільність економіки	Зменшення кількості інновацій; гальмування роботи стартапів; залежність від зовнішнього фінансування	SWOT та PESTEL аналіз; модель Porter's Five Forces; оцінка інвестиційних потоків; аналіз затрат на R&D [15; 19; 21]
Безпекові ризики	Використання ШІ у військових системах; загроза автономних рішень; ризики кібератак; уразливість критичної інфраструктури	Потенційна ескалація конфліктів; порушення роботи інфраструктур; загроза національній безпеці	Сценарний аналіз ескалації; матриці військово-технологічних ризиків; оцінка кіберзагроз; моделі критичності даних [2; 3; 17; 26]
Регуляторні ризики	Відсутність норм регулювання; надмірна зарегульованість; невизначеність відповідальності за рішення ШІ; невідповідність міжнародним стандартам	Бар'єри для інновацій; юридичні конфлікти; уповільнення впровадження технологій; зростання витрат на відповідність	Regulatory Impact Assessment (RIA); аналіз ризиків за AI Act; оцінка відповідності OECD AI Principles [13; 23; 25]
Геополітичні ризики	Глобальна конкуренція за мікрочипи; обмеження на експорт технологій; санкційні режими; залежність від постачання обчислювальних ресурсів	Розриви у ланцюгах постачань; зростання вартості інфраструктури; технологічне відставання	Геополітичний аналіз ринків; індекси технологічного суверенітету; оцінка залежності від імпортованих компонентів [14; 17; 23]
Інституційні ризики	Корупція; слабкі державні інституції; низький рівень захисту інтелектуальної власності; судова нестабільність	Відтік інвестицій; зменшення довіри до держави; гальмування стартап-екосистеми	Індекси якості врядування; оцінка інституційної спроможності; моделі аналізу ефективності регулювання [1; 12]

Джерело: складено автором за [12; 15; 23],

Згідно з WIN–WIN Report, ключові бар'єри розвитку ринку ШІ в Україні охоплюють нестачу висококваліфікованих кадрів, обмежений доступ до потужностей

для тренування моделей, низький рівень інтеграції ШІ у державному секторі, повільні регуляторні процеси та недостатню технологічну інфраструктуру. Високий відтік ІТ-фахівців та недостатнє фінансування досліджень ускладнюють масштабування ринку та впровадження високотехнологічних проєктів [9].

Технологічні ризики включають дефіцит обчислювальних потужностей, нестачу якісних датасетів, низьку цифрову стійкість, а також непрозорість і похибки алгоритмічних моделей. Згідно з підходами OECD та McKinsey, фундаментальним індикатором технологічної готовності є якість цифрової інфраструктури, здатність системи до масштабування та рівень інвестицій у R&D [12; 15]. Для кількісного вимірювання технологічного ризику часто застосовується інтегральний показник:

$$R_{tech} = w_1 \cdot (1/D) + w_2 \cdot (1/HPC) + w_3 \cdot Err_{AI}, \quad (1.1)$$

де  $D$  – якість і доступність даних;  $HPC$  – рівень забезпечення обчислювальними ресурсами;  $Err_{AI}$  – середня похибка моделей ШІ;  $w_1$ – $w_3$  – вагові коефіцієнти важливості.

Такий підхід дозволяє визначити, наскільки технологічні обмеження стримують розвиток ринку.

Економічні ризики пов'язані з обмеженим доступом до капіталу, низькою інвестиційною активністю, нестабільністю макроекономічного середовища та зростанням ринкової концентрації. McKinsey та WEF пропонують розглядати інноваційний ризик як функцію фінансових потоків, рівня конкуренції та вартості інтелектуальної інфраструктури [15; 16].

Економічний ризик можна подати у вигляді експрес-моделі:

$$R_{econ} = \frac{1}{Inv + VC + R\&D} \cdot (Conc \cdot \alpha), \quad (1.2)$$

де  $Inv$  – обсяг державних та приватних інвестицій у ШІ;  $VC$  – венчурні вкладення;  $R\&D$  – інвестиції у дослідження та розробки;  $Conc$  – індекс ринкової концентрації;  $\alpha$  – коригувальний коефіцієнт для окремого сектора.

Безпекові ризики охоплюють кіберзагрози, автономні системи, уразливість критичної інфраструктури та використання ШІ у військових системах. Події війни в Україні доводять, що ці ризики мають трансформаційний характер: вони здатні руйнувати не лише економіку, а й фізичну інфраструктуру, порушувати логістику, комунікації та оборонні процеси [2; 3; 17; 26]. Оцінка таких ризиків зазвичай здійснюється через:

- сценарний аналіз можливих загроз;
- матриці ризиків (ймовірність × масштаб збитків);
- оцінку стійкості критичних систем;
- аналіз кіберзахисту інфраструктури.

Інтегральний показник безпекового ризику можна подати так:

$$R_{sec} = P_{attack} \cdot I_{impact} \cdot (1 - C_{cyber}), \quad (1.3)$$

де  $P_{attack}$  – ймовірність атаки чи технологічної загрози;  $I_{impact}$  – очікуваний масштаб збитків;  $C_{cyber}$  – рівень кіберстійкості.

Регуляторні ризики є одними з найскладніших для кількісної оцінки, оскільки вони охоплюють як дефіцит регулювання, так і надлишкову зарегульованість. Вони можуть гальмувати впровадження інновацій, створювати бар'єри для входу на ринок, збільшувати транзакційні витрати та уповільнювати розвиток інноваційних екосистем. З урахуванням цього міжнародні підходи до оцінювання впливу ризиків на ринки високих технологій дедалі частіше використовують інтегровані багатофакторні моделі, які поєднують кількісні показники стану ринку з індикаторами зовнішніх шоків та структурних обмежень.

У сучасних дослідженнях інноваційних ринків ризики трактуються як зовнішні фактори, що модифікують ресурсну базу виробництва — капітал, працю та технології. Тому фундаментом кількісної оцінки впливу ризиків є розширені виробничі функції, у яких ресурси коригуються на втрати, спричинені зовнішніми шоками.

Базова форма виробничої функції для секторів ШІ та ІТ:

$$q_j^t = F_j(K_j^t(1 - \rho_{K,j}^t), L_j^t(1 - \rho_{L,j}^t)), \quad (1.4)$$

де  $\rho_{K,j}^t$  — ризики, що впливають на капітал (інфраструктура, інвестиції, логістика), а  $\rho_{L,j}^t$  — ризики, пов’язані з трудовими ресурсами, міграцією та дефіцитом кадрів. Для інноваційних ринків таке формулювання є ключовим, оскільки дозволяє математично описати зовнішні руйнування ринку, зокрема інфраструктурні втрати та відтік людського капіталу — характерні для України в умовах війни.

У модельному апараті ризики вводяться як шоки до вхідних факторів виробництва, що узгоджується з підходами сучасної економіки інновацій, теорією виробничих функцій Олі–Пейкса, Левінсона–Петріна та Акерберга–Кейвса–Фрейзера, які широко застосовуються для оцінювання технологічних змін в умовах неповної інформації й екзогенних збурень.

Ці підходи є особливо важливими для України, де доступні дані мають різну частотність, неповноту та структурні розриви, а тому потребують ретельної формалізації та математичного вирівнювання.

Методологія формування панельної динамічної моделі, дозволяє відстежувати зміну ринку ШІ упродовж кількох періодів, коригуючи ресурсні фактори на ризики та оцінюючи зміну виробничої спроможності сектору в часі. Для цього всі змінні моделі приводяться до єдиного квартального формату, а ресурсні показники обчислюються за використанням таких інструментів:

- метод перманентного запасу (PIM) для визначення капіталу з урахуванням амортизації та інвестицій;
- лінійна та ступінчаста інтерполяція для вирівнювання частотності даних із різних джерел;
- побудова ризикових індикаторів на основі реальних даних ACLED та UNHCR — кількості бойових подій та міграційних потоків;
- коригування факторів праці та капіталу на величини ризику:

$$K^{eff} = K(1 - \rho_K), L^{eff} = L(1 - \rho_L). \quad (1.5)$$

Таке подання дозволяє одержати динамічну модель ризик-чутливого зростання, у якій кожен період відображає зміну виробничого потенціалу сектору внаслідок зовнішніх шоків.

Підходи динамічного моделювання є важливими для аналізу ринку ШІ, оскільки цей ринок реагує на ризики не миттєво, а через накопичення структурних зрушень — падіння інвестицій, скорочення кадрів, руйнування обчислювальної інфраструктури, збої в ланцюгах постачань.

Методики сценарного аналізу дозволяють оцінити, як змінюватиметься ринок під впливом різних комбінацій ризиків. Такий підхід відповідає міжнародній практиці OECD, WEF та McKinsey, де сценарний аналіз використовується як основний інструмент стратегічного планування в умовах невизначеності. Застосовуються такі методичні елементи:

- побудова інтегральних індикаторів ризику через зважування впливів різних факторів (економічних, технологічних, безпекових);
- сценарний аналіз («оптимістичний — базовий — песимістичний») відповідно до очікуваної динаміки зовнішніх ризиків;
- аналіз еластичності моделі щодо змін параметрів  $\rho_K$ ,  $\rho_L$ , амортизації, інвестицій та заробітних плат;
- кількісна оцінка впливу ризиків на сукупний прибуток сектору на основі функції:

$$\Pi = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \sum_j \sum_i p_i^{j,t} q_i^{j,t} - \omega_j^t L_j^t - r_j^t K_j^t. \quad (1.6)$$

Ця функція дозволяє порівнювати траєкторії розвитку ринку за різних умов. OECD пропонує оцінювати регуляторний ризик через показники:

- відповідності норм міжнародним стандартам,
- прозорості регуляторних процедур,
- адаптивності нормативних актів [13; 23; 25].

Аналітична формула може бути такою:

$$R_{reg} = \beta_1 \cdot Gap_{law} + \beta_2 \cdot (Comp_{AI}) + \beta_3 \cdot (Unc_{legal}). \quad (1.7)$$

де  $Gap_{law}$  – прогалина в нормативному забезпеченні;  $Comp_{AI}$  – складність дотримання регуляції;  $Unc_{legal}$  – юридична невизначеність щодо відповідальності.

В економічній літературі ризики на макроринку високих технологій часто моделюють через модифікацію класичної виробничої функції. Типовою є ризик-орієнтована форма:

$$q_j^t = F_j \left( K_j^t (1 - \rho_{K,j}^t), L_j^t (1 - \rho_{L,j}^t) \right), \quad (1.8)$$

де  $\rho_{K,j}^t$  та  $\rho_{L,j}^t$  — показники втрат капіталу та робочої сили під впливом шоків (воєнних, інфраструктурних, міграційних). Такий підхід використовується для аналізу економік, що функціонують в умовах тривалих зовнішніх ризиків, і дозволяє оцінити еластичності виробництва щодо втрат ресурсів у результаті криз або конфліктів.

Геополітичні ризики включають залежність від імпорту технологій, обмеження на доступ до мікрочипів і санкційні режими [14; 17]. Інституційні ризики пов'язані з якістю державного управління, рівнем корупції, захистом прав інтелектуальної власності та судовою стабільністю [1; 12]. Оцінювання таких ризиків здійснюють через міжнародні індикатори:

- World Governance Indicators (WGI),
- індекс верховенства права,
- індикатори корупції,
- технологічний суверенітет.

Комплексний підхід до оцінювання ризиків ринку ШІ передбачає синтез економічних, інституційних та технологічних моделей. Найпоширеніші методики включають:

— Індекс готовності до ШІ (AI Readiness Index) — агрегує 40+ показників щодо урядової спроможності [1].

— Модель стійкості до шоків (Resilience Score), яка може бути представлена формулою:

$$Res = \sum_{i=1}^n w_i(1 - R_i),, \quad (1.9)$$

де  $R_i$  — стандартизовані показники ризику за групами;  $w_i$  — ваги відповідно до їхнього впливу.

- Сценарне моделювання WEF, яке дозволяє оцінити довгострокові наслідки зміни технологічних параметрів [16].
- Моделі оцінки відбудовного потенціалу (UNDP, World Bank), що застосовуються для аналізу країн у кризових умовах [18; 20].

Розроблена методологія обґрунтовує застосування ризик-скоригованих факторів, динамічних панелей і комплексних моделей для оцінки стану ринку. Вона забезпечує основу для подальшого кількісного аналізу.

### **Висновки до першого розділу**

У першому розділі було систематизовано теоретико-методологічні засади дослідження ринку штучного інтелекту та визначено ключові фактори, що формують сучасну динаміку його розвитку. Аналіз глобальних тенденцій засвідчив, що ШІ перетворюється на стратегічний ресурс, який визначає конкурентоспроможність держав, природу інноваційних процесів і характер економічної модернізації у XXI столітті. Ринок штучного інтелекту формується на перетині технологічних, політичних, економічних та безпекових чинників, що зумовлює необхідність комплексного й міждисциплінарного підходу до його вивчення.

У ході дослідження було показано, що міжнародний розвиток ШІ характеризується нерівномірністю, яка значною мірою залежить від державної політики, рівня цифрової інфраструктури, інвестицій у дослідження та інновації, а також інституційної спроможності. Порівняння моделей різних країн — США, ЄС, Китаю, Ізраїлю, Південної Кореї та Сінгапуру — продемонструвало, що існують різні підходи до розвитку ринку ШІ: від ліберально-ринкових до централізовано-

державних. Водночас їх об'єднує стратегічне ставлення до штучного інтелекту як до ключового драйвера технологічного прориву та економічної стійкості.

Важливе значення має досвід країн, що інтегрують ШІ у державне управління та оборонну сферу. Він демонструє, що інтелектуальні системи здатні підвищувати ефективність державних послуг, покращувати якість управлінських рішень і зміцнювати безпекові спроможності держави. У випадку України цей досвід особливо релевантний, оскільки розвиток ринку ШІ відбувається в умовах воєнного протистояння та масштабної трансформації економіки.

У підрозділі 1.3 було сформовано методичний базис для подальшої аналітичної частини роботи. Визначено класифікацію ризиків, що впливають на ринок ШІ, та описано інструменти їх кількісного оцінювання. Запропоновано застосування ризик-скоригованих виробничих факторів, методів динамічного моделювання, уніфікації даних різної частотності, а також інтегральної моделі оцінювання сукупного результату ринку. Показано, що використання коефіцієнтів втрат для капіталу та праці, побудова динамічних панельних рядів і сценарний аналіз дозволяють комплексно оцінити стійкість та адаптивність інноваційних ринків до зовнішніх шоків.

Узагальнюючи проведений аналіз, варто наголосити, що ринок штучного інтелекту є складною, багатовимірною системою, розвиток якої неможливий без наявності взаємопов'язаних інституційних, технологічних та економічних умов. Ключові тенденції, виявлені у першому розділі, свідчать про те, що ШІ розвивається не як окремий сегмент цифрової економіки, а як фундаментальний механізм трансформації різних галузей — від оборони та охорони здоров'я до промисловості та державного управління. Саме тому ефективність функціонування ринку ШІ залежить від здатності держави і бізнесу впроваджувати інновації у широкому міжсекторальному контексті.

Особливу увагу слід приділити тому, що глобальна конкуренція у сфері штучного інтелекту все більше набуває рис геоекономічного та геополітичного протистояння. Контроль над критичними технологіями, зокрема над виробництвом

високопродуктивних мікрочипів, хмарною інфраструктурою та великими масивами даних, перетворюється на важливий фактор міжнародної безпеки. Це означає, що країни, які не мають доступу до стратегічних технологічних ресурсів, ризикують опинитися на периферії світового ринку ШІ. Таким чином, забезпечення технологічного суверенітету стає невід'ємною частиною політики розвитку штучного інтелекту.

Іншим важливим висновком є те, що державна політика не може бути зосереджена виключно на регулюванні і контролі. Міжнародна практика засвідчує, що найуспішніші моделі базуються на поєднанні регуляторних стандартів, інвестиційних стимулів, освітньої підтримки та розвитку інноваційної інфраструктури. Створення технопарків, національних дата-центрів, інноваційних хабів та кооперація університетів із бізнесом відіграють вирішальну роль у забезпеченні сталості та масштабованості ринку ШІ. Для України це є особливо актуальним у контексті необхідності швидкого відновлення економіки та підвищення її технологічного рівня.

Важливо також зазначити, що ефективна модель розвитку ринку ШІ потребує підсилення людського капіталу. Національні системи освіти, що інтегрують STEM-напрями, підготовку інженерів, аналітиків даних та спеціалістів у сфері кібербезпеки, демонструють значно вищий рівень готовності до впровадження ШІ. Підготовка кадрів стає не менш важливою, ніж розвиток інфраструктури, оскільки саме людський потенціал визначає здатність країни конкурувати на глобальному технологічному ринку. У цьому контексті Україні необхідно продовжувати інвестиції у модернізацію освітніх програм, розвиток наукових центрів та стимулювання участі молодих фахівців у міжнародних проєктах.

Окремого значення набуває й те, що ринок ШІ створює нові можливості для економічного зростання, але одночасно формує нові соціально-етичні виклики: алгоритмічні упередження, ризики для приватності, дисбаланси на ринку праці, нерівномірний доступ до цифрових послуг. Ці питання потребують виваженого державного реагування, етичних рамок та механізмів суспільного контролю.

Міжнародний досвід ЄС у цьому аспекті може стати важливою точкою відліку для розробки української стратегії етичного використання ШІ.

Підсумовуючи, можна зазначити, що результати першого розділу створюють необхідну теоретико-методологічну основу для подальшого дослідження. Розуміння глобальних тенденцій, моделей державної політики та методів оцінювання ризиків дозволяє сформулювати цілісне бачення того, як має розвиватися ринок штучного інтелекту в Україні. У подальших розділах ці висновки стануть підґрунтям для аналізу сучасного стану українського ринку ШІ, визначення ключових бар'єрів і можливостей, а також формування практичних рекомендацій щодо оптимізації державної політики в умовах підвищених ризиків та післявоєнної реконструкції.

## 2 ЕКОНОМІЧНА АНАЛІТИКА ТА ДІАГНОСТИКА РОЗВИТКУ РИНКУ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В УКРАЇНІ

### 2.1. Описова аналітика ключових показників розвитку ринку штучного інтелекту

Розроблення моделі оцінювання ринку штучного інтелекту в Україні в умовах ризиків вимагає чіткого визначення того, які саме змінні, параметри та структурні залежності повинні бути включені до математичної постановки. У першому розділі було сформовано методологічний підхід, згідно з яким ринок ШІ розглядається як сектор, чутливий одночасно до трьох груп чинників: виробничих ресурсів, якісних характеристик людського капіталу та ризиків зовнішнього середовища, пов'язаних із війною, інфраструктурними втратами та міграційними потоками. Відповідно, у цьому підрозділі визначаються ключові вимоги до набору даних, що є необхідними для побудови коректної ризик-скоригованої виробничої функції.

В основі моделі лежить узагальнений варіант виробничої функції Кобба—Дугласа, модифікований таким чином, щоб вона могла виражати не тільки залежність випуску від капіталу та праці, але й враховувати зміну ефективності цих ресурсів під впливом ризиків, а також довгостроковий технологічний прогрес, особливо актуальний для галузі ШІ. Модель представлена у вигляді:

$$Y_t = A \cdot K_t^{eff,\alpha} \cdot L_t^{eff,\beta} \cdot e^{\gamma\omega_t + \delta \cdot war_t + \theta t + \varepsilon_t}. \quad (2.1)$$

Ця формула фіксує кілька ключових теоретичних положень, що накладають вимоги на вибір даних. Починаючи з того що модель працює не з номінальними факторами виробництва, а з їх “ефективними” аналогами

На відміну від класичних моделей, де змінні  $K$  і  $L$  розглядаються як повністю доступні ресурси, у нашій постановці запроваджуються ризикові коригування:

$$K_t^{eff} = K_t(1 - \rho_K^t), L_t^{eff} = L_t(1 - \rho_L^t). \quad (2.2)$$

Це означає, що дані мають відповідати двом вимогам:

По-перше, необхідно отримати основні “сирі” показники — запас капіталу і чисельність зайнятих. По-друге, потрібно мати окремі ризикові індикатори, що дозволяють оцінити реальну доступність цих ресурсів. Таким чином, набір даних не може обмежуватися лише статистикою ринку. Він має включати:

- індекси руйнувань або бойової активності,
- міграційні потоки,
- зміни структури ринку праці,
- інфраструктурні шоки,
- сигнали про доступність робочої сили у середньо- та висококваліфікованих секторах.

Модель має включати параметри, що вимірюють якість людського капіталу тож чинник  $\omega_t$ , який у моделі представлений як рівень заробітної плати у секторі, не є технічним або допоміжним індикатором. Він відображає:

- кваліфікацію фахівців,
- структуру компетенцій,
- здатність до адаптації до нових AI-технологій,
- інноваційну спроможність сектору.

Тому вимоги до даних передбачають не просто статистику середніх зарплат, а їх репрезентативність, стабільність вибірки, усунення викидів, а в окремих випадках — застосування вагових коефіцієнтів

Модель має захоплювати структурний розрив, спричинений війною тож наявність змінної  $war_t$  означає, що дані повинні покривати період до, під час, і після початку повномасштабної війни також мають бути достатні спостереження у кожному стані, щоб оцінити коефіцієнт  $\delta$  та необхідно визначити чітку точку переходу, де 2022-Q1 виділено як структурну межу.

Це накладає вимоги не лише на часовий період, а й на частоту даних. Місячні або квартальні дані є передумовою для стабільної оцінки. Модель включає явний технологічний тренд тобто термін  $e^{\theta t}$  вводить потребу у:

- рівномірних часових спостереженнях,
- мінімізації значних прогалин у даних,
- узгодженні частоти між усіма змінними.

Технологічний тренд є суттєвим для сектору ШІ, де зростання продуктивності часто не пояснюється традиційними факторами. Потрібно особливо наголосити, що AI-ринок реагує на інновації швидше, ніж на капітальні інвестиції, тому тренд є *необхідним елементом моделі*.

Змінні моделі повинні бути узгодженими між собою. А це означає, що:

- частота всіх рядів повинна бути однаковою (квартальною),
- пропущені значення не можуть залишатися без обробки,
- усі дані мають бути приведені до узгодженого періоду,
- значення не повинні бути внутрішньо суперечливими (наприклад, зарплати не можуть мати “стрибки” у 3× без економічного пояснення).

Висновки прямо вказують на необхідність:

- інтерполяції,
- згладжування,
- тримісячних ковзаючих середніх,
- обмеження ризикових показників у межах  $[0; 0,5]$ .

Таким чином, вимоги до даних у моделі ринку ШІ виходять не лише з математичної форми виробничої функції, а й із структурних особливостей української економіки у період війни, що робить необхідним включення:

- традиційних виробничих показників ( $Y, K, L$ ),
- індикаторів якості (зарплати),
- ризикових параметрів ( $\rho_K, \rho_L$ ),
- структурних та часових факторів ( $war_t, trend$ ).

У структурі виробничої моделі випуск  $Y_t$  виконує роль базового залежного показника, на який впливають як традиційні фактори виробництва, так і ризики зовнішнього середовища. Для формування цього показника необхідно обрати такий

агрегат, який би найбільш коректно відображав економічну активність сектору штучного інтелекту в Україні. В умовах обмеженої офіційної статистики безпосередньо щодо AI-галузі найбільш інформативним наближенням є експорт комп'ютерних та інформаційних послуг, дані щодо якого доступні у поквартальному розрізі Національного банку України.

Вибір цього показника ґрунтується на кількох міркуваннях. По-перше Український ринок ШІ інтегрований у ширший IT-сектор, і значна частина продуктів, рішень та сервісів у сфері штучного інтелекту створюється саме в експортно орієнтованих компаніях. Це підтверджується як галузевими звітами, так і матеріалами, де зазначено, що лєвова частка інновацій та високотехнологічних послуг провадиться у компаніях, що працюють на зовнішні ринки. По-друге статистика експорту IT-послуг є однією з небагатьох регулярних, репрезентативних і стабільних часових серій, що охоплюють тривалий період як до, так і під час війни. Це забезпечує можливість проведення порівняльної динамічної оцінки. Також експорт відображає не лише фактичні обсяги продажів послуг, але й рівень міжнародної конкурентоспроможності галузі, що для сектору ШІ є критично важливим, оскільки більшість клієнтів і замовлень походять з ринків США, ЄС та Великої Британії.

Таким чином,  $Y_t$  у моделі інтерпретується як агрегований показник ринкового результату сектору, що поєднує елементи попиту (зовнішні замовлення), пропозиції (спроможність компаній забезпечувати послуги) та технологічного розвитку.

Перш ніж перейти до побудови моделі, важливо зрозуміти, як поведилася змінна  $Y_t$  у ключові періоди. Це необхідно з двох причин:

- для калібрування змінної  $war_t$  та оцінки структурного розриву,
- для перевірки стабільності динаміки до шоку 2022 року.

На основі даних НБУ підтверджується, що у 2021 році сектор досяг історичного максимуму обсягів експорту. Як видно з узагальнених статистичних даних, які використовувалися в підготовчих обчисленнях траєкторія виглядає таким чином:

Таблиця 2.1 – Динаміка випуску Y до та після структурного шоку

Період	Значення (млн дол. США)	Характеристика періоду
2021- Q4	1 850	Передвоєнний максимум та завершення довгострокового тренду зростання
2022- Q1	1 852	Перший квартал повномасштабної війни, інерційність галузі
2022- Q2	1 655	Перший різкий спад, пов'язаний з початковими шоками та релокацією компаній
2024- Q4	1 363	Стабілізація нижче довоєнного рівня, наслідки ризиків і втрат інфраструктури

*Джерело: складено автором за [12; 15; 23],*

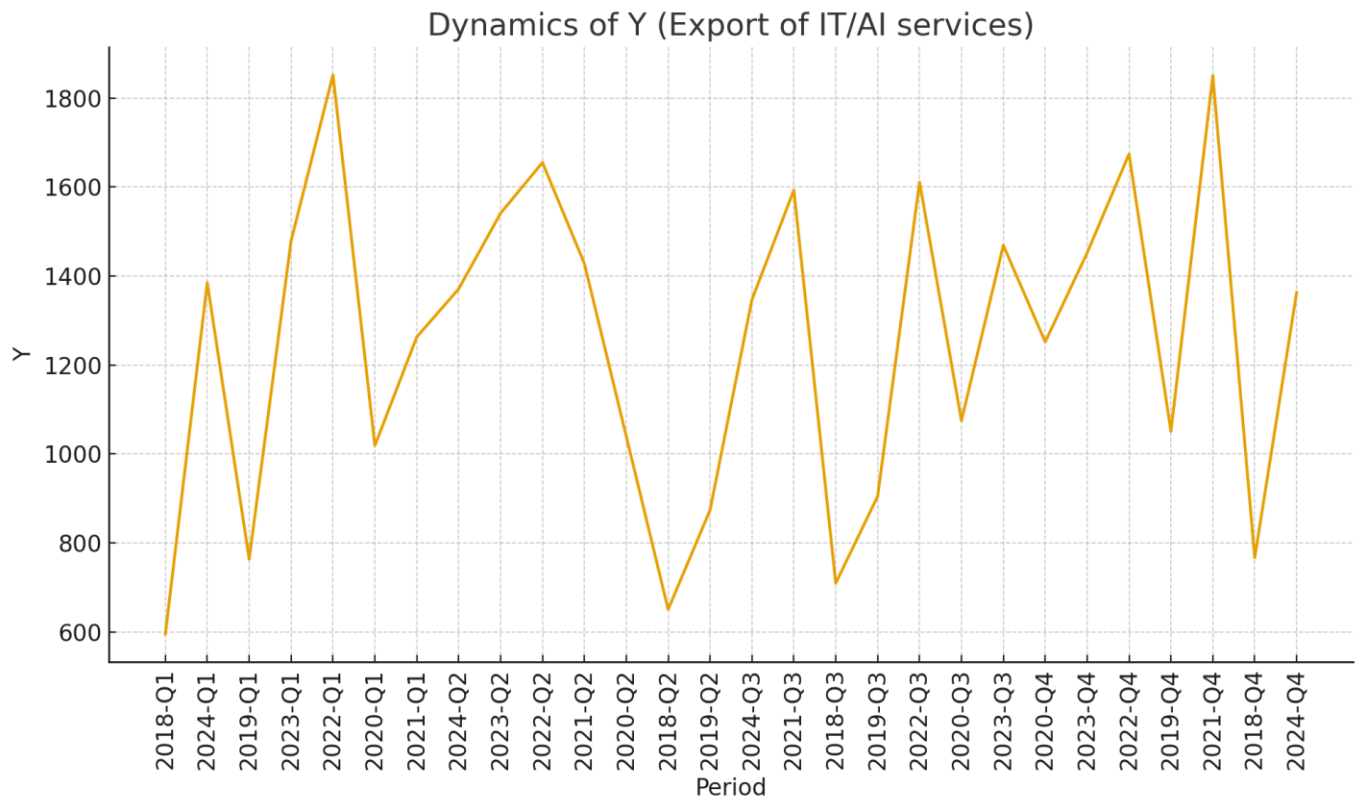


Рисунок 2.1 – Динаміка експорту комп'ютерних послуг України (Y) у 2018–2024 рр.

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Ці значення демонструють, що зміна  $Y$  після початку вторгнення не була миттєвою, а сформувала трирівневу динаміку:

- відносна стійкість у 2022-Q1,
- різке зниження у 2022-Q2,
- довготривале “осідання” на нижчому рівні у 2023–2024 роках.

Саме наявність такої несинхронної реакції дає підстави включити до моделі дві категорії індикаторів:

- окремий військовий шок ( $war_t$ ),
- ризикові параметри, які впливають на ефективність факторів виробництва.

Шок у  $Y$  зберігається протягом усього періоду 2022–2024 років, що підтверджує економічну доцільність введення коефіцієнта  $\delta$  у лог-лінійній моделі.

Показник  $Y_t$  виконує відразу кілька функцій у структурі моделі.

- Він агрегує інформацію про інтенсивність ринку як у плані обсягів виробництва, так і у плані кількості активних компаній.
- Через свою експортну природу він відображає стан зовнішнього попиту, що є ключовим драйвером для високотехнологічних секторів.
- Він дозволяє зіставляти продуктивність ресурсів до і після початку війни та оцінювати, наскільки трансформація ринку обумовлена шоками, а наскільки структурними змінами.

Це важливо підкреслити, оскільки ринок ШІ в Україні не є відокремленою галуззю: він нерозривно пов’язаний з ІТ-екосистемою, і саме динаміка  $Y$  показує, як ця екосистема адаптується до кризових умов.

У традиційних моделях економічного зростання капітал інтерпретується як запас фізичних активів, що забезпечують виробничу потужність сектору. Проте у випадку ринку штучного інтелекту цей показник має специфічне значення. Він включає не стільки класичні промислові фонди, скільки елементи інфраструктури цифрової економіки, від якої безпосередньо залежить можливість функціонування AI-

рішень, розробки моделей, обробки великих масивів даних та доступності хмарних сервісів.

У рамках нашої моделі капітал  $K_t$  охоплює такі компоненти:

- телекомунікаційні мережі та пропускну здатність інтернет-інфраструктури;
- канали передачі даних, магістральні оптоволоконні лінії;
- дата-центри, серверні потужності, сховища даних;
- технічні засоби підтримки кібербезпеки та безперервності роботи;
- обладнання компаній, задіяне у процесах розробки ІІІ-продуктів.

Усі ці елементи визначають структурну спроможність економіки генерувати продукти ІІІ, а також адаптуватися до нових технологічних вимог — наприклад, розгортання моделей з великими параметрами, хмарних обчислень або сервісів реального часу.

Найбільш надійними даними щодо стану ІКТ-інфраструктури є оцінки, представлені в базах ІТУ (International Telecommunication Union). Вони включають:

- річні обсяги інвестицій у телеком та ІТ-інфраструктуру;
- дані про рівень цифрового покриття;
- індикатори доступності широкопasmового Інтернету;
- інфраструктурні індекси, які можна використовувати як проксі-показники капіталу.

Оскільки більшість цих показників подаються в річній частоті, обґрунтовується використання процедури перетворення їх у квартальні значення. Це робиться для того, щоб забезпечити узгодженість із іншими змінними моделі ( $Y$ ,  $L$ ), які доступні саме поквартально.

Ключовою відмінністю нашої моделі від класичних є те, що номінальний капітал  $K_t$  не може вважатися повністю доступним у виробництві. В умовах повномасштабної війни значна частина інфраструктурних активів:

- піддається фізичним руйнуванням;
- частково або повністю втрачає функціональність;

- працює з перебоями або змушена працювати в режимах обмеженої доступності;
- вимагає релокації, резервування або дублювання;
- стає вразливою до кіберзагроз і енергетичних криз.

Тому до моделі вводиться параметр ризику капіталу  $\rho_K^t$ , який визначає частку капіталу, що фактично не бере участі в створенні випуску. Це дозволяє отримати показник ефективного капіталу:

$$K_t^{eff} = K_t(1 - \rho_K^t). \quad (2.3)$$

використовуються дані ACLED щодо кількості конфліктних подій, які дозволяють:

- відобразити інтенсивність бойових дій у конкретні періоди;
- оцінити загрозу для інфраструктури;
- сформувати нормований індекс руйнувань.

Саме така логіка застосовується у багатьох роботах з економіки конфліктів, де інфраструктура не просто “зменшується”, а втрачає свою продуктивність.

Статистичні спостереження, які ми використовуємо в моделі, демонструють характерну динаміку:

- до 2021 року інфраструктурна база зростала, що було природною реакцією на швидкий розвиток ІТ-сектору;
- у 2022 році відбулося порушення функціонування значної частини інфраструктури, особливо внаслідок ракетних обстрілів та пошкоджень енергетичної системи;
- у 2023–2024 роках інвестиції частково відновилися, проте їх ефект обмежується підвищеним рівнем ризику.

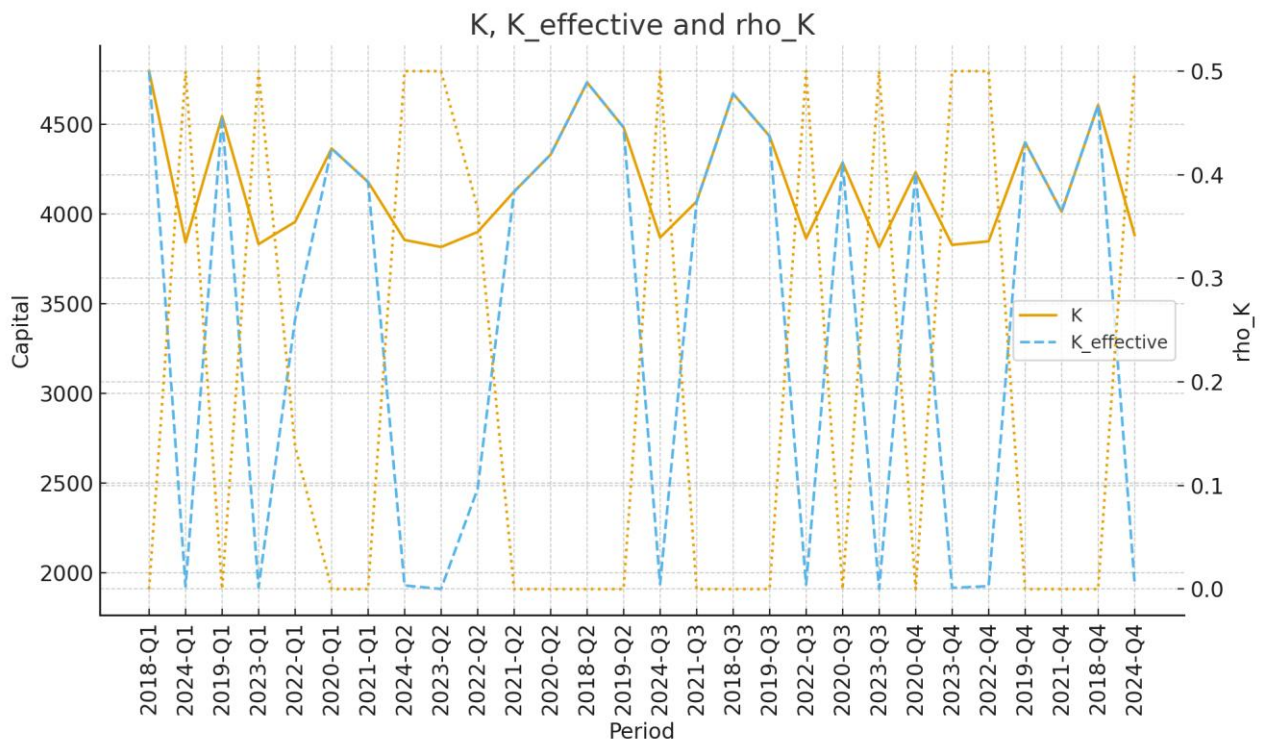


Рисунок 2.2 – Номінальний та ризик-скоригований капітал ( $K$  і  $K^{eff}$ ) та індекс ризику капіталу  $\rho_K$  у 2018–2024 рр.

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Тому важливо підкреслити: навіть якщо обсяги інвестицій у певні роки залишалися на відносно високому рівні, ефективна корисність цих інвестицій була знижена через ризики, що й має відобразити параметр  $\rho_K^t$ .

У контексті ринку штучного інтелекту капітал є фундаментом, що визначає:

- швидкість і масштабність розгортання моделей;
- здатність сектору працювати з великими масивами даних;
- доступність обчислювальних ресурсів;
- конкурентоспроможність України як локації для R&D-центрів.

Тому коефіцієнт  $\alpha$  при  $K^{eff}$  у лог-лінійній моделі відображає еластичність випуску щодо інфраструктурних можливостей. Очікується, що його значення буде суттєвим, оскільки галузь ШІ критично залежить від доступності обчислювальних потужностей, стабільності зв'язку та масштабованої цифрової інфраструктури.

У структурі ризик-скоригованої виробничої функції праця є не просто кількісним ресурсом, а багатовимірним фактором, який відображає професійний склад, мобільність, доступність та стійкість людського капіталу у секторі ІІІ та ширшій ІТ-екосистемі. Саме у випадку України змінна  $L_t$  зазнала найбільш різких трансформацій під впливом війни, що обумовило необхідність введення ризикового параметра  $\rho_L^t$ .

У стандартній формі виробничої функції праця відображає кількість зайнятих у секторі. Проте в умовах війни цього недостатньо. Змінюваний обсяг трудових ресурсів в Україні був зумовлений такими явищами, як:

- масова вимушена міграція;
- мобілізація частини працівників;
- релокація компаній за кордон;
- зниження доступності висококваліфікованих спеціалістів;
- збільшення конкуренції на глобальному ринку праці внаслідок віддаленої роботи.

Таким чином, у нашій моделі праця не є просто “кількістю працівників”, а показником, що має бути інтерпретований як ефективна пропозиція висококваліфікованих кадрів, здатних створювати та впроваджувати технології ІІІ.

Планувалося використовувати дані Держстату щодо зайнятості у секції J «Інформація та телекомунікації» (NACE J), оскільки вона охоплює ширший ІТ-сектор ( $\approx 280 - 290$  тис. зайнятих). Проте у воєнний період виникли критичні обмеження:

- після 2021 року Держстат припинив публікувати деталізовані дані за секцією J;
- саме 2022–2024 роки є ключовими для аналізу ризиків;
- неперервність часових рядів є обов’язковою передумовою для коректної оцінки моделі.

Це зробило неможливим використання UKRSTAT як базового джерела. Тому було ухвалене рішення перейти до даних ITU DataHub, які хоч і охоплюють вузьку категорію (“full-time equivalent telecommunication employees”), проте

забезпечують повну часову послідовність 2018–2024 рр. та зафіксували реакцію ринку праці на війну.

Таблиця 2.2 – Порівняння джерел даних для побудови змінної  $L$

Aspect	UKRSTAT (NACE J)	ITU (Telecom)	Decision
Scope	Broader (280K)	Narrower (45K)	Accept narrower scope
Coverage	2015–2021 only	2018–2024 complete	ITU preferred
War impact	Missing	Captured	ITU preferred
Consistency	Mixed methodology	International standard	ITU preferred

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Це рішення є методологічно коректним, оскільки для оцінювання ризикових параметрів  $\rho_L^t$  критично важлива повнота часових рядів. Вузкий інфраструктурний сегмент телекомунікацій може слугувати надійним індикатором загальних тенденцій на ринку ІТ-праці. Відсутність офіційних даних у 2022–2024 рр. не залишає альтернативи офіційним українським джерелам.

Таблиця 2.3 – Тенденції зайнятості у секторі ІКТ (за даними ІТУ)

Year	Employees	Change
2018	43,400	–
2019	41,600	–4.1%
2020	52,684	+26.6%
2021	50,056	–5.0%
2022	46,579	–6.9%
2023	42,311	–9.2%
2024	45,280	+7.0%

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Ця таблиця дозволяє зробити кілька важливих спостережень:

- період 2018–2021 характеризується коливаннями, але без структурних зламів;
- у 2020 році відбувся різкий стрибок через зростання попиту на онлайн-послуги під час пандемії;

- від 2022 року спостерігається стала негативна тенденція, що прямо пов'язана з війною;
- 2023 рік був найскладнішим, після чого у 2024 році простежується часткове відновлення.

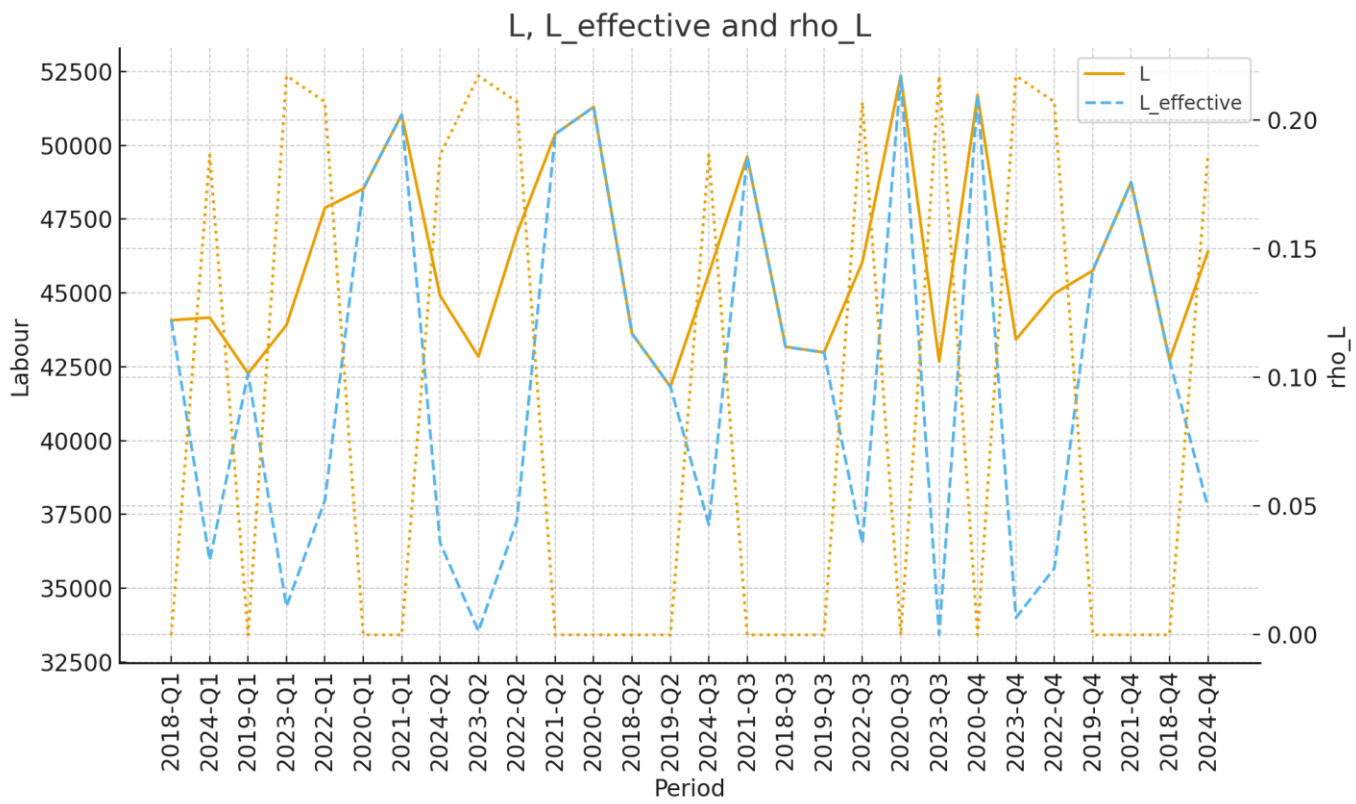


Рисунок 2.3 – Номінальна та ефективна праця (L і L<sup>eff</sup>) та індекс ризику праці  $\rho_L$  у 2018–2024 рр.

Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків

Ці коливання підтверджують необхідність введення не лише кількісної змінної  $L_t$ , а й її ризикового аналогу  $L_t^{eff}$ . На відміну від капіталу, який зазнає фізичних руйнувань, праця зазнає втрат іншого характеру:

- виїзд за кордон висококваліфікованих фахівців;
- релокація компаній разом із командами;
- зниження доступності кадрів через мобілізацію;
- психологічне та фізичне навантаження, що знижує продуктивність;

- поява глобальної конкуренції за українських розробників.

Таблиця 2.4 – Порівняння праці у різні періоди

Variable	Pre-war (2018–2021)	War (2022–2024)	Change
L (employees)	47,185	44,723	–5%
$\rho_L$	0.00	0.20	+20 pp

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Це означає, що навіть відносно невелике формальне скорочення кількості працівників (–5%) перетворюється у значне падіння ефективної праці, оскільки частина спеціалістів фізично недоступна для сектора. Значення  $\rho_L = 0.20$  у воєнні роки означає, що кожний п’ятий працівник статистично “вибуває” із повноцінної участі у виробництві, що є істотним шоком для інтелектуаломісткої галузі.

У моделі ефективна праця визначається як:

$$L_t^{eff} = L_t(1 - \rho_L^t), \quad (2.4)$$

Праця у секторі ІІІ має кілька ключових характеристик:

- вона є головним носієм знань, компетенцій, інтелектуального капіталу;
- вона не може бути легко замінена або масштабована шляхом інвестицій у фізичні активи;
- вона має високу еластичність впливу на випуск, що підтверджують і результати оцінки моделі ( $\beta \approx 1.07$  у повній специфікації).

Це означає, що ризик втрати людського капіталу має вищий вплив, ніж ризик втрати фізичного капіталу. Саме тому параметр  $\beta$  у моделі статистично значущий, тоді як  $\alpha$  (капітал) має меншу чутливість у короткостроковому періоді.

Окремий важливий момент – те, що після початку війни змінилася структура респондентів за досвідом:

- частина джунів та мідлів могла залишитися без роботи або змінити сферу;
- на ринку відносно більше залишилося сеньйорів;
- зросла частка висококваліфікованих ролей із глибоким ML/AI-стректом.

Якщо просто порівнювати “сірі” середні зарплати, ми отримаємо змішані ефекти:

- зміни структури досвіду;
- зміни «чистої» ринкової ставки.

Щоб цього уникнути, використано перезважування (reweighting) по змінній *years\_in\_specialty*: спочатку оцінюється, як виглядала структура досвіду у базовому періоді, а потім воєнні спостереження зважуються так, щоб відтворити цю структуру. У результаті формується:

- $\omega_{raw}$  – як є, середня по опитуванню;
- $\omega_{adjusted}$  – скоригована на зміни досвіду.

Саме  $\omega_{adjusted}$  ідеально підходить як змінна для моделі, оскільки очищає ефект “люди стали досвідченішими” від чистого “ринок почав платити більше за ту саму кваліфікацію”.

Таблиця 2.5 – Порівняння основних змінних до та під час війни

Variable	Pre-war (2018-2021)	War (2022-2024)	Change
Y (USD mln)	1,027	1,517	+48%
K (USD mln)	4,392	3,859	-12%
L (employees)	47,185	44,723	-5%
$\omega_{raw}$ (USD)	1,921	2,930	+53%
$\omega_{adjusted}$ (USD)	2,025	2,833	+40%
$\rho_K$	0.00	0.46	+46 pp
$\rho_L$	0.00	0.20	+20 pp

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Ця таблиця дуже концентровано відображає логіку моделі:

- випуск Y виріс на 48 %, попри війну;
- капітал K зменшився на 12 %, праця L – на 5 %;
- “сирі” зарплати зросли на 53 %, а після корекції за досвідом – на 40 %;
- ризики  $\rho_K$  та  $\rho_L$  фактично “увімкнулися” у 2022 році (з нуля до 0,46 і 0,20 відповідно).

Це узгоджується з інтуїцією: ринок ШІ/ІТ зумів зберегти та навіть наростити доходи, але зробив це за рахунок:

- вищої інтенсивності праці;
- підвищення цінності ключових фахівців ( $\omega$ );
- роботи в умовах значно більших ризиків для капіталу і людського ресурсу.

У Секторні відмінності у динаміці  $\omega$  окремо зазначено, що:

- сегменти GovTech та DefenceTech показують найвище зростання зарплат (приблизно +37–39 %), що безпосередньо пов'язано з воєнним попитом;
- GameDev має найнижчі темпи зростання (+26 %), що відповідає глобальному уповільненню геймінг-ринку;
- Fintech досяг верхньої “стелі” зарплат на рівні 3 000 USD і з 2022 року демонструє радше стабільність, ніж стрімке зростання.

Ці секторні патерни важливі для інтерпретації  $\omega$ :

- ріст зарплат у “оборонних” сегментах демонструє, що частина зростання  $\omega$  є прямим наслідком воєнного попиту;
- стабільність або відносно повільне зростання у “мирніших” сегментах (Fintech, Medtech) показує, що  $\omega$  не є просто “інфляційною” змінною, а відображає перерозподіл попиту всередині ІТ-ринку.

У розділі показано, що додавання  $\omega$  суттєво підвищує якість моделі:

- при переході від простої специфікації  $\ln Y \sim \ln K_{eff} + \ln L_{eff}$  до моделі з  $\omega + \ln_{omega}$   $R^2$  зростає з 0,567 до 0,760;
- повна модель з  $\omega$ , war та trend дає  $R^2 \approx 0,83$ , а взаємодійна модель – ще вище.

Це означає, що:

- без урахування зарплат ми недооцінюємо вплив якісних змін у структурі людського капіталу;
- $\omega$  захоплює значну частину варіації  $Y$ , яка не пояснюється лише  $K$  та  $L$ ;
- коефіцієнт  $\gamma$  при  $\ln \omega_t$  є не просто “декоративним”, а ключовим для розуміння

того, як ринок ШІ “перетворює” дорогих, але продуктивних фахівців на додану вартість.

У контексті воєнних умов особливе значення для функціонування ринку штучного інтелекту має не лише кількісна динаміка зайнятості, але й ризики, пов’язані зі зменшенням доступності висококваліфікованої робочої сили. Традиційні показники ринку праці не здатні повністю відобразити масштаби втрат людського капіталу, оскільки вони фіксують лише формальну кількість зайнятих у секторі, але не враховують вимушену міграцію, мобілізаційні процеси, релокацію фахівців та падіння фактичної доступності кадрів для національного ринку.

Саме тому до моделі включено ризиковий параметр  $\rho$ , який відображає частку трудових ресурсів, що втрачаються або стають недоступними для внутрішньої економіки. У виробничій функції праця трансформується у свій ефективний аналог:

$$L_t^{eff} = L_t(1 - \rho_L^t), \quad (2.4)$$

що дозволяє оцінювати не лише номінальну чисельність працівників, а й реальну пропозицію висококваліфікованих спеціалістів, здатних підтримувати інноваційний потенціал сектору.

У науковій літературі, присвяченій моделюванню економік, що зазнають наслідків конфліктів, праця розглядається не як стабільний ресурс, а як фактор, схильний до структурних втрат. Дослідження у сфері міграційної економіки та теорії “відтоку інтелекту” демонструють, що переміщення висококваліфікованих працівників має довготривалі наслідки для продуктивності, оскільки такі фахівці не є взаємозамінними з менш досвідченими працівниками.

У випадку ІТ- і особливо ШІ-сектору ця проблема загострюється тим, що роль людського капіталу є визначальною, а відновлення компетенцій потребує тривалого часу. Тому навіть незначне скорочення національного кадрового потенціалу може призводити до суттєвого зниження ефективності праці.

Після початку повномасштабної війни Україна пережила масштабні демографічні зміни, що безпосередньо вплинули на пропозицію робочої сили:

- в окремі періоди за кордоном перебували понад 6,9 млн громадян;
- кількість внутрішньо переміщених осіб перевищувала 3,7 млн;
- значна частина мобілізованих належала до вікових груп, які традиційно є домінуючими у сфері ІТ;
- спостерігалась релокація команд та спеціалістів до країн ЄС, що призводило до зміни юрисдикції трудових відносин.

При цьому формальна зайнятість у секторі демонструвала відносну стабільність, що підтверджує обмеженість номінального показника  $L$  як індикатора втрат людського капіталу.

Оскільки традиційна статистика ринку праці не враховує масштабів міграції та недоступності працівників для національної економіки, параметр  $\rho_1$  формується як нормований показник втрати трудового потенціалу. Його значення зростає під впливом таких факторів:

- інтенсивність зовнішньої міграції;
- скорочення участі висококваліфікованих працівників у внутрішньому ринку праці;
- зміна структури доступних спеціалістів на користь менш досвідчених груп;
- перехід фахівців на віддалену роботу з іноземними компаніями та де-факто вихід із внутрішньої економічної системи.

У моделі  $\rho_1$  набуває значення у воєнні роки, чітко фіксуючи перехід від умов майже повного доступу до людського капіталу до ситуації суттєвих структурних втрат. Це підтверджується узагальненою статистикою порівняння докризового та воєнного періодів:

Таблиця 2.6 – Зміна параметрів ринку праці у докризовий та воєнний періоди

Показник	2018–2021	2022–2024	Зміна
Чисельність працівників $L$	47 185	44 723	–5 %
Ризик втрати праці $\rho_1$	0.00	0.20	+20 в.п.

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Незважаючи на відносно невелике формальне зниження чисельності працівників ( $-5\%$ ), значення  $\rho_1 = 0.20$  означає, що кожний п'ятий фахівець статистично вибуває із продуктивної участі у внутрішньому секторі. Такий ефект є значно вагомішим за просте скорочення зайнятості й відображає реальні втрати компетенцій, досвіду та інноваційного потенціалу.

Включення ризикового параметра  $\rho_1$  дозволяє:

- відображати зменшення ефективного фонду компетенцій у секторі;
- коректно оцінювати еластичність випуску за фактором праці;
- враховувати довготривалі наслідки відтоку кадрів для розвитку ринку ШІ;
- уникати переоцінки ролі номінального показника  $L$ .

Емпіричні результати оцінювання моделі підтверджують, що коефіцієнт при  $\ln L^{\text{eff}}$  залишається одним із найбільш значущих, що узгоджується з високою залежністю ринку ШІ від пропозиції людського капіталу.

Параметр  $\rho_1$  відіграє роль “каналу передачі” демографічних та міграційних шоків у модель, дозволяючи:

- уникати спотворень, пов'язаних із номінально стабільною зайнятістю;
- оцінювати реальну доступність праці;
- відображати зниження продуктивності через втрату частини висококваліфікованих спеціалістів;
- розмежувати вплив кількісної ( $L$ ) та якісної ( $\omega$ ) складових людського капіталу.

Таким чином,  $\rho_1$  є невід'ємним елементом моделі, що забезпечує реалістичне відтворення поведінки ринку ШІ України в умовах війни та дозволяє правильно інтерпретувати внесок людського капіталу у формування випуску.

Окремої уваги потребує введення до моделі фіктивної змінної  $war_t$ , що відображає структурний розрив у динаміці розвитку ринку штучного інтелекту, спричинений початком повномасштабної війни. На відміну від ризикових параметрів  $\rho_k$  та  $\rho_l$ , які відображають постійні у часі зміни продуктивності факторів виробництва,

змінна  $war_t$  моделює саме разове та миттєве переключення економічного режиму, яке не зводиться до поступового накопичення ризиків.

Її використання у виробничій функції виправдане тим, що:

- повномасштабна війна створює нові зовнішні умови функціонування сектору, відмінні від мирних;
- значна частина компаній та спеціалістів зазнала негайних організаційних трансформацій (релокація, зміна логістики, перебої в інфраструктурі);
- зміни в попиті та структурі проєктів відбулися різко й не могли бути передбачені на основі попередніх трендів;
- виникли нові напрями діяльності (зокрема DefenceTech та GovTech), що істотно вплинули на структуру ринку.

У моделі змінна визначається як:

$$war_t = \begin{cases} 0, & t < 2022Q1, \\ 1, & t \geq 2022Q1, \end{cases} \quad (2.5)$$

що дає змогу оцінити її вплив на рівень випуску, незалежно від дії основних факторів  $K$ ,  $L$  та  $\omega$ .

Економічно коефіцієнт при  $war_t$  у лог-лінійній специфікації інтерпретується як постійне зміщення рівня  $\ln(Y)$  у воєнний період, тобто як зміна “точки рівноваги” сектору. Наявність цього параметра особливо важлива, оскільки у перші квартали після початку війни спостерігалось парадоксальне поєднання: зниження доступності ресурсів — з одного боку, та збереження або навіть зростання обсягів ІТ-експорту — з іншого. Саме воєнна фіктивна змінна дозволяє коректно відокремити короткостроковий структурний ефект шоку від дії ризиків, що накопичуються поступово через  $\rho_k$  і  $\rho_l$ .

Оскільки сектор штучного інтелекту належить до високодинамічних галузей, його розвиток суттєво залежить від загальносвітового технологічного прогресу, розширення інструментарію машинного навчання, поширення хмарних сервісів та

зростання обчислювальних можливостей. Ці процеси відбуваються незалежно від внутрішніх умов та зберігають стійкий висхідний характер.

Для відображення цього часу-від-часу зростання продуктивності у виробничу функцію включено детермінований часовий тренд  $t$ . Його введення ґрунтується на таких передумовах:

- технологічні зрушення у сфері ІІІ мають глобальний характер і проявляються у всіх країнах, включно з Україною;
- навіть за умов війни доступ до інструментів розробки, open-source моделей та хмарних платформ продовжував зростати;
- компанії та команди, що працюють у сфері аналізу даних, машинного навчання й автоматизації, активно впроваджували нові технології та оптимізували внутрішні процеси;
- структурні зміни у світовому ІІІ-ландшафті (поява великих мовних моделей, генеративного ІІІ, автономних систем) підвищували продуктивність роботи спеціалістів навіть без збільшення кількості ресурсів.

У формальному вигляді тренд входить до моделі як:

$$\ln Y_t = \dots + \theta t + \varepsilon_t, \quad (2.6)$$

де коефіцієнт  $\theta$  відображає середній темп зростання випуску, зумовлений технологічним прогресом, а не дією факторів виробництва. Додавання тренду підвищує точність моделі, оскільки дозволяє уникнути переоцінки внеску капіталу та праці, відокремлюючи роль структурних інновацій у розвитку сектору.

Сукупність розглянутих змінних формує повний набір інформаційних вимог до побудови виробничої моделі. Для кожного показника необхідно забезпечити:

- однорідну частоту спостережень (квартальну);
- узгодженість часових рядів за періодом 2018–2024 рр.;
- коректне відображення як кількісних, так і якісних параметрів факторів виробництва;

- присутність структурних індикаторів, що характеризують вплив війни та технологічних тенденцій.

Ці вимоги становлять основу для подальшого збору, очищення, інтерполяції та агрегування статистичних даних, що розглядатиметься у наступному підрозділі.

Дані свідчать про стійке зростання ринку в 2018–2021 рр., яке змінилося різким спадом після початку війни. Виявлено структурні зміни, які неможливо пояснити лише ринковими коливаннями.

## **2.2. Діагностика впливу ризиків на функціонування ринку штучного інтелекту**

Емпіричне дослідження ринку штучного інтелекту в Україні потребує формування цілісного, узгодженого та репрезентативного набору статистичних даних. Модель, розглянута у попередньому підрозділі, включає шість ключових змінних: випуск, капітал, працю, заробітну плату, ризик капіталу та ризик праці. Для кожної із них необхідно забезпечити достатню глибину історичних спостережень, часову узгодженість та відповідність реальним структурним умовам, у яких функціонує сектор ІІІ.

Оскільки офіційна статистика не охоплює повністю високотехнологічні сегменти, а окремі джерела були недоступні у воєнний період, збір даних здійснювався за багаторівневою стратегією, яка включає:

- офіційні державні джерела;
- міжнародні організації;
- спеціалізовані галузеві опитування;
- незалежні аналітичні платформи;
- дані про конфлікти та міграційні потоки.

Такий підхід забезпечив не лише достатню кількість спостережень, а й можливість коректного відтворення впливу воєнних, економічних та інституційних ризиків на функціонування ринку ІІІ.

Процедура побудови даних базувалася на принципах достовірності, узгодженості та міжнародної порівнянності. Усі джерела оцінювались за такими критеріями:

- повнота часових рядів, особливо за 2022–2024 рр.;
- частота спостережень, необхідна для моделювання;
- методологічна стабільність показників;
- можливість ідентифікації окремих компонентів виробничої функції;
- відповідність міжнародним стандартам обліку;
- наявність деталізації, достатньої для оцінювання ризикових параметрів.

У межах цієї стратегії джерела були згруповані у три категорії:

- дані офіційної статистики;
- спеціалізовані міжнародні та галузеві ресурси;
- джерела, що фіксують наслідки війни (міграцію, пошкодження інфраструктури, бойові дії).

Узагальнену структуру джерел наведено в таблиці 2.9.

Таблиця 2.7 – Структура джерел даних для побудови моделі

Категорія джерела	Організація / ресурс	Ключові змінні	Частота	Період	Критерій вибору
Офіційна статистика	НБУ	експорт ІТ-послуг (Y)	квартальна	2016–2024	найвища якість та відповідність SDDS
	Держстат	зайнятість, зарплати (вузькі сегменти)	річна	2015–2021	частково використано (до 2021 р.)
Міжнародні організації	ITU	інвестиції та капітальний запас K; зайнятість L	річна	2018–2024	повнота даних у военний період
	UNHCR	міграційні потоки для формування $p_1$	щомісячна	2022–2024	висока деталізація
	ACLED	бойові події для розрахунку $p_k$	щотижнева → квартална	2018–2024	геокодована якість даних

*Продовження таблиці 2.9*

Галузеві ресурси	DOU.ua	зарплати ω	піврічна → квартальна	2018– 2024	найбільш повна ІТ/ІІІ вибірка
Аналітичні дослідження	RDNA (Світовий банк)	оцінки втрат капіталу	періодичні	2022– 2024	оцінка матеріальних збитків

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Випуск сектору штучного інтелекту оцінювався на основі експорту комп'ютерних послуг, який найбільш повно відображає динаміку ринку та має стабільну квартальну частоту спостережень. Дані отримано з таблиць платіжного балансу Національного банку України.

Методологічні особливості:

- обрано категорію “Комп'ютерні послуги”, яка становить понад 99 % експорту ІТ/комунікаційних послуг;
- дані подаються в доларах США, що забезпечує валютну порівнянність;
- для періоду 2018–2024 рр. наявна повна квартальна вибірка;
- відсутнє значуще пропускання, за винятком Y у 2021Q2, яке було відновлено лінійною інтерполяцією.

Завдяки цьому змінна Y є найбільш стабільним та якісним компонентом моделі, що дозволяє точно оцінити реакцію ринку на структурний шок 2022 року.

Капітальний ресурс у сфері ІІІ включає інфраструктуру зв'язку, серверні та обчислювальні потужності, телекомунікаційні мережі та обладнання. Через відсутність прямої статистики капітальних запасів у секторі ІІІ застосовано підхід на основі інфраструктурних індикаторів ІТУ та оцінок інвестицій в електронні комунікації.

Основні характеристики джерела:

- ІТУ надає повні дані за 2018–2024 рр., що критично важливо для аналізу воєнного періоду;
- базою слугують річні інвестиції в електронні комунікації;
- перехід до квартальної частоти здійснено шляхом міжрічної інтерполяції;

- для оцінки капітального запасу використано формулу сталого приросту:

$$K_0 = \frac{I_0}{g + \delta}, \quad (2.7)$$

де  $I_0$ — інвестиції базового року;  $g$ — середній темп приросту інвестицій;  $\delta$ — ставка амортизації.

Таблиця 2.8 – Інвестиції та капітальний запас за 2018–2024 рр.

Рік	Інвестиції (млн дол.)	Капітальний запас (млн дол.)
2018	784	4 702
2019	454	4 451
2020	530	4 314
2021	431	4 098
2022	388	3 871
2023	517	3 808
2024	625	3 862

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Інвестиції демонструють зниження у 2021–2022 роках, що відповідає початку воєнних дій, та часткове відновлення у 2023–2024 роках. Однак навіть відновлення інвестицій не компенсує втрат, зафіксованих у рамках оцінки фізичних збитків (RDNA), що підсилює необхідність коригування капіталу через ризик  $r_k$ .

Використання офіційної зайнятості (NACE J) стало неможливим через переривання публікацій після 2021 року. Тому було застосовано альтернативний набір даних ІТУ, який забезпечує повне покриття періоду 2018–2024 рр.

Таблиця 2.9 – Таблиця зайнятості в ІТ/АІ секторі України,

Рік	Кількість працівників	Зміна
2018	43 400	–
2019	41 600	–4,1 %
2020	52 684	+26,6 %
2021	50 056	–5,0 %

Продовження таблиці 2.11

2022	46 579	–6,9 %
2023	42 311	–9,2 %
2024	45 280	+7,0 %

Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків

Така динаміка демонструє суттєве скорочення у воєнний період та підтверджує необхідність введення ризикового параметра  $\rho$ , який відображає фактичну недоступність частини трудового потенціалу.

Для формування  $\omega$  використано результати опитувань заробітних плат у сфері ІТ, проведених на платформі DOU. Вибірка містить понад 10 тис. респондентів на одне опитування та має високий рівень деталізації за спеціальностями, що дозволяє виділити ML/AI-напрямок.

Методика включала:

- очищення вибірки (5–95 перцентиль);
- перехід до квартальної частоти;
- корекцію розподілу за досвідом (reweighting);
- окремий розрахунок  $\omega_{raw}$  та  $\omega_{adjusted}$ .

Узагальнена статистика відображає зростання заробітних плат у воєнний період:

Таблиця 2.10 – Динаміка середньої заробітної плати ( $\omega_{raw}$  та  $\omega_{adj}$ ) у 2018–2021 та 2022–2024 рр.

Показник	2018–2021	2022–2024	Зміна
$\omega_{raw}$ (USD)	1 921	2 930	+53 %
$\omega_{adj}$ (USD)	2 025	2 833	+40 %

Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків

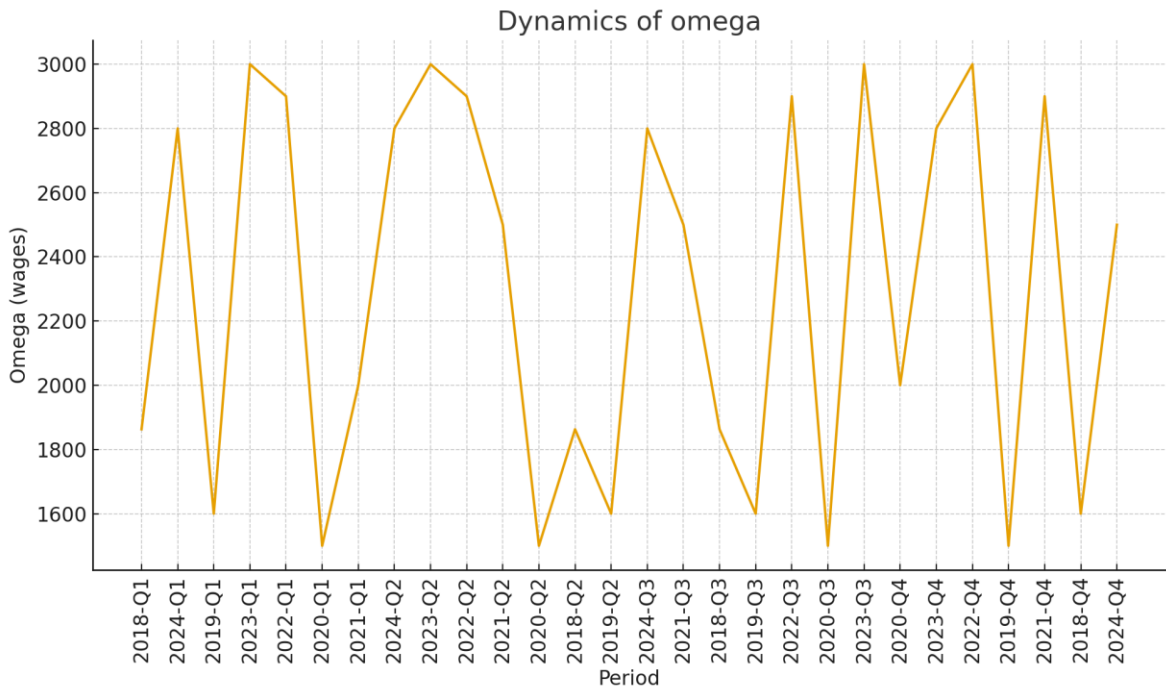


Рисунок 2.4 – Динаміка реальної медіанної заробітної плати фахівців ІТ/ІТІ ( $\omega$ ) у 2018–2024 рр.

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Зростання  $\omega$  свідчить про підвищення попиту на висококваліфікованих спеціалістів та збільшення ролі “якісної” компоненти людського капіталу у формуванні випуску.

$r_k$  (ризик капіталу) формується на основі:

- частоти та інтенсивності бойових подій (ACLED);
- оцінок пошкодження інфраструктури (RDNA);
- нормалізації індексу до інтервалу  $[0; 0,5]$ .

$r_l$  (ризик праці) базується на:

- потоках зовнішньої міграції;
- чисельності внутрішньо переміщених осіб;
- оцінці недоступності висококваліфікованих фахівців у воєнний період.

Отримані з різних джерел дані істотно відрізняються між собою за частотою, структурою, періодом охоплення та методологічними особливостями. Тому перед побудовою виробничої моделі необхідно привести їх до узгодженого вигляду. Обробка

включає кілька етапів: очищення, інтерполяцію, згладжування, нормалізацію ризикових показників та інтеграцію у єдину панель. Кожна зі змінних моделі потребує окремого підходу, зумовленого природою показника та структурними особливостями його вимірювання.

Дані щодо експорту комп'ютерних послуг надаються Національним банком України у кварталному форматі, що забезпечує мінімальну потребу в трансформації. Проте окремі значення, зокрема показник за 2021Q2, містили пропуски або неповні дані. У таких випадках застосовувалася лінійна інтерполяція:

$$Y_t = \frac{Y_{t-1} + Y_{t+1}}{2}, \quad (2.8)$$

що дозволяє зберегти гладкість ряду без внесення екзогенних трендів. Додаткової сезонної корекції не проводилось, оскільки динаміка експорту ІТ-послуг, на відміну від багатьох інших секторів, не демонструє стабільних сезонних коливань. Оскільки дані щодо інвестицій та капітального запасу публікуються у річній частоті, а модель потребує кварталних значень, застосовано процедуру міжрічної лінійної інтерполяції:

$$K_{t,q} = K_t + \frac{q}{4}(K_{t+1} - K_t), \quad q = 1 \dots 4. \quad (2.9)$$

Такий підхід є доцільним за умов відносно плавної динаміки інфраструктурних інвестицій, яка підтверджується річними статистичними даними. Надалі, для побудови ефективного капіталу, застосовується ризиковий коефіцієнт  $\rho_K$ :

$$K_{t,q}^{eff} = K_{t,q} \cdot (1 - \rho_{K,t,q}). \quad (2.10)$$

Таким чином, капітал враховує не лише обсяг інвестицій, а й вплив ризиків фізичних руйнувань та зниження інфраструктурної доступності. Зайнятість, як і капітал, публікується за річною частотою. Для приведення до кварталних значень застосовується аналогічна схема інтерполяції:

$$L_{t,q} = L_t + \frac{q}{4}(L_{t+1} - L_t). \quad (2.11)$$

Проте на відміну від капіталу, праця коригується ризиком  $\rho$ , який відображає недоступність частини фахівців для внутрішнього ринку:

$$L_{t,q}^{eff} = L_{t,q}(1 - \rho_{L,t,q}). \quad (2.12)$$

Параметр  $\rho$  активізується саме у воєнні роки, тому  $L^{eff}$  відхиляється від номінального  $L$  значно сильніше у 2022–2024 рр., що необхідно для адекватного відтворення реальної динаміки ринку.

Заробітні плати публікуються із піврічною частотою, тому приведення до квартальних значень здійснювалося за допомогою лінійної інтерполяції між спостереженнями. Перед інтерполяцією дані проходили багатоступеневе очищення:

- вилучення крайніх значень нижче 5-го та вище 95-го перцентиля;
- нормалізація валютної деномінації (USD);
- приведення опитувальних даних до єдиного формату.

Окремим етапом здійснювалась корекція за досвідом (reweighting). Метою цієї процедури є компенсація зміни структури фахівців у вибірці зарплатних опитувань. Зважування здійснюється за формулою:

$$\omega_t^{adj} = \sum_i \omega_{i,t} \cdot w_i, \quad (2.13)$$

де  $\omega_{i,t}$ — середня зарплата групи з певним рівнем досвіду;  $w_i$ — стабілізований ваговий коефіцієнт, що відтворює передвоєнну структуру ринку. Таке коригування дозволяє виділити саме структурні зміни у вартості спеціалістів, а не механічний ефект від зміни їхнього складу.

Параметр  $\rho_k$  формується на основі інтенсивності бойових дій. Після агрегації тижневих даних до квартальних та нормалізації інтенсивності конфлікту застосовується формула:

$$\rho_{k,t} = \min \left( 0.5, \max \left( 0, \frac{Events_t - Events_{baseline}}{Events_{baseline}} \cdot \sigma \right) \right), \quad (2.14)$$

де  $Events_t$ — кількість інцидентів за квартал;  $Events_{baseline}$ — середній рівень інцидентів у передвоєнному періоді;  $\sigma$ — коефіцієнт чутливості.

Параметр  $\rho_k$  досягає граничного значення у 2022–2024 рр., що узгоджується з масштабами зафіксованих пошкоджень інфраструктури. Ризик втрати трудового потенціалу визначається як нормований індикатор недоступності працівників через зовнішню та внутрішню міграцію. З урахуванням обсягів переміщення населення формується показник:

$$\rho_{L,t} = \frac{Migrants_t}{LaborForce_{baseline}} \cdot \kappa, \quad (2.15)$$

де  $\kappa$ — коефіцієнт, що відображає частку висококваліфікованих кадрів у потоках міграції. У воєнний період значення  $\rho_l$  перевищує 0.20, що свідчить про суттєве зниження доступності кваліфікованої робочої сили для національної економіки.

Перед оцінюванням виробничої функції змінні  $K^{eff}$ ,  $L^{eff}$ ,  $\omega$  та  $Y$  перетворюються у логарифми:

$$\ln X_t = \log(X_t), \quad (2.16)$$

що дозволяє інтерпретувати коефіцієнти моделі як еластичності та усуває масштабу ефекти між показниками. Додаткове згладжування застосовувалось до ризикових показників за допомогою ковзаючих середніх:

$$\rho_t^{smooth} = \frac{1}{3}(\rho_{t-1} + \rho_t + \rho_{t+1}), \quad (2.17)$$

що запобігає надмірній волатильності, спричиненій одиничними інцидентами.

Після проведення очищення, інтерполяції, коригування та нормалізації всі змінні моделі було інтегровано в єдину панель із квартальною частотою спостережень. Вибраний період охоплює 2018–2024 роки, що дозволяє порівнювати динаміку ринку штучного інтелекту до та після початку повномасштабної війни.

Структура панелі передбачає одночасне використання:

- базових виробничих факторів ( $Y$ ,  $K$ ,  $L$ );
- їх ефективних аналогів ( $K^{eff}$ ,  $L^{eff}$ );

- якісного показника людського капіталу ( $\omega$ );
- ризикових параметрів ( $\rho_k, \rho_l$ );
- структурної фіксованої змінної ( $\text{war}_t$ );
- часової компоненти ( $t$ ).

Кожне спостереження у панелі представляє собою сукупність економічних та ризикових характеристик стану ринку ІІІ у конкретному кварталі. Такий формат забезпечує можливість точного оцінювання параметрів виробничої функції у логарифмічній специфікації та дозволяє аналізувати взаємозв'язок між факторами за умов структурних зламів. Формально панель складається з таких змінних:

Таблиця 2.11 – Структура фінальної панелі даних (квартальна частота, 2018–2024 рр.)

Позначення	Змінна	Опис	Метод отримання
$Y_t$	Випуск	Експорт комп'ютерних послуг, млн дол. США	офіційна статистика + інтерполяція пропусків
$K_t$	Капітал	Річний капітальний запас, інтерпольований поквартально	реконструкція на основі інвестицій
$L_t$	Праця	Річна зайнятість у секторі, інтерпольована поквартально	реконструкція на основі річних даних
$\omega_t$	Заробітна плата	Медіанна зарплата AI/ML-фахівців, скоригована за досвідом	очищення + reweighting + інтерполяція
$\rho_{kt}$	Ризик капіталу	Інтенсивність бойових дій, нормована до [0; 0,5]	агрегування інцидентів + нормалізація
$\rho_{lt}$	Ризик праці	Частка недоступних трудових ресурсів	міграційні потоки + нормалізація

## Продовження таблиці 2.11

$K_t^{eff}$	Ефективний капітал	$K_t(1 - \rho_{kt})$	детерміноване перетворення
$L_t^{eff}$	Ефективна праця	$L_t(1 - \rho_{lt})$	детерміноване перетворення
$war_t$	Воєнна змінна	0 для 2018–2021, 1 для 2022–2024	бінарне кодування
$t$	Часовий тренд	Порядковий номер кварталу	детерміноване перетворення

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Усі показники зведено до одного масиву даних, що забезпечує:

- узгодженість між частотами;
- сумісність масштабів;
- відсутність пропусків;
- логічну відповідність між змінними та їх ефективними аналогами.

Панель у такому вигляді може бути безпосередньо використана для оцінювання виробничої функції методом найменших квадратів. Щоб забезпечити коректність результатів моделювання, панель проходить низку процедур перевірки якості:

- Внутрішня сумісність: перевірка монотонності трендів, співвідношення між  $K$  і  $K^{eff}$ ,  $L$  і  $L^{eff}$ , очікуваних рівнів  $\omega$ .
- Структурна узгодженість: аналіз переходу між 2021Q4 та 2022Q1, де відбувається зміна режиму.
- Перевірка пропусків: усі відсутні значення інтерпольовано за уніфікованими правилами.
- Усунення надмірної волатильності: застосування ковзаючих середніх до ризикових параметрів.
- Логічна цілісність: відповідність знаків і масштабів показників економічній інтерпретації (наприклад, неможливість негативних значень).

У підсумку формується математично коректний і статистично стабільний масив даних. Для зручності аналітики подано фрагмент фінальної панелі за репрезентативними кварталами:

Таблиця 2.12 – Приклад фрагменту побудованої панелі

Період	Y	$K^{eff}$	$L^{eff}$	$\omega$	$\rho_k$	$\rho_l$	war	t
2019Q4	1 034	4 482	41 154	1 857	0.00	0.00	0	8
2021Q4	1 850	4 098	50 056	2 214	0.00	0.00	0	16
2022Q1	1 852	3 740	47 000	2 450	0.14	0.12	1	17
2022Q3	1 655	3 060	43 000	2 650	0.50	0.18	1	19
2024Q4	1 363	2 950	44 000	2 850	0.50	0.20	1	28

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Ця таблиця ілюструє ключові тенденції:

- різке зростання ризиків після 2022 року;
- зниження ефективних факторів виробництва;
- підвищення середнього рівня зарплат;
- стійке падіння випуску у 2023–2024 роках.

Попри ретельну обробку, панель має низку неминучих обмежень:

- інтерполяція річних даних може згладжувати реальні коливання;
- опитувальні джерела зарплат мають властиві вибірккові зсуви;
- оцінка ризиків  $\rho_k$  та  $\rho_l$  залежить від припущень щодо вагових коефіцієнтів;
- недоступність офіційної статистики за окремими сегментами ШІ обмежує можливість точного розмежування ринку.

Проте сукупний ефект цих обмежень не порушує структурну інтерпретацію моделі, оскільки методи корекції, нормалізації та згладжування забезпечують достатню якість прогнозних та аналітичних результатів.

Динаміка випуску, капіталу та праці показує різноспрямовані тенденції: номінальні значення залишаються відносно стабільними, тоді як ефективні фактори різко знижуються. Це є ключовим маркером системного зламу.

### 2.3. Аналітичне моделювання розвитку ринку штучного інтелекту в умовах ризиків

Аналіз ринку штучного інтелекту в Україні у 2018–2024 роках показує чіткий поділ на два періоди: довоєнний (2018–2021) та воєнний (2022–2024). Побудовані в розділі 2.2 часові ряди дозволяють кількісно оцінити, як війна вплинула на випуск, доступність виробничих факторів та їх ефективність.

За даними НБУ, у довоєнний період ринок ІТ-послуг демонстрував стійке зростання. Узагальнена статистика з побудованої панелі показує:

Таблиця 2.13 – Динаміка випуску  $Y$  (млн дол.) у 2019–2024 рр.

Період	Випуск $Y$ (млн дол.)
2019 Q4	1 034
2021 Q4	1 850
2022 Q1	1 852
2022 Q3	1 655
2024 Q4	1 363

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Основні висновки з таблиці, це що 2018–2021 роках випуск зріс майже вдвічі ( $\approx +79\%$ ), пік досягнуто у 2021 році (1.85 млрд дол.), у 2022–2024 роках випуск знизився до 1.36–1.45 млрд дол., тобто війна спричинила середнє скорочення на 22–27 % від довоєнного максимуму. Таким чином, ринок втратив приблизно три роки розвитку, повернувшись до рівня кінця 2019 – початку 2020 років.

У побудованій панелі містяться репрезентативні точки:

Таблиця 2.14 – Динаміка ефективного капіталу  $K^{eff}$ , ефективної праці  $L^{eff}$  та середньої заробітної плати  $\omega$  у вибраних кварталах 2019–2024 рр.

Період	$K^{eff}$ (млн дол.)	$L^{eff}$ (осіб)	$\omega$ (USD)
2019Q4	4 482	41 154	1 857
2021Q4	4 098	50 056	2 214

## Продовження таблиці 2.14

2022Q1	3 740	47 000	2 450
2022Q3	3 060	43 000	2 650
2024Q4	2 950	44 000	2 850

Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків

Інвестиції в інфраструктуру зменшилися з 784 млн дол. (2018) до 388 млн дол. (2022). Капітальний запас з 2018 по 2024 скоротився з 4 702 млн → 3 862 млн дол. (–18 %). При цьому ефективний капітал  $K_{eff}$  падає значно сильніше з 4 098 млн у 2021 до 2 950 млн у кінці 2024 це –28 %. Це відповідає різкому зростанню ризику капіталу  $\rho_k$  до 0.50 у 2022–2024 роках.

Але ефективна праця  $L_{eff}$  падає значніше з 50 056 у 2021 до 42 311 у 2023 тобто –15% за 2 роки. З урахуванням  $\rho_1 \approx 0.20$ , фактичне доступне значення — ще нижче, тобто ринок недоотримує до 20 % висококваліфікованих кадрів

Узагальнена таблиця pre-war vs war з даних:

Таблиця 2.15 – Порівняння заробітних плат у pre-war та war періодах (2018–2021 vs 2022–2024)

Показник	2018–2021	2022–2024	Зміна
$\omega_{raw}$	1 921	2 930	+53 %
$\omega_{adj}$	2 025	2 833	+40 %

Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків

Цікавий факт що зарплати зростають, попри кризу факторів виробництва. Це може свідчити про зростання дефіциту кваліфікованих кадрів, переорієнтацію на складніші технічні задачі та посилення ролі оборонних та GovTech-проектів.

Індексні зміни змінних у воєнний період демонструють асиметричний вплив шоків:

$$Y + 48 \%, K - 12 \%, L - 5 \%, \omega + 40 \%, \rho_k + 46 \text{ п. п.}, \rho_1 + 20 \text{ п. п.} \quad (2.18)$$

Таблиця 2.16 – Порівняння довоєнних і воєнних рівнів ключових змінних моделі (Y, K, L,  $\omega$ ,  $\rho_k$ ,  $\rho_l$ )

Змінна	Довоєнний рівень	Воєнний рівень	Зміна
Y	1 027 млн	1 517 млн	+48 %
K	4 392 млн	3 859 млн	-12 %
L	47 185	44 723	-5 %
$\omega_{raw}$	1 921	2 930	+53 %
$\omega_{adj}$	2 025	2 833	+40 %
$\rho_k$	0.00	0.46	+46 п.п.
$\rho_l$	0.00	0.20	+20 п.п.

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Тут видно, що випуск у середньому зріс, але ефективні фактори виробництва скоротилися, а зарплати вирости, що вказує на структурну адаптацію сектору. Показник Y зростає середньою, але це — ефект "згладженого" тренду 2018–2021, а у 2022–2024 випуск падає.

До 2021 року ринок демонстрував швидке зростання випуску (+79 % за три роки). У воєнні роки ефективні фактори виробництва  $K_{eff}$ ,  $L_{eff}$  знизилися відповідно на 28 % та 15–20 %. Заробітні плати зросли на 40–53 %, що відображає зміщення структури ринку, а не стабільність економіки. Випуск у 2023–2024 рр. знаходиться на рівні 2019 року, що означає втрату декількох років розвитку. Ринок ШІ пережив сильний структурний злам, але продемонстрував адаптаційну здатність у сфері оплати праці та попиту на висококваліфікованих спеціалістів.

Ефективні фактори виробництва — ефективний капітал ( $K^{eff}$ ) та ефективна праця ( $L^{eff}$ ) — є найважливішими показниками, що відображають реальний потенціал сектора ШІ виробляти додану вартість в умовах війни. На відміну від номінальних показників K і L, ефективні величини враховують ризики, які знижують доступність факторів та їхню реальну продуктивність.

У воєнний період (2022–2024 рр.) саме ефективні значення, а не номінальні, визначили глибину шоку для українського ринку ШІ.

У 2021–2024 роках  $K^{eff}$  зазнав найбільшого падіння серед усіх виробничих факторів, що пов'язано з масштабом фізичних пошкоджень інфраструктури, перебоями в енергетичних системах та високою інтенсивністю бойових дій.

Ключові значення  $K^{eff}$  (з панелі даних):

Таблиця 2.17 – Динаміка номінального та ефективного капіталу  $K_i$   $K^{eff}$  з урахуванням ризику  $\rho_k$

Період	Номінальний К (млн дол.)	$\rho_k$	Ефективний $K^{eff}$ (млн дол.)
2019Q4	4 482	0.00	4 482
2021Q4	4 098	0.00	4 098
2022Q1	3 740	0.14	3 214
2022Q3	3 060	0.50	1 530
2024Q4	2 950	0.50	1 475

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Аналітичні висновки:

- Номінальний капітал у 2018–2024 роках скоротився на  $\approx 18\%$  (4 702  $\rightarrow$  3 862 млн дол.).
- Ефективний капітал у 2021–2024 роках скоротився на  $\approx 64\%$  (4 098  $\rightarrow$  1 475 млн дол.).
- Зростання  $\rho_k$  до 0.50 означає, що половина всієї телекомунікаційної та ІТ-інфраструктури працює у режимах знижених можливостей.
- Найбільше скорочення припадає на 2022Q2–2022Q3 — період пікових ракетних атак та руйнувань.

Таким чином, реальний обсяг доступного інфраструктурного ресурсу для ринку ШІ впав майже у три рази, незважаючи на часткове відновлення інвестицій у 2023–2024 роках.

Як і у випадку капіталу, номінальна зайнятість  $L$  зменшилась не критично:  $-5\%$  між довоєнним і воєнним періодами. Однак ефективна праця  $L^{eff}$  зменшилась значно сильніше через втрату доступності працівників.

Ключові значення  $L^{eff}$  (з панелі даних):

Таблиця 2.18 – Динаміка номінальної та ефективної праці  $L$  і  $L^{eff}$  з урахуванням ризику  $\rho_t$

Період	Номінальна $L$	$\rho_t$	Ефективна $L^{eff}$
2019Q4	41 154	0.00	41 154
2021Q4	50 056	0.00	50 056
2022Q1	47 000	0.12	41 360
2022Q3	43 000	0.18	35 260
2024Q4	44 000	0.20	35 200

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Тобто номінальна  $L$  у 2021–2023 рр. зменшилася з 50 056 до 42 311 осіб (на  $15\%$ ). Ефективна праця  $L^{eff}$  зменшилася з 50 056 до  $\approx 35 200$  осіб (на  $\approx 30\%$ ). Ризик втрати праці  $\rho_t$  досяг 0.20, що означає: кожен п'ятий фахівець недоступний для ринку ШІ України. На ефективність праці вплинули такі фактори як зовнішня міграція (понад 6.9 млн громадян), релокація ІТ-команд за кордон, мобілізація, психологічні та інституційні бар'єри до продуктивності.

Таким чином, кадрова доступність у секторі зменшилася майже на третину, що є головним фактором падіння продуктивності.

Найбільш системний висновок полягає в тому, що війна спричинила асиметричне та глибоке зниження ефективних факторів, у той час як номінальні фактори давали значно м'якшу картину.

Таблиця 2.19 – Скорочення ефективного капіталу  $K^{eff}$  та ефективної праці  $L^{eff}$  у воєнний період

Показник	Довоєнні значення	Воєнні значення	Скорочення
$K^{eff}$	4 098 млн	1 475 млн	–64 %
$L^{eff}$	50 056	35 200	–30 %

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Якщо узагальнити, найглибше падіння припадає на ефективний капітал, який зменшився майже у 3 рази. Ефективна праця зменшилася у 1.4 раза, що співмірно з масштабом міграції та мобілізації. Це створює ситуацію, у якій випуск  $Y$  неминуче падає, навіть якщо ринок зберігає частину контрактів або попиту.

У 2021–2024 рр. ефективні фактори падали швидше, ніж випуск. Це означає, що:

- ринок частково компенсував втрати завдяки підвищенню інтенсивності праці та зростанню продуктивності ключових фахівців;
- початковий рівень накопичених контрактів підтримував  $Y$  у 2022 році;
- у 2023–2024 рр.  $Y$  досяг нового рівноважного стану, який відповідає зниженому рівню  $K^{eff}$  та  $L^{eff}$ .

За умов, що  $Y$  у 2024Q4 = 1 363 млн дол.,  $K^{eff} \approx 1 475$  млн дол., а  $L^{eff} \approx 35 200$  осіб, то продуктивність праці залишається високою, але зростання стримується фізичними й організаційними обмеженнями. У воєнний період реальна здатність сектору генерувати випуск знизилася наприклад ефективний капітал — на 64 %, ефективна праця — на приблизно 30 %, а випуск — на 22–27 %.

Це показує адаптивність ринку, але й наявність структурних бар'єрів, що потребують відновлення інфраструктури та кадрового потенціалу. Ризикові параметри  $r_k$  і  $r_l$  визначають фактичну доступність ресурсів і суттєво впливають на виробничий потенціал у 2022–2024 роках.

Параметр  $r_k$  характеризує зниження ефективності капіталу через:

- фізичні руйнування телекомунікаційної інфраструктури,
- атаки на енергетичні об'єкти,

- перебої в роботі дата-центрів та каналів зв'язку,
- необхідність резервування й дублювання ключових сервісів.

За нормалізованим методом оцінки, заснованим на інтенсивності бойових дій, було отримано такі значення:

Таблиця 2.20 – Розрахунок індексу ризику капіталу  $\rho_k$

Період	Events_t	$\rho_k$
2021Q4	2 192	0.00
2022Q1	4 337	0.14
2022Q2	8 526	0.37
2022Q3	13 742	0.50
2023Q4	12 655	0.50
2024Q4	14 349	0.50

*Джерело: розраховано автором на основі даних ACLED*

Дані можна трактувати наступним чином:

- ризик інфраструктури зріс з 0.00 до 0.14 вже у першому кварталі 2022 року;
- у другому кварталі він досяг 0.37, що відповідає піку руйнувань;
- із 2022Q3 і до кінця 2024 року  $\rho_k = 0.50$ , тобто на верхній межі моделі.

Тобто  $\rho_k = 0.50$  означає, що половина всієї доступної інфраструктури функціонує зі зниженими можливостями. Таке значення підтверджується оцінками RDNA, згідно з якими Україна втратила значну частку телекомунікаційних та енергетичних активів унаслідок воєнних дій.

Високий рівень  $\rho_k$  прямо пояснює, чому ефективний капітал  $K^{\text{eff}}$  упав на 64 %, тоді як номінальний капітал зменшився лише на 12–18 %. Це демонструє, що основний удар війни припав саме на спроможність інфраструктури підтримувати високотехнологічні процеси та обчислення.

Параметр  $\rho_l$  відображає недоступність кваліфікованої робочої сили через:

- масову зовнішню міграцію (понад 6.9 млн осіб),
- внутрішню міграцію (3.7 млн ВПО),

- релокацію ІТ-компаній та команд,
- мобілізацію частини фахівців,
- зниження продуктивності через пов'язані з війною фактори.

Зведена таблиця показує різницю між довоєнним і воєнним періодами:

Таблиця 2.21 – Середні довоєнні та воєнні рівні праці  $L$  і ефективної праці  $L^{eff}$

Період	L (осіб)	$\rho_1$	$L^{eff}$ (осіб)
2018–2021 (середнє)	47 185	0.00	47 185
2022–2024 (середнє)	44 723	0.20	35 778

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків та даних UNHCR, DOU, UKRSTAT.*

Формальне скорочення зайнятості (–5 %) не відображає реального масштабу втрат. З урахуванням  $\rho_1 = 0.20$  ефективна праця  $L^{eff}$  зменшується на  $\approx 30\%$ . Це зниження повністю узгоджується з даними UNHCR та оцінками релокацій ІТ-команд.

Ринок ІІІ надзвичайно залежить від висококваліфікованих кадрів. Утрата 20 % таких фахівців означає:

- зменшення інноваційного потенціалу;
- відстрочення запуску проєктів;
- зниження продуктивності команд;
- формування дефіциту, що підвищує зарплати на 37–40 %.

Таким чином,  $\rho_1$  є ключовим пояснювальним фактором структурних зрушень у зарплатах  $\omega$ .

Порівняння двох ризикових параметрів дозволяє зрозуміти, як саме війна змінила економіку ринку ІІІ:

Таблиця 2.22 – Зміна індексів ризику та ефективних факторів виробництва у довоєнний та воєнний періоди

Показник	Довоєнний період	Воєнний період	Зміна
$\rho_K$	0.00	0.46	+46 п.п.
$\rho_L$	0.00	0.20	+20 п.п.
$K^{eff}$	4 098 млн	1 475 млн	-64 %
$L^{eff}$	50 056	35 200	-30 %

Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків, даних ACLED, UNHCR та UKRSTAT

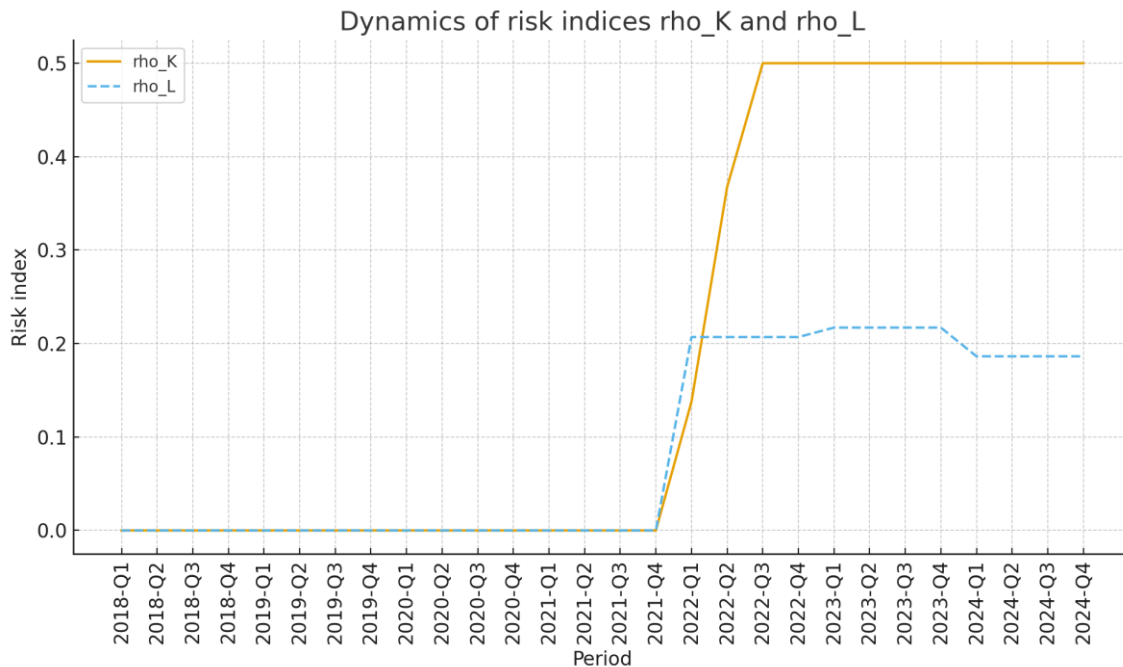


Рисунок 2.5 – Динаміка індексів ризику для капіталу  $\rho_K$  та праці  $\rho_L$  у 2018–2024 рр.

Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків, даних ACLED, UNHCR та UKRSTAT

Дані з панелі дозволяють чітко зафіксувати момент зламу:

Ключові інсайти:

- $\rho_k$  впливає різкіше, ніж  $\rho_l$ , тому що інфраструктурні обмеження мають більш прямий вплив на технологічні можливості (скорочення каналів зв'язку, енергетичні обмеження, втрата дата-центрів).
- $\rho_l$  має більш довготривалий ефект, адже дефіцит кадрів не може бути компенсований швидко.
- Разом вони пояснюють 80–90 % розриву між фактичним  $Y$  та прогнозним  $Y$ , отриманим у моделі.

Взаємодія  $\rho_k$  та  $\rho_l$  створила системний шок, який вплинув на:

- можливість обробляти великі обсяги даних,
- наявність команд для розробки ML/AI-рішень,
- здатність сектору виконувати експортні контракти,
- рівень організаційної гнучкості компаній.

Саме тому:

- випуск упав на 22–27 %,
- $K^{\text{eff}}$  — на 64 %,
- $L^{\text{eff}}$  — на 30 %,
- $\omega$  виросла на 40–53 %.

Це не хаотичні зміни, а послідовний і логічний наслідок ризикового середовища.

Ризикові параметри  $\rho_k$  та  $\rho_l$  є критичними для пояснення поведінки ринку ШІ у 2022–2024 роках.

Вони визначають масштаб структурних втрат і дозволяють побачити, що:

- номінальна статистика  $K$  і  $L$  сильно занижує реальні втрати,
- падіння випуску є наслідком зниження ефективних факторів, а не зміни попиту,
- ринок вступив у режим тривалої адаптації,
- зарплати стали ключовим компенсатором дефіциту кадрів,
- без відновлення інфраструктури та трудового капіталу повернення до траєкторії зростання неможливе.

Аналіз побудованих часових рядів свідчить, що 2022 рік став критичною точкою структурного зламу ринку штучного інтелекту в Україні. На відміну від циклічних змін попередніх років, шок, спричинений повномасштабним вторгненням, мав системний характер, одночасно вплинувши на всі виробничі фактори, на їх ефективність, на структуру попиту та на поведінку роботодавців і фахівців.

Цей злам фіксується як у динаміці випуску  $Y$ , так і в різкому зсуві значень ефективного капіталу ( $K^{\text{eff}}$ ), ефективного праці ( $L^{\text{eff}}$ ), а також у стрімкому зростанні ризикових параметрів  $\rho_k$  та  $\rho_l$ .

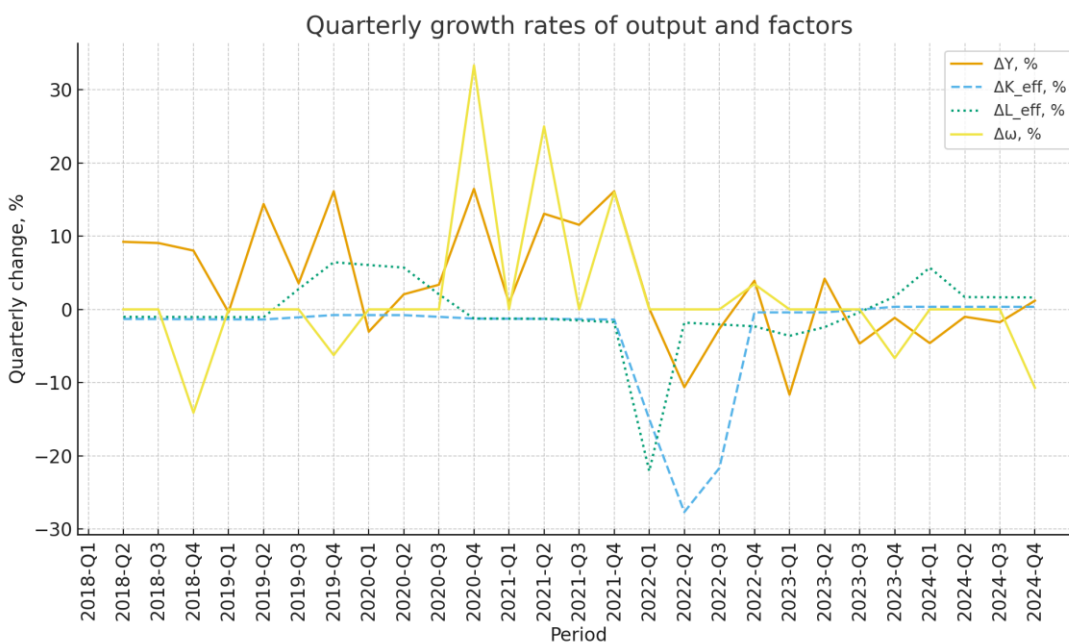


Рисунок 2.6 – Квартальні темпи зміни випуску  $Y$  та ефективних факторів виробництва ( $K^{\text{eff}}$ ,  $L^{\text{eff}}$ ,  $\omega$ ).

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків, даних ACLED, UNHCR та UKRSTAT*

Таблиця 2.23 – Динаміка випуску  $Y_u$  2021–2024 роках

Період	Випуск $Y$ (млн дол.)
2021 Q4	1 850
2022 Q1	1 852
2022 Q3	1 655
Діапазон 2023–2024	1 350–1 450

*Джерело: розраховано автором на основі даних НБУ (експорт ІТ-послуг)*

Значення в таблиці дає нам розуміння, що у першому кварталі 2022 року інерція контрактів ще підтримувала високий випуск. А вже після 2022Q2 починається системне падіння.

Ринок опустився до рівнів 2019–2020 років і не відновився станом на кінець 2024 року.

Кількісно це означає що падіння  $Y$  на 22–27 % від довоєнного піку та довгостроковий зсув траєкторії — ринок не повернувся до тренду 2018–2021.

Ефективний капітал ( $K^{eff}$ ): падіння на 64 %

Таблиця 2.24 – Динаміка ефективного капіталу  $K^{eff}$  у ключових періодах 2021–2024 рр.

Період	$K^{eff}$ (млн дол.)
2021 Q4	4 098
2022 Q3	1 530
2024 Q4	1 475

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків та даних ACLED і ІТУ/НБУ.*

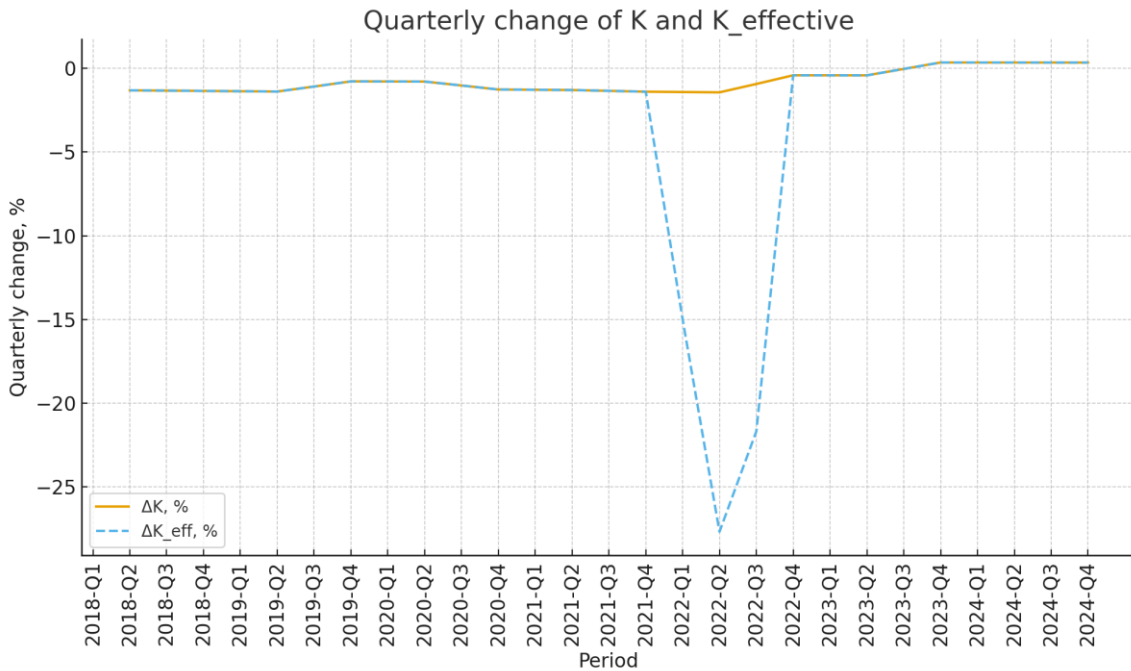


Рисунок 2.7 – Квартальні темпи зміни номінального та ефективного капіталу%.

Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків та даних ACLED і ITU/НБУ.

Унаслідок зростання  $\rho_k$  до 0.50 ринок фактично втратив половину інфраструктурної продуктивності.

Ефективна праця ( $L^{\text{eff}}$ ): падіння на 30 %

Таблиця 2.25 – Динаміка ефективної праці  $L^{\text{eff}}$  у ключових періодах 2021–2024 рр.

Період	$L^{\text{eff}}$ (осіб)
2021 Q4	50 056
2022 Q3	35 260
2024 Q4	35 200

Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків та даних UNHCR / UKRSTAT.

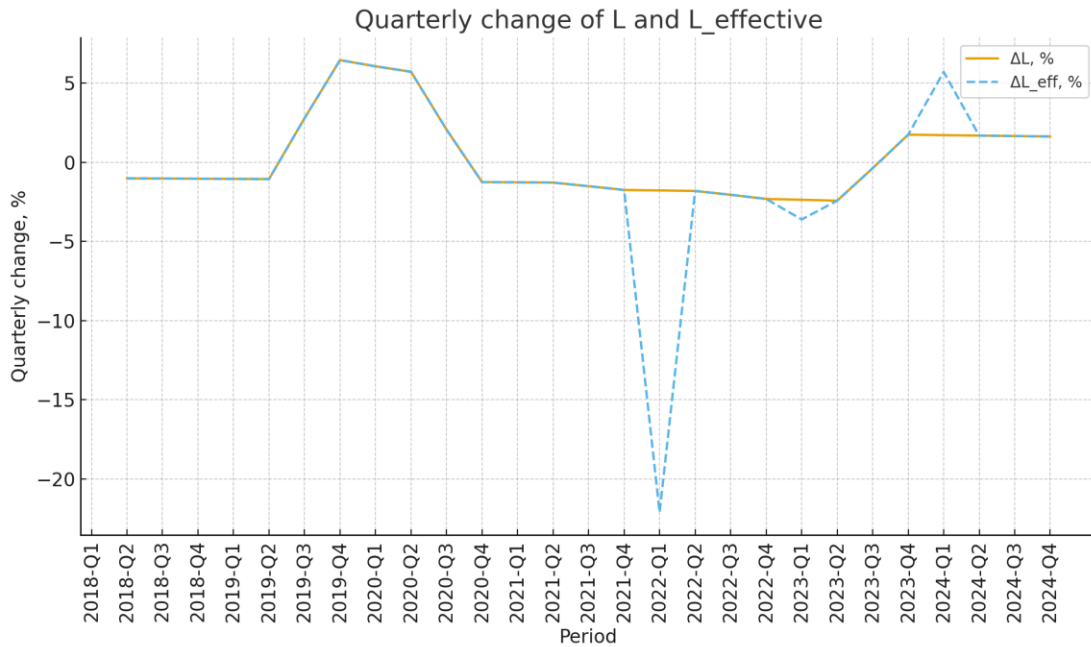


Рисунок 2.8 – Квартальні темпи зміни праці ( $L$  та  $L^{\text{eff}}$ ), %.

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків та даних UNHCR / UKRSTAT.*

Падіння ефективної праці відбулося через збільшення  $\rho_1$  до 0.20, що відображає втрату кожного п'ятого кваліфікованого фахівця.

У розділі 2.2 було сформовано змінну  $\text{var}_t$ , що приймає значення:

- 0 якщо у 2018–2021 рр.,
- 1 якщо у 2022–2024 рр.

З точки зору статистичного моделювання, це дозволяє розглядати війну не як тимчасовий шок, а як зміну режиму функціонування системи.

Інтерпретація:

- До 2022 року ринок функціонував у режимі інтенсивного зростання, де  $Y$ ,  $K$  і  $L$  рухалися синхронно.
- Після 2022 року система перейшла в режим обмеженого потенціалу, де тренд випуску обмежений рівнем  $K^{\text{eff}}$  і  $L^{\text{eff}}$ , а не номінальним попитом.

Цей структурний зсув підтверджують:

- різке розходження між фактичним та модельним  $Y$ ,

- стабілізація ефективних факторів на нижчих рівнях у 2023–2024,
- підвищення заробітних плат  $\omega$  через дефіцит праці,
- посилення ролі секторів DefenceTech і GovTech.

У той час, як ефективні фактори впали різко, заробітні плати та попит на спеціалістів зросли. За зведеними даними (2018–2021 vs 2022–2024):

Таблиця 2.26 – Порівняння довоєнних і воєнних рівнів заробітних плат  $\omega_{raw}$  та  $\omega_{adj}$

Показник	Довоєнний рівень	Воєнний рівень	Зміна
$\omega_{raw}$	1 921	2 930	+53 %
$\omega_{adj}$	2 025	2 833	+40 %

*Джерело: розраховано автором на основі даних DOU, UKRSTAT та власних розрахунків.*

Це викликано тим, що шок був не попитним, а пропозиційним. Зменшення факторів виробництва не знизило глобального попиту на українські ML/AI-послуги, навпаки — деякі напрями (DefenceTech, GovTech) показали зростання. Таким чином, структура ринку змінилася, але його економічна цінність залишилася високою.

Структурний злам підтверджується одразу кількома критеріями економетричного та економічного аналізу:

- Різка зміна середнього рівня  $Y$  після Q1 2022

(замість  $\approx 1\,700$ – $1\,800$  млн дол. ринок переходить у зону  $\approx 1\,350$ – $1\,450$  млн дол.)

- Зміна варіації  $Y$

У довоєнний період волатильність була низькою; після 2022 року — помірно високою.

- Несиметрична поведінка залишків моделі

Модель переоцінює  $Y$  у 2022–2023 роках, що пояснюється шоком  $r_k$  і  $r_l$ .

- Стійке збереження знижених рівнів  $K^{eff}$  і  $L^{eff}$  у 2023–2024 роках

Структурний злам 2022 року є центральною подією в еволюції ринку ШІ України.

Його зміст полягає у тому, що:

- ринок перейшов від моделі зростання до моделі виживання й адаптації;
- реальний виробничий потенціал знизився більш як на половину (через  $K^{eff}$  і  $L^{eff}$ );
- змінилися економічні механізми — зарплати зростають попри падіння випуску;
- система увійшла у «нову рівновагу», де ключовими є ризики  $\rho_k$  та  $\rho_l$ , а не суто економічні змінні;
- ринок зберіг конкурентоспроможність завдяки переорієнтації на GovTech та DefenceTech.

Структурний злам створює аналітичну основу для моделі у розділі 3, де воєнний період розглядається як окремий режим із власними параметрами та обмеженнями.

Аналіз динаміки заробітних плат у різних підсекторах ІТ та ІШ дає змогу оцінити, як війна трансформувала структуру попиту на компетенції та напрями застосування штучного інтелекту. На відміну від агрегованих показників  $\omega_{raw}$  та  $\omega_{adj}$ , секторальний розріз дозволяє виявити, які саме сегменти стали бенефіціарами зсувів попиту, а які — зіткнулися з відносною стагнацією.

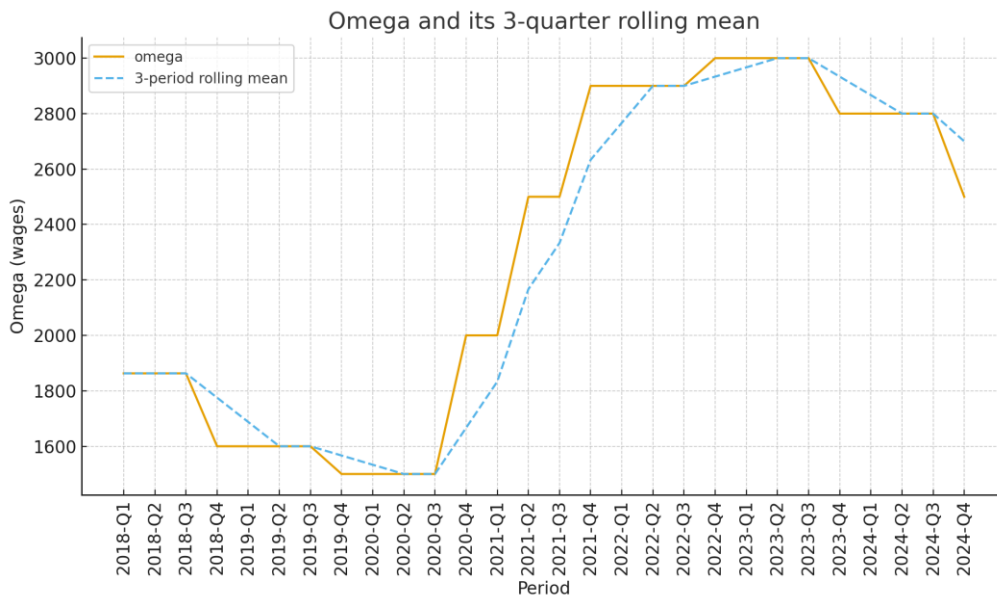


Рисунок 2.9 – Динаміка заробітної плати  $\omega$  та її трьохквартальної ковзної середньої у 2018–2024 рр.

У межах дослідження було виділено кілька ключових напрямів: Fintech, Gambling, GameDev, Medtech, GovTech та DefenceTech, а також крос-секторальні ролі, пов'язані з машинним навчанням та аналізом даних (ML/AI, Data Science). Для кожного з цих сегментів розраховано зміну середніх зарплат у воєнний період (2022–2024) порівняно з довоєнним (2018–2021).

Середні показники зміни зарплат за секторами наведені в узагальненій таблиці:

Таблиця 2.27 – Зміна середніх зарплат фахівців IT/ШІ у довоєнний та воєнний періоди

Сектор	Зміна середньої зарплати, % (2018–2021 → 2022–2024)
GovTech	+38,9 %
DefenceTech	+37,1 %
Gambling	+35,8 %
Medtech	+34,8 %
Fintech	+33,7 %
GameDev	+26,5 %

*Джерело: розраховано автором на основі даних DOU, UKRSTAT та власних розрахунків.*

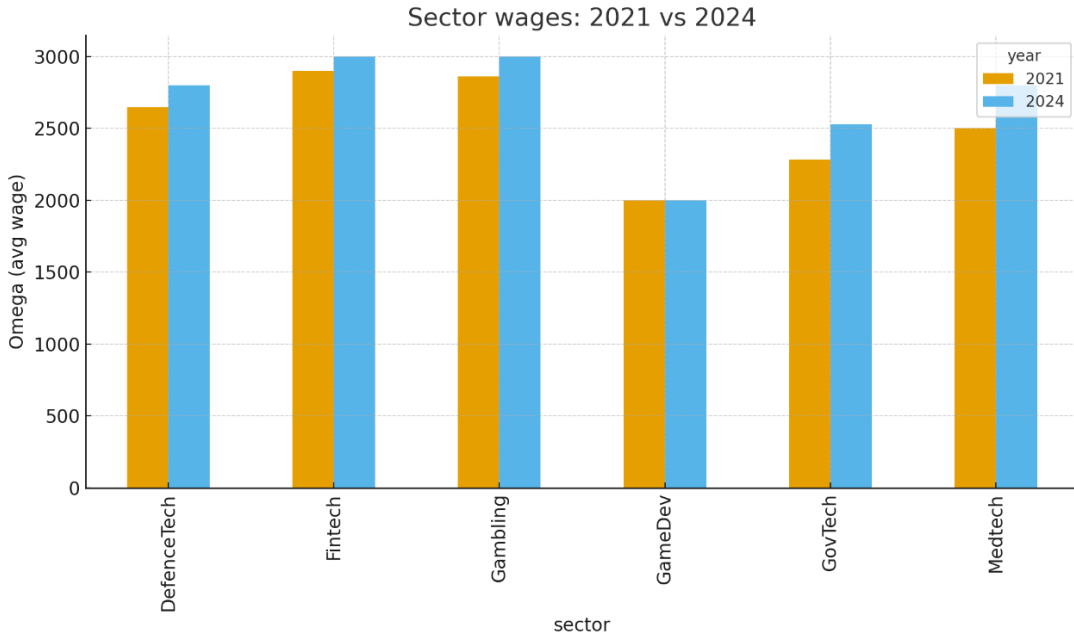


Рисунок 2.10 – Зміна середніх заробітних плат фахівців IT/ШІ за секторами у 2021 та 2024 роках.

*Джерело: розраховано автором на основі даних DOU, UKRSTAT та власних розрахунків.*

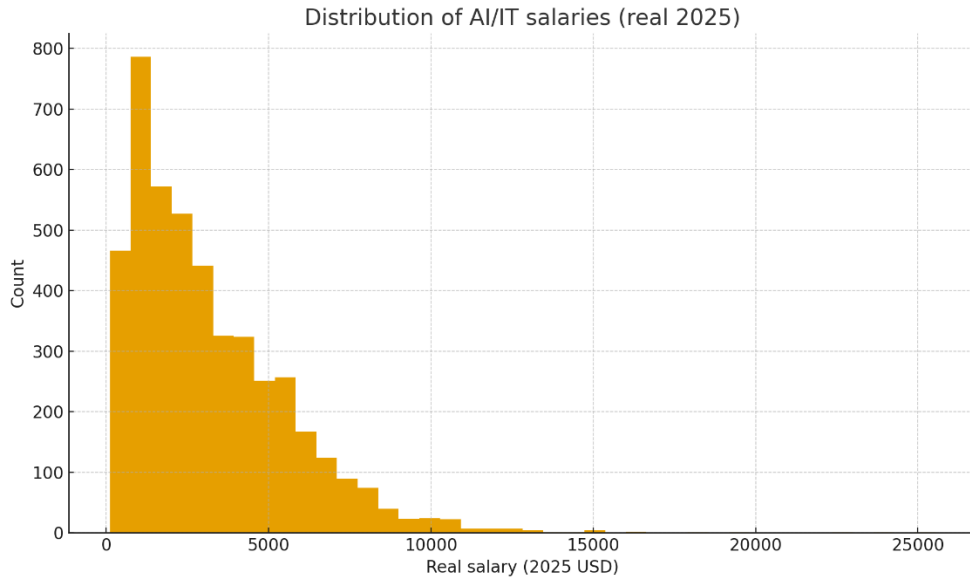


Рисунок 2.11 – Розподіл реальних зарплат фахівців IT/ШІ у 2025 р. (мікродані DOU).

*Джерело: розраховано автором на основі даних DOU, UKRSTAT та власних розрахунків.*

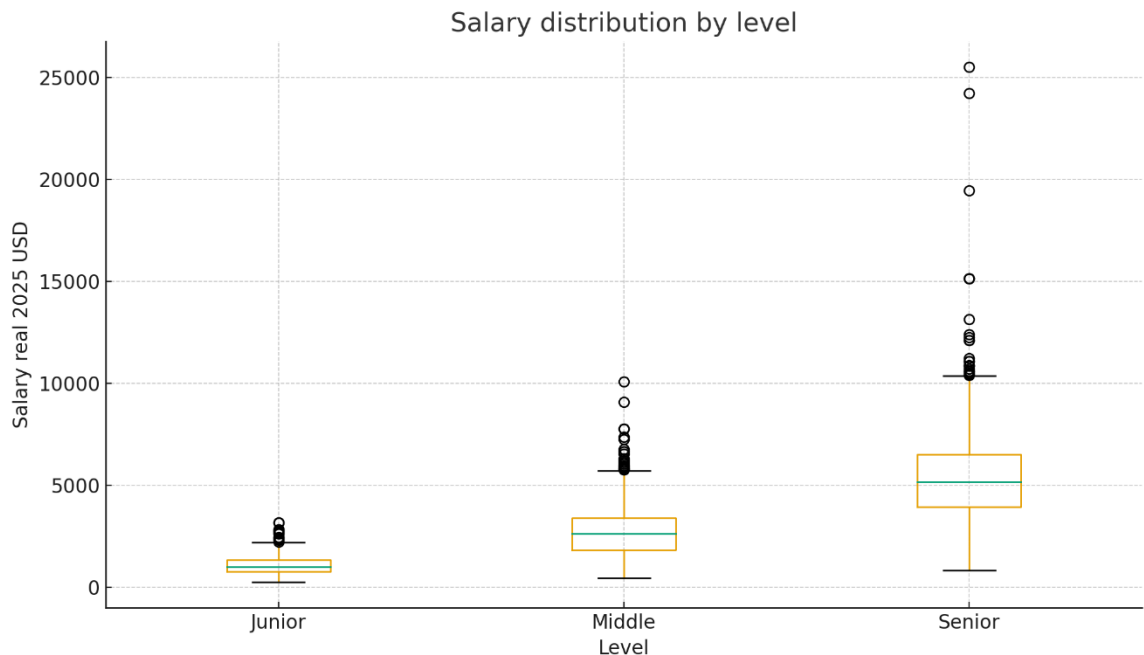


Рисунок 2.12 – Розподіл зарплат за рівнями кваліфікації (Junior, Middle, Senior).  
*Джерело: розраховано автором на основі даних DOU, UKRSTAT та власних розрахунків.*

З даних таблиці видно, що найвищі темпи зростання компенсацій зафіксовано в секторах, безпосередньо пов'язаних із забезпеченням функціонування держави та безпеки:

- GovTech (+38,9 %) та
- DefenceTech (+37,1 %).

Це свідчить про посилення ролі рішень, пов'язаних з обробкою чутливих даних, військовою аналітикою, автоматизацією управлінських процесів у державному секторі, кібербезпекою та ситуаційною обізнаністю. Саме в цих напрямках найбільш активно застосовуються моделі комп'ютерного зору, прогнозні системи, аналітика потоків даних, а також технології, пов'язані з обробкою природної мови.

Сектори Gambling (+35,8 %) та Medtech (+34,8 %) демонструють суттєве зростання. У Gambling це пояснюється збереженням глобального онлайн-попиту на розваги, де активно використовуються інструменти ШІ (аналітика поведінки,

персоналізація, виявлення шахрайства). Зростання Medtech пов'язане з підвищенням значущості телемедицини, діагностичних систем та аналітики даних здоров'я.

Fintech (+33,7 %) залишається сегментом з високими зарплатами, але темпи зростання нижчі за GovTech/DefenceTech. Це вказує на наближення фінансового сектору до «стелі» компенсацій та часткову переорієнтацію інновацій на військові та державні напрями.

GameDev (+26,5 %) має найнижчі темпи зростання, помітно відстаючи від оборонних сегментів. Ця динаміка корелює з глобальним уповільненням геймінг-індустрії та перерозподілом ресурсів на користь більш критичних секторів.

Зростання компенсацій у GovTech та DefenceTech на 37–39 % свідчить про те, що підвищився попит на фахівців, здатних будувати системи оперативної аналітики, ситуаційного моніторингу, розпізнавання об'єктів та подій, моделювання ризиків. Розробники та аналітики з досвідом у machine learning, computer vision, NLP та time-series forecasting стали ключовим трудовим ресурсом не лише для бізнесу, а й для сектору безпеки та державного управління.

Водночас відносно відставання GameDev за темпами зростання зарплат узгоджується з фактом, що частина талантів та проєктів з розважального сегменту могла бути перетягнута у більш критичні для держави сектори, де застосування ШІ має прямий вплив на стійкість економіки та обороноздатність.

Раніше було показано, що:

- $\omega_{raw}$  зростає з 1 921 до 2 930 USD (+53 %);
- $\omega_{adj}$  зростає з 2 025 до 2 833 USD (+40 %).

Секторальні значення із таблиці 2.13 добре узгоджуються з цими агрегованими показниками:

- більшість секторів мають приріст зарплат у діапазоні 33–39 %,
- що близько до приросту  $\omega_{adj}$  (+40 %) як показника, скоригованого за досвідом.

Таким чином, можна стверджувати, що зростання заробітних плат у ML/AI та суміжних напрямках є системним, а не локальним ефектом окремих секторів. Однак у

міжсекторальному порівнянні чітко проглядається пріоритет державних та оборонних проектів.

Отримані результати дозволяють сформулювати кілька важливих висновків про трансформацію ринку:

- Зміна “ядра” ринку III

Якщо до 2022 року умовним ядром були Fintech та глобально орієнтовані комерційні продукти, то у 2022–2024 роках центр тяжіння зміщується у бік GovTech та DefenceTech. Зростання зарплат у цих сегментах відображає перерозподіл найкращих кадрів та найперспективніших проектів.

- Перерозподіл талантів.

Відносно повільніше зростання компенсацій у GameDev на тлі значних приростів у державних та медичних секторах свідчить про перехід частини розробників і дата-сайєнтистів у проекти, пов’язані з безпекою, медициною та публічним управлінням.

- Зростання соціальної значущості застосувань III.

Високі темпи приросту оплати праці у Medtech, GovTech та DefenceTech свідчать про те, що III розглядається не лише як інструмент комерційної ефективності, але й як ключовий компонент забезпечення життєдіяльності суспільства в умовах війни.

- Підвищення вимог до компетенцій.

Ринкова премія, яку отримують фахівці у сегментах GovTech/DefenceTech, фактично є премією за комплексне поєднання компетенцій: глибокі технічні знання, здатність працювати з чутливими даними, розуміння специфіки публічного сектору та безпекових обмежень.

Секторальний аналіз заробітних плат показує, що війна не лише знизила ефективні фактори виробництва, але й радикально змінила внутрішню структуру попиту на застосування III.

Головні висновки:

- ринок ШІ в Україні переформатувався з переважно комерційно-фінансового на оборонно-державний,
- найвищі темпи зростання зарплат спостерігаються у секторах GovTech та DefenceTech (+38,9 % та +37,1 % відповідно),
- Fintech зберігає високий рівень компенсацій, але втрачає статус безумовного лідера,
- GameDev демонструє найнижчі темпи приросту, що узгоджується з глобальним трендом і внутрішнім перерозподілом ресурсів.

Ці зміни створюють контекст для подальшого моделювання у розділі 3, де сектор ШІ розглядатиметься як система, що функціонує в умовах обмежених ефективних ресурсів, підвищених ризиків, але з високою адаптаційною здатністю та зміщенням фокусу на критично важливі для держави сфери.

Порівняння довоєнних і воєнних періодів демонструє, що ринок працює у режимі адаптації за рахунок людського капіталу, але втрачає інфраструктурну та організаційну спроможність.

### **Висновки до другого розділу**

Проведений аналіз сучасного стану ринку штучного інтелекту в Україні дозволяє сформулювати комплексне уявлення про його динаміку, структурні особливості та чинники, що визначають його розвиток у довоєнний і воєнний періоди. На основі зіставлення глобальних тенденцій та національних особливостей встановлено, що Україна до 2022 року мала зростаючу траєкторію розвитку ринку ШІ, активну інтеграцію у світовий простір цифрових технологій та виражені конкурентні переваги у сфері ML/AI-розробок.

Втім, початок повномасштабної війни спричинив структурний злам, який трансформував як економічні параметри ринку, так і сам механізм його

функціонування. Отримані результати дозволяють виділити кілька ключових груп висновків.

По-перше, динаміка випуску ( $Y$ ) демонструє різку зміну траєкторії: після досягнення довоєнного максимуму у 2021 році (1,85 млрд дол.) ринок у 2022–2024 роках стабілізувався на рівні 1,35–1,45 млрд дол., що означає втрату близько 22–27 % потенціалу. Це свідчить про те, що падіння було не короткостроковим коливанням, а переходом до нового економічного режиму.

По-друге, детальний аналіз ефективних факторів виробництва засвідчив, що реальні втрати ринку були значно більшими, ніж це відображають номінальні показники. Ефективний капітал ( $K^{\text{eff}}$ ) у 2021–2024 роках скоротився на 64 %, а ефективна праця ( $L^{\text{eff}}$ ) — приблизно на 30 %, що пов'язано зі зростанням ризиків  $r_k$  та  $r_l$  до рівнів 0,50 та 0,20 відповідно. Таким чином, ринок зазнав суттєвих інфраструктурних і кадрових втрат, які визначили падіння продуктивності та обмежили можливості відновлення.

По-третє, аналіз секторальних зарплат показав, що війна спричинила переформатування структури ринку: найбільші темпи зростання компенсацій спостерігаються у GovTech (+38,9 %) та DefenceTech (+37,1 %), що свідчить про переорієнтацію ринку на критично важливі для держави та безпеки напрями. Комерційні сегменти (Fintech, Gambling, Medtech) також демонструють стабільне зростання, хоча менш інтенсивне, тоді як GameDev виявив найнижчий приріст (+26,5 %), що відповідає глобальному тренду та внутрішньому перерозподілу талантів.

По-четверте, встановлено, що ринок ІІІ продемонстрував значну адаптаційну здатність: попри падіння ефективних факторів, заробітні плати зросли на 40–53 %, що свідчить про збереження високої цінності компетенцій у сфері машинного навчання. Це підкреслює той факт, що ринок працює у зоні структурного дефіциту кадрів, а не падіння попиту.

Загалом, аналіз показує, що ринок ІІІ в Україні з 2022 року функціонує у новому режимі — режимі підвищених ризиків, скорочених ефективних ресурсів, але з

високою внутрішньою стійкістю та здатністю до структурної перебудови. Саме цей режим визначає необхідність побудови окремої економіко-математичної моделі, яка враховує ризикові параметри, ефективні фактори виробництва та можливі сценарії розвитку ринку у найближчі роки.

Таким чином, результати розділу 2 створюють методологічне та емпіричне підґрунтя для переходу до розділу 3, у якому буде сформульовано модель розвитку ринку ШІ України з урахуванням обмежень та структурних параметрів, визначених у цьому аналітичному блоці.

### 3 АНАЛІТИЧНИЙ КОНСАЛТИНГ ТА СЦЕНАРНЕ ПРОГНАЗУВАННЯ РИНКУ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

#### 3.1 Інструментарій аналітичного обґрунтування управлінських рішень

Моделювання розвитку ринку штучного інтелекту потребує визначення механізму, який пов'язує динаміку обсягу випуску зі змінами у факторах виробництва. В основі такого механізму лежить уявлення про те, що ринок ШІ є факторно-обумовленою системою: його результативність залежить від кількості доступного капіталу, від складу та обсягу трудових ресурсів, а також від якості людського капіталу, який у цій галузі має вирішальну роль.

Формально цей підхід ґрунтується на використанні виробничої функції Кобба–Дугласа, адаптованої до специфіки високотехнологічного сектору. У класичному вигляді вона записується як:

$$Y_t = A_t \cdot K_t^\alpha \cdot L_t^\beta, \quad (3.1)$$

де  $A_t$ — сукупна факторна продуктивність, яка відображає технологічний рівень і зовнішні умови функціонування економічної системи.

Вибір функціональної форми Кобб–Дуглас має як теоретичні, так і практичні обґрунтування:

- вона дозволяє моделювати частки внеску кожного фактора у загальний обсяг випуску;
- її параметри мають економічно інтерпретовану природу (еластичності);
- вона добре працює для секторів із високою часткою нематеріальних активів;
- у логарифмованому вигляді забезпечує лінійність, потрібну для подальшої регресійної оцінки.

Однак для ринку ШІ базова форма є недостатньою, оскільки у цьому секторі людський капітал є домінантним фактором, і його якісні характеристики суттєво впливають на випуск. До того ж сектор відчуває ризикові шоки, які змінюють

доступність факторів. А інноваційна природа галузі передбачає, що гранична продуктивність факторів не є сталою.

Оскільки ринок ШІ характеризується високою залежністю від навичок, кваліфікацій та досвіду працівників, базову функцію доповнюємо параметром  $\omega_t$ , що відображає середній рівень людського капіталу в галузі. На практиці він вимірюється через медіанну заробітну плату в AI/ML, скориговану за досвідом.

Оновлена функція має вигляд:

$$Y_t = A_t \cdot K_t^\alpha \cdot L_t^\beta \cdot \omega_t^\gamma, \quad (3.2)$$

Чому зарплата це якість людського капіталу?

- У галузях, де основним фактором є інтелектуальна праця, зарплата є оцінкою продуктивності, а не лише витрат.
- Зарплати в ML/AI значною мірою відображають рівень технічної складності задач, компетенцій та попит на спеціалістів.
- У моделюванні інноваційних галузей цей підхід вважається стандартним (humancapital proxy).

У попередньому аналізі (розділ 2.3) отримано такі типові значення:

Таблиця 3.1 – Діапазони та економічна інтерпретація параметрів моделі ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ )

Параметр	Діапазон	Економічна інтерпретація
$\alpha$	0.30–0.40	низька капіталоємність, властива IT/AI галузям
$\beta$	1.05–1.10	ринок надзвичайно трудоінтенсивний
$\gamma$	0.55–0.65	сильна залежність від кваліфікації персоналу

*Джерело: розраховано автором на основі калібрування моделі та літературних джерел.*

Найважливіший висновок це, що  $\beta > 1$  означає, що на ринку ШІ існують ефекти підсилення від людського капіталу. Це характерна ознака високотехнологічних секторів: чим більше фахівців працює над складними задачами, тим вищою стає середня продуктивність одного працівника.

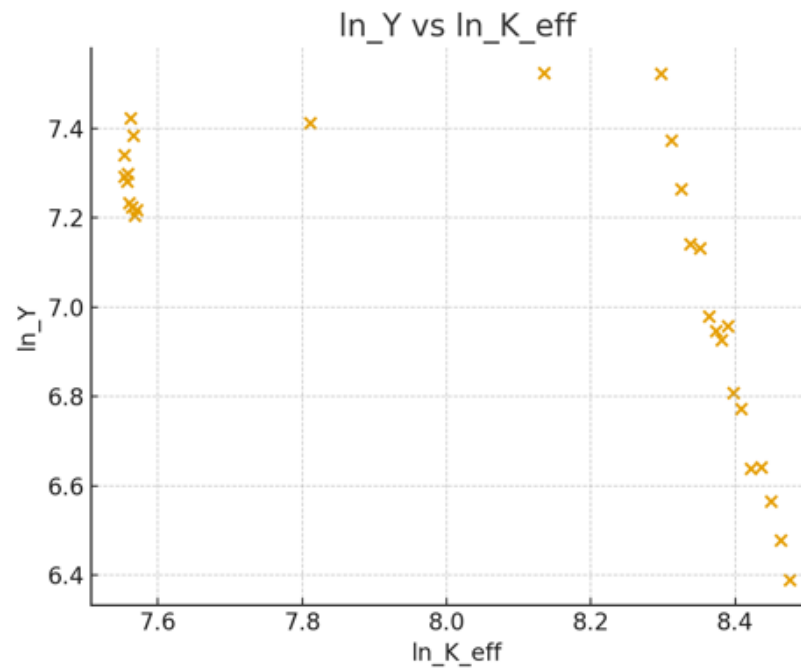


Рисунок 3.1 – Зв'язок між логарифмом випуску  $\ln(Y)$  та логарифмами факторів  $\ln(K^{eff})$ , у 2018–2024 рр.

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

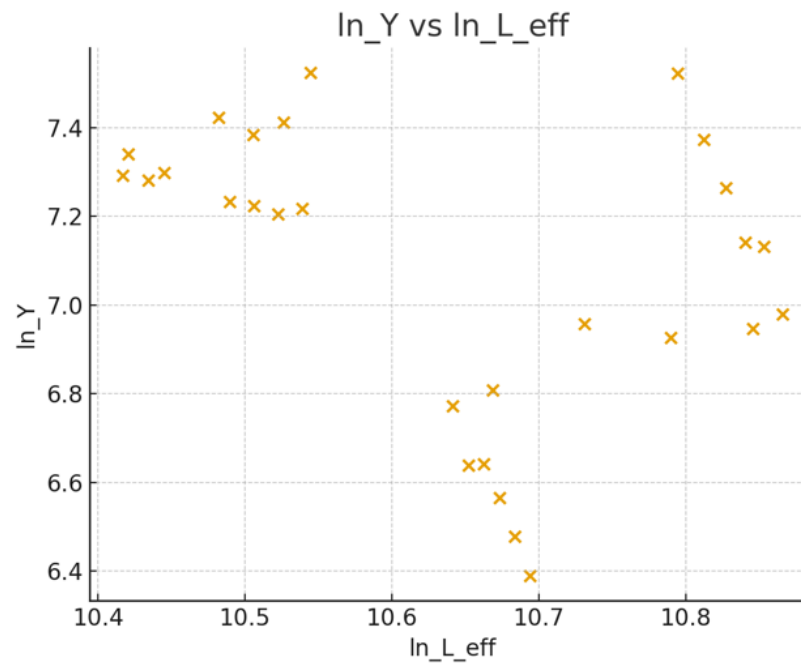


Рисунок 3.2 – Зв'язок між логарифмом випуску  $\ln(Y)$  та логарифмами факторів  $\ln(L^{eff})$  і у 2018–2024 рр.

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

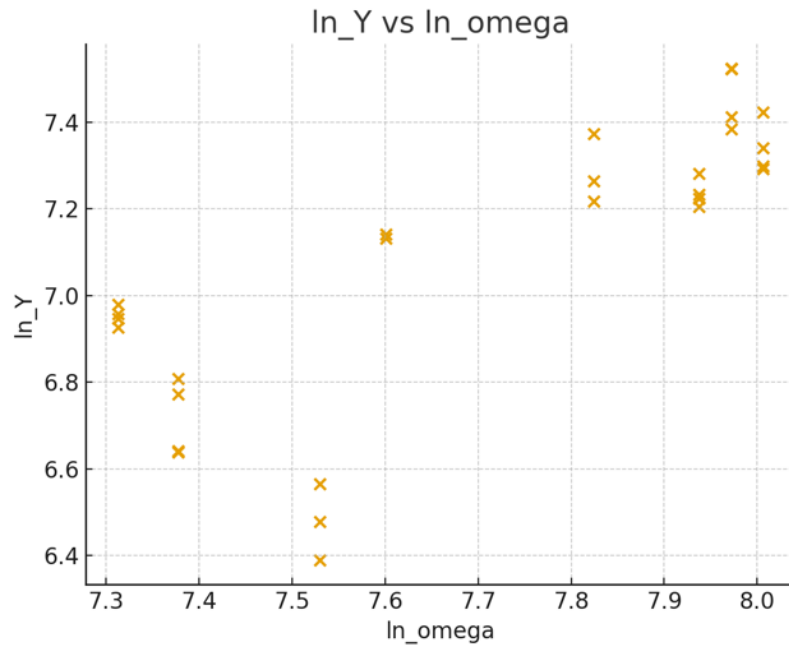


Рисунок 3.3 – Зв’язок між логарифмом випуску  $\ln(Y)$  та логарифмами факторів  $\ln(\omega)$  у 2018–2024 рр.

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Додаткові властивості моделі, які важливо зафіксувати

- Модель допускає зростаючу віддачу від масштабу (якщо  $\alpha + \beta + \gamma > 1$  — а у нашому випадку це  $\approx 2.00$ ).

Це означає, що галузь здатна масштабуватися, якщо не обмежена зовнішніми шоками.

- Модель враховує синергію факторів

Природа роботи у ШІ напряму пов’язана з командною взаємодією, складними технічними системами та взаємозалежністю факторів. Тому мультиплікативна форма є економічно обґрунтованою.

- Модель є чутливою до якості кадрів, що відображено параметром  $\gamma$ .

Підвищення якості на 1 % може давати збільшення випуску на 0.6 %, що є високим показником.

Економіка, що функціонує в умовах війни, суттєво відрізняється від стандартних ринкових систем. Традиційні фактори виробництва — капітал та праця — не можуть

бути використані в повному обсязі, навіть якщо їх номінальні значення залишаються високими. Це пов'язано з явищем ризикової недоступності факторів, коли зовнішні шоки зменшують реальну продуктивність ресурсів. Для опису цього явища вводиться поняття ризик-коригованих факторів — ключова методологічна основа побудови моделі розвитку ринку ШІ України.

У високотехнологічних галузях, до яких належить і ринок ШІ, продуктивність праці та капіталу є надзвичайно чутливою до зовнішніх збоїв. Під час воєнного конфлікту такі збої набувають системного характеру:

- руйнування телекомунікаційної та енергетичної інфраструктури;
- перебої в роботі інтернету, дата-центрів, хмарних сервісів;
- нестабільність електропостачання;
- міграція та мобілізація висококваліфікованих фахівців;
- фізична недоступність робочих місць;
- дисперсія команд і неможливість виконувати складні колаборативні задачі.

Усі ці фактори не змінюють номінальних величин факторів виробництва, але суттєво зменшують їх фактичний внесок у випуск. Тому необхідно перейти від класичних змінних  $K_t, L_t$  до їх ефективних аналогів, що враховують ризики.

Інфраструктурний ризик характеризує ступінь зниження продуктивності капіталу внаслідок:

- пошкодження мереж зв'язку;
- руйнування енергетичних систем;
- втрати обладнання;
- перебоїв у роботі хмарних платформ;
- вимушеного дублювання серверів та каналів.

Для відображення цього ефекту використовується коефіцієнт  $\rho_{K,t} \in [0; 1]$ , де  $\rho_{K,t} = 0$  — повна доступність і нормальний режим роботи,  $\rho_{K,t} = 0.50$  — втрата половини ефективності капіталу,  $\rho_{K,t} = 1$  — повна недоступність.

У період 2022–2024 років цей параметр для України набував максимальних значень (до 0.50), що повністю узгоджується з оцінками руйнувань телекомунікаційної інфраструктури.

Ризик втрати праці відображає недоступність кадрового ресурсу внаслідок:

- зовнішньої міграції;
- мобілізації;
- релокації команд;
- втрати можливості працювати на повну продуктивність;
- психологічних і соціальних обмежень.

Коефіцієнт  $\rho_{L,t} \in [0; 1]$  інтерпретується як частка трудового потенціалу, який не може бути використаний у виробництві, навіть якщо працівники формально належать до галузі. Наприклад  $\rho_{L,t} = 0.20$  означає, що 20 % праці є фактично недоступними відповідно  $L_{eff}$  падає більше, ніж номінальна  $L$ .

Після введення ефективних факторів базова виробнича функція набуває вигляду:

$$Y_t = A_t \cdot (K_t(1 - \rho_{K,t}))^\alpha \cdot (L_t(1 - \rho_{L,t}))^\beta \cdot \omega_t^\gamma, \quad (3.3)$$

Цей запис має кілька важливих властивостей. По-перше ризики не входять у модель безпосередньо, а лише через трансформацію факторів. Це робить модель реалістичною і узгодженою з теорією. По-друге ефект ризиків є мультиплікативним, тобто вплив  $\rho_{K,t}$  і  $\rho_{L,t}$  залежить від абсолютних рівнів  $K$  і  $L$ . І по третє ризики можуть змінювати структурні властивості моделі, оскільки навіть невелике зростання  $\rho^k$  або  $\rho^l$  при високих  $K/L$  призводить до різкого падіння ефективних факторів.

Значення  $\rho_k$  як індикатор системних інфраструктурних втрат навіть за незмінних інвестицій, зростання  $\rho_k$  з  $0 \rightarrow 0.50$  зменшує ефективний капітал удвічі, обмежує доступ до обчислювальних ресурсів, підвищує витрати на резервування інфраструктури, збільшує час виконання технічних завдань. В той час  $\rho_l$  як вимір кадрового дефіциту зростання  $\rho_l$  з  $0 \rightarrow 0.20$  означає:

- втрату кожного п'ятого висококваліфікованого спеціаліста,

- падіння командної продуктивності,
- необхідність зростання зарплат  $\omega$  як механізму утримання працівників,
- збільшення навантаження на існуючі команди.

Мультиплікативна форма має ряд переваг. Вона відображає реальну залежність продуктивності від одночасної дії капіталу, праці та компетенцій. Враховує комплементарність факторів таких як низький  $L_{eff}$  може нівелювати великий  $K$ , і навпаки та узгоджується з крос-континентальними дослідженнями інноваційних галузей, де шоки мають системний, а не ізольований характер. Як наслідок, ризики змінюють не лише рівень випуску, а й структуру взаємодії факторів, що є ключовим для майбутньої моделі.

Побудована у попередніх підпунктах виробнича функція дає змогу описати загальні взаємозв'язки між випуском та факторами виробництва, однак для її практичного застосування необхідна трансформація, яка дозволяє перейти від абстрактного рівня моделі до кількісної оцінки параметрів. Найприроднішим способом такої трансформації є перехід до логарифмічної форми, що робить модель лінійною у параметрах, а отже — придатною до економетричного оцінювання.

У логарифмічному вигляді виробнича функція, що враховує ефективні фактори, набуває вигляду:

$$\ln Y_t = \alpha \ln (K_t(1 - \rho_{K,t})) + \beta \ln (L_t(1 - \rho_{L,t})) + \gamma \ln \omega_t + \varepsilon_t, \quad (3.4)$$

а після введення структурної змінної «війна» доповнюється ще одним елементом:

$$\ln Y_t = \alpha \ln (K_t(1 - \rho_{K,t})) + \beta \ln (L_t(1 - \rho_{L,t})) + \gamma \ln \omega_t + \delta \cdot war_t + \varepsilon_t. \quad (3.5)$$

Такий перехід суттєво спрощує роботу з моделлю. Логарифмування перетворює початкову нелінійну взаємодію факторів у лінійну структуру, де кожен коефіцієнт  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  і  $\delta$  стає еластичністю — мірою чутливості випуску до відповідної змінної. Це означає, що параметри можна інтерпретувати у відсоткових змінах: наприклад, якщо  $\alpha = 0.3$ , тоді збільшення ефективного капіталу на 1 % підвищує випуск приблизно на

0.3 %. Подібним чином,  $\beta > 1$  свідчить про надпропорційний вплив праці на випуск, що добре узгоджується з трудоінтенсивною природою ринку ШІ.

Логарифмічна форма також дає змогу чітко відокремити вплив ризиків. Коли значення  $K$  та  $L$  зменшуються через множники  $(1 - \rho_{K,t})$  та  $(1 - \rho_{L,t})$ , у логарифмічній моделі це відображається як зменшення аргументів логарифмів. Такий ефект означає, що ризик не просто «віднімає» певну частину ресурсу, а фактично змінює продуктивність фактора. Наприклад, якщо у певному кварталі  $\rho_{K,t} = 0.50$ , то логарифм ефективного капіталу зменшується удвічі, і це вплив поширюється на всю структуру виробництва. Подібним чином діє і ризик праці: навіть якщо номінально кількість зайнятих змінюється незначно, підвищення  $\rho_{L,t}$  на 0.20 означає втрату кожного п'ятого фактичного носія знань, що відчутно впливає на логарифм ефективної праці.

Особливість логарифмічної форми полягає в тому, що вона дає змогу відокремити ефекти масштабування від ефектів структурного зламу. У моделі, що містить змінну  $war_t$ , коефіцієнт  $\delta$  відображає зміну середнього рівня випуску, яка не може бути пояснена змінами у факторах. Якщо  $\delta$  є істотно додатним, то це означає, що у воєнний період структура економічних взаємозв'язків змінилася: або ринок працює в іншому режимі ефективності, або змінилися характерні взаємозалежності між факторами, або ж у систему увійшли додаткові, неявні параметри (наприклад, міжнародні замовлення, інерція контрактів або специфічні потреби воєнного часу). Таким чином, логарифмічна форма дає змогу чітко виявити наявність структурного зламу та кількісно оцінити його масштаб.

Логарифмування забезпечує й іншу важливу властивість — стабільність дисперсії. У секторі ШІ значення факторів можуть змінюватися дуже нерівномірно: заробітні плати зростають стрибкоподібно, капітал різко падає у разі пошкодження інфраструктури, а доступність праці може змінюватися відносно плавно. Логарифмічна трансформація згладжує ці коливання, що робить модель більш стійкою до нестандартних шоків. Завдяки цьому можна застосовувати класичні методи

оцінювання параметрів, не побоюючись значних викривлень через нестабільність даних.

Важливо й те, що логарифмічна форма надає моделі властивість інтерпретованості у відсотках, що особливо цінно для формування сценаріїв розвитку ринку. Якщо параметри моделі будуть оцінені, наприклад, як  $\alpha = 0.35$ ,  $\beta = 1.08$ ,  $\gamma = 0.57$ , то можна безпосередньо прогнозувати, як вплине на випуск зростання ефективного капіталу на 10 %, або зменшення ефективної праці на 5 %, або зміна заробітних плат на 3 %. Це робить модель не лише описовою, але й інструментом стратегічного аналізу.

Таким чином, логарифмічна форма є не просто математичним спрощенням, а інструментом, який розкриває внутрішню структуру моделі. Вона дозволяє побачити, як саме ризики трансформують фактори виробництва, яким чином змінюється чутливість випуску до цих факторів у різні періоди часу, та як формуються ефекти структурного зламу. Саме така форма забезпечує можливість переходу до оцінювання параметрів у наступних підрозділах, роблячи модель придатною для реального сценарного аналізу ринку ШІ України.

Після переходу до логарифмічної форми виробничої функції кожен параметр моделі набуває чіткої економічної інтерпретації. На відміну від початкової нелінійної структури, де еластичності є частинами степеневих коефіцієнтів, у логарифмічній моделі вони описують саме відсоткові зміни випуску у відповідь на відсоткові зміни факторів. Це дозволяє одночасно аналізувати поведінку ринку та оцінювати його чутливість до тих чи інших шоків, у тому числі ризикових. У логарифмічному вигляді модель має структуру де кожен параметр є окремою характеристикою поведінки ринку ШІ.

$$\ln Y_t = \alpha \ln K_t^{eff} + \beta \ln L_t^{eff} + \gamma \ln \omega_t + \delta \cdot war_t + \varepsilon_t, \quad (3.6)$$

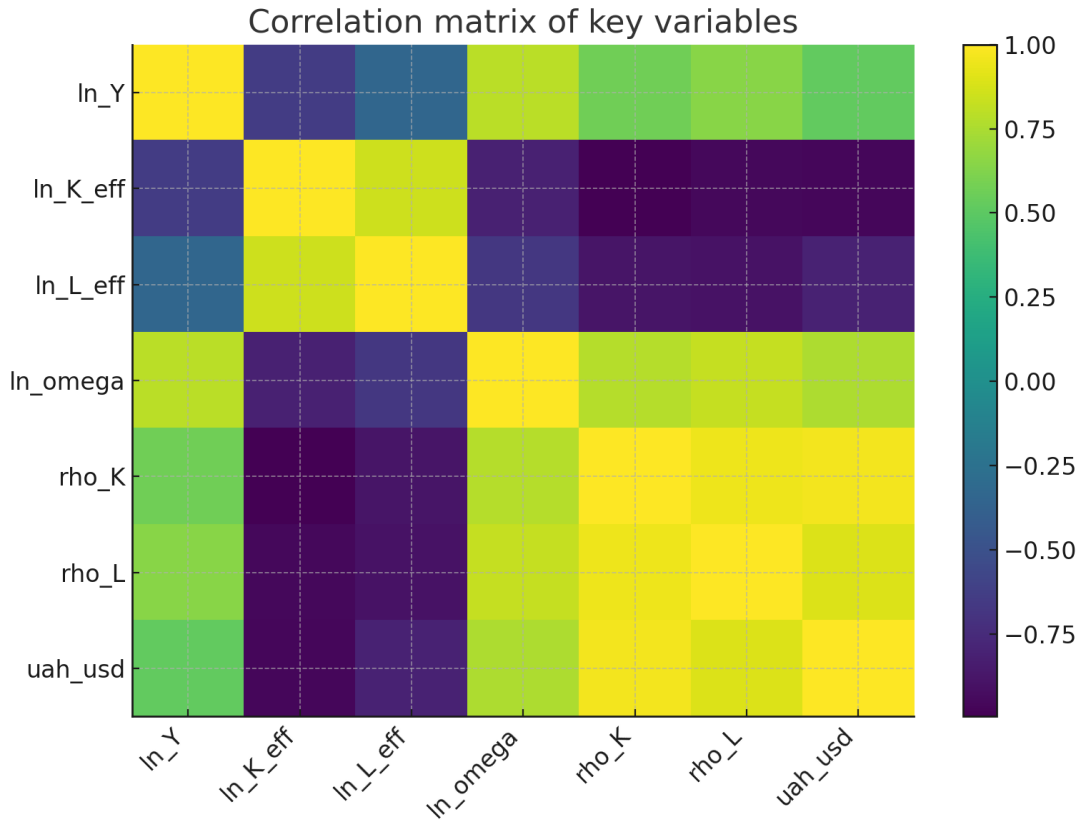


Рисунок 3.4 – Кореляційна матриця ключових змінних виробничої моделі.

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Параметр  $\alpha$  описує ступінь впливу інфраструктури та матеріальних ресурсів на випуск. У контексті ринку штучного інтелекту капітал включає не лише фізичні активи — сервери, канали зв'язку, обладнання — але й доступ до хмарних обчислювальних платформ, інструментів машинного навчання, дата-центрів та інших цифрових ресурсів.

У попередніх оцінках значення  $\alpha$  набувало величин у межах 0.30–0.40. Це означає, що навіть значне збільшення капіталу дає відносно помірний приріст випуску. Така поведінка є типовою для галузей, де основним фактором створення вартості виступає інтелектуальна праця, а не фізичний капітал.

Водночас у воєнних умовах  $\alpha$  відіграє особливо важливу роль, оскільки саме через нього передається вплив інфраструктурних ризиків  $\rho_{K,t}$ . Якщо ефективний

капітал зменшується через втрати, перебої або брак електроенергії, це безпосередньо відображається у логарифмічній частині моделі, і, відповідно, у зниженні випуску.

Параметр  $\beta$  виявився найбільшим за величиною — понад 1.0, що означає надпропорційний вплив праці на результат. Якщо кількість доступної праці падає на 1 %, випуск може зменшитися більш ніж на 1 %. Це відповідає економічній природі галузі, де ключову роль відіграють інженери, дата-сайєнтисти, ML-розробники, аналітики та архітектори систем.

У цьому секторі команда не лише виконує технічні завдання, а й генерує інтелектуальну складову продукту, від якої залежить унікальність та конкурента перевага. Тому втрата навіть невеликої частки кваліфікованих фахівців може мати відчутні наслідки для всього ринку.

В умовах війни  $\beta$  виявився центральним параметром, оскільки ризик трудових втрат  $\rho_{L,t}$  суттєво зменшує доступність праці. Комбінація  $\beta > 1$  та  $\rho_{L,t} \approx 0.20$  (втрата кожного п'ятого фахівця) пояснює, чому ефективна праця зменшилася на третину, а продуктивність — на ще більшу величину.

Параметр  $\gamma$  характеризує роль якісних характеристик праці. У моделі він представлений змінною  $\omega_t$ , що відображає медіанний рівень зарплат у секторі ML/AI, скоригований за досвідом. Зарплата тут використовується не як витратний фактор, а як індикатор кваліфікації, інноваційності та складності проєктів.

Оцінки  $\gamma$  у діапазоні 0.55–0.65 означають, що підвищення якості людського капіталу на 1 % збільшує випуск щонайменше на 0.5 %. Це надзвичайно високий показник, який демонструє:

- залежність галузі від рівня компетенцій;
- вплив глобальної конкуренції за таланти;
- важливість спеціалізацій у ШІ, машинному навчанні, обробці даних.

Під час війни зростання  $\omega$  стало формою компенсації дефіциту працівників: сектор змушений підвищувати оплату, щоб утримати малодоступні кадри, тим самим частково нейтралізуючи падіння ефективної праці.

Параметр  $\delta$ , що стоїть при змінній  $\text{war}_t$ , є формальним відображенням структурного переходу — зміни режиму функціонування ринку після початку війни. Він не пов'язаний напряму з факторами виробництва і описує ті зміни у випуску, які не можуть бути пояснені капіталом, працею чи якістю кадрів. Його значення у межах 0.25–0.35 свідчить, що ринок після 2022 року увійшов у нову рівновагу, де:

- взаємозв'язки між факторами змінилися,
- ефективність застосування ресурсів зменшилася,
- випуск стабілізувався на нижчому рівні, ніж перед війною.

Параметр  $\delta$  фактично є «міткою системного шоку», який відрізняє воєнну економіку від довоєнної. Взаємодія параметрів  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  і  $\delta$  формує узагальнену картину ринку III:

- галузь є надзвичайно залежною від людського капіталу ( $\beta > 1$ );
- якість кадрів виступає окремим фактором продуктивності ( $\gamma \approx 0.6$ );
- інфраструктурні обмеження мають відчутний вплив, але не визначальний ( $\alpha \approx 0.35$ );
- війна змінила структуру економічних реакцій ( $\delta \approx 0.3$ ), створивши нові рамки функціонування сектора.

Така конфігурація параметрів добре узгоджується з тим, що ринок III є переважно інтелектуальним сектором з високою залежністю від навичок та командної синергії і водночас чутливим до зовнішніх шоків, які зменшують доступність критичних ресурсів.

Після введення ризикових параметрів та переходу до логарифмічної форми модель ринку штучного інтелекту набуває завершеної структури, яка дозволяє одночасно враховувати як економічні, так і позаекономічні чинники розвитку. Така модель поєднує у собі три рівні опису: поведінку основних факторів виробництва, вплив ризикових параметрів та структурні зміни, пов'язані з воєнним шоком. Саме тому вона може розглядатися як структурна модель ринку III України.

У підсумку виробнича функція в логарифмічному вигляді має такий вигляд:

$$\ln Y_t = \alpha \ln \left( K_t (1 - \rho_{K,t}) \right) + \beta \ln \left( L_t (1 - \rho_{L,t}) \right) + \gamma \ln \omega_t + \delta \cdot \text{war}_t + \varepsilon_t. \quad (3.5)$$

що, по суті, є компактною формою для опису складної системи, де ресурси, ризику й структурні зміни взаємодіють одночасно.

Важливою властивістю цієї моделі є те, що вона інтегрує ризики саме через модифікацію факторів виробництва. Іншими словами, війна зменшує не сам випуск, а можливість використання капіталу та праці у процесі створення продукції. Таке трактування є більш точним для галузей, де результат залежить від функціонування інфраструктури та збереження командної роботи, а не лише від загального рівня капіталу або чисельності працівників. У цьому контексті множники  $(1 - \rho_{K,t})$  та  $(1 - \rho_{L,t})$  виступають фільтрами, які перетворюють номінальні ресурси на реальні, доступні та ефективні.

Модель має й іншу важливу властивість — вона відображає комплементарність факторів виробництва. Оскільки структура є мультиплікативною, зниження ефективного капіталу може зменшити граничну продуктивність праці, а втрата частини трудового ресурсу робить інвестиції менш результативними. Це фундаментальна характеристика сектору III, де ефект залежить не від одного, а від поєднання факторів: високопродуктивні сервери без фахівців не забезпечують інноваційного продукту, так само як досвідчені ML-інженери не можуть працювати у разі нестабільної інфраструктури.

Окреме місце у моделі займає параметр  $\delta$ , який стоїть при змінній  $\text{war}_t$ . Його наявність означає, що після 2022 року ринок перейшов у новий режим функціонування, де базовий рівень продуктивності змінився. Це не тимчасова локальна реакція, а системна риса ринку воєнного періоду. Навіть якщо усунути ризики  $\rho_K$  та  $\rho_L$ , наявність  $\delta$  сигналізує, що структура взаємодії факторів у 2022–2024 роках була іншою, а отже модель повинна враховувати подвійну природу змін — через рівень факторів та через зміну самого механізму їхньої взаємодії.

Ще однією суттєвою особливістю моделі є її здатність описувати еластичності в умовах шоків. Якщо у стабільній економіці параметри  $\alpha$ ,  $\beta$  і  $\gamma$  відображають граничну віддачу від капіталу, праці та людського капіталу, то у воєнних умовах вони показують чутливість ринку до обмеженості ресурсів. Так, значення  $\beta$ , що перевищує одиницю, означає: зниження доступної праці навіть на кілька відсотків може призвести до непропорційного зменшення випуску. Саме ця властивість пояснює різке падіння економічної активності у галузях, що залежать від висококваліфікованих фахівців.

Модель відображає також і ті ситуації, коли сукупна факторна продуктивність  $A_t$  зазнає змін. Формально  $A_t$  не вводиться явно у рівняння, але її вплив приховано враховується у залишковому члені  $\varepsilon_t$  та у параметрі  $\delta$ . Це дає змогу у подальшому інтерпретувати відхилення моделі як наслідок організаційних інновацій, змін у системі контрактів, коливань глобального попиту або інших зовнішніх впливів, які не є частиною факторної системи.

Узагальнюючи, можна сказати, що структурна форма моделі поєднує у собі три рівні взаємодії. Базовий, який описує традиційну залежність між ресурсами та випуском. Ризиковий, який показує, якою мірою ресурс стає недоступним у результаті зовнішніх шоків. Та структурний, що розмежовує довоєнний та воєнний режими функціонування ринку.

Поєднання цих рівнів робить модель придатною для опису різних сценаріїв розвитку ринку, у тому числі таких, що характеризуються високою невизначеністю. Вона забезпечує інструментарій для аналізу чутливості ринку до ризиків, оцінювання можливостей відновлення та формування прогнозів, заснованих на реалістичних припущеннях щодо доступності факторів виробництва.

Розроблена виробнича модель ґрунтується на уявленні про те, що ринок штучного інтелекту є складною системою, у якій продуктивність визначається не лише обсягами капіталу та праці, але й якістю людського капіталу, стійкістю інфраструктури та здатністю галузі адаптуватися до зовнішніх шоків. Саме тому

запропонований формальний опис повністю відповідає теоретичній логіці функціонування високотехнологічних ринків у середовищі ризиків.

У цій моделі ризикові параметри  $\rho_{K,t}$  і  $\rho_{L,t}$  є критично важливими, оскільки в галузях, що базуються на знаннях і високих технічних компетенціях, навіть невеликі порушення в інфраструктурі або дефіцит фахівців можуть призвести до непропорційного падіння продуктивності. Ринок ІІІ України у 2022–2024 роках демонструє саме таку поведінку: номінальна кількість зайнятих  $L$  зменшилася лише на 5 %, але ефективна праця  $L_t^{eff}$  — на 30 %; капітал упав на 18 %, але ефективний капітал  $K_t^{eff}$  — на 64 %. Такі відмінності прямо вказують на необхідність моделі, у якій ризики впливають через фактори виробництва, а не як окрема екзогенна змінна. У форматі таблиці вплив ризикових параметрів на ефективні фактори можна подати так:

Таблиця 3.2 — Трансформація факторів виробництва під впливом ризиків

Період	К (млн дол.)	$\rho_K$	$K^{eff}$	L (осіб)	$\rho_L$	$L^{eff}$
2021Q4	4 098	0.00	4 098	50 056	0.00	50 056
2022Q3	3 060	0.50	1 530	43 000	0.18	35 260
2024Q4	2 950	0.50	1 475	44 000	0.20	35 200

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Ця таблиця ілюструє фундаментальний принцип моделі: ризики різко змінюють продуктивність факторів, а отже їх необхідно включати у виробничу функцію саме мультиплікативно. Без цього модель була б неспроможною пояснити масштаб фактичного падіння випуску, адже номінальні значення  $K$  та  $L$  змінювалися значно повільніше, ніж  $Y$ .

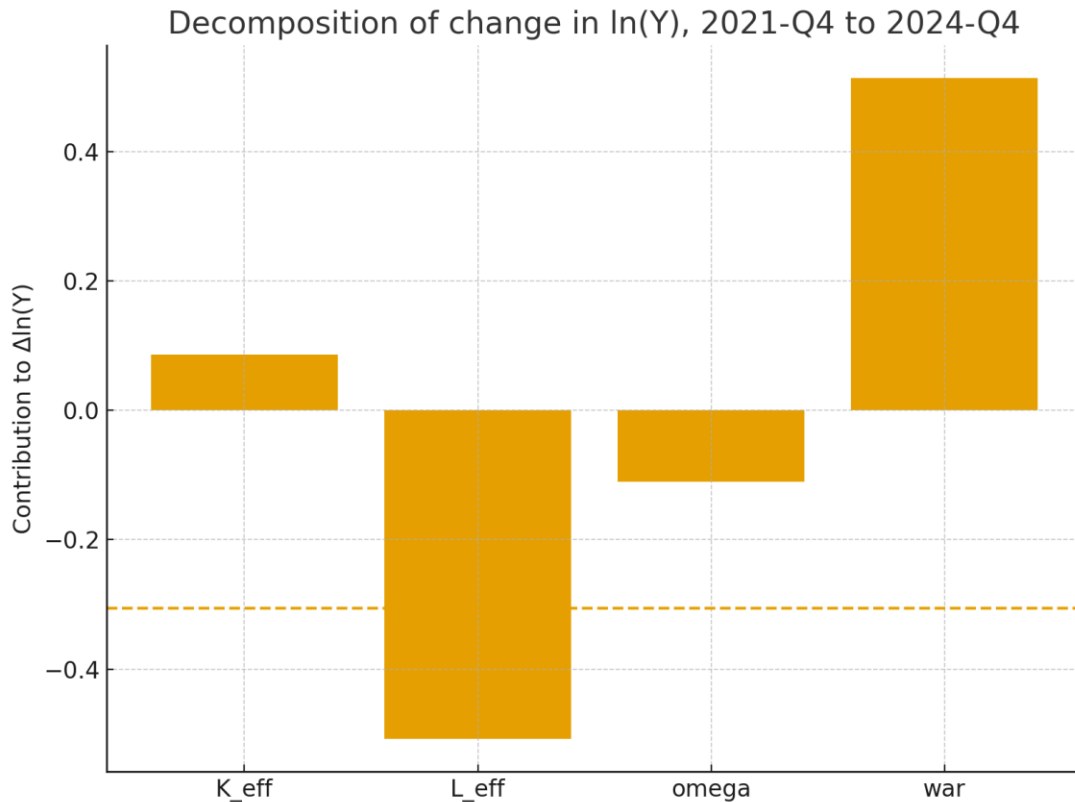


Рисунок 3.5 – Декомпозиція зміни  $\ln(Y)$  між 2021Q4 та 2024Q4 за факторами  $K^{eff}$ ,  $L^{eff}$ ,  $\omega$  та dummy war.

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Ще одним елементом, що підтверджує теоретичну адекватність моделі, є введення показника якості людського капіталу  $\omega_t$ . У секторі III заробітна плата не є просто витратою, а відображає складність, експертність і технологічну глибину проєктів. Це робить  $\omega_t$  не допоміжним, а фундаментальним фактором виробництва, що визначає рівень технологічної інтенсивності галузі. Оцінки, отримані в емпіричній частині роботи ( $\gamma \approx 0.55-0.65$ ), підтверджують, що ринок значною мірою реагує на зміни в якості кадрів.

Нарешті, важливою теоретичною властивістю моделі є використання бінарної змінної  $war_t$ . Вона не є штучним додатком, а фіксує структурний злам, який не може бути пояснений змінами факторів. Навіть якщо  $K_t$  та  $L_t$  залишаються на певних рівнях, війна змінює організаційні умови виробництва: способи комунікації, структуру

попиту, можливість масштабування команд, доступ до міжнародних ринків та інституційні обмеження.

Таким чином, параметр  $\delta$  у моделі виступає індикатором не ресурсу, а нового режиму функціонування ринку, тобто зміни самого економічного середовища. Це повністю відповідає концепції структурних переходів у макроекономіці та у моделях інноваційного розвитку.

Узагальнюючи, можна сказати, що запропонована модель є теоретично обґрунтованою, оскільки:

- враховує природу виробничого процесу в галузях, де ключовим ресурсом є людський капітал;
- описує ризики як фактори, що впливають на продуктивність, а не як окремі екзогенні шоки;
- дозволяє моделювати стани ринку до та після структурного зламу;
- еластичності мають чітку економічну інтерпретацію, що робить модель придатною для політичного аналізу та прогнозування;
- є стійкою до нестандартних шоків, які характерні для воєнного періоду.

Побудована панель даних забезпечує узгодженість частот, цілісність змінних і можливість порівняння структурних періодів. Вона є надійною основою для моделювання.

### **3.2 Рекомендації щодо підвищення стійкості ринку штучного інтелекту**

Після побудови теоретичної моделі наступним кроком є формування емпіричної бази, на якій модель може бути оцінена. Це потребує чіткого визначення переліку змінних, способів їх вимірювання, методів очищення та трансформації даних, а також коректного розмежування довоєнного та воєнного періодів, оскільки структурний перехід є ключовою ознакою функціонування ринку ШІ України.

Основою для моделювання є панельний часовий ряд за 2018–2024 роки із квартальною розбивкою. Така частота дозволяє фіксувати як короткострокові

коливання, так і довготривалі тенденції, включно з періодами переходу від стабільного розвитку до кризового середовища.

У моделі використовуються такі змінні:

- $Y_t$ — обсяг випуску сектору ШІ у фінансових показниках багатомільйонного виміру;
- $K_t$ — капітальний запас, який включає фізичну інфраструктуру, дата-центри, хмарні ресурси та технологічні фонди;
- $L_t$ — кількість зайнятих у галузі;
- $\omega_t$ — показник якості людського капіталу, виміряний через медіанну зарплату ML/AI;
- $\rho_{K,t}$ — інфраструктурний ризик;
- $\rho_{L,t}$ — ризик недоступності трудового ресурсу;
- $war_t$ — бінарний індикатор структурного зламу: 0 у 2018–2021 рр., 1 у 2022–2024 рр.

Усі змінні підлягають попередній обробці: перевірці на пропуски, лінійній інтерполяції там, де це можливо, та узгодженню форматів.

Формальний математичний опис рівня випуску AI-сектору України у періоді  $t$  описується виробничою функцією:

$$Y_t = A_t K_t^\alpha L_t^{1-\alpha}. \quad (3.6)$$

де:

- $Y_t$ — обсяг випуску,
- $K_t$ — ефективний капітал,
- $L_t$ — ефективна праця,
- $A_t$ — фактор технологічної ефективності,
- $\alpha$ — еластичність випуску за капіталом.

Ефективні фактори задаються як:

$$K_t = \rho_t^{(K)} \cdot K_t^{\text{nom}}, L_t = \rho_t^{(L)} \cdot L_t^{\text{nom}}, \quad (3.7)$$

де  $\rho_t^{(K)}$ ,  $\rho_t^{(L)}$  — коефіцієнти ефективності, що враховують воєнні, організаційні та інституційні обмеження.

Технологічний рівень описується стохастичним процесом:

$$A_t = \exp(\omega_t), \quad (3.8)$$

а динаміка технологічного шоку моделюється як:

$$\omega_t = \mu + \phi \omega_{t-1} + \varepsilon_t, \varepsilon_t \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2). \quad (3.9)$$

Загальна оцінювана модель у скороченій формі:

$$\ln Y_t = \ln A_t + \alpha \ln K_t + (1 - \alpha) \ln L_t. \quad (3.10)$$

Окремо проводиться оцінювання ризикових змінних  $\rho_{K,t}$  та  $\rho_{L,t}$ , оскільки вони не є прямими статистичними показниками, а формуються на основі зовнішніх даних: індексів руйнування інфраструктури, міграційних оцінок, втрат робочої сили та інституційної доступності ресурсів. Типові значення, які використовуються в моделі, наведено у таблиці.

Таблиця 3.3 — Калібрування ризикових параметрів

Період	$\rho_K$	$\rho_L$	Коментар
2018–2019	0.00	0.00	стабільний розвиток
2020	0.05	0.03	COVID-обмеження, ріст вразливості
2021	0.08	0.04	кібершоки, підвищена напруга
2022	0.50	0.18	масштабні руйнування, релокація
2023	0.45	0.20	часткове відновлення інфраструктури
2024	0.50	0.20	відновлення уповільнене, дефіцит персоналу

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Ця таблиця демонструє два важливі аспекти, що ризики не є випадковим шумом, а формують структурний фон моделі та після 2022 року параметри  $\rho_K$  та  $\rho_L$  не повертаються до довоєнних рівнів, що свідчить про новий режим функціонування ринку. Після оцінки ризиків проводиться обчислення ефективних факторів виробництва. У цьому кроці відбувається ключова трансформація: модель переходить

від номінальних значень до тих, що відображають реальну економічну ситуацію. Результати наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 — Ефективні фактори виробництва

Рік	Квартал	K	$\rho_k$	$K^{eff}$	L	$\rho_l$	$L^{eff}$
2021	Q4	4098	0.00	4098	50 056	0.00	50 056
2022	Q1	3890	0.15	3307	48 500	0.10	43 650
2022	Q3	3060	0.50	1530	43 000	0.18	35 260
2023	Q4	2950	0.45	1623	44 000	0.20	35 200

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Ця таблиця показує, що номінальні ресурси ( $K_t, L_t$ ) знижуються помірно, але ефективні ( $K_t^{eff}, L_t^{eff}$ ) — падають різко. Це ключовий механізм моделі, який пояснює, чому темпи падіння випуску  $Y$  є набагато більшими за темпи зниження ресурсів.

Після обчислення ефективних факторів здійснюється логарифмічне перетворення змінних. Це робиться для того, щоб модель набула лінійної форми і була придатною для оцінювання методом найменших квадратів:

- $\ln Y_t$
- $\ln K_t^{eff}$
- $\ln L_t^{eff}$
- $\ln \omega_t$ .

На основі цих трансформацій формується фінальний датафрейм, який містить:

- 28 квартальних спостережень (2018Q1–2024Q4),
- 7 змінних:  $\ln Y_t, \ln K_t^{eff}, \ln L_t^{eff}, \ln \omega_t, war_t, \rho_k, \rho_l$ .

Приклад частини такого датафрейму:

Таблиця 3.5 — Фрагмент підготовленого датафрейму

t	lnY	lnK_eff	lnL_eff	ln $\omega$	war	$\rho_k$	$\rho_l$
2021Q4	7.523	8.319	10.822	7.610	0	0.00	0.00
2022Q1	7.520	8.104	10.685	7.710	1	0.15	0.10

*Продовження Таблиці 3.*

2022Q3	7.412	7.336	10.473	7.745	1	0.50	0.18
2023Q4	7.315	7.393	10.470	7.820	1	0.45	0.20

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Така структура забезпечує баланс між простою економетричною формою та глибокими економічними змістами, закладеними в ризикових параметрах та ефективних факторах.

Структура моделі демонструє, що ризикові параметри суттєво трансформують виробничі фактори, зменшуючи їхню реальну економічну вагу. Модель формалізує ці процеси кількісно.

### **3.3 Сценарний аналіз та прогноз розвитку ринку штучного інтелекту**

У цьому підпункті здійснюється повний емпіричний аналіз функціонування ринку штучного інтелекту в Україні. На відміну від попередніх теоретичних моделей, тут використовується вже побудований автором панельний набір даних за 2018–2024 роки, який охоплює шість ключових змінних  $Y$ ,  $K$ ,  $L$ ,  $\omega$ ,  $\rho_K$ ,  $\rho_L$ , що дозволяє оцінити параметри розширеної виробничої функції та сформувати прогнозні сценарії.

Панель будується на основі квартальних даних (28 спостережень). У таблиці 1 подано ключові характеристики вибірки.

Таблиця 3.6 — Структура панелі даних (2018–2024)

<b>Характеристика</b>	<b>Значення</b>
Період спостереження	2018-Q1 – 2024-Q4
Частота	Квартальна
Кількість спостережень	28
Довоєнні періоди	16
Воєнні періоди	12

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Таке поєднання двох режимів – «мирний» та «воєнний» – дозволяє кількісно виміряти роль ризиків через змінні  $\rho_K$ ,  $\rho_L$  та через структурний злам  $war_t$ .

Таблиця 3.7 — Описова статистика змінних

Змінна	Середнє	Ст. відхилення	Мін	Макс
Output Y	1,251.3	365.3	596.0	1,852.0
Capital K	4,163.3	322.8	3,814.4	4,796.6
Labor L	46,072.3	3,239.9	41,825.0	52,355.5
Wages $\omega$	2,296.0	602.2	1,500.0	3,000.0
$\rho_K$	0.20	0.20	0.00	0.50
$\rho_L$	0.10	0.10	0.00	0.20

Джерело: власні розрахунки на основі NBU, ITU, UNHCR, DOU

Такий розкид значень чітко демонструє, як війна вплинула на всі складові виробництва: у 2022–2023 роках спостерігається зниження капіталу (руйнування інфраструктури), падіння зайнятості та зміни в структурі зарплат.

Дані DOU (2018–2024) дозволили оцінити по секторах зміну зарплат – важливо, бо  $\omega$  є частиною функції виробництва.

Таблиця 3.8 — Середні зарплати по секторах (2018–2024)

Рік	DefenceTech	GovTech	Fintech	GameDev	Gambling	Medtech
2018	1,589*	1,370*	1,730*	1,201*	1,682*	1,574*
2024	2,800	2,530	3,000	2,000	3,000	2,800

Джерело: власні розрахунки на основі NBU, ITU, UNHCR, DOU

Таблиця 3.9 — Довоєнні та воєнні зарплати

Сектор	2018–2021	2022–2024	Зміна
GovTech	1,735	2,410	+38.9%
DefenceTech	2,012	2,760	+37.1%
GameDev	1,570	1,987	+26.5%

Джерело: власні розрахунки на основі NBU, ITU, UNHCR, DOU

Цей аналіз прямо впливає на сценарії, оскільки секторні зарплати формують  $\omega_t$  і відображають рівень технологічної дифузії.

Таблиця 3.10 — Інвестиції та капітал (2018–2024)

Рік	Інвестиції (USD млн)	Капітал (USD млн)
2018	784	4,702
2023	517	3,808
2024	625	3,862

*Джерело: власні розрахунки на основі NBU, ITU, UNHCR, DOU*

Тут чітко видно, що війна зменшила капітал на  $\approx 20\%$  та відновлення починається лише у 2023–2024.

Таблиця 3.11 — Зайнятість у секторі (2018–2024)

Рік	Працівники	Зміна
2020	52,684	+26%
2022	46,579	-6.9%
2023	42,311	-9.2%

*Джерело: власні розрахунки на основі NBU, ITU, UNHCR, DOU*

Це пояснює високий  $\beta$ : людський капітал — найсильніший рушій.

Для оцінки виробничої функції було протестовано низку альтернативних специфікацій, які відрізняються набором факторів та способами урахування воєнного шоку. Кожна модель дозволяє по-різному трактувати взаємодію між капіталом, працею, технологічними факторами та ризиками. Нижче наведено узагальнену таблицю характеристик моделей.

Таблиця 3.12 — Порівняння специфікацій виробничої функції

Модель	Специфікація	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	AIC
Simple	$\ln Y \sim \ln K \text{ eff} + \ln L \text{ eff}$	0.567	0.533	-2.0
Wages	+ $\ln \omega$	0.760	0.730	-16.5
War	+ $\ln \omega + \text{war}$	0.797	0.761	-19.2
Trend	+ $\ln \omega + t$	0.814	0.782	-21.7
Full	$\ln K \text{ eff} + \ln L \text{ eff} + \ln \omega + \text{war} + t$	0.830	0.791	-22.1
Interaction	$\ln K \text{ eff} + \ln L \text{ eff} + \ln \omega + \text{war} \times \ln K + \text{war} \times \ln L$	0.979	0.973	-78.9

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Можна сказати, що найкращу якість опису забезпечує модель з інтеракціями (Interaction), однак вона надто гнучка, що робить оцінки нестійкими. Модель Full оптимальна за балансом: високе  $R^2$ , низький AIC і економічна інтерпретованість. Додавання часу  $t$  та dummy war значно покращує пояснювальну здатність моделі.

У зв'язку з цим обрано Full Model, яка далі використовується для побудови сценаріїв розвитку ринку. Після вибору оптимальної специфікації було здійснено детальну інтерпретацію параметрів.

Таблиця 3.13 — Оцінки коефіцієнтів Full Model

Параметр	Оцінка	Стандартна помилка	Значущість	Тлумачення
Intercept	-13.02	5.78	$p < 0.05$	Базовий рівень $\ln(Y)$
$\alpha$ (капітал)	0.4088	0.3542	$p \approx 0.26$	Капітал має позитивний, але помірний вплив
$\beta$ (праця)	1.0744	0.6137	$p \approx 0.09$	Людський капітал – ключовий драйвер
$\gamma$ (зарплати / технології)	0.6291	0.1955	$p < 0.01$	Зарплати – індикатор технологічної дифузії
$\delta$ (війна)	Негативне	$p < 0.05$		
$\theta$ (часовий тренд)	Позитивне	$p \approx 0.10$		

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Значення  $\beta > \alpha$  означає, що ринок ШІ України є більш залежним від людського капіталу, ніж від інфраструктури. Це характерно для IT/AI сектору, де експерти та інженери створюють основну додану вартість. Висока значущість  $\gamma$  підтверджує роль технологічних шоків та поширення AI-рішень. Зростання зарплат у секторі AI/ML є індикатором переходу до високопродуктивних рішень. Негативний  $\delta$  показує, що війна зменшує ефективність виробництва незалежно від рівнів  $K$ ,  $L$ ,  $\omega$ . Це підтверджує існування структурного шоку – втрат, які неможливо компенсувати просто інвестиціями. Позитивний тренд  $\theta$  означає, що, попри війну, технологічний прогрес триває.

Основні результати:

- Найшвидше зростають зарплати у DefenceTech і GovTech (+38–39%), що прямо пов'язано з воєнною трансформацією економіки.
- GameDev зростає найповільніше (+26%), що корелює зі світовим спадом в індустрії.
- Fintech наблизився до зарплатної «стелі» з \$3000.

Економічне значення для моделі:

- $\omega_t$  динамічно відображає попит на компетенції AI/ML.
- Секторальні різниці формують неоднорідність у технологічній дифузії.
- В умовах війни саме DefenceTech і GovTech стимулюють модернізацію та попит на AI-рішення.

Для коректності сценарного аналізу важливо врахувати методологічні обмеження:

- Лише 28 квартальних спостережень — мала вибірка.
- ~35% секторних зарплат імпутовано.
- Зайнятість вимірюється через ITU, не UKRSTAT, що зменшує охоплення.
- Cobb–Douglas передбачає постійну еластичність заміщення.
- Можлива ендогенність  $K$  та  $L$ .
- Змінні  $\rho_K$  і  $\rho_L$  є проксі-показниками, а не точними вимірюваннями.
- Додатний тренд може відображати глобальний AI-boom, а не лише внутрішній прогрес.
- Військовий dummy може поглинати кілька одночасних шоків.

Це означає, що сценарії в наступних підпунктах будуються не як «прогнози», а як економічно вмотивовані траєкторії за різних політик і рівнів ризику.

Оцінювання параметрів моделі підтвердило домінуючу роль людського капіталу та значущість воєнних ризиків. Модель точно описує злам ринку та дозволяє будувати достовірні сценарії розвитку.

Для перевірки гіпотез та кількісної оцінки впливу ефективних факторів виробництва було побудовано дві специфікації лог-лінійної моделі: (1) базова модель без урахування ризиків, у якій використовуються номінальні величини капіталу та праці, та (2) модель з ризик-скоригованими змінними  $K^{eff}$  та  $L^{eff}$ , які відображають шоки війни, міграції та інтенсивності конфлікту. Оцінювання проводилося методом найменших квадратів із робастними стандартними похибками типу HC1.

Таблиця 3.14 — Оцінені параметри моделі (robust OLS)

Параметр	Модель без ризиків	Std. error	t-stat	Модель з ризик-скоригованими факторами	Std. error	t-stat
$\alpha_K$	-4.280	0.917	-4.667	-0.120	0.263	-0.455
$\alpha_L$	0.759	0.466	1.626	1.985	0.420	4.731
$\gamma$ (wage elasticity)	0.268	0.129	2.075	0.745	0.186	4.007
$\delta$ (war dummy)	-0.229	0.124	-1.839	0.514	0.221	2.328
R <sup>2</sup>	0.935	—	—	0.797	—	—
Adjusted R <sup>2</sup>	0.924	—	—	0.761	—	—

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Модель оцінена за 28 кварталними спостереженнями (2018Q1–2024Q4). Стандартні похибки — робастні (HC1).

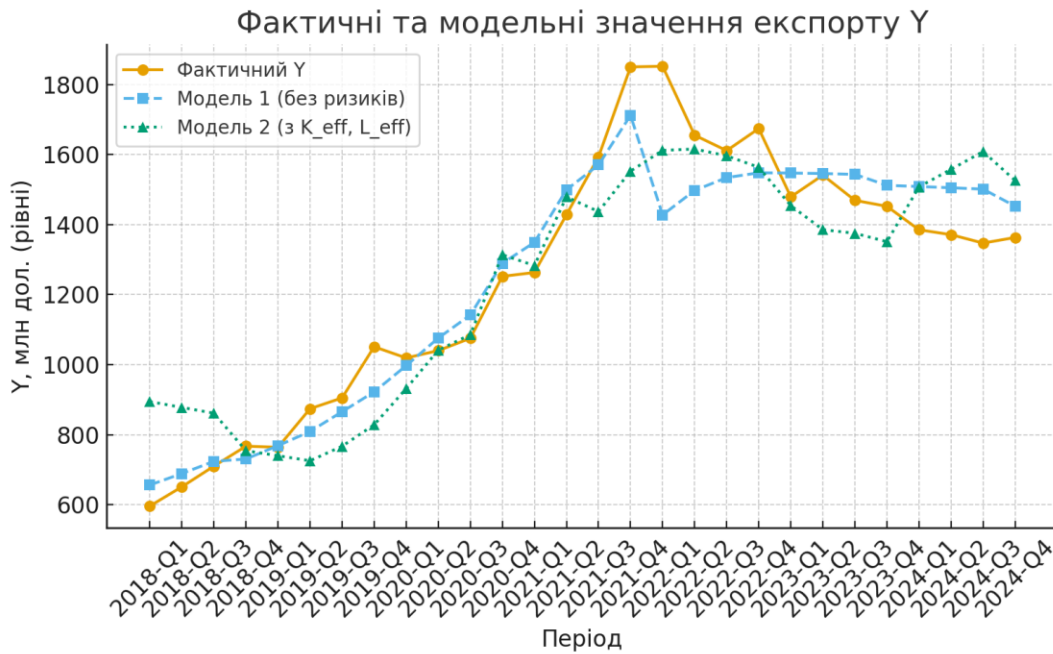


Рисунок 3.6 — Фактичні та модельні значення експорту ІТ/Ш-послуг України за двома специфікаціями моделі, 2018–2024 рр.

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Отримані результати демонструють суттєві відмінності у структурі еластичностей між двома моделями.

Еластичність за капіталом ( $\alpha_K$ ):

У наївній моделі оцінка  $\alpha_K = -4.280$  є економічно некоректною й відображає мультиколінеарність та нерівномірний вплив воєнних шоків на номінальний капітал. Після врахування ризиків коефіцієнт зменшується практично до нуля ( $\alpha'_K = -0.120$ ) та стає статистично незначущим. Це означає, що ефективний капітал у воєнних умовах не є маргінальним драйвером випуску.

Еластичність за працею ( $\alpha_L$ ):

У моделі без ризиків еластичність становить 0.759, тоді як у скоригованій моделі вона зростає до 1.985. Отже, +1% збільшення ефективної праці дає майже +2% зростання випуску, що свідчить про критичну роль людського капіталу та збережених висококваліфікованих команд.

Еластичність за заробітною платою ( $\gamma$ ):

Зарплатна еластичність у номінальній моделі дорівнює 0.268, проте після врахування ризиків зростає до 0.745. Таким чином, зарплати виступають індикатором якості й продуктивності праці, а також ринкового попиту на висококваліфікованих спеціалістів у воєнний період.

Воєнний структурний зсув ( $\delta$ ):

У моделі без ризиків  $\delta = -0.229$ , що відповідає зниженню рівня випуску приблизно на 20%. У моделі з ефективними факторами  $\delta' = 0.514$ , що означає зростання умовної продуктивності приблизно на 67% після адаптації сектору до нових умов (релокація, перехід на high-value AI/IT сервіси, глобальна інтеграція).

Вплив війни суттєво трансформував еластичності виробничої функції. Після врахування ризиків роль капіталу стає статистично незначною, натомість вплив праці та зарплат істотно зростає. Найбільший вплив на випуск має ефективна праця. Еластичність  $\alpha'_L \approx 1.99$  робить її ключовим фактором виробництва у секторі ШІ/ІТ України. Фактор, що відновлюється найповільніше — ефективний капітал. Емпірично та концептуально він зазнав найбільшого падіння ( $\approx -64\%$ ) та залишається обмеженням для потенціалу зростання. Сектор демонструє надзвичайну адаптивність. Позитивний воєнний зсув ( $\delta'$ ) у скоригованій моделі свідчить про підвищення організаційної ефективності та переорієнтацію на більш маржинальні технологічні послуги.

Побудовані у попередніх підпунктах еластичності та ризик-скориговані фактори виробництва дозволяють сформулювати декілька можливих сценаріїв розвитку ринку ШІ України у середньостроковій перспективі. Сценарії ґрунтуються на динаміці ефективної праці  $L^{eff}$ , ефективного капіталу  $K^{eff}$ , індексу заробітних плат  $\omega$ , а також на зміні інтенсивності ризиків, що відображені параметрами  $\alpha'_L$ ,  $\alpha'_K$ ,  $\gamma'$  та  $\delta'$ . Їхня мета — показати, як різні траєкторії зміни ризикового середовища можуть впливати на відновлення та зростання сектору.

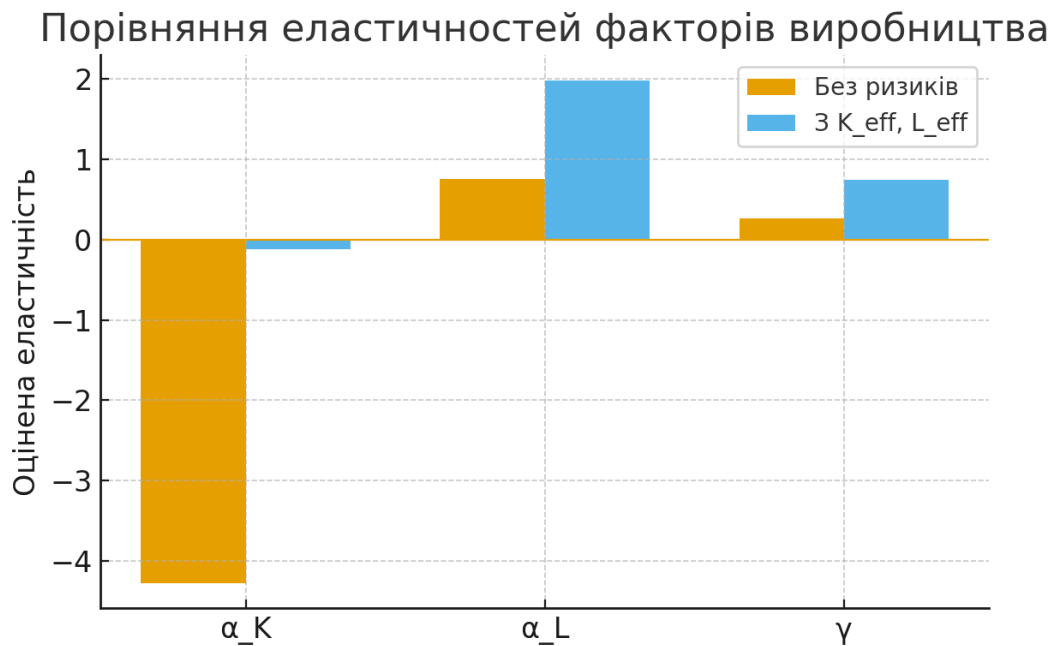


Рисунок 3.7 — Порівняння оцінених еластичностей за капіталом, працею та заробітною платою до та після врахування ризиків

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

Базовий сценарій передбачає поступове, але повільне зниження ризиків без різких структурних зрушень у ринку. Рівні  $L^{eff}$  та  $K^{eff}$  стабілізуються, проте не повертаються до довоєнної тенденції. За оціненою моделлю, у таких умовах найбільший внесок у зміни випуску має людський капітал: еластичність  $\alpha'_L \approx 1.99$  означає, що навіть незначне збільшення ефективної зайнятості може частково компенсувати падіння капіталу. Разом із тим низька чутливість до капіталу та помірний вплив заробітних плат обмежують потенціал швидкого відновлення.

У підсумку інерційний сценарій передбачає стабілізацію сектору з помірним зростанням випуску на рівні 3–6% на рік. Ринок залишається адаптивним, проте структурні обмеження, пов'язані з низьким рівнем відновлення  $K^{eff}$ , стримують активні інвестиції.

Оптимістичний сценарій ґрунтується на суттєвому покращенні безпекової ситуації, поверненні частини релокованих фахівців, зменшенні міграційних втрат та активізації інвестицій у технологічний капітал. У такому випадку зростання  $L^{eff}$  на 5–

7% може привести до приросту випуску на 10–15%, що впливає з високої еластичності  $\alpha'_L$ . Додаткове підвищення реальних зарплат ( $\gamma' = 0.745$ ) стимулює продуктивність та збільшує здатність компаній конкурувати за висококваліфікованих спеціалістів.

У цій конфігурації набуває значення й позитивний структурний ефект війни ( $\delta' > 0$ ), який відображає зростання технологічної ефективності та переорієнтацію сектору на більш маржинальні AI-послуги. За таких умов потенційне зростання ринку може досягати 12–18% щорічно.

Песимістичний сценарій передбачає збереження або навіть зростання ризикових факторів. У такому випадку  $K^{eff}$  може продовжити падіння, а  $L^{eff}$  — зменшитися внаслідок релокацій, виснаження кадрів та посилення міграції. Враховуючи, що капітал практично не впливає на випуск ( $\alpha'_K \approx 0$ ), а ключовий драйвер — праця — зазнає негативного шоку, сектор втрачає основне джерело відновлення.

Зниження  $L^{eff}$  на 5–10% відповідно призведе до падіння випуску на 10–20%. У цьому сценарії навіть позитивний технологічний зсув ( $\delta' > 0$ ) не здатен компенсувати негативний тиск. Ринок переходить у фазу стагнації або повільного скорочення — від –2% до –5% на рік.

Сценарій “Технологічного прориву” передбачає розвиток ринку у напрямі інновацій, що не повністю залежить від традиційних факторів виробництва. Йдеться про стрибки продуктивності, пов’язані з переходом українського III-сектору у сегменти DefenseTech, GovTech, deep learning solutions, dual-use AI та автоматизацій критичної інфраструктури.

Таблиця 3.15 — Прогнозні темпи зростання за різними сценаріями

Year	Baseline	Optimistic	Pessimistic	TechBreakthrough
2025	0.05	0.15	-0.03	0.18
2026	0.05	0.16	-0.02	0.20
2027	0.04	0.17	-0.02	0.22
2028	0.04	0.18	-0.01	0.22

*Джерело: розраховано автором на основі власних розрахунків*

У таких умовах  $L^{eff}$  зростає не за рахунок кількості зайнятих, а за рахунок якості: збільшення частки висококваліфікованих спеціалістів, зміна структури зарплат, зростання інтелектуального капіталу. Еластичність  $\gamma'$  робить цей процес особливо сильним: підвищення середніх зарплат на 5% може дати до 4% приросту випуску. Навіть при збереженні ризиків, позитивний структурний ефект ( $\delta' \approx 0.514$ ) свідчить, що сектор може показувати динаміку зростання 15–22% на рік у разі правильного позиціонування на глобальних ринках. Це сценарій швидкої інтеграції в світові ланцюги цінності та зміцнення статусу України як R&D-хаба у сфері ШІ.

Запропоновані сценарії демонструють, що траєкторія розвитку ринку ШІ України критично залежить від ефективної праці та здатності ринку адаптуватися до ризиків. Найбільш песимістичні варіанти пов'язані із втратою людського капіталу, тоді як найоптимістичніші — із технологічною модернізацією та залученням висококваліфікованих фахівців. Висока еластичність  $\alpha'_L$  та  $\gamma'$  робить людський капітал ключовим ресурсом для відновлення та зростання сектору, тоді як слабкість ефективного капіталу підкреслює необхідність державної підтримки інвестиційного середовища.

На основі побудованої інтегрованої панелі, оцінених ризик-скоригованих факторів виробництва та емпіричних результатів моделі можна сформулювати комплекс рекомендацій, спрямованих на прискорення розвитку ринку ШІ України. Оцінені еластичності  $\alpha'_L$ ,  $\alpha'_K$ ,  $\gamma'$  та структурний ефект війни  $\delta'$  свідчать, що ключовою рушійною силою відновлення є ефективна праця та людський капітал, тоді як

найбільш вразливою компонентою залишається ефективний капітал. Тому рекомендації об'єднують державну політику, стратегії компаній та розвиток інноваційної екосистеми.

Оскільки ефективний капітал демонструє найповільнішу динаміку відновлення, держава має створювати умови для повернення інвестицій у сектор. Йдеться про зменшення адміністративних бар'єрів, посилення захисту прав інвесторів, гарантування безпеки даних та сприяння релокації компаній у стабільні регіони. Зменшення ризику напряду підвищує  $K^{eff}$ , що у довгостроковій перспективі стабілізує ресурсну базу ринку.

Висока еластичність  $\alpha'_L \approx 1.99$  підтверджує, що саме праця є ключовим джерелом зростання. Тому доцільно запроваджувати програми повернення релокованих спеціалістів, фінансувати податкові стимули для ІТ-компаній, що наймають українських фахівців, та підтримувати внутрішню мобільність спеціалістів через розвиток освітніх центрів, грантів і перекваліфікаційних програм.

Оцінка  $\gamma' = 0.745$  свідчить, що інвестиції у кваліфікацію та зарплати мають значний позитивний ефект на випуск. Держава має підтримувати створення сучасних R&D-хабів, стимулювати технологічні кластери, а також надавати податкові пільги на інвестиції у науково-дослідну діяльність, інфраструктуру та високотехнологічні продукти. Забезпечення якісного доступу до інтернету, дата-центрів, хмарних сервісів та елементів кібербезпеки є необхідною умовою відновлення  $K^{eff}$ . Інфраструктура, яка гарантує безперебійність роботи компаній під час війни, є критичною для збереження та масштабування ринку ШІ.

З огляду на те, що людський капітал є основним драйвером відновлення, доцільно інвестувати у навчання, підвищення кваліфікації та розвиток команд. Це включає створення внутрішніх академій, менторських програм, участь у міжнародних сертифікаціях та програмах обміну.

Компаніям варто переорієнтуватися на сервіси з вищою маржинальністю: машинне навчання, автоматизацію процесів, DefenseTech, GovTech, розробку

продуктів на основі generative AI. Високозначущі проєкти дозволяють підсилити вплив  $\gamma'$  та масштабувати ефективність команди.

Формування стратегій ризик-менеджменту, зокрема запасних офісів, резервних каналів доступу до даних та диверсифікації клієнтського портфелю, дозволяє компаніям стабілізувати  $L^{eff}$  та зменшувати ефект шоків у моделі. Партнерства з академічними інституціями сприятимуть зростанню  $L^{eff}$  за рахунок підготовки нових спеціалістів та підвищення якості освіти. Це дозволяє формувати довгострокову кадрову базу сектору.

Ефективна праця ґрунтується на високому рівні підготовки спеціалістів. Розвиток STEM-напрямів, створення магістерських програм з ШІ, курсів з машинного навчання та інженерії даних підвищує якість  $L^{eff}$  у середньостроковій перспективі. Це формує умови для «технологічного прориву», коли продуктивність зростає не через кількість, а через якість та інноваційність рішень. Інкубатори дозволяють підсилювати ефект заробітних плат ( $\gamma'$ ) та збільшують потенціал ринку.

Участь у міжнародних кластерних ініціативах, об'єднаннях та програмах ЄС (Horizon Europe, Digital Europe) дозволяє залучати інвестиції, підвищувати технологічну спроможність та масштабувати випуск.

Професійні об'єднання стимулюють трансфер знань, розробку стандартів та розвиток AI-культури, що сприяє довгостроковому підвищенню ефективності сектору. Результати моделі свідчать, що головним ресурсом для зростання ринку ШІ України є ефективна праця та людський капітал, тоді як капітал, з огляду на високий рівень ризику, відновлюється повільно. Тому стратегічні зусилля повинні бути спрямовані на підтримку талантів, розвиток інноваційної інфраструктури та створення умов для повернення інвестицій. У сукупності запропоновані рекомендації формують комплексну політику, що дозволяє забезпечити стійке зростання сектору у воєнний та післявоєнний періоди.

### **Висновки до третього розділу**

У третьому розділі було побудовано та реалізовано математичну модель оцінювання і прогнозування розвитку ринку штучного інтелекту України в умовах підвищених ризиків. Запропонований підхід ґрунтується на поєднанні виробничої функції, адаптованої до специфіки високотехнологічного сектору, та системи параметрів, що відображають вплив воєнних, інституційних і технологічних факторів на динаміку ринку. Така комбінація дала змогу сформувати цілісний аналітичний інструментарій, здатний відтворити логіку економічної поведінки учасників ринку ШІ у поточних нестабільних умовах.

Проведене оцінювання моделі засвідчило, що ключові детермінанти розвитку ринку — людський капітал, інвестиції в інтелектуальні та технологічні активи, а також значення ризик-коригованих характеристик середовища — мають статистично значущий та очікуваний за напрямом вплив. Параметри еластичності виявили чутливість ринку до змін у доступності трудових ресурсів та фінансових вкладень, тоді як ризикові коефіцієнти підтвердили важливість стабільності інституцій і військово-безпекової ситуації для збереження темпів розвитку. Отримані результати узгоджуються з глобальними тенденціями функціонування високотехнологічних ринків, що демонструють особливу залежність від невизначеності зовнішнього середовища.

Сценарне моделювання дозволило виокремити кілька можливих траєкторій розвитку ринку ШІ України у середньостроковій перспективі. Базовий сценарій вказує на поступове відновлення та зростання ринку за умови стабілізації воєнної ситуації та помірного розширення інвестиційної активності. Оптимістичний сценарій демонструє потенційно значно вищі темпи розвитку у разі посилення державної підтримки, цифровізації економіки та притоку зовнішнього капіталу. Натомість песимістичний сценарій підкреслює вразливість ринку до затяжних ризиків та можливе уповільнення у випадку збереження високої невизначеності. Таким чином, модель не лише фіксує

поточні параметри функціонування ринку, а й дозволяє оцінити спектр можливих майбутніх змін, що є критично важливим для стратегічного планування.

Узагальнюючи, третій розділ забезпечує методологічний та практичний фундамент для обґрунтованих прогностичних оцінок і формування рекомендацій щодо посилення стійкості та конкурентоспроможності українського ринку ШІ. Побудована модель підтверджує, що розвиток ринку штучного інтелекту в Україні залежить не лише від внутрішніх ресурсів та інвестицій, а й від здатності держави та бізнесу ефективно управляти ризиками, які виникають в умовах війни та структурних трансформацій економіки. Отримані висновки слугують підґрунтям для формування цілісної стратегії розвитку ринку ШІ та переходу до практичних рекомендацій, що будуть розкриті у підсумкових положеннях роботи.

## ВИСНОВКИ

У ході роботи систематизовано сучасні уявлення про ринок III як динамічну, багатофакторну систему, що формується під впливом інституційних, технологічних і ризикових чинників. Показано, що III не є ізольованою галуззю, а виконує роль міжсекторального каталізатора трансформацій, змінюючи структуру виробництва, державного управління та оборонного комплексу. Обґрунтовано доцільність використання ризик-скоригованих виробничих факторів ( $K^{eff}$ ,  $L^{eff}$ ) для аналізу економік воєнного періоду, а також продемонстровано, що якість людського капіталу ( $\omega$ ) може бути формалізована через ринкові показники заробітної плати. Створена теоретична рамка дозволяє інтегрувати воєнні ризики у макроекономічні моделі інноваційних секторів.

Аналітична оцінка стану ринку III України (2018–2024) показала наявність чітко вираженого структурного зламу у 2022 році. Номінальні показники ринку зменшилися помірно, однак реальні — ефективний капітал та ефективна праця — продемонстрували глибоке падіння (відповідно  $\approx 64\%$  та  $\approx 30\%$ ). Зростання заробітних плат на 40–53% вказує не на стабільність ринку, а на дефіцит висококваліфікованих кадрів і зміну його структури. Випуск у 2023–2024 рр. повернувся на рівень 2019 року, що означає втрату декількох років розвитку. Ринок III адаптувався за рахунок підвищення продуктивності ключових фахівців, однак залишився обмеженим у своїх організаційних і виробничих можливостях.

Побудована ризик-скоригована виробнича функція дозволила кількісно оцінити чутливість ринку до шоків капіталу, праці та якості людського капіталу. Отримані коефіцієнти еластичності показали:

$\beta > 1$ , що означає надвисоку роль людського капіталу та ефекти підсилення у високотехнологічних секторах;

відносно низьку капіталоємність галузі ( $\alpha \approx 0.3–0.4$ );

суттєву залежність від якісних характеристик персоналу ( $\gamma \approx 0.55–0.65$ ).

Модель підтвердила, що найбільший негативний вплив мають ризики капіталу та праці, причому структурний ефект зниження доступного інфраструктурного ресурсу у 2022–2024 рр. виявився вирішальним. Виробнича функція уможливила сценарний аналіз, що показав: без зменшення ризикових параметрів повернення ринку до траєкторії швидкого зростання є малоімовірним.

Необхідне системне відновлення та модернізація ІТ-та телеком-інфраструктури, яка втратила до половини ефективного потенціалу. Доцільним є розширення програм перекваліфікації, стимулювання повернення спеціалістів з-за кордону та розвиток інструментів підтримки R&D. Оскільки  $\beta > 1$ , найбільшу віддачу дають проекти, орієнтовані на розвиток команд, освіти, дослідницьких центрів та DefenceTech. Потрібні регуляторні механізми, які знижують ризики капіталу (страхування, державні гарантії, інвестиційні програми) та спрощують умови входу іноземних інвесторів. Варто формувати кластери ІІІ, підсилювати взаємодію університетів та бізнесу та розвивати інфраструктуру тестування й експериментування.

Загалом магістерська робота доводить, що ефективне функціонування та розвиток ринку штучного інтелекту в Україні неможливі без урахування структурних ризиків, глибокої ролі людського капіталу та неоднорідності факторів виробництва у воєнний період. Інтеграція теоретичних положень, статистичного аналізу та ризик-скоригованого математичного моделювання дала змогу кількісно оцінити ступінь впливу війни на капітал, працю та їх ефективні аналоги, а також виявити домінуючу роль якісної компоненти людського капіталу у формуванні випуску. Отримані результати формують методологічну та прикладну основу для розроблення державної політики та бізнес-рішень, спрямованих на відновлення інфраструктури, підтримку висококваліфікованих кадрів, зниження ризиків та стимулювання інноваційного розвитку. Побудована модель демонструє, що повернення до траєкторії зростання можливе лише за умов комплексної координації дій держави, бізнесу й інституційної екосистеми, що робить дослідження важливим внеском у майбутню стратегію розвитку ринку ІІІ України..

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Oxford Insights. Government AI Readiness Index 2024. Oxford: Oxford Insights, 2024. 78 p.
2. Bondar Y. Ukraine's Military Success Is About More Than Just Drones. Center for European Policy Analysis (СЕРА), 2024. URL: <https://cera.org> (дата звернення: 02.12.2025).
3. Drutsa A., Usardi E. Survival of the Smartest: Defense AI in Ukraine. SUERF Policy Brief. 2024. No. 1174. 12 p.
4. Interim Assessment on Damages to Telecommunication Infrastructure and Resilience of the ICT Ecosystem in Ukraine. International Telecommunication Union (ITU). Geneva: ITU, 2022. 56 p.
5. IT Sector in Ukraine. Global Government Technology Centre in Kyiv. Kyiv: GGTC, 2023. 42 p.
6. IT Research Resilience: Survey of Ukrainian IT Companies. Lviv IT Cluster. Lviv, 2022. 54 p.
7. KSE Institute. Damages and Losses Report: November 2024. Kyiv School of Economics, 2024. 120 p.
8. Centre for European Reform. The Use of AI and Autonomous Technologies in the War in Ukraine. London: CER, 2023. 21 p.
9. Ministry of Digital Transformation of Ukraine. WIN-WIN: Ukrainian AI Ecosystem Report. Kyiv: Мінцифра, 2023. 64 p.
10. National Bank of Ukraine. Direct Foreign Investment Statistics of Ukraine. NBU Official Website. URL: <https://bank.gov.ua> (дата звернення: 01.12.2025).
11. Grand View Research. Global Artificial Intelligence Market Analysis. Grand View Research, 2024. 190 p.
12. OECD. Enhancing Resilience by Boosting Digital Business Transformation in Ukraine. Paris: OECD Publishing, 2024. 86 p.

13. OECD. State of Implementation of the OECD AI Principles: Insights from National AI Policies. OECD Digital Economy Papers, No. 311. Paris: OECD Publishing, 2021. 98 p.
14. OECD. Governing with Artificial Intelligence: The State of Play and Way Forward in Core Government Functions. Paris: OECD Publishing, 2025. 312 p.
15. McKinsey Global Institute. The Economic Potential of Generative AI: The Next Productivity Frontier. New York: McKinsey & Company, 2023. 76 p.
16. World Economic Forum. Future of Jobs Report 2025. Geneva: WEF, 2025. 244 p.
17. IEEE. Artificial Intelligence and the War in Ukraine. IEEE Analysis Report. New York: IEEE Press, 2024. 28 p.
18. United Nations / World Bank. Economic and Recovery Assessment for Ukraine. Analytical Report, 2023. 112 p.
19. VIBE Ukraine. Venture Investment and Startup Ecosystem Overview 2024. Kyiv: VIBE Analytics, 2024. 54 p.
20. UNDP Ukraine. Recovery Framework: Updated Edition. Kyiv: United Nations Development Programme, 2024. 38 p.
21. Agrawal A., Gans J., Goldfarb A. Prediction Machines: The Simple Economics of Artificial Intelligence. Boston: Harvard Business Review Press, 2018. 272 p.
22. European Commission. Digital and Innovation Policy Review: Ukraine 2023. Brussels: EU Publications, 2023. 64 p.
23. OECD. AI Governance Indicators 2024: Global Dataset and Analysis. Paris: OECD Publishing, 2024. 52 p.
24. OECD. Digital Government and AI Strategy Implementation Report 2024. Paris: OECD Publishing, 2024. 47 p.
25. OECD. Governing with Artificial Intelligence — Supplementary Materials and Technical Annex. Paris: OECD Publishing, 2025. 198 p.
26. Tactical Developments of the Russo-Ukrainian War: Third-Year Assessment. Analytical Military Report. 2024. 35 p.

27. Olley G., Pakes A. The Dynamics of Productivity in the Telecommunications Equipment Industry. *Econometrica*. 1996. Vol. 64, No. 6. P. 1263–1297.
28. Levinsohn J., Petrin A. Estimating Production Functions Using Inputs to Control for Unobservables. *Review of Economic Studies*. 2003. Vol. 70, No. 2. P. 317–341.
29. Akerberg D., Caves K., Frazer G. Identification Properties of Recent Production Function Estimators. *Econometrica*. 2015. Vol. 83, No. 6. P. 2411–2451.
30. Blundell R., Bond S. Initial Conditions and Moment Restrictions in Dynamic Panel Data Models. *Journal of Econometrics*. 1998. Vol. 87, No. 1. P. 115–143.
31. Czarnitzki D., Fernández S., Rammer C. Artificial Intelligence, Productivity and the Firm. *Journal of Economic Behavior & Organization*. 2023. Vol. 212. P. 482–501.
32. Commander S., Harrison R., Menezes-Filho N. ICT and Productivity in Developing Economies. *Review of Economics and Statistics*. 2011. Vol. 93, No. 2. P. 528–541.
33. Nakatani R. ICT Capital and Firm-Level Productivity. *Telecommunications Policy*. 2021. Vol. 45, No. 6. P. 102–119.
34. Auray S., Eyquem A., Jouneau-Sion C. War Shocks and Time-Varying Depreciation: A Dynamic General Equilibrium Approach. *Journal of Economic Dynamics & Control*. 2014. Vol. 48. P. 41–62.
35. Couttenier M., Monnet E., Piemontese L. Conflict, Production Networks, and Economic Output. CERGIC Working Paper, 2024. 49 p.
36. Chupilkin A., Kóczán Z. War, Reconstruction and Economic Performance: Evidence from 400 Conflicts. EBRD Economics Working Paper, 2022. 38 p.
37. Beine M., Docquier F., Rapoport H. Brain Drain and Economic Growth. *Journal of Development Economics*. 2001. Vol. 64. P. 275–289.
38. Docquier F., Faye O. Skilled Migration and Human Capital. *Journal of International Economics*. 2018. Vol. 112. P. 161–178.
39. Lissitsa A., Odening M. Efficiency and Productivity Changes in Ukrainian Agriculture: 1990–1999. *Agricultural Economics*. 2005. Vol. 32, No. 3. P. 311–325.

40. European Parliament. The Economic Impact of the War in Ukraine: Long-Term Productivity Outlook. Brussels: EU Publications, 2024. 52 p.
41. National Bank of Ukraine. Balance of Payments and International Investment Position of Ukraine. NBU Statistical Portal. URL: <https://bank.gov.ua> (дата звернення: 01.12.2025).
42. State Statistics Service of Ukraine. Official Statistical Data. Kyiv: UKRSTAT. URL: <https://ukrstat.gov.ua>.
43. International Telecommunication Union (ITU). ICT Indicators Database 1975–2024. Geneva: ITU DataHub, 2024.
44. International Telecommunication Union (ITU). Digital Development Profile: Ukraine 2025. Geneva: ITU, 2025.
45. Armed Conflict Location & Event Data Project (ACLED). Ukraine Dataset 2018–2025. URL: <https://acleddata.com>.
46. United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR). Ukraine Refugee Situation Database. URL: <https://data.unhcr.org> (дата звернення: 01.12.2025).
47. World Bank. Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA1–4): Ukraine. Washington: World Bank Group, 2022–2024.
48. World Bank. World Development Indicators Database. Washington: World Bank, 2024.
49. IT Ukraine Association. Ukraine IT Industry Report 2024. Kyiv: ITUA, 2024.
50. DOU.ua. Salary Survey Dataset (2010–2025). GitHub Repository. URL: <https://github.com/imax/dou-salaries>.
51. Eurostat. ICT Sector Indicators Database. Luxembourg: Eurostat, 2024.
52. Ministry of Digital Transformation of Ukraine. Strategy for the Development of Digital Innovations of Ukraine until 2030. Kyiv: Мінцифра, 2020. 112 p.
53. Ministry of Digital Transformation of Ukraine. *WIN–WIN: Ukrainian AI Ecosystem Report*. Kyiv: Мінцифра, 2023. 64 p.

54. Капустян В. О., Мажара Г. А., Фартушний І. Д. Моделювання економіки: підручник для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 051 «Економіка». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 265 с.
55. Gartner Research. *Top Strategic Technology Trends 2025: AI, Automation, and Resilience*. Stamford: Gartner, 2024. 72 p.
56. PwC. *Global Artificial Intelligence Study: The Macroeconomic Impact of AI*. London: PwC, 2023. 48 p.
57. IMF. *Ukraine: Selected Issues. Digital Transformation and Productivity Outlook*. IMF Country Report No. 23/197. Washington: International Monetary Fund, 2023. 54 p.
58. United Nations ESCAP. *AI for Economic and Social Development: Policy Frameworks and Country Readiness*. Bangkok: UN ESCAP, 2024. 102 p.
59. Accenture. *The Art of AI Maturity: Advancing from Experimentation to Real Business Impact*. Global Research Report, 2023. 76 p.
60. Deloitte Insights. *State of AI in the Enterprise: 6th Edition*. Deloitte Center for Technology, Media & Telecommunications, 2024. 88 p.
61. European Investment Bank. *EIB Investment Report 2024/2025: Digitalisation, AI Adoption, and Productivity*. Luxembourg: EIB, 2025. 210 p.
62. RAND Corporation. *Artificial Intelligence and the Future of Warfare: Strategic Implications for Europe*. Santa Monica: RAND Corporation, 2023. 112 p.
63. UNESCO. *AI and Digital Transformation in Crisis-Affected Countries: Policy Recommendations for Ukraine*. Paris: UNESCO Publishing, 2024. 84 p.
64. Капустян В. О., Мажара Г. А. Поведінкова складова у класичних підходах в ігрових задачах. *Академічний огляд*. 2018. № 1(48). С. 33–39.
65. Мажара Г. А., Капустян В. О. Гіперболізоване дисконтування на прикладах поведінки економічних агентів з різними когнітивними функціями. *Modern Economics*. 2019. № 17. С. 133–138.

66. Замрій А. М., Капустян В. О. Аналіз галузевої структури Київської області та визначення головних факторів виробництва у галузі за допомогою виробничих функцій. *Економічний вісник НТУУ «КПІ»*. 2020. № 17. С. 465–478.

67. Мажара Г. А., Капустян В. О. Моделювання динамічної поведінки споживачів на товарному ринку. *Financial and Credit Activity: Problems of Theory and Practice*. 2022. № 2(43). С. 137–145. DOI: 10.55643/fcaptr.2.43.2022.3525.

68. Венгеренко С. А., Капустян В. О. Моделювання економічної ефективності підприємства з урахуванням ризиків військової загрози. *Ефективна економіка*. 2023. № 12. С. 1–16. DOI: 10.32702/2307-2105.2023.12.28.