

УДК 519.6

А.С. ПЕРЦОВ, В.А. САЧОВСЬКА

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

ВПЛИВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ НА ЗАЙНЯТІСТЬ, ЗАРОБІТНУ ПЛАТУ ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ

Сучасний ринок праці переживає значні трансформації під впливом автоматизації та впровадження технологій штучного інтелекту (ШІ). Вплив цих змін відображається на структурі зайнятості, рівні заробітної плати та загальній продуктивності праці. Автоматизація створює як нові можливості для зростання ефективності виробництва, так і виклики, пов'язані зі скороченням робочих місць. Одним із ключових питань є баланс між технологічним прогресом і соціально-економічною стабільністю, що потребує комплексного аналізу й ефективних механізмів адаптації.

У роботі запропоновано математичну модель, яка описує взаємозв'язок між рівнем автоматизації, можливостями перенавчання працівників, державною політикою та рівнем освіти. Запропонована система рівнянь має матричну форму та дозволяє досліджувати динаміку змін зайнятості в умовах технологічних зрушень. Вона дозволяє оцінити вплив автоматизації на ринок праці за різних рівнів державної підтримки та інвестицій в освітні ініціативи.

Для оцінювання впливу технологічних інновацій розглянуто три основні сценарії:

Низький рівень автоматизації та високий рівень перенавчання – дозволяє зберегти стабільну зайнятість і пом'якшити негативний вплив автоматизації. Цей сценарій демонструє, що активне впровадження програм перенавчання сприяє ефективному переходу працівників на нові робочі місця.

Високий рівень автоматизації та низький рівень перенавчання – призводить до значного скорочення рівня зайнятості та зниження середніх заробітних плат. Це може спричинити зростання соціальної напруги та погіршення економічної ситуації внаслідок збільшення безробіття.

Ефективна державна політика та підтримка освіти – сприяє зниженню негативних ефектів автоматизації завдяки розширенню програм адаптації робочої сили, що дозволяє стабілізувати ринок праці.

Застосування чисельного моделювання показує, що перенавчання, державна підтримка й інвестиції в освітні ініціативи є визначальними чинниками, які дозволяють адаптувати ринок праці до умов автоматизації та впровадження штучного інтелекту. Отримані результати можуть бути використані для розроблення стратегій державного регулювання, формування політики щодо розвитку освітніх програм і прогнозування соціально-економічних наслідків технологічних змін.

Робота може бути корисною для науковців, аналітиків ринку праці, а також для органів державної влади, що розробляють політики у сфері зайнятості й адаптації робочої сили до нових умов. Використані підходи та результати моделювання дають змогу оцінити ризики автоматизації та виробити оптимальні механізми для ефективної інтеграції технологічних змін із соціально-економічним середовищем.

Ключові слова: штучний інтелект (ШІ), автоматизація, зайнятість, заробітна плата, продуктивність праці, перенавчання, ефективність державної політики, освітня підтримка.

A.S. PERTSOV, V.A. SACHOVSKA

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University

THE IMPACT OF AUTOMATION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON EMPLOYMENT, WAGES, AND PRODUCTIVITY

The modern labor market is undergoing significant transformations under the influence of automation and artificial intelligence (AI) technologies. These changes impact employment structure, wage levels, and overall labor productivity. While automation creates new opportunities for increasing production efficiency, it also poses challenges related to job displacement. One of the key issues is balancing technological progress with socio-economic stability, which requires comprehensive analysis and effective adaptation mechanisms.

This study proposes a mathematical model that describes the interrelationship between automation levels, workforce retraining opportunities, government policies, and education levels. The proposed system of equations is presented in a matrix form, enabling the analysis of employment dynamics in response to technological shifts. The model allows for assessing the impact of automation on the labor market under different levels of government support and investment in educational initiatives.

To evaluate the effects of technological innovations, three key scenarios are considered:

Low automation and high reskilling levels – this scenario helps maintain stable employment and mitigate the negative impact of automation. It demonstrates that the active implementation of retraining programs facilitates an effective transition of workers to new job roles.

High automation and low reskilling levels – this leads to a significant decline in employment levels and a decrease in average wages. It may cause increased social tensions and economic instability due to rising unemployment.

Effective government policy and educational support – this scenario reduces the adverse effects of automation by expanding workforce adaptation programs, thereby stabilizing the labor market.

Numerical modeling results indicate that retraining, government support, and investments in educational initiatives are the key factors enabling labor market adaptation to automation and AI integration. The findings can be utilized to develop government regulations, shape policies for educational program development, and forecast the socio-economic consequences of technological advancements.

This research may be useful for academics, labor market analysts, and government agencies involved in employment policies and workforce adaptation strategies. The applied approaches and modeling results provide insights into assessing automation risks and developing optimal mechanisms for effectively integrating technological changes into the socio-economic environment.

Key words: Artificial Intelligence (AI), automation, employment, wages, labor productivity, reskilling, government policy effectiveness, educational support.

Постановка проблеми

В умовах стрімкого впровадження технологій автоматизації та штучного інтелекту (далі – ШІ) сучасний ринок праці зазнає значних трансформацій. Технологічний прогрес сприяє підвищенню продуктивності праці, зменшенню виробничих витрат і створенню нових можливостей для розвитку бізнесу. Однак паралельно виникають ризики скорочення робочих місць, зниження доходів в окремих професійних сегментах, а також поглиблення соціальної нерівності.

Особливо гостро ця проблема проявляється в секторах, де автоматизація здатна замінити значну частину завдань, що традиційно виконувалися людьми. Натомість для інших секторів економіки технологічні інновації відкривають можливості для створення нових видів діяльності, які потребують перекваліфікації кадрів. Отже, ключовою проблемою стає забезпечення балансу між позитивними наслідками технологічного розвитку та пом'якшенням його негативного впливу на соціально-економічну стабільність.

Актуальність проблеми зумовлена необхідністю проведення комплексного аналізу взаємозв'язку між автоматизацією, зайнятістю, заробітною платою та продуктивністю. Наявні дослідження часто зосереджені на окремих аспектах цієї проблеми, залишають без уваги міждисциплінарний підхід, що враховує як макроекономічні, так і мікроекономічні чинники. У цьому контексті постає потреба у створенні математичної моделі, яка дозволить оцінити динаміку цих змін і запропонувати практичні рекомендації для мінімізації негативних наслідків автоматизації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Математичне моделювання впливу технологічних інновацій на ринок праці є важливим напрямом досліджень у соціально-економічних науках [1; 3; 6–8]. Особливу увагу в останні десятиліття приділяють дослідженню автоматизації та штучного інтелекту, які можуть суттєво змінити баланс зайнятості та соціальну динаміку [2].

У роботах [3; 4] запропоновано системний аналіз впливу автоматизації та віртуальної агломерації на ринок праці. Дослідження [5; 11] містять математичні моделі, що дозволяють оцінити динаміку змін у зайнятості під впливом технологічних чинників. У працях [7; 8] розглянуто роль професійної мобільності та змін у структурі оплати праці, які можуть компенсувати негативні наслідки автоматизації.

Численні дослідження вказують на неоднозначний вплив автоматизації. З одного боку, зменшення попиту на працю у традиційних секторах економіки [9; 10], з іншого – зростання продуктивності та створення нових професій [2]. У роботі [6] наголошується важливість освітніх програм і державної політики у процесі адаптації ринку праці до змін.

Основний недолік класичних моделей аналізу зайнятості полягає у припущенні сталості економічних параметрів і передбачуваності впливу автоматизації. У реальних умовах ринок праці є динамічним середовищем, де швидкість змін може залежати від політичних, освітніх

і соціальних чинників. Додатково, рідкісні, але значні зміни, наприклад прискорене впровадження технологій унаслідок кризових подій, можуть суттєво впливати на зайнятість і економічну стабільність.

У роботі ми пропонуємо диференціальну модель у матричній формі, яка враховує вплив автоматизації, перенавчання працівників, державної підтримки й освітніх програм. Використання цього підходу дозволяє гнучко оцінювати вплив різних сценаріїв розвитку технологій на рівень зайнятості, заробітну плату та продуктивність праці.

Мета дослідження

Метою дослідження є розроблення та математичне обґрунтування моделі, яка описує взаємозв'язок між автоматизацією, зайнятістю, заробітною платою та продуктивністю праці. Особливу увагу приділено побудові неперервної диференціальної моделі, що дозволяє дослідити динаміку змін на ринку праці під впливом технологічного прогресу.

Головні завдання дослідження такі:

- формалізація економічних процесів у вигляді системи диференціальних рівнянь у матричній формі;
- аналіз чинників, що визначають рівень зайнятості, заробітної плати та продуктивності в довгостроковій перспективі;
- оцінювання ефективності державної політики й освітніх програм у зменшенні негативних наслідків автоматизації;
- розроблення інструменту для прогнозування сценаріїв адаптації ринку праці.

Модель дає можливість описати та порівняти різні сценарії розвитку, зокрема швидку і повільну автоматизацію, різні рівні перенавчання працівників і варіанти державної підтримки. Результати дослідження можуть бути використані для оптимізації стратегій регулювання ринку праці, формування політики підтримки зайнятості та прогнозування наслідків технологічного прогресу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Матрична модель

У дослідженні запропоновано математичну модель, яка дозволяє оцінити вплив автоматизації та штучного інтелекту на зайнятість, середню заробітну плату та продуктивність праці. На відміну від інших підходів, модель базується на диференціальному моделюванні, що дозволяє аналізувати неперервні зміни цих показників у часі.

Розглянемо вектор змінних стану:

$$x(t) = \begin{bmatrix} E(t) \\ Y(t) \\ P(t) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де:

$E(t)$ – рівень зайнятості (частка тих, хто працює в галузі);

$Y(t)$ – середній рівень заробітної плати;

$P(t)$ – продуктивність праці.

Динаміка змін цих величин задається системою рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dE}{dt} = -r_a E + r_r(1 + p + u)(1 - E) \\ \frac{dY}{dt} = s_r Y \\ \frac{dP}{dt} = r_a P \end{cases}, \quad (2)$$

де:

r_a – коефіцієнт автоматизації, що визначає швидкість скорочення рівня зайнятості. Також використовується в рівнянні для продуктивності, оскільки автоматизація сприяє зростанню продуктивності праці. Впливає на рівень заробітної плати через коефіцієнт чутливості s , що моделює зниження зарплат через зменшення попиту на людську працю;

r_r – коефіцієнт перенавчання, визначає швидкість адаптування робітників до змін на ринку праці. Впливає лише на рівень зайнятості, компенсує вплив автоматизації;

p – ефективність державної політики щодо підтримки зайнятості, визначає рівень ефективності державної підтримки в допомозі в перенавчанні працівників. Що вищий рівень державної підтримки, то менше людей втрачають роботу внаслідок автоматизації;

u – рівень освітніх ініціатив, даний коефіцієнт ураховує роль довготривалих освітніх ініціатив, які допомагають адаптувати населення до нових технологічних змін,

s – чутливість заробітної плати до автоматизації, коефіцієнт визначає, як змінюється середня заробітна плата під впливом автоматизації. Що більше коефіцієнт s , то сильніше автоматизація впливає на зниження зарплат.

Важливо відзначити, що коефіцієнт автоматизації (r_a) використовується як для визначення рівня зайнятості (E), так і для визначення продуктивності (P), оскільки він має портильний ефект для цих двох параметрів. Автоматизація зменшує рівень зайнятості (E), оскільки знижує потребу в робочій силі, водночас збільшує продуктивність (P), адже автоматизовані процеси працюють швидше й ефективніше.

Запишемо систему рівнянь як матричне рівняння:

$$dx(t) = Ax(t)dt + Bdt, \quad (3)$$

де:

– вектор стану:

$$x(t) = \begin{bmatrix} E(t) \\ Y(t) \\ P(t) \end{bmatrix}; \quad (4)$$

– матриця коефіцієнтів A :

$$A = \begin{bmatrix} -r_a - r_r(1 + p + u) & 0 & 0 \\ 0 & -sr_a & 0 \\ 0 & 0 & r_a \end{bmatrix}; \quad (5)$$

– вектор зовнішніх впливів B :

$$B = \begin{bmatrix} r_r(1 + p + u) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Матриця A містить три основні діагональні елементи, що визначають зміну кожного з показників:

1. Рівень зайнятості: залежить від автоматизації (r_a) та можливості перенавчання (r_r), а також підтримки політики й освіти (p, u).

2. Заробітна плата: знижується пропорційно до автоматизації, що визначається множителем $-sr_a$.

3. Продуктивність праці: зростає зі швидкістю автоматизації (r_a).

Така форма представлення моделі дозволяє аналізувати довгострокову динаміку зайнятості та заробітної плати в умовах різних сценаріїв автоматизації та державного втручання.

Оскільки дана модель є лінійною, вона має аналітичний розв'язок.

Розв'язок цієї системи записується так:

$$x(t) = e^{At} x(0) + \int_0^t e^{A(t-\tau)} B d\tau, \quad (7)$$

де e^{At} – матрична експонента, що визначає еволюцію системи в часі.

Для діагональної або легко діагоналізованої матриці A матрична експонента може бути знайдена як:

$$e^{At} = P e^{Dt} P^{-1}, \quad (8)$$

де D – діагональна форма матриці, A, P – матриця власних векторів.

Якщо ж матриця A вже є діагональною (як у нашій моделі), тоді експонента матриці A обчислюється елементно:

$$e^{At} = \begin{bmatrix} e^{(-r_a - r_r(1+p+u))t} & 0 & 0 \\ 0 & e^{-sr_a t} & 0 \\ 0 & 0 & e^{r_a t} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Тоді розв'язок можна записати як:

$$x(t) = e^{At} x(0) + A^{-1} (e^{At} - I) B. \quad (10)$$

Окремі аналітичні вирази для змінних:

1. Рівень зайнятості $E(t)$:

$$E(t) = E_0 e^{(-r_a - r_r(1+p+u))t} + \frac{r_r(1+p+u)}{r_a + r_r(1+p+u)} (1 - e^{(-r_a - r_r(1+p+u))t}). \quad (11)$$

2. Середня заробітна плата $Y(t)$:

$$Y(t) = Y_0 e^{-sr_a t}. \quad (12)$$

3. Продуктивність $P(t)$:

$$P(t) = P_0 e^{r_a t}. \quad (13)$$

Експоненціальна залежність кожного з параметрів означає, що вплив автоматизації на зайнятість і зарплати є експоненційним спадним, а на продуктивність – експоненційно зростаючим. Додатковий внесок від вектора B (перенавчання) допомагає частково компенсувати спад зайнятості.

Надалі планується додавання нелінійних членів у нашу модель, що значно ускладнює аналітичний розв'язок. Отже, для ґрунтовного аналізу потрібно використовувати чисельні методи. Для чисельного розв'язку використовується метод Рунге – Кутта четвертого порядку (далі – RK4). Завдяки використанню даного методу забезпечується стабільність обчислень і висока точність у моделюванні довготривалих змін у соціально-економічних показниках. Це дозволяє адекватно оцінити наслідки автоматизації та впровадження технологій штучного інтелекту для ринку праці.

У результаті проведеного порівняння аналітичного та чисельного розв'язків моделі дійшли таких висновків:

1. Точність чисельного розв'язку. Метод Рунге – Кутта четвертого порядку забезпечує вищу точність порівняно з аналітичним розв'язком. Як показали результати, похибки для кожного параметра (рівня зайнятості, середньої заробітної плати та продуктивності) є незначними і перебувають у межах машинної похибки.

2. Стійкість розв'язку. Обчислення за чисельним методом залишаються стабільними навіть для тривалих періодів моделювання. Це дозволяє використовувати його для прогнозування змін на ринку праці внаслідок автоматизації та впровадження технологій штучного інтелекту.

3. Чутливість до параметрів. У разі зміни параметрів моделі, як-от рівень автоматизації або ефективність політики перенавчання, чисельний розв'язок швидко адаптується до нових умов, що робить його гнучким інструментом для аналізу різних сценаріїв.

4. Обмеження аналітичного підходу. Аналітичний розв'язок є точним, однак він можливий лише в умовах лінійної моделі. За додавання нелінійних компонентів або випадкових процесів його використання стає обмеженим, тоді чисельні методи стають основним інструментом для досліджень.

5. Практична значущість. Отримані результати підтверджують, що чисельний метод може ефективно застосовуватися для аналізу динаміки ринку праці під впливом автоматизації. Це особливо важливо для економічного прогнозування та розроблення політики щодо пом'якшення негативних наслідків автоматизації.

Програмна реалізація моделі та результати розрахунків

У рамках дослідження було розроблено вебзастосунок для моделювання впливу автоматизації та штучного інтелекту на зайнятість, заробітну плату та продуктивність.

Основні функціональні можливості поточної версії програмного продукту:

1. Гнучке налаштування параметрів моделі. Користувач має можливість змінювати рівень автоматизації, рівень перенавчання, чутливість заробітної плати до технологічних змін, а також рівень державної підтримки й освітніх програм.

2. Використання матричної моделі. Реалізовано чисельний розрахунок динаміки зайнятості, заробітної плати та продуктивності праці на основі диференціальних рівнянь.

3. Візуалізація результатів. Результати розрахунків відображаються як графіки, що показують зміну кожного з параметрів у часі.

4. Миттєве оновлення моделі. У разі зміни параметрів результати розрахунків автоматично оновлюються, без необхідності перезавантаження сторінки.

Розроблена модель дозволяє оцінювати наслідки різних сценаріїв автоматизації і адаптаційних стратегій для ринку праці та забезпечує інструментарій для моделювання можливих наслідків у майбутньому.

Результати моделювання демонструють різні наслідки впливу автоматизації та штучного інтелекту залежно від вибраних параметрів. Було розглянуто три сценарії:

Сценарій 1: Низький рівень автоматизації та високий рівень перенавчання

За рівня автоматизації 5% ($r_a = 5\%$) та високого рівня перенавчання 15% ($r_r = 15\%$) результати показали стабільний рівень зайнятості (~80%) навіть через 20 років. Як видно з рисунка 1, заробітна плата знизилася лише на 5%, тоді як продуктивність праці зросла на 20%. Це свідчить про можливість підтримання стабільності за умови активного перенавчання працівників.

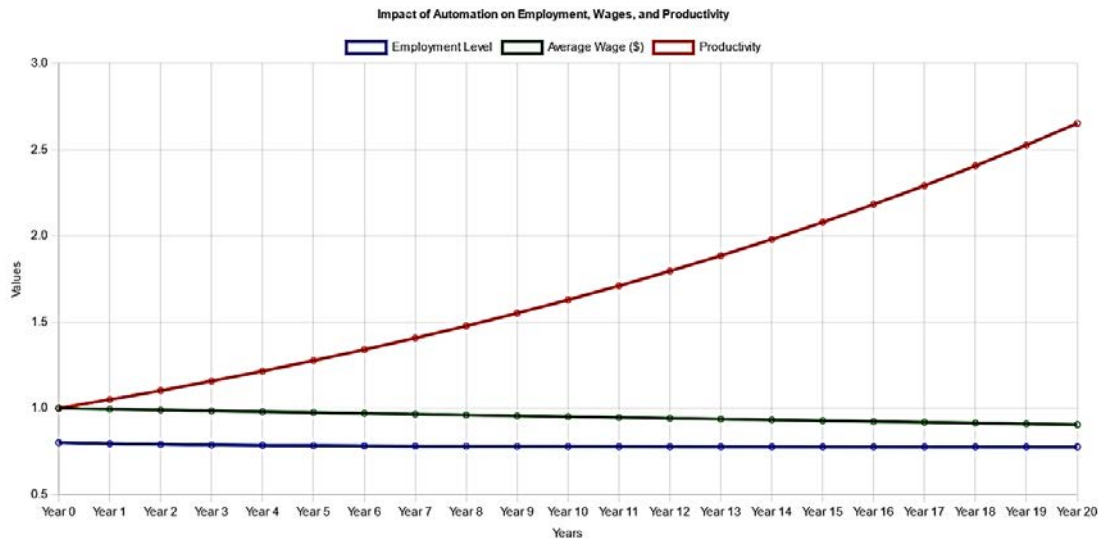


Рис. 1. Візуалізація результатів розрахунків впливу автоматизації та ШІ для сценарію 1

Сценарій 2: Високий рівень автоматизації та низький рівень перенавчання

За рівня автоматизації 30% ($r_a = 30\%$) та низького рівня перенавчання 5% ($r_r = 5\%$) рівень зайнятості значно знизився (до 50%), що спричинило суттєве зниження середніх заробітних плат (~25%) через 20 років. Проте, як бачимо з рисунка 2, продуктивність праці зросла на 60%, що вказує на потенціал автоматизації для підвищення ефективності, але завдяки значним соціальним втратам.



Рис. 2. Візуалізація результатів розрахунків впливу автоматизації та ШІ для сценарію 2

Сценарій 3: Ефективна державна політика та підтримка освіти

За середнього рівня автоматизації 10% ($r_a = 10\%$) і активної підтримки держави 50% ($p = 50\%$) й освіти 50% ($u = 50\%$) зайнятість залишалася на рівні 70% навіть за довгострокових змін. Заробітна плата знизилася лише на 10%, тоді як продуктивність праці збільшилася на 35%, що й зображено на рисунку 3. Це свідчить про важливість ефективної політики й освітніх ініціатив для збереження соціально-економічної стабільності.

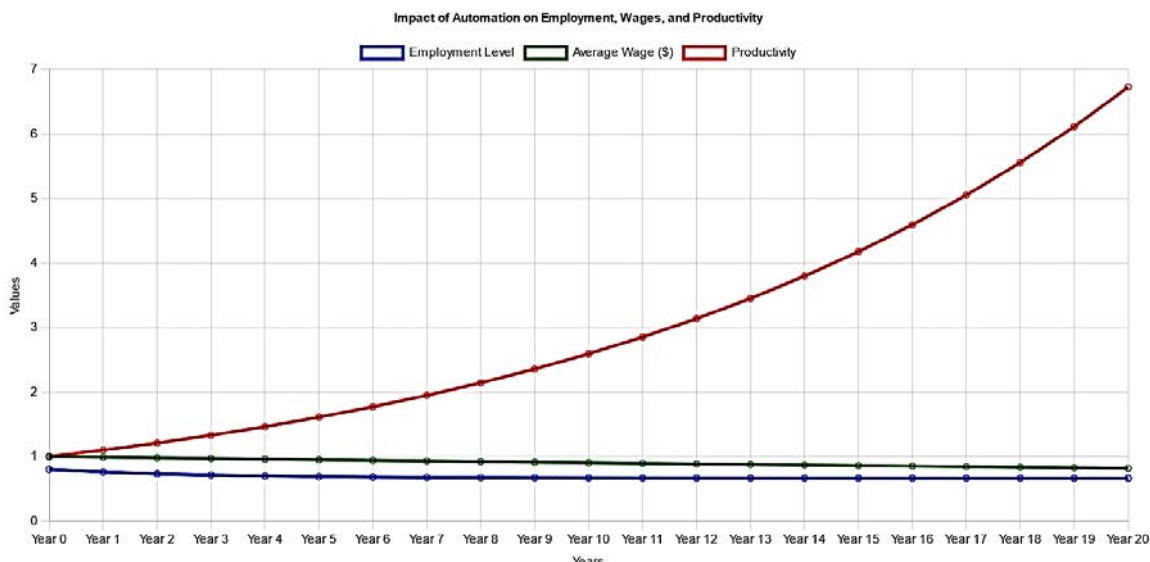


Рис. 3. Візуалізація результатів розрахунків впливу автоматизації та ШІ для сценарію 3

Ці результати підтверджують, що автоматизація може мати як позитивний, так і негативний вплив на економічні та соціальні показники. Перший сценарій підкреслює важливість перенавчання для збереження зайнятості, другий – демонструє ризики низького рівня адаптації до автоматизації, а третій – наголошує на значенні державної підтримки для пом'якшення негативних наслідків.

Висновки

У рамках дослідження була представлена математична модель, яка дозволяє оцінити вплив автоматизації та штучного інтелекту на зайнятість, заробітну плату та продуктивність праці. Розглянута модель формалізує взаємозв'язки між основними соціально-економічними параметрами та враховує вплив державної політики й освітніх програм.

На основі розрахунків і аналізу моделі було досліджено три ключові сценарії розвитку:

– Сценарій 1 (низький рівень автоматизації та високий рівень перенавчання) показав, що стабільний рівень зайнятості може бути збережений за умови ефективного перенавчання, що мінімізує негативний вплив автоматизації.

– Сценарій 2 (високий рівень автоматизації та низький рівень перенавчання) демонструє, що неналежна адаптація працівників до технологічних змін призводить до значного скорочення зайнятості та зниження рівня заробітних плат.

– Сценарій 3 (ефективна державна політика та підтримка освіти) підтвердив, що втручання держави й інвестиції в освіту можуть значно зменшити негативні наслідки автоматизації, сприяти стабільності ринку праці.

Ключові висновки дослідження:

– перенавчання та розвиток нових навичок є критичними для мінімізації негативного впливу автоматизації та забезпечення стабільного рівня зайнятості;

– державна підтримка й освітні ініціативи значно підвищують адаптаційний потенціал працівників, що дозволяє зменшити соціально-економічні ризики;

– зростання продуктивності завдяки автоматизації є позитивним ефектом для економіки, однак без належної підготовки працівників це може спричинити дисбалансу на ринку праці;

– оптимальне поєднання технологічного прогресу та політики регулювання є ключовим для створення стійкої економічної системи, у якій автоматизація сприяє зростанню економіки, а не поглибленню соціальної нерівності.

Результати дослідження можуть бути корисними для формування стратегій адаптації ринку праці до швидких технологічних змін. Використання запропонованої моделі дозволяє оцінити довгострокові ефекти автоматизації та визначити оптимальні заходи для пом'якшення негативного впливу на зайнятість.

Список використаної літератури

1. Frey C.B., Osborne M.A. The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? *Technological Forecasting and Social Change*. 2017. № 114. P. 254–280. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.019>.
2. Acemoglu D., Restrepo P. Automation and new tasks: How technology displaces and reinstates labor. *Journal of Economic Perspectives*. 2019. № 33 (2). P. 3–30. <https://doi.org/10.3386/w25684>.
3. Qamar A., Hall M., Lobo S. The impact of artificial intelligence on labor markets and employment : A systematic review. *International Journal of Information Management*. 2020. № 54. P. 102–135.
4. Shen Y., Zhang X. The impact of artificial intelligence on employment: The role of virtual agglomeration. *Humanities and Social Sciences Communications*. 2024. № 11 (122). <https://doi.org/10.1057/s41599-024-02647-9>.
5. Obasi C. Dynamics of an AI-Driven Mathematical Model of Some Learning Theories. *Journal of Learning Theory and Methodology*. 2024. № 5 (1). P. 32–40. <https://doi.org/10.17309/jltm.2024.5.1.05>.
6. García-Martínez I., Fernández-Batanero J.M., Fernández-Cerero J., León S.P. Analysing the Impact of Artificial Intelligence and Computational Sciences on Student Performance : Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of New Approaches in Educational Research*. 2023. Vol. 12 (1). P. 171–197. <https://doi.org/10.7821/naer.2023.1.1240>.
7. Del Rio-Chanona R.M., Mealy P., Pichler A., Lafond F., Farmer J.D. Occupational mobility and automation: A data-driven network model. *Journal of The Royal Society Interface*. 2021. Vol. 18 (174). P. 20210133. <https://doi.org/10.1098/rsif.2020.0898>.
8. Hutter C., Weber E. Labour market effects of wage inequality and skill-biased technical change. *Economic Journal*. 2023. Vol. 134 (1). P. 55–89. <https://doi.org/10.1080/00036846.2022.2108751>.
9. Brynjolfsson E., McAfee A. The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies. New York : W.W. Norton & Company, 2014. 320 p. <https://doi.org/10.1080/00332747.2015.1105632>.
10. Bessen J.E. AI and Jobs: The Role of Demand. *Technology & Policy Research Initiative, BU School of Law*. 2019. P. 17–46. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3078715>.
11. Чабанюк Ю., Нікітін А., Хімка У. Асимптотичний аналіз складних еволюційних систем з марковським та напівмарковським перемиканням із використанням апроксимаційних схем : монографія. Wiley-ISTE, 2020. 225 с.

References

1. Frey, C.B., & Osborne, M.A. (2017). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? *Technological Forecasting and Social Change*, 114, 254–280. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.019> [in English].

2. Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2019). Automation and new tasks: How technology displaces and reinstates labor. *Journal of Economic Perspectives*, 33 (2), 3–30. <https://doi.org/10.3386/w25684> [in English].
3. Qamar, A., Hall, M., & Lobo, S. (2020). The impact of artificial intelligence on labor markets and employment: A systematic review. *International Journal of Information Management*, 54, 102–135 [in English].
4. Shen, Y., & Zhang, X. (2024). The impact of artificial intelligence on employment: The role of virtual agglomeration. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11 (122). <https://doi.org/10.1057/s41599-024-02647-9> [in English].
5. Obasi, C. (2024). Dynamics of an AI-Driven Mathematical Model of Some Learning Theories. *Journal of Learning Theory and Methodology*, 5 (1), 32–40. <https://doi.org/10.17309/jltm.2024.5.1.05> [in English].
6. García-Martínez, I., Fernández-Batanero, J.M., Fernández-Cerero, J., & León, S.P. (2023). Analysing the Impact of Artificial Intelligence and Computational Sciences on Student Performance: Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of New Approaches in Educational Research*, 12 (1), 171–197. <https://doi.org/10.7821/naer.2023.1.1240> [in English].
7. Del Rio-Chanona, R.M., Mealy, P., Pichler, A., Lafond, F., & Farmer, J. D. (2021). Occupational mobility and automation: A data-driven network model. *Journal of The Royal Society Interface*, 18 (174), 20210133. <https://doi.org/10.1098/rsif.2020.0898> [in English].
8. Hutter, C., & Weber, E. (2023). Labour market effects of wage inequality and skill-biased technical change. *Economic Journal*, 134 (1), 55–89. <https://doi.org/10.1080/00036846.2022.2108751> [in English].
9. Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. New York: W.W. Norton & Company. <https://doi.org/10.1080/00332747.2015.1105632> [in English].
10. Bessen, J.E. (2019). AI and Jobs: The Role of Demand. *Technology & Policy Research Initiative, BU School of Law*. 17–46. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3078715> [in English].
11. Chabanyuk, Y., Nikitin, A., & Khimka, U. (2020). Asymptotychnyi analiz skladnykh evoliutsiinykh system z markovskym ta napivmarkovskym peremykanniam iz vykorystanniam aproksymatsiinykh skhem [Asymptotic Analyses for Complex Evolutionary Systems with Markov and Semi-Markov Switching Using Approximation Schemes]: *Monohrafiia*. Wiley-ISTE. [in Ukrainian].

Перцов Андрій Сергійович – к.ф.-м.н, доцент кафедри математичного моделювання Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. E-mail: a.pertsov@chnu.edu.ua, ORCID: 0000-0002-2434-3652.

Сачовська Віталіна Андріївна – магістр кафедри математичного моделювання Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. E-mail: sachovskavita@gmail.com, ORCID: 0009-0004-1046-7242

Pertsov Andriy Serhiyovych – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor at the Department of Mathematical Modeling of the Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University. E-mail: a.pertsov@chnu.edu.ua, ORCID: 0000-0002-2434-3652.

Sachovska Vitalina Andriivna – Master's Student at the Department of Mathematical Modeling of the Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University. E-mail: sachovskavita@gmail.com, ORCID: 0009-0004-1046-7242.