

Cite: Zgurovsky, Michael (2026). Shtuchnyi intelekt, instytutsiina vrazlyvist i demohrafichni ryzyky Ukrainy [Artificial Intelligence, Institutional Vulnerability, and Demographic Risks of Ukraine]. *Demo hrafiia ta sotsialna ekonomika — Demography and Social Economy*, 1 (63), 3—25.

УДК 314.1:004.8:330.35
JEL Classification: J11, O15

МИХАЙЛО ЗГУРОВСЬКИЙ, академік НАН України
науковий керівник навчально-наукового комплексу
«Інститут прикладного системного аналізу»
03056, Україна, м. Київ, Берестейський проспект, 37
E-mail: zgurovsky.michael@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5896-7466
Google Scholar: WwKYJlgAAAAJ
Scopus: 6506327117
Researcher ID: AАН-5294-2020

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, ІНСТИТУЦІЙНА ВРАЗЛИВІСТЬ І ДЕМОГРАФІЧНІ РИЗИКИ УКРАЇНИ

У статті проаналізовано вплив розвитку штучного інтелекту (ШІ) на соціально-економічні та демографічні процеси в умовах цифрової трансформації та зростання глобальної конкуренції за людський капітал. Показано, що поширення ШІ супроводжується не лише зростанням продуктивності, а й посиленням соціальних ризиків, зокрема структурних зрушень на ринку праці та селективної міграції працездатного населення. Метою статті є аналіз впливу розвитку ШІ на соціально-економічні та демографічні процеси, а також обґрунтування можливостей використання його інструментів для дослідження, моніторингу та раннього попередження демографічних ризиків на основі оцінювання інституційної вразливості та міграційної динаміки в Україні. Особливу увагу приділено демографічній динаміці України у 1991—2025 рр. у контексті інституційної вразливості держави. Новизна статті полягає в обґрунтуванні ролі ШІ не лише як чинника технологічного прогресу, але й інструменту системного аналізу та моніторингу демографічних процесів; формалізації взаємозв'язку між демографічними процесами та інституційною вразливістю з використанням індикаторів Індексу недієдатності держав (Fragile States Index, FSI), з акцентом на показник

- © Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2026. Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)
© Publisher PH «Akadempriodyka» of the NAS of Ukraine, 2026. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

зовнішніх міграцій і відтік мізків; кількісному підтвердженні статистично значущого зв'язку між зростанням інституційної вразливості та масштабами міграційного відтоку; розробленні концептуальних засад ШІ-орієнтованих систем раннього попередження демографічних і соціально-економічних ризиків. Застосовано ШІ-орієнтований аналіз як поєднання класичних економетричних моделей з методами машинного навчання для виявлення нелінійних і порогових ефектів, часових лагів і структурних зламів у демографічній динаміці; аналіз часових рядів; кореляційно-регресійне моделювання; інституційний та системний підходи. Емпіричну базу становлять міжнародні статистичні дані та індекси, як-от показники міграції, демографічного тиску та інституційної вразливості. На основі Індексу вразливості держав (FSI) з акцентом на показник зовнішніх міграцій і відтоку мізків (E3) здійснено ШІ-орієнтований аналіз взаємозв'язку між інституційними умовами та міграційними процесами. Отримані результати свідчать про нелінійний і кумулятивний характер міграційного відтоку, що різко посилюється після досягнення критичних рівнів інституційної вразливості. Обґрунтовано доцільність використання інструментів ШІ для моніторингу та раннього попередження демографічних ризиків і підтримки превентивної демографічної та соціально-економічної політики. Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробленням інтегрованих ШІ-орієнтованих платформ моніторингу демографічної динаміки, здатних у режимі реального часу поєднувати інституційні, економічні та міграційні індикатори. Практичне впровадження таких систем може стати основою для формування превентивної демографічної та соціально-економічної політики, спрямованої на зниження інституційної вразливості та мінімізацію втрат людського капіталу. У стратегічному вимірі це відкриває можливості переходу від реактивного управління демографічними кризами до проактивної моделі забезпечення соціальної стійкості та відновлення України.

Ключові слова: штучний інтелект, демографічні процеси, інституційна вразливість, міграція, людський капітал, соціальна стійкість, ШІ-орієнтований аналіз.

Постановка проблеми і актуальність. Стрімкий розвиток ШІ упродовж останніх 10—15 років перетворив його на системний чинник соціально-економічних і демографічних трансформацій, що впливає на структуру ринку праці, мобільність населення та механізми відтворення людського капіталу. Цей процес супроводжуваний формуванням нових ризиків, зокрема посиленням селективної міграції працездатного та висококваліфікованого населення, загостренням демографічних дисбалансів і зростанням інституційної вразливості. Для України ці глобальні тенденції накладаються на тривалу демографічну кризу, різко загострену війсьними та геополітичними шоками після 2014 р. і особливо після широкомасштабного вторгнення РФ 2022 р., що зумовлює актуальність системного аналізу взаємозв'язку між розвитком ШІ, демографічними процесами та інституційною стійкістю держави.

Метою статті є аналіз впливу розвитку ШІ на соціально-економічні та демографічні процеси, а також обґрунтування можливостей використання його інструментів для дослідження, моніторингу та раннього попередження демографічних ризиків на основі оцінювання інституційної вразливості та міграційної динаміки в Україні у 1991—2025 рр.

Новизна статті полягає в обґрунтуванні ролі ШІ не лише як чинника технологічного прогресу, але й інструменту системного аналізу та моніторингу демографічних процесів; формалізації взаємозв'язку між демографічними процесами та інституційною вразливістю з використанням індикаторів Індексу недіездатності держав (*FSI*), з акцентом на показник зовнішніх міграцій і відтік мізків; кількісному підтвердженні статистично значущого зв'язку між зростанням інституційної вразливості та масштабами міграційного відтоку; розробленні концептуальних засад ШІ-орієнтованих систем раннього попередження демографічних і соціально-економічних ризиків.

Методи дослідження. У дослідженні використано ШІ-орієнтований аналіз як поєднання класичних економетричних моделей з методами машинного навчання для виявлення нелінійних і порогових ефектів, часових лагів і структурних зламів у демографічній динаміці; аналіз часових рядів; кореляційно-регресійне моделювання; інституційний та системний підходи. Емпіричну базу становлять міжнародні статистичні дані та індекси, як от показники міграції, демографічного тиску та інституційної вразливості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика впливу ШІ на соціально-економічні процеси активно розробляється у працях міжнародних організацій та провідних наукових центрів [1—29]. У дослідженнях Організації економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР) та Всесвітнього економічного форуму (*World Economic Forum, WEF*) [1, 2] розглянуто вплив автоматизації й алгоритмізації на продуктивність, структуру зайнятості та попит на навички, а також ризики поляризації ринку праці та зростання нерівності. Аналітичні звіти Глобального інституту *McKinsey (McKinsey Global Institute, MGI)* [6] акцентують увагу на економічному потенціалі генеративного ШІ та його наслідках для трансформації професій і бізнес-моделей.

Теоретичні засади аналізу алгоритмічних і нелінійних процесів закладено у працях Я. Лекуна (Y. LeCun), Т. Гасті (T. Hastie), Я. Гудфелоу (I. Goodfellow), Дж. Перла (J. Pearl), Д. Маккензі (D. Mackenzie) та ін. [20—23, 28], які сформувавши сучасний інструментарій дослідження складних соціально-економічних систем і причинно-наслідкових зв'язків.

Демографічний вимір соціально-економічних трансформацій ґрунтовно представлений у роботі Е. М. Лібанової (E. Libanova) [9], а також у колективних дослідженнях Інституту демографії та досліджень якості життя імені Михайла Птухи НАН України [14]. Зокрема, наведено експертні оцінки чисельності населення України на підконтрольних територіях, що фіксують масштаби депопуляції, міграційного відтоку та втрат людського капіталу внаслідок воєнних і соціально-економічних потрясінь.

Аналіз наявних публікацій свідчить, що попри значний масив досліджень з економічних і технологічних аспектів розвитку ШІ, демографічний

вимір його впливу, а також взаємозв'язок між демографічними процесами та інституційною вразливістю держави залишаються недостатньо систематизованими. Запропоноване дослідження присвячене більш детальному вивченню цієї проблеми шляхом поєднання демографічного, інституційного та інструментального підходів із застосуванням сучасних інструментів ШІ та аналізу даних. У статті автор розглядає ШІ, по-перше, як глобальний соціально-економічний чинник, що впливає на міграцію та відтворення людського капіталу, і, по-друге, як інструмент аналітичного дослідження демографічних процесів.

Виклад основного матеріалу.

Еволюція ШІ у 2010—2025 рр.

Протягом останніх десяти—п'ятнадцяти років розвиток ШІ пройшов якісно новий етап, трансформувавшись із набору спеціалізованих алгоритмів та експертних систем в універсальну інфраструктурну технологію, що визначає логіку функціонування сучасних соціально-економічних систем. Визначальну роль у цьому процесі відіграла синергія кількох чинників [1—5]. Першим стало експоненційне зростання обчислювальних ресурсів. Початковий етап (2010—2014 рр.) характеризувався домінуванням класичних методів машинного навчання та перших глибоких нейронних мереж. Після 2015 р. відбувся стрімкий прорив, пов'язаний із розвитком високопродуктивних обчислювальних архітектур — графічних процесорів (*Graphics Processing Units, GPU*), тензорних процесорів (*Tensor Processing Units, TPU*) та спеціалізованих нейронних прискорювачів. За оцінками міжнародних досліджень, у період 2000—2025 рр. продуктивність обчислювальних систем для задач ШІ зросла більш ніж у 10^6 — 10^7 разів, що забезпечило можливість навчання моделей із сотнями мільярдів і трильйонами параметрів у терміни, які раніше здавалися нереальними, причому з відносно меншими фінансовими витратами [2, 3].

Другим ключовим чинником є доступність великих масивів даних. В епоху соціальних мереж, наукових баз і сенсорних систем інтернету речей (*Internet of Things, IoT*) щодня створюються гігантські обсяги цифрової інформації, що стали «паливом» для сучасних моделей ШІ, забезпечуючи їх точність, гнучкість та універсальність. Загальний обсяг цифрових даних у світі за цей період зріс майже на два порядки — від 2 ZB у 2010 р. до понад 180 ZB у 2025 р. (1 ZB = 10^{21} байтів) [3].

Не менш важливим чинником стали алгоритмічні інновації — від генеративно-змагальних мереж (2014 р.), архітектури *Transformer* (2017 р.), дифузійних моделей (2020—2021 рр.) до сучасних мультимодальних моделей 2025 р., які дають змогу генерувати не лише текст і зображення, а й забезпечувати глибоку інтеграцію різних типів даних (аудіо, відео, коду) [3].

Нарешті, потужним каталізатором прогресу стала конкуренція між технологічними гігантами — *Google, OpenAI, Microsoft, Meta, Huawei, NVIDIA,*

Palantir, Anduril та іншими. Це змагання не тільки прискорює впровадження інновацій, але й стимулює поширення відкритих моделей та інструментів, що значно пришвидшує розвиток галузі [2].

Сукупність цих чинників суттєво розширила масштаби застосування ШІ у виробництві, управлінні та соціальних комунікаціях. Технологічні прориви прискорювались за рахунок різкого зростання інвестицій у ШІ. За оцінками міжнародних організацій, у 2025 р. вони досягли приблизно 750—800 млрд дол. США, продемонструвавши майже трикратне зростання порівняно з кінцем 2010-х рр. [5].

У таблиці 1 наведено ключові кількісні показники, що відображають безпрецедентну швидкість і масштаб розвитку ШІ у 2010—2025 рр., що має безпосередні наслідки для демографічних процесів та викликів. Експоненційне зростання обчислювальної потужності нових поколінь процесорів та обсягів глобальних цифрових даних створило умови для радикальної трансформації структури зайнятості й попиту на працю, що посилює селективну міграцію висококваліфікованих кадрів та поглиблює відтік людського капіталу з країн із нижчим рівнем технологічного розвитку. Концентрація понад 85 % глобальних інвестицій у ШІ в США, Китаї та ЄС формує стійкі центри тяжіння для молодого та освіченого населення, сприяючи зростанню міжнародної та внутрішньої міграції.

Зростання частки ШІ-патентів і п'ятикратне збільшення кількості наукових публікацій свідчать про інтенсифікацію конкуренції за інтелектуа-

Таблиця 1. Ключові кількісні характеристики розвитку ШІ у 2010—2025 рр.

| Показник | Орієнтовне значення |
|---|--|
| Зростання обчислювальної потужності процесорів для ШІ | ≈ 10 ⁶ —10 ⁷ разів (2000—2025 рр.) |
| Обсяг глобальних цифрових даних | ≈ 2 ZB у 2010 р.; >180 ZB у 2025 р. |
| Глобальні інвестиції у ШІ | ≈755— 800 млрд дол. США (2025 р.) |
| Частка США, Китаю та ЄС у глобальних інвестиціях | >85 % |
| Зростання використання ШІ в бізнесі | ≈300—350 % за 2019—2025 рр. |
| Кількість дата-центрів у світі | ≈10—12 тис. (зростання у ~2—3 раза з 2010 р.) |
| Частка ШІ-патентів у світовому патентному портфелі | ≈25—30 % (2025 р.) |
| Зростання кількості наукових публікацій з ШІ | ≈ в 5 разів за 2010—2025 рр. |
| Частка ШІ у створенні нових робочих місць | ≈20 % (оцінка до 2030 р.) |
| Обсяг ринку генеративного ШІ | ≈65—70 млрд дол. США (2025 р.) |

Джерело: узагальнено за [1—5].

льний капітал, що безпосередньо впливає на демографічну структуру робочої сили та відтворення людського потенціалу. Водночас автоматизація та алгоритмізація економічних процесів, відображена у швидкому зростанні використання ІІІ в бізнесі, посилює ризики витіснення працівників старших вікових груп, знижуючи їхню здатність адаптуватись до нових вимог ринку праці та загострюючи проблему демографічного старіння.

Вплив розвитку ІІІ на економіку, ринок праці та людський капітал

Розвиток ІІІ суттєво підвищує продуктивність і водночас змінює структуру попиту на працю та вимоги до людського капіталу [1, 5]. За оцінками Глобального інституту *McKinsey*, лише генеративний ІІІ потенційно здатний додавати 2,6—\$4,4 трлн дол. щорічної вартості у глобальній економіці (сукупно за ідентифікованими кейсами застосування), що підкреслює масштаб можливого «продуктивнісного стрибка» в управлінні, сервісах, маркетингу, програмуванні та підтримці клієнтів [6]. У системному вимірі це означає зростання ролі даних, алгоритмічного управління та автоматизації інтелектуальних задач, які раніше вважали суто «людськими» функціями [3].

Разом з тим вплив ІІІ на ринок праці набуває форми не стільки одномоментного скорочення зайнятості, скільки масштабного «перерозподілу задач» і структурних змін у професіях. Згідно з оцінками ОЕСР [2], з урахуванням ефектів ІІІ професії з найвищим ризиком автоматизації становлять близько 27 % зайнятості, а три з п'яти працівників висловлюють занепокоєння щодо можливості втрати роботи через ІІІ в перспективі 10 років. Але ОЕСР фіксує і «позитивний канал» впливу: 63 % опитаних працівників у секторах виробництва та фінансів повідомляли, що використання ІІІ підвищило задоволення від роботи через зменшення частки небезпечних або монотонних задач. Це підтверджує тезу про двовекторний ефект: підвищення продуктивності та якості праці для частини працівників паралельно зі зростанням ризиків витіснення з професії для інших [1].

На рівні глобальних очікувань роботодавців Всесвітній економічний форум (*WEF*) оцінює, що у 2023—2027 рр. відбудеться структурна «турбулентність» на ринку праці: із 673 млн робочих місць, охоплених вибіркою, прогнозується 69 млн нових робочих місць і 83 млн скорочених, що відповідає чистому зниженню на 14 млн ($\approx 2\%$) та перетворенню близько 23 % робочих місць [2]. Ці дані інтерпретуються як аргумент на користь того, що ключовим результатом цифрової трансформації є перепрофілювання зайнятості, а не «лінійне» зростання або падіння її обсягів. *WEF* підкреслює, що роботодавці очікують істотних змін у компетенціях: значна частка працівників потребуватиме підвищення кваліфікації та перенавчання, причому ризики нерівного доступу до таких можливостей зростають [2].

Очевидно, що ці зрушення безпосередньо змінюють політику розвитку людського капіталу. Зростає попит на комбінацію: цифрових і аналітичних

навичок (робота з даними, базове розуміння алгоритмів, кібербезпека); «людських» навичок високого рівня (критичне мислення, комунікація, управління, креативність) та здатності до навчання впродовж життя [1, 2]. ОЕСР додатково фіксує, що двоє з п'яти роботодавців розглядають дефіцит ШІ-компетенцій як істотний бар'єр для впровадження ШІ на робочих місцях: це переводить проблему з площини «технологічної доступності» у площину кадрового потенціалу та якості освіти [1]. В умовах, коли застосування ШІ у бізнесі швидко стає «ною нормою» (зокрема, за даними Стенфордського університету (*Stanford AI Index*) [3], частка організацій, що використовують ШІ, зростає до 55 % у 2023 р. після 50 у 2022 р. та близько 20 % у 2017 р.), розрив у доступі до компетенцій перетворюється на важливий фактор соціально-економічної поляризації.

Розвиток ШІ радикально змінює роль освіти, перетворюючи її з інструменту підготовки до окремих професій на ключовий механізм підтримання адаптивності людського капіталу в умовах швидкої трансформації ринку праці. За оцінками *WEF* [2], понад 60 % працівників у світі потребуватимуть навчання або перекваліфікації до 2027 р., натомість значна частина з них не матиме доступу до відповідних освітніх можливостей (це підвищує ризик структурної сегментації зайнятості). Дані ОЕСР свідчать, що близько 27 % робочих місць у країнах ОЕСР належать до груп із найвищим ризиком автоматизації, причому найбільш уразливими є працівники старших вікових груп і особи з низьким рівнем цифрових компетенцій [1]. Для України ці глобальні виклики істотно посилюються наслідками війни: за оцінками Світового банку, понад 30 % українських студентів та молодих фахівців у 2022—2023 рр. були вимушені перервати або змінити освітні траєкторії, що створює довготривалі ризики втрати людського капіталу та посилення міграційного відтоку [7]. У цьому контексті інвестиції в безперервну освіту, цифрову грамотність і перекваліфікацію набувають стратегічного значення як інструмент збереження людського потенціалу та підвищення соціальної стійкості України в умовах післявоєнного відновлення.

У табл. 2 наведено чинники, які свідчать, що розвиток ШІ має системний, багатомірний вплив: поряд із зростанням економічної продуктивності він посилює структурні дисбаланси на ринку праці та загострює проблему відтворення людського капіталу, що для України, з урахуванням демографічних і воєнних втрат, набуває критичного значення для соціальної стійкості.

Отже, у 2010—2025 рр. ШІ одночасно формує потенціал підвищення продуктивності та економічної вартості і загострює структурні дисбаланси на ринку праці через нерівномірність заміщення задач, концентрацію високотехнологічних секторів і диференціацію доступу до освіти та перенавчання. Для демографічно вразливих країн, до яких належить Україна, це

Таблиця 2. Основні чинники впливу розвитку ШІ на економіку, ринок праці, людський капітал та демографічні наслідки (2010—2025 рр.)

| Сфера впливу | Ключовий чинник | Прояви та кількісні оцінки | Економічні / соціальні наслідки | Демографічні наслідки |
|----------------------------|----------------------------|---|---|--|
| Економіка | Зростання продуктивності | Потенційний внесок генеративного ШІ: 2,6—4,4 трлн дол щорічно у глобальній економіці | Прискорення економічного зростання; концентрація доданої вартості | Посилення селективної міграції висококваліфікованих кадрів; регіональна асиметрія людського капіталу |
| Економіка | Алгоритмізація управління | Масове впровадження ШІ у фінансах, маркетингу, IT-секторі та сервісах | Трансформація бізнес-моделей; зростання ролі цифрових платформ | Зміна професійної структури зайнятості; зростання попиту на молодих фахівців |
| Ринок праці | Автоматизація задач | ≈27 % зайнятості — втрата робочих місць; 3 з 5 працівників занепокоєні | Поляризація зайнятості; зростання нестабільності | Витіснення старших вікових груп; зростання довготривалої безробітності |
| Ринок праці | Структурна турбулентність | 2023—2027 рр.: 69 млн нових і 83 млн скорочених робочих місць; ≈23 % трансформуються | Масове перепрофілювання; зростання потреби в перекваліфікації | Посилення міграційної мобільності працездатного населення |
| Ринок праці | Покращення якості праці | 63 % працівників у ранніх секторах адаптерах виказують задоволення | Зменшення частки небезпечної та монотонної праці | Подовження тривалої активності для частини працівників |
| Людський капітал | Дефіцит ШІ-компетенцій | 2 з 5 роботодавців вважають нестачу навичок бар'єром для професійної діяльності | Обмеження реалізації продуктивного ефекту ШІ | Ризик деградації людського капіталу в країнах-донорах фахівців |
| Людський капітал | Зміна вимог до навичок | Зростання попиту на цифрові та міждисциплінарні компетенції | Переорієнтація освітніх систем | Посилення демографічної нерівності за віком і освітою |
| Освіта та людський капітал | Масова перекваліфікація | Понад 60 % працівників потребують перенавчання до 2027 р. | Ризик сегментації доступу до освіти | Відтік молоді та фахівців без доступу до перекваліфікації |
| Український контекст | Освітні втрати та міграція | Понад 35—40 % студентів і молодих фахівців перервали освітні траєкторії (2022—2025 рр.) | Зниження потенціалу відновлення економіки | Довготривале скорочення відтворення людського капіталу |

Джерело: складено автором за [1—3, 5—7].

означає підвищення значущості політики розвитку людського капіталу як «буфера» між технологічними змінами та соціальною стійкістю [1, 2].

Проаналізовані тенденції свідчать, що розвиток ШІ дедалі більше виходить за межі суто технологічного й економічного впливу, трансформуючись у системний драйвер демографічних змін, який впливає на міграційні потоки, якість людського капіталу та вікову структуру населення. Алгоритмізація економіки, зростання ролі знаннево-інтенсивних секторів і концентрація інновацій у глобальних технологічних центрах посилюють конкуренцію за людський капітал та підвищують міграційну мобільність, передусім серед молоді й висококваліфікованих фахівців [1, 8].

Системний взаємозв'язок між демографічними процесами та інституційною вразливістю України

На початку 1990-х рр. Україна з населенням близько 52 млн осіб належала до країн з одним із найвищих у Європі рівнів освіченості та значним науково-дослідним потенціалом [9]. Частка населення з повною середньою та вищою освітою перевищувала 80 %, а чисельність зайнятих у науці й інженерно-технічних галузях становила понад 1,5 млн осіб, що забезпечувало конкурентні позиції у сферах, які сьогодні є ключовими для розвитку ШІ — математиці, кібернетиці, фізиці, інженерії та оборонно-космічних технологіях.

Водночас уже з перших років незалежності в Україні почали формуватись негативні демографічні тенденції. За даними Світового банку, Департаменту ООН з економічних і соціальних питань, Інституту демографії та досліджень якості життя імені Михайла Птухи НАН України та інших джерел, упродовж 1991—2024 рр. чисельність населення України скоротилась до 38—31,5 млн осіб, тобто на 14—20 млн, або на 27—39 % [9—11]. Це скорочення мало хвилеподібний характер і відображало різні етапи соціально-економічної трансформації.

Ключові демографічні хвилі України у 1991—2025 рр. та фундаментальні чинники, що їх зумовлювали, узагальнено в табл. 3. Вона відображає поєднання трансформаційної кризи 1990-х рр., деіндустріалізації та структурних зрушень 2000-х рр., воєнних і геополітичних шоків після 2014 р., а також різке загострення демографічних процесів у період повномасштабної агресії РФ 2022—2025 рр.

У табл. 3 наведена періодизація демографічних хвиль України у 1991—2025 рр., яка засвідчує хвилеподібний, але кумулятивно негативний характер демографічної динаміки, що формується під впливом послідовних економічних, соціальних і геополітичних шоків. Кожна з виділених хвиль не лише зумовлювала пряме скорочення чисельності населення, а й поглиблювала структурні дисбаланси — старіння населення, звуження ядра висококваліфікованої робочої сили та зростання міграційної мобільності працездатних і освічених груп.

Найпоказовішою є остання хвиля (2022—2025 рр.), де воєнні втрати та масова вимушена міграція накладаються на глобальну цифрову трансформацію та розвиток ШІ. Це посилює селективний відтік людського капіталу, насамперед молоді, інженерів і науковців, і трансформує демографічну кризу з кількісної у якісну.

Сукупно економічні потрясіння 1990-х, деіндустріалізація 2000-х та війна 2014—2025 рр. у поєднанні з глобальною цифровою трансформацією і розвитком ШІ сформували в Україні гостру системну демографічну кризу, яка становить довгострокову загрозу для соціально-економічного розвитку та національної безпеки.

Для України, що у 1991—2025 рр. зазнала масштабного демографічного спаду, особливо актуальним є дослідження багатofакторності і нелінійності зв'язків між економічною динамікою, якістю інституцій, міграційними процесами та відтворенням людського капіталу [17]. Саме в цьому контексті доцільним є залучення інституційного виміру аналізу.

Таблиця 3. Демографічні хвилі в Україні у 1991—2025 роках та ключові чинники

| Період | Ключовий контекст | Зміна чисельності населення | Міграційні процеси | Структурні демографічні наслідки | Джерела |
|-----------|--|------------------------------------|--|--|----------|
| 1991—1999 | Трансформаційна криза, розпад СРСР | –3,5...–4,5 млн осіб | Масова трудова еміграція (ЄС, РФ) | Падіння народжуваності Сумарний коефіцієнт народжуваності (Total Fertility Rate, TFR) $\approx 1,1$ – $1,2$), зростання смертності | [10, 11] |
| 2000—2008 | Деіндустріалізація, перехід до сировинної моделі економіки | –1,5...–2,0 млн осіб | Відтік висококваліфікованих кадрів (2,5—3,5 млн) | Скорочення інженерно-наукового ядра, старіння робочої сили | [10] |
| 2009—2013 | Глобальна фінансова криза, посткризова стагнація | Стабілізація зі спадною тенденцією | Переважно економічна міграція | Стійкий від'ємний природний приріст | [10, 11] |
| 2014—2021 | Анексія Криму, початок війни на Сході України | –2,0...–2,5 млн осіб | Внутрішнє переміщення та зовнішня міграція | Прискорене старіння, регіональні дисбаланси | [11, 12] |
| 2022—2025 | Повномасштабна війна + глобальний розвиток ШІ | –6,5...–8,5 млн осіб (за кордоном) | Міграція жінок, молоді, фахівців | Втрати людського капіталу; природне скорочення в обсягах 400–450 тис./рік | [9–13] |

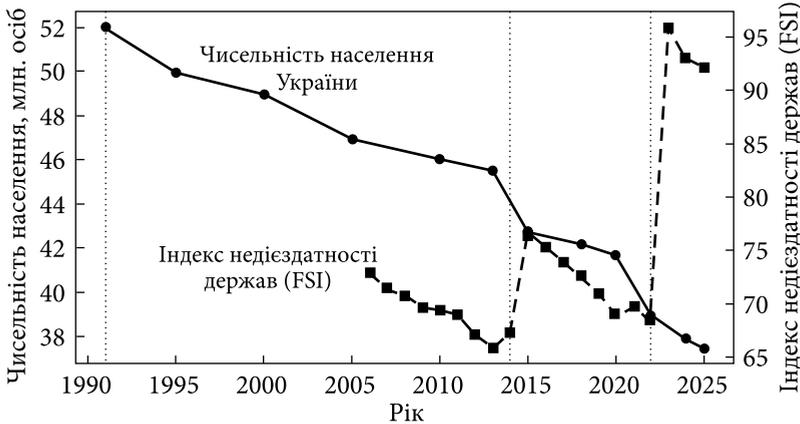


Рис. 1. Динаміка чисельності населення та державної вразливості України із позначенням ключових соціально-економічних зламів (1991, 2014, 2022 рр.)

Джерело: складено за [9—11, 14, 18].

З метою системної оцінки взаємозв'язків між інституційною вразливістю й демографічною динамікою скористаємось Індексом державної (інституційної) вразливості (*Fragile States Index, FSI*), який щорічно (від 2006 р.) розраховується для 179—180 країн світу американською організацією Фонд Миру (*Fund for Peace*) і відображає рівень невіддатності конкретної держави за сукупністю 12 соціальних, економічних, політичних, демографічних індикаторів та індикаторів соціальної єдності (когезійних індикаторів) [18].

На рис. 1 наведено залежності чисельності населення та інституційної вразливості України на часовому інтервалі 1991—2025 рр. із позначенням ключових соціально-економічних зламів (1991, 2014, 2022) [9—11, 14, 18]. Залежності вказують, що у 1991—2013 рр. поступове зменшення населення супроводжувалось відносно помірними коливаннями *FSI*, що відображало хронічні, але не критичні інституційні проблеми. Переломні моменти 2014 р. і особливо 2022 р. характеризуються різким прискоренням демографічного спаду на тлі стрибкоподібного погіршення *FSI*, що свідчить про кумулятивний ефект воєнних і геополітичних шоків: інституційна нестабільність не лише відображає кризу, а й посилює демографічні втрати внаслідок міграції та зниження відтворювального потенціалу населення.

У контексті демографічного аналізу ключове значення має один з 12 індикаторів *FSI*: «Е3: Зовнішні міграції і відтік мізків (*Human Flight and Brain Drain*)», що безпосередньо фіксує масштаби відтоку населення та людського капіталу внаслідок економічного занепаду, корупції, слабкості інституцій і дефіциту можливостей для самореалізації [18, 19]. Для України значення цього індикатора упродовж останніх років набули критичного характеру (табл. 4): у 2025 р. Е3 становив близько 8,2 бала з 10 (як порівняти,

у 2013 р. він становив 6,6 а у 2021 р. — 7,8 бала), що відображає високий рівень міграційного тиску, натомість загальний індекс *FSI* зріс із 68,6 у 2022 р. до 95,9 у 2023 р. та залишився на надвисокому рівні 93,1—92,0 у 2024—2025 рр. відповідно. [18]. Це свідчить про поглиблення системної вразливості держави, одним із ключових проявів якої є демографічний відтік.

Таблиця 4. Група демографічних індикаторів України Індексу недіездатності держав (FSI)

| Рік | Місце у списку FSI | Загальний бал (FSI) | ЕЗ: Зовнішні міграції і витік мізків | Чиста міграція тис. осіб | Легітимність держави | Демографічний тиск | Біженці та внутрішньо переміщені особи (ВПО) | Зовнішні втручання |
|------|--------------------|---------------------|--------------------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------|--|--------------------|
| 2006 | 86 | 72,9 | 5,8 | -50 | 7,0 | 7,0 | 3,8 | 7,0 |
| 2007 | 105 | 71,4 | 5,9 | -55 | 7,5 | 6,5 | 3,6 | 6,0 |
| 2008 | 108 | 70,8 | 6,0 | -60 | 7,3 | 6,5 | 3,2 | 6,3 |
| 2009 | 110 | 69,7 | 6,1 | -65 | 7,2 | 6,1 | 3,0 | 6,6 |
| 2010 | 109 | 69,5 | 6,2 | -70 | 7,2 | 5,6 | 3,1 | 6,6 |
| 2011 | 110 | 69,0 | 6,3 | -75 | 7,4 | 5,3 | 3,1 | 6,8 |
| 2012 | 113 | 67,2 | 6,5 | -90 | 7,7 | 5,0 | 2,9 | 6,5 |
| 2013 | 117 | 65,9 | 6,6 | -110 | 7,8 | 4,7 | 3,2 | 6,2 |
| 2014 | 113 | 67,2 | 6,8 | -130 | 8,0 | 4,5 | 3,4 | 6,3 |
| 2015 | 84 | 76,3 | 7,0 | -150 | 8,5 | 4,5 | 4,4 | 9,1 |
| 2016 | 85 | 75,5 | 7,1 | -160 | 8,4 | 4,4 | 4,3 | 8,8 |
| 2017 | 90 | 74,0 | 7,2 | -170 | 8,2 | 4,2 | 4,6 | 8,6 |
| 2018 | 86 | 72,6 | 7,3 | -180 | 7,9 | 3,9 | 4,9 | 8,3 |
| 2019 | 91 | 71,0 | 7,4 | -190 | 7,6 | 3,6 | 4,7 | 8,4 |
| 2020 | 92 | 69,0 | 7,6 | -210 | 7,1 | 3,3 | 4,4 | 8,1 |
| 2021 | 91 | 69,8 | 7,8 | -230 | 6,8 | 4,3 | 4,2 | 7,8 |
| 2022 | 92 | 68,6 | 8,2 | -350 | 6,5 | 4,8 | 4,2 | 7,5 |
| 2023 | 18 | 95,9 | 8,5 | -500 | 6,4 | 7,3 | 10,0 | 10,0 |
| 2024 | 19 | 93,1 | 8,4 | -480 | 6,3 | 7,1 | 9,5 | 9,8 |
| 2025 | 20 | 92,0 | 8,2 | -470 | 6,0 | 7,0 | 9,0 | 9,3 |

Примітка: індикатори *FSI* вимірюються за шкалою 0—10, де вищі значення відповідають вищій вразливості. Визначення індикаторів: *зовнішні міграції* — виїзд населення за кордон як індикатор втрати людського капіталу через інституційну та безпекову нестабільність; *чиста міграція* — різниця між міграційним притоком і відтоком населення за визначений період; *демографічний тиск* — сукупний негативний вплив депопуляції, старіння та міграційного відтоку на стійкість суспільства; *легітимність держави* — рівень довіри до державних інститутів і ефективності управління; *зовнішні впливи* — ступінь зовнішнього втручання або залежності держави у внутрішніх процесах. Менші значення загального бала *FSI* (0—120) і більш низькі позиції у рейтингу є кращими для країни.

Джерело: складено автором за [18, 23, 24, 29].

Застосування методів аналізу часових рядів, економетричного моделювання та інструментів ШІ до даних табл. 4 дає змогу перейти від описового аналізу демографічних та інституційних індикаторів до кількісного виявлення структурних зламів, нелінійних ефектів і випереджальних взаємозв'язків.

Використання векторної авторегресійної моделі першого порядку (*Vector Autoregression, VAR*) [21, 27] для спільного аналізу динаміки *FSI* та індикатора *E3* і демографічних показників (чиста міграція, демографічний тиск) свідчить про стійкий випереджальний вплив державної вразливості на подальше погіршення міграційної динаміки. Оцінки *VAR*-моделі вказують, що зростання *FSI* та *E3* на попередніх періодах статистично значуще підвищує ймовірність посилення від'ємного міграційного балансу в наступні роки, що підтверджує кумулятивний характер демографічного спаду як результату тривалого накопичення інституційних дисбалансів.

Для ідентифікації структурного зламу, пов'язаного з повномасштабним вторгненням, застосування регресійної моделі з індикаторною змінною для 2022 р. [27] уможливило відокремити довгостроковий інституційний ефект від разового воєнного шоку. Результати регресійного аналізу показують, що індикатор *E3* зберігає статистично значущий негативний вплив на чисту міграцію навіть після врахування воєнного чинника. Це свідчить, що різке погіршення міграційних показників у 2022—2025 рр. не є виключно наслідком війни, а відображає реалізацію комплексу накопичених структурних проблем, зафіксованих у динаміці інституційної вразливості задовго до 2022 р.

Застосування методів градієнтного підсилення дерев рішень (*gradient boosting over decision trees*) як інструменту машинного навчання [21, 22] спроможне виявити нелінійні залежності та порогові ефекти у взаємозв'язку між індикаторами *FSI* та міграційною динамікою. Виконане моделювання показує, що після досягнення значень *E3* на рівні приблизно 7,5—8,0 бала подальше зростання цього індикатора призводить до непропорційно різкого погіршення чистої міграції. Такий пороговий ефект підтверджує, що демографічні процеси реагують на інституційну деградацію не лінійно, а за сценарієм «накопичення — зрив», що узгоджується з концепцією демографічного тиску як системного явища.

Для аналізу довгострокових залежностей і ефектів пам'яті застосування рекурентних нейронних мереж з довгою короткочасною пам'яттю (*Long Short-Term Memory, LSTM*) [20, 22] демонструє, що міграційний відтік у 2022—2025 рр. значною мірою визначається не лише поточними значеннями інституційних індикаторів, а й їх негативною динамікою у попередні десятиліття. *LSTM*-моделі фіксують кумулятивний ефект інституційної вразливості, який не повністю виявляється у лінійних моделях і пояснює, чому навіть часткове покращення окремих компонентів (зокрема індикатора легітимності держави) не приводить до швидкого відновлення демографічних показників.

У сукупності результати застосування методів VAR-аналізу, регресійно-го аналізу з індикаторною змінною та алгоритмів ШІ підтверджують, що демографічний спад в Україні має системний, нелінійний і випереджально детермінований характер. Ключовим каналом впливу державної вразливості на демографічні результати виступає індикатор ЕЗ, що обґрунтовує його використання як ядра ШІ-орієнтованих систем моніторингу та раннього попередження демографічних і соціально-економічних ризиків [16, 18—20, 25].

ШІ як інструмент дослідження демографічних процесів в Україні

Використання методів ШІ уможливило перейти від статичного опису демографічних індикаторів до динамічного аналізу та раннього попередження демографічних ризиків. Поєднання машинного навчання, аналізу часових рядів і когнітивного аналізу текстових джерел спроможне виявляти приховані нелінійні залежності, часові лаги та критичні порогові значення, після яких демографічні процеси набувають кумулятивного або лавиноподібного характеру [16, 20].

Для системного аналізу взаємозв'язків між демографічними процесами та інституційною вразливістю введемо агрегований показник демографічного тиску $D(t)$, який визначається як зважена функція ключових демографічних змінних:

$$D(t) = \omega_1 M(t) + \omega_2 N(t) + \omega_3 H(t), \quad (1)$$

де $M(t)$ — чиста міграція населення; $N(t)$ — природний приріст/скорочення населення; $H(t)$ — індекс якості людського капіталу (за освітніми здобутками та втратами); ω_i — вагові коефіцієнти [21].

Динамічна взаємодія між демографічним тиском та інституційною вразливістю може бути подана у вигляді рекурентної системи рівнянь:

$$\begin{aligned} D(t+1) &= \alpha D(t) + \beta FSI(t) + \varepsilon(t), \\ FSI(t+1) &= \gamma FSI(t) + \delta D(t) + \nu(t), \end{aligned} \quad (2)$$

де параметри α , γ відображають інерційність відповідних процесів, β , δ — взаємний вплив демографії та інституційної вразливості, а $\varepsilon(t)$, $\nu(t)$ — стохастичні збурення. Оцінювання параметрів системи (1)—(2), виявлення нелінійних ефектів і часових лагів здійснюється з використанням інструментів ШІ, зокрема методів градієнтного бустингу, штучних нейронних мереж (як-от рекурентних мереж з довгою короткочасною пам'яттю — LSTM), моделей простору станів та байєсівських підходів до динамічного оцінювання параметрів [21—23].

З метою забезпечення порівнюваності змінних у межах ілюстративної емпіричної реалізації застосуємо стандартну z — нормалізацію, після чого демографічний тиск визначається як:

$$D_{norm}(t) = \omega_1 \tilde{M}(t) + \omega_2 \tilde{N}(t) + \omega_3 \tilde{H}(t), \quad (3)$$

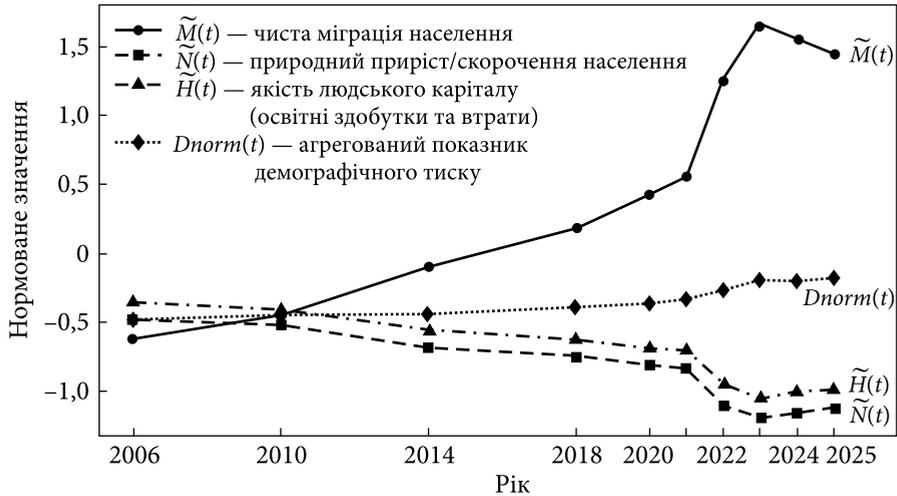


Рис. 2. Динаміка нормованих компонент демографічного тиску та агрегованого показника $Dnorm(t)$ в Україні у 2006—2025 рр.

Джерело: результати моделювання отримані автором.

де $\tilde{M}(t)$, $\tilde{N}(t)$, $\tilde{H}(t)$, — нормовані значення відповідних змінних, а вагові коефіцієнти в межах ілюстративної реконструкції прийняті рівними $w_i = 1/3$.

Ілюстративні значення нормованого показника демографічного тиску $Dnorm(t)$, наведені на рис. 2, отримані з використанням комплексу статистичних і ШІ-орієнтованих методів аналізу, що відповідає сучасній міждисциплінарній методології дослідження демографічних процесів. На першому етапі було застосовано z-нормалізацію вихідних змінних $\tilde{M}(t)$, $\tilde{N}(t)$ та $\tilde{H}(t)$ (5), що забезпечує порівнянність різновимірних показників [21, 27].

Для дослідження динаміки агрегованого показника $Dnorm(t)$ у часовому вимірі використано методи аналізу часових рядів, зокрема моделі авторегресійного типу та підходи до виявлення структурних зламів, що спроможні відокремити довготривалі тренди від різких екзогенних шоків [27]. Застосування цих методів дало змогу ідентифікувати різке прискорення зростання демографічного тиску після 2022 р. саме як структурний злам, а не як випадкову флуктуацію демографічних показників.

Для оцінки відносного внеску окремих компонент, $\tilde{M}(t)$, $\tilde{N}(t)$ та $\tilde{H}(t)$ у формування агрегованого індексу $Dnorm(t)$ застосовано методи машинного навчання пояснювального типу, зокрема градієнтне підсилення дерев рішень, яке ефективно працює з нелінійними залежностями та малими вибірками і широко використовуване у соціально-економічних дослідженнях [21]. Теоретичні засади використання таких алгоритмів ґрунтуються на сучасних підходах глибинного навчання та ансамблевого моделювання [20, 22].

Отримані результати свідчать про монотонне зростання демографічного тиску в Україні у 2006—2024 рр. із чітко вираженим прискоренням після 2022 р. (рис. 2). Міграційна компонента $\tilde{M}(t)$ відіграє роль основного короткострокового драйвера зростання $Dnorm(t)$, натомість негативний природний приріст $\tilde{N}(t)$ і деградація людського капіталу $\tilde{H}(t)$ формують довготривалу інерційну складову демографічної кризи. Така структура демографічного тиску узгоджується з оцінками міжнародних організацій щодо ролі міграції та людського капіталу в умовах воєнних і інституційних шоків [17, 25, 29].

Отже, поєднання класичних методів аналізу часових рядів з інструментами ШІ дає змогу не лише описати емпіричну динаміку демографічних показників, але й виявити приховані структурні зрушення та асиметричні реакції компонентів демографічної системи. Це створює методологічне підґрунтя для формування ШІ-орієнтованих систем моніторингу та раннього попередження демографічних ризиків, що особливо актуально для країн із підвищеною інституційною вразливістю, і насамперед для України [1, 3, 21].

З огляду на обмеженість повних зіставних щорічних даних для всіх компонент агрегованого показника демографічного тиску $Dnorm(t)$ та з метою отримання стійких кількісних оцінок, подальший емпіричний аналіз виконаємо на прикладі дослідження взаємозв'язку між індикатором $E3$ як ключовою компонентою індексу інституційної вразливості $FSI(t)$ та показником чистої міграції населення України. Таке аналітичне звуження збереже концептуальну логіку системного підходу, водночас забезпечивши коректну економетричну ідентифікацію взаємозв'язків на обмеженому часовому інтервалі 2006—2024 рр. [18, 19, 27]. Для кількісної оцінки впливу інституційної вразливості на міграційну динаміку використаємо дві регресійні моделі. Базова модель 1 має вигляд:

$$\Delta M(t) = \beta_0 + \beta_1 E3(t-1) + \varepsilon(t), \quad (4)$$

де $\Delta M(t)$ — чиста міграція населення у році t (тис. осіб); $E3(t-1)$ — значення індикатора $E3$ з лагом в один рік; β_0 — константа; β_1 — параметр впливу інституційної вразливості; $\varepsilon(t)$ — стохастичний залишок.

Використання лагової змінної відповідає стандартним підходам аналізу динамічних соціально-економічних процесів і уможливорює перевірку випереджального характеру впливу інституційних чинників на міграційні рішення населення [27].

Для врахування різкого структурного зламу, пов'язаного з повномасштабним вторгненням, застосуємо розширену модель 2 з індикаторною змінною:

$$\Delta M(t) = \beta_0 + \beta_1 E3(t-1) + \beta_2 D_{2022} + \varepsilon(t), \quad (5)$$

де D_{2022} — індикаторна змінна, що набуває значення 1 у 2022 р. та 0 в інші роки, а параметр β_2 відображає вплив воєнного (шокового) чинника на міграційну динаміку. Такий підхід широко використовувався для ідентифікації структурних зламів і екстремальних подій у часових рядах [27, 28].

Виконаний кореляційний аналіз, результати якого наведено в табл. 5, засвідчує наявність дуже тісного оберненого зв'язку між індикатором $E3$ та показниками чистої міграції населення України у 2006—2025 рр. (коефіцієнт кореляції $r \approx -0,94$). Це свідчить про майже лінійну залежність між зростанням інституційної вразливості та посиленням міграційного відтоку, що узгоджується з висновками міжнародних досліджень щодо ролі інституційних чинників у формуванні міграційних процесів [17, 25, 29].

Зазначені моделі дають можливість кількісно оцінити масштаб і стійкість впливу інституційної вразливості на міграційну динаміку населення України. В обох моделях індикатор $E3$ виявляє стабільний негативний зв'язок із показником чистої міграції, що свідчить про системний характер цього впливу. Отримані оцінки вказують, що зростання інституційної вразливості на один пункт сприяють додатковому чистому відтоку населення на рівні приблизно 130—150 тис. осіб на рік. Міграційний відтік в Україні можна трактувати як структурний і кумулятивний соціальний процес, формований внаслідок тривалого накопичення інституційних і соціально-економічних дисбалансів, які різко загострились після 2022 р., але не були ними породжені [18, 25]. Такий масштаб втрат свідчить про високу чутливість міграційної поведінки населення до якості інституційного середовища, зокрема до рівня безпеки, довіри до держави та можливостей соціально-економічної реалізації. Як було зазначено вище, емпіричну основу авторського дослідження становлять щорічні дані для України за 2006—2025 роки, сформовані на базі Індексу вразливості держав (FSI) від Фонду миру [18, 19] та офіційних оцінок демографічної і міграційної динаміки [10—14, 25, 29]. Ключовою пояснювальною змінною виступає індикатор $E3$, який безпосередньо відображає масштаби відтоку населення і високоосвіченого людського капіталу внаслідок інституційної, економічної та безпечної нестабільності.

Повертаючись до даних таблиці 4, упродовж 2006—2025 рр. значення $E3$ для

Таблиця 5. Динаміка індикатора $E3$ та чистої міграції населення України, 2006—2024 рр.

| Рік | $E3$ | Чиста міграція, тис. осіб |
|------|------|---------------------------|
| 2006 | 5,8 | -50 |
| 2008 | 6,0 | -60 |
| 2010 | 6,2 | -70 |
| 2012 | 6,5 | -90 |
| 2014 | 6,8 | -130 |
| 2016 | 7,1 | -160 |
| 2018 | 7,3 | -180 |
| 2020 | 7,6 | -210 |
| 2021 | 7,8 | -230 |
| 2022 | 8,2 | -350 |
| 2023 | 8,5 | -500 |
| 2024 | 8,4 | -480 |
| 2025 | 8,5 | -470 |

Джерело: [18, 29].

України зросло з 5,8 до 8,2—8,4 бала, а чиста міграція погіршилася з –50 тис. осіб до –470...–480 тис. осіб на рік. Така динаміка відбувається на тлі різкого погіршення загального бала *FSI* після 2022 р. та відображає кумулятивний характер інституційної вразливості суспільства в умовах воєнних і геополітичних шоків [18, 25].

З огляду на інерційний характер демографічних рішень, у дослідженні використано лаговану структуру з одним роком запізнення для інституційних змінних. Базові регресійні моделі підтверджують статистично значущий і стійкий вплив індикатора $E3(t-1)$ на чисту міграцію населення. Оцінки показують, що зростання $E3$ на один пункт асоціюється з додатковим чистим відтоком населення в обсягах 130—150 тис. осіб на рік. Включення індикаторної змінної для 2022 р. дає змогу відокремити разовий воєнний шок від довгострокового інституційного ефекту, не нівелюючи значущості показника $E3$ [27].

Для виявлення нелінійних ефектів і порогових значень у взаємозв'язку між інституційною вразливістю України та міграційною динамікою застосовано методи градієнтного підсилення дерев рішень та рекурентні нейронні мережі типу *LSTM* [20—22]. Перед навчанням моделей усі змінні було стандартизовано, що забезпечило коректність порівняння маржинальних ефектів у межах відносно малої вибірки. Порівняльний аналіз якості моделей свідчить, що ШІ-орієнтовані підходи за точністю оцінок істотно перевершують методи лінійної регресії: зниження помилок прогнозу, вимірних за показниками середньоквадратичної помилки (*Root Mean Squared Error, RMSE*) та середньої абсолютної помилки (*Mean Absolute Error, MAE*).

Інтерпретація результатів ШІ-моделей здійснювалась за допомогою методу *SHAP (SHapley Additive exPlanations)* [21], який дає змогу у простій формі оцінити, якою мірою кожен інституційний чинник впливає на посилення або послаблення міграційного відтоку. Такий підхід спроможний перейти від «чорної скриньки» алгоритмів ШІ до змістовного соціального аналізу причин міграційних змін. Аналіз залежності між індикатором $E3$ та прогнозованими міграційними втратами показав наявність чітко вираженого порогового ефекту: після досягнення критичних значень інституційної вразливості міграційний відтік зростає непропорційно швидше ніж на попередніх етапах. Так, до рівня $E3 \approx 7,4 - 7,6$ маржинальний вплив на міграцію зростає помірно (–40...–110 тис. осіб на рік), натомість після перевищення порогу 7,7—8,0 бала негативний ефект різко посилюється і сягає –160...–220 тис. осіб на рік (рис. 3). Це свідчить про нелінійний сценарій розвитку демографічної кризи за принципом «накопичення — зрив», коли інституційна вразливість тривалий час акумулюється, а потім трансформується у різке погіршення міграційних показників.

Додатково встановлено асиметрію реакцій: негативні інституційні шоки (погіршення $E3$) мають у 1,6—1,8 раза сильніший вплив, ніж позитивні

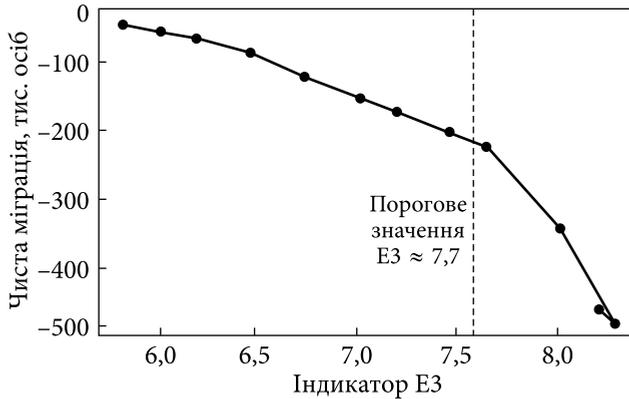


Рис. 3. Нелінійна залежність між індикатором $E3$ та чистою міграцією населення України

Джерело: результати моделювання отримані автором.

зрушення аналогічної величини. Це вказує на наявність ефекту гістерезису міграційної поведінки та пояснює повільність демографічного відновлення навіть за умов часткового покращення інституційних параметрів [25, 29].

На основі отриманих результатів можна запропонувати концепцію ШІ-орієнтованої системи раннього попередження демографічних ризиків, ядром якої є індикатор $E3$. Система поєднує моніторинг інституційної вразливості, порогову ідентифікацію критичних зон ($E3 > 7,7$), короткострокове прогнозування за допомогою градієнтного підсилення та аналіз довгострокових кумулятивних ефектів із використанням *LSTM*. Класифікаційна версія моделі демонструє високу здатність коректно ідентифікувати періоди підвищеного міграційного ризику, що підтверджується значенням показника *AUC* (*Area Under the Curve*) на рівні близько 0,92. Це означає, що модель з високою ймовірністю правильно розрізняє ситуації відносної демографічної стабільності та періоди різкого посилення міграційного відтоку, що є загальноприйнятим критерієм високої прогностичної якості класифікаційних моделей у прикладних соціально-економічних дослідженнях [21, 27]. Отриманий результат свідчить про практичну придатність ШІ-орієнтованого підходу для побудови систем раннього попередження і підтримки превентивної демографічної та соціально-економічної політики.

Отже, поєднання класичних економетричних методів з інструментами ШІ дало змогу емпірично підтвердити нелінійний, пороговий та асиметричний характер впливу інституційної вразливості на міграційні процеси в Україні. Індикатор $E3$ виступає ключовим каналом цього впливу та може бути використаний як центральний елемент систем моніторингу й раннього попередження демографічних ризиків, що особливо актуально в умовах тривалих воєнних і соціально-економічних трансформацій [15, 17, 21—28].

Висновки та перспективи подальших досліджень. Проведений аналіз свідчить, що у 2010—2025 рр. ШІ трансформувався з окремого технологічного інструменту на системний чинник соціально-економічних і демографічних змін. Масштабне поширення ШІ-технологій, зростання інвестицій у цей сектор та їх проникнення у сферу праці, освіти й управління безпосередньо впливають на структуру зайнятості, просторову мобільність населення та механізми відтворення людського капіталу. Ці процеси супроводжуються не лише зростанням продуктивності, а й формуванням нових соціальних ризиків, пов'язаних із нерівним доступом до можливостей і посиленням селективної міграції.

Для країн із накопиченими інституційними та демографічними дисбалансами, зокрема для України, розвиток і глобальна дифузія ШІ діють як підсилювач структурної вразливості. Водночас ШІ відкриває якісно нові аналітичні можливості для дослідження демографічних процесів, даючи можливість перейти від переважно ретроспективного аналізу до динамічного моніторингу та раннього виявлення демографічних ризиків. Застосування агрегованого показника демографічного тиску, сформованого на основі міграційних, демографічних і характеристик людського капіталу, показало монотонне зростання демографічного навантаження в Україні у 2006—2025 рр. із різким прискоренням після 2022 р. Це підтверджує кумулятивний характер демографічної кризи та її тісний зв'язок із погіршенням інституційних умов.

Сучасні технології ШІ формують подвійний контур впливу на демографічну стійкість. З одного боку, вони виступають фактором, що прискорює соціально-економічні трансформації та підвищує міграційну мобільність населення, особливо висококваліфікованих груп. З іншого боку, ШІ-орієнтовані аналітичні підходи можуть слугувати ефективним інструментом науково обґрунтованого моніторингу, прогнозування та підтримки превентивної демографічної і соціально-економічної політики. Для України це означає, що використання ШІ доцільно розглядати не лише як елемент технологічного розвитку, а як важливий компонент зміцнення соціальної стійкості, збереження людського капіталу та зниження довгострокових демографічних ризиків.

У стратегічному вимірі інтеграція інструментів ШІ до системи державного управління демографічними процесами стає важливим чинником посилення національної резильєнтності (здатності держави зберігати функціональність, адаптуватись до кризових впливів і відновлюватись після масштабних шоків). Формування інтелектуально підсиленої системи моніторингу та превентивного реагування на демографічні ризики створює основу для довгострокової стійкості країни, її інституційної спроможності та збереження стратегічного людського потенціалу в умовах воєнних, економічних і технологічних викликів.

REFERENCES / ЛІТЕРАТУРА

1. OECD (2025). OECD Employment Outlook 2025. Paris: OECD Publishing. https://www.oecd.org/en/publications/2025/07/oecd-employment-outlook-2025_5345f034/full-report.html
2. World Economic Forum (2024). *The Future of Jobs Report 2024*. Geneva. <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2024/>
3. Stanford University (2024). *AI Index Report 2024*. Stanford, CA. <https://aiindex.stanford.edu/report/>
4. European Commission. (2024). *Artificial Intelligence Act (AI Act)*. Brussels. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/european-approach-artificial-intelligence>
5. Zgurovsky, M. Z. (2025). Global Trends in Artificial Intelligence. Challenges, Opportunities, and Prospects. *Cybernetics and Systems Analysis*, 61, 533—553. <https://doi.org/10.1007/s10559-025-00790-y>
6. McKinsey Global Institute (2023). The economic potential of generative AI: The next productivity frontier. <https://www.mckinsey.com/capabilities/tech-and-ai/our-insights/the-economic-potential-of-generative-ai-the-next-productivity-frontier>
7. World Bank (2023). Ukraine Education and Skills Impact Assessment. Washington, DC: World Bank. https://documents1.worldbank.org/curated/en/099631507072239980/pdf/IDU04805ab35047b2049990a0e101c605921c504.pdf?utm_source=chatgpt.com
8. World Economic Forum (2025). The Future of Jobs Report 2025. Geneva. <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/>
9. Libanova, E. M. (2025). Demographic Losses of Ukraine in the War. *Svitohliad*, 2, 34—40. <https://www.mao.kiev.ua/biblio/jscans/svitoglyad/svit-2025-20-2/svitoglyad-2-2025-libanova-06.pdf>
[Лібанова, Е. М. (2025). Демографічні втрати України у війні. *Світогляд*, 2, 34—40].
10. World Bank (2024). Ukraine Population and Demographic Trends. World Bank Data. <https://data.worldbank.org/country/ukraine>
11. United Nations, DESA (2024). International Migration 2024: Highlights. New York. <https://www.un.org/development/desa/pd/content/international-migration>
12. European Commission (2024). The Impact of Temporary Protection on EU Labour Markets. Brussels. <https://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=738>
13. UNHCR (2024). Ukraine Refugee Situation. United Nations High Commissioner for Refugees. <https://data.unhcr.org/en/situations/ukraine>
14. Estimates of the Population of Ukraine in Government-Controlled Territories as of Early 2025 (Expert Assessment) (2025). Based on materials from Ukrainian National News (UNN). Ptoukha Institute for Demography and Social Studies of the NAS of Ukraine. <https://unn.ua/en/news/demographic-crisis-in-ukraine-estimates-from-the-institute-of-demography-and-solutions-to-the-problems>
[Оцінки чисельності населення України на підконтрольних територіях на початок 2025 року (експертна оцінка) (2025). За матеріалами Ukrainian National News (UNN). Інститут демографії та соціальних досліджень імені М. В. Птухи НАН України].
15. World Economic Forum (2023). The Future of Jobs Report 2023. INSIGHT REPORT MAY 2023. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2023.pdf
16. OECD (2023). OECD Employment Outlook 2023: Artificial Intelligence and the Labour Market. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/08785bba-en>
17. World Bank (2024). Ukraine: Human Capital and Demographic Challenges. Washington, DC: World Bank. <https://www.worldbank.org/en/country/ukraine>
18. Fund for Peace (2024). Fragile States Index 2024. Washington, DC: Fund for Peace. <https://fragilestatesindex.org/>

19. Fund for Peace (2023). *Fragile States Index Methodology*. Washington, DC. <https://fragilestatesindex.org/methodology/>
20. LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436—444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
21. Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2017). *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*. 2nd ed. New York, NY: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-84858-7>
22. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. Cambridge, MA: MIT Press. <https://www.deeplearningbook.org>
23. Pearl, J., & Mackenzie, D. (2018). *The Book of Why: The New Science of Cause and Effect*. New York: Basic Books. <https://www.penguin.co.uk/books/289825/the-book-of-why-by-judea-pearl-and-dana-mackenzie/9780141982410>
24. United Nations, Department of Economic and Social Affairs (2022). *World Population Prospects 2022*. New York: United Nations. <https://population.un.org/wpp/>
25. World Bank (2024). *Ukraine: Migration, Human Capital and Demographic Challenges*. Washington, DC: World Bank. <https://www.worldbank.org/en/country/ukraine>
26. European Commission (2024). *Temporary Protection for Persons Displaced from Ukraine*. Brussels: European Commission. https://home-affairs.ec.europa.eu/policies/migration-and-asylum/temporary-protection_en
27. Wooldridge, J. M. (2016). *Introductory Econometrics: A Modern Approach*. 6th ed. Boston, MA: Cengage Learning. https://www.cengage.com/c/introductory-econometrics-a-modern-approach-6e-wooldridge/9781305270107/?utm_source=chatgpt.com
28. Pearl, J. (2024). *Causal AI*. Cambridge, MA: MIT Press. <https://mitpress.mit.edu/9780262547584/causal-ai/>
29. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2024). *International Migration 2024: Highlights*. New York: United Nations. <https://www.un.org/development/desa/pd/content/international-migration>

Стаття надійшла до редакції журналу 20.02.2026

Стаття прийнята до друку після рецензування: 24.02.2026

Дата публікації: 27.02.2026

Michael Zgurovsky, Academician of the NAS of Ukraine
Scientific Supervisor of the Educational and Scientific Complex “Institute for Applied System Analysis” (IASA)
03056, Ukraine, Kyiv, Beresteiskyi Avenue, 37
E-mail: zgurovsky.michael@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5896-7466
Google Scholar: [WwKYJlgAAAAJ](https://scholar.google.com/citations?user=WwKYJlgAAAAJ)
Scopus ID: 6506327117
Researcher ID: AAH-5294-2020

ARTIFICIAL INTELLIGENCE, INSTITUTIONAL VULNERABILITY, AND DEMOGRAPHIC RISKS IN UKRAINE

The article examines the impact of artificial intelligence (AI) development on socio-economic and demographic processes under conditions of digital transformation and growing global competition for human capital. It is shown that the diffusion of AI is associated not only with productivity gains but also with increasing social risks, including structural changes in labour markets and the intensification of selective migration of the working-age population. The aim of the article is to assess the impact of AI development on socio-economic and demographic

processes and to substantiate the potential of AI-based tools for monitoring, modelling, and early detection of demographic risks in the context of institutional vulnerability and migration dynamics in Ukraine during 1991—2025.

Special attention is paid to demographic dynamics in Ukraine during 1991—2025 in the context of state institutional vulnerability. Using the Fragile States Index (FSI), with a focus on the indicator of human flight and brain drain (E3), the study applies an AI-oriented analytical framework to explore the relationship between institutional conditions and migration processes. The novelty of the study lies in conceptualizing artificial intelligence not only as a driver of technological change but also as an analytical instrument for formalizing and quantifying the relationship between demographic processes and institutional vulnerability, including the empirical validation of a statistically significant link between rising fragility and migration outflows. The results indicate a non-linear and cumulative pattern of migration outflows, which intensifies sharply once critical levels of institutional vulnerability are reached. The research employs an AI-oriented analytical framework that combines classical econometric modelling, time-series analysis, correlation-regression techniques, and machine learning methods to detect non-linear effects, threshold dynamics, structural breaks, and lagged interactions in demographic trends. The article substantiates the relevance of artificial intelligence as a tool for monitoring and early warning of demographic risks and for supporting preventive demographic and socio-economic policy in periods of profound institutional and technological transformation.

Keywords: artificial intelligence, demographic processes, institutional vulnerability, migration, human capital, social resilience, AI-oriented analysis.