
СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

УДК 004.8, 004.9

Д.І. УГРИН, Ю.О. УШЕНКО, Т.В. ТЕРЛЕЦЬКИЙ, О.Л. КАЙДИК,
Ю.Г. ДОБРОВОЛЬСЬКИЙ, К.С. ШКІДІНА

ГНУЧКА ТЕХНОЛОГІЯ РОЗРОБКИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ НАСЕЛЕННЯ

*Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича
Луцький національний технічний університет*

Анотація. Стаття присвячена розробці інтелектуальної системи прогнозування розвитку населення, яка використовує методи машинного навчання для аналізу історичних демографічних даних. У роботі розглядаються сучасні виклики демографічного розвитку, які вимагають точного прогнозування чисельності населення для ефективного стратегічного планування. У статті представлено опис методів демографічного прогнозування, формалізацію та математичні моделі, такі як лінійна та поліноміальна регресії, а також інші моделі, що можуть бути використані для прогнозування. Розроблено модуль генерації моделей машинного навчання, що автоматизує процес побудови прогнозних моделей на основі історичних демографічних даних. Реалізовано функціонал попередньої обробки даних, включаючи автоматичне заповнення пропущених значень, нормалізацію даних та виявлення аномалій. Проведено вибір та інтеграцію алгоритмів машинного навчання, оцінку якості та оптимізацію моделей, а також забезпечено можливість перенавчання моделей. Розроблено інтерфейс для інтеграції з іншими інформаційними системами. Отримані результати демонструють гнучкість та ефективність запропонованого підходу та можливість його використання у сфері стратегічного планування соціально-економічного розвитку.

Ключові слова: аналіз даних, стратегічне планування та прогнозування даних, демографічні дані, прийняття рішень, машинне навчання.

Abstract. The article is devoted to the development of an intelligent population forecasting system that uses machine learning methods to analyze historical demographic data. The paper considers modern challenges of demographic development that require accurate population forecasting for effective strategic planning. The article presents a description of demographic forecasting methods, formalization and mathematical models, such as linear and polynomial regression, as well as other models that can be used for forecasting. A machine learning model generation module has been developed that automates the process of building forecasting models based on historical demographic data. Data preprocessing functionality has been implemented, including automatic filling of missing values, data normalization and anomaly detection. Machine learning algorithms have been selected and integrated, quality assessment and model optimization have been carried out, and the possibility of retraining models has been provided. An interface for integration with other information systems has been developed. The results obtained demonstrate the flexibility and effectiveness of the proposed approach and the possibility of its use in the field of strategic planning of socio-economic development.

Keywords: data analysis, strategic planning and data forecasting, demographic data, decision making, machine learning.

DOI: 10.31649/1681-7893-2025-49-1-98-110

ВСТУП

Актуальність розробки гнучкої технології інтелектуальної системи прогнозування розвитку населення обумовлена рядом ключових факторів, які відповідають сучасним викликам у сфері демографічного планування та соціально-економічного розвитку [1, 2]. В сучасному світі спостерігаються динамічні зміни демографічних показників, таких як зростання чисельності населення, урбанізація, старіння суспільства та міграційні процеси [3]. Ці тенденції створюють значні виклики для урядів, організацій та підприємств, які потребують точного планування використання ресурсів, інфраструктурного розвитку та надання соціальних послуг [4].

Застосування технологій машинного навчання для аналізу демографічних даних відкриває нові перспективи у прогнозуванні змін населення [5]. Сучасні моделі машинного навчання здатні аналізувати великі обсяги даних та враховувати різноманітні фактори, такі як економічні показники, рівень народжуваності, смертність, міграційні потоки, рівень освіти та інші [6]. Це дозволяє створювати точні та адаптивні моделі прогнозування, які враховують динаміку змін у конкретних регіонах чи країнах [7].

© Д.І. УГРИН, Ю.О. УШЕНКО, Т.В. ТЕРЛЕЦЬКИЙ, О.Л. КАЙДИК, Ю.Г. ДОБРОВОЛЬСЬКИЙ, К.С. ШКІДІНА, 2025

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

Розробка інтелектуальних систем прогнозування є особливо актуальною в умовах, коли держави потребують швидкої адаптації до змінюваних умов, зокрема для забезпечення продовольчої безпеки, розвитку інфраструктури, освітніх та медичних послуг [8]. Використання таких систем дозволяє урядам і бізнесу ухвалювати стратегічно важливі рішення, мінімізуючи ризики ресурсного дефіциту чи надлишкових витрат [9].

Подальший розвиток технологій аналізу даних, зростання обчислювальних потужностей та доступність відкритих демографічних баз даних роблять подібні рішення практичними й ефективними для широкого використання [10]. Інтелектуальні системи прогнозування стають важливим інструментом для досягнення цілей сталого розвитку, визначених ООН [11].

Отже, розробка інтелектуальної системи прогнозування розвитку населення є надзвичайно актуальною темою, що сприяє покращенню управління ресурсами, соціально-економічному плануванню та забезпеченню стабільності в суспільстві. Використання машинного навчання для цієї мети підвищує точність прогнозів, оптимізує прийняття рішень і підтримує сталий розвиток країн.

Метою даного дослідження є розробка гнучкої технології розробки інтелектуальної системи прогнозування розвитку населення на основі моделей машинного навчання для прогнозування розвитку населення.

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА АНАЛОГІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Прогнозування чисельності населення є ключовим елементом стратегічного планування та розробки політик на локальному, національному та глобальному рівнях [10, 11]. У сучасному світі, де демографічні тенденції швидко змінюються, точні прогнози стають необхідними для ефективного розподілу ресурсів, управління ризиками та адаптації до майбутніх викликів. Демографічні зміни впливають на широкий спектр суспільних сфер, включаючи економіку [14], охорону здоров'я, освіту, міське планування та екологію.

Точне прогнозування чисельності населення дозволяє урядам, організаціям та дослідникам краще розуміти майбутні демографічні тенденції та планувати відповідні заходи. Це допомагає запобігти кризам, пов'язаним із перенаселенням або демографічною депресією [7], а також ефективно реагувати на виклики, що пов'язані зі старінням населення, міграцією та іншими демографічними процесами [9].

Розробка ефективних систем прогнозування чисельності населення вимагає використання сучасних технологій, зокрема методів машинного навчання [13]. Ці технології дозволяють аналізувати великі обсяги даних, виявляти складні закономірності та підвищувати точність прогнозів [12]. Інтеграція результатів у зручний графічний інтерфейс забезпечує доступність та зручність використання системи для широкого кола користувачів.

На ринку існує ряд програмних застосунків та інструментів для аналізу демографічних даних та прогнозування чисельності населення. Ці інструменти використовують різні статистичні методи та алгоритми машинного навчання, що дозволяє досягати високої точності прогнозів.

Проведемо аналіз існуючих найпопулярніших інструментів:

1. World Population Prospects (WPP) – офіційний інструмент ООН, що надає доступ до глобальних демографічних даних та прогнозів (рисунк 1) [17].

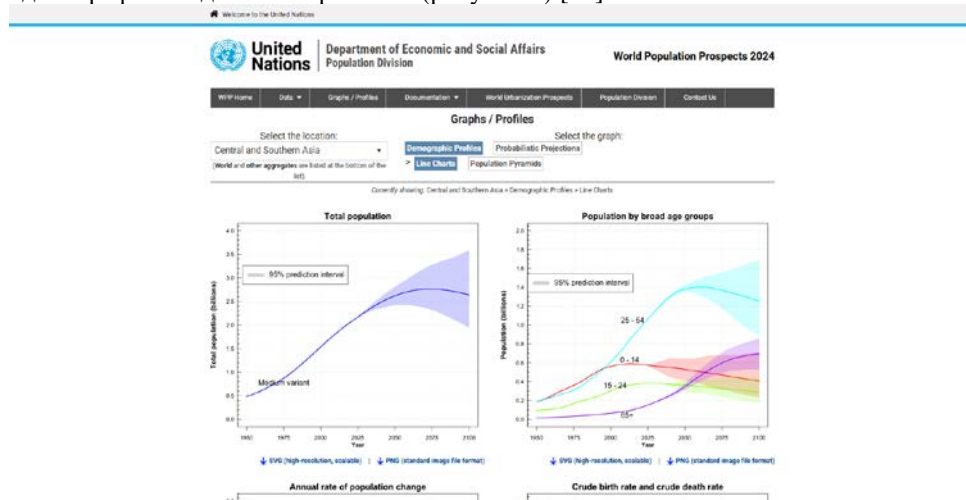
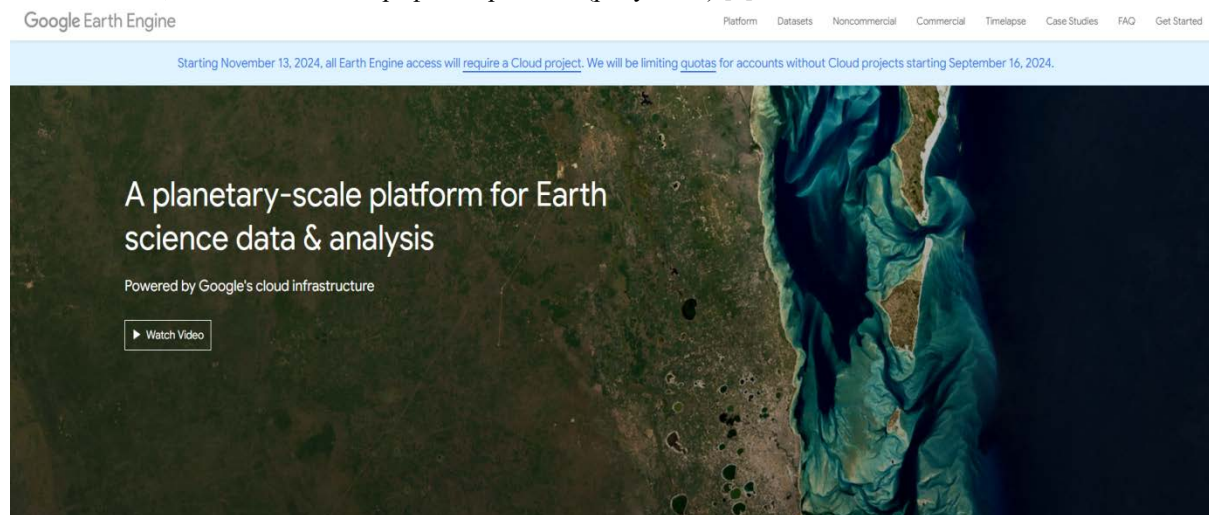


Рисунок 1 – World Population Prospects (WPP)

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

WPP включає показники народжуваності, смертності та міграції. Регулярно оновлюється та використовується для наукових досліджень та планування на рівні урядів. Орієнтований на міжнародні організації, дослідників та уряди, але має обмежені можливості для налаштування моделей. Візуальний інтерфейс дозволяє аналізувати тренди, але не інтегрується з автоматизованими алгоритмами машинного навчання для персоналізованих прогнозів.

2. Google Earth Engine (GEE) надає доступ до глобальних геопросторових даних та можливості моделювання, включаючи демографічні прогнози (рисунок 2) [2].



Meet Earth Engine

Google Earth Engine combines a multi-petabyte catalog of satellite imagery and geospatial datasets with planetary-scale analysis capabilities. Scientists, researchers, and developers use Earth Engine to detect changes, map trends, and quantify differences on the Earth's surface. Earth Engine is now available for commercial use, and remains free for academic and research use.

Рисунок 2 – Google Earth Engine (GEE)

GEE інтегрується зі статистичними даними про населення, такими як Global Human Settlement Layer (GHSL). Дозволяє створювати візуалізації прогнозів чисельності населення. Вимагає технічних знань та навичок програмування на JavaScript або Python. Більше підходить для дослідників з технічними знаннями.

3. Tableau Public – використовується для візуалізації та аналізу даних, включаючи демографічні показники (рисунок 3) [3].

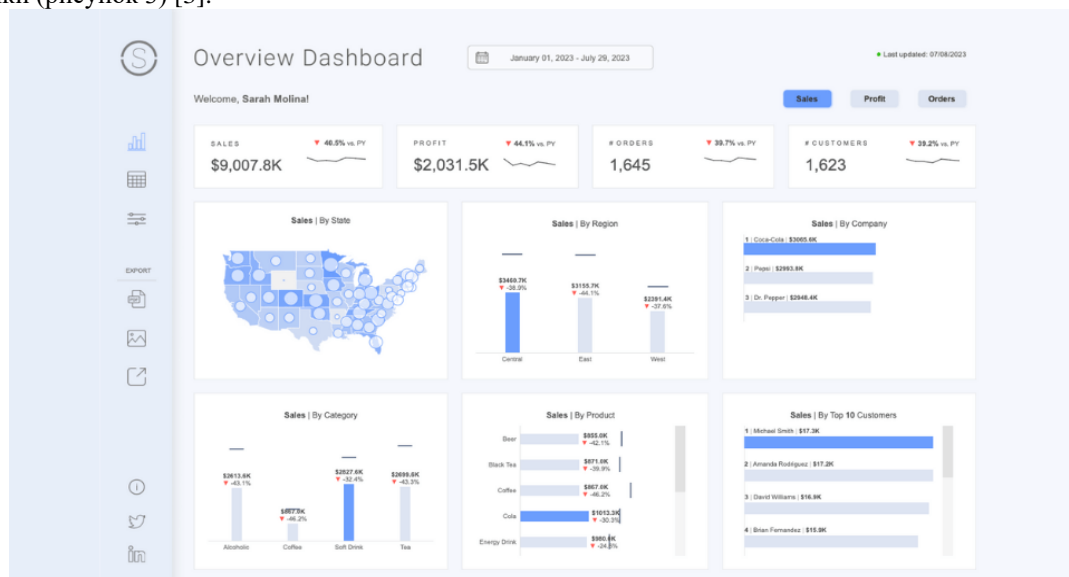


Рисунок 3 – Tableau Public

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

Tableau Public дозволяє завантажувати набори даних, будувати інтерактивні графіки та створювати прогнози на основі історичних даних. Легко адаптується під конкретні потреби, але обмежений можливостями статистичних методів без інтеграції складних моделей машинного навчання.

Технологія розробки інтелектуальної системи прогнозування розвитку населення зосереджується на інтеграції алгоритмів машинного навчання для прогнозування чисельності населення [13]. Основні її переваги:

1. Використання лінійної та поліноміальної регресії для побудови моделей прогнозування [12].
2. Автоматизація збору, підготовки даних та генерації прогнозів.
3. Можливість налаштування під конкретні демографічні дані різних країн або регіонів.
4. Використання додаткових моделей машинного навчання для збільшення точності прогнозування [13].
5. Розроблена система має перевагу в доступності для широкого кола користувачів, гнучкості налаштувань та орієнтованості на вирішення задачі прогнозування чисельності населення з урахуванням сучасних вимог аналітики та прогнозування [15].

Огляд літератури та аналогі досліджень показують, що прогнозування чисельності населення є важливим інструментом стратегічного планування на всіх рівнях управління. Точність прогнозів є необхідною для ефективного розподілу ресурсів, вирішення демографічних проблем, таких як старіння населення, перенаселення та міграція. Сучасні методи прогнозування, зокрема використання машинного навчання, дозволяють підвищити точність та автоматизувати процеси збору і аналізу даних.

Існуючі інструменти, такі як World Population Prospects, Google Earth Engine та Tableau Public, надають різні можливості для аналізу демографічних даних, але мають свої обмеження щодо налаштувань та інтеграції зі складними моделями машинного навчання. Розробка інтелектуальних систем прогнозування, що використовують регресійні моделі та інші алгоритми машинного навчання, дозволяє значно підвищити точність і гнучкість таких прогнозів, а також забезпечує доступність для широкого кола користувачів.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА КЛЮЧОВІ АСПЕКТИ

Постановка проблеми. Сучасні виклики демографічного розвитку вимагають від урядів, регіональних адміністрацій та міжнародних організацій ефективних інструментів для стратегічного планування та управління ресурсами. Необхідність точного прогнозування чисельності населення стає критично важливою для прийняття обґрунтованих рішень у таких сферах, як охорона здоров'я, освіта, соціальне забезпечення, міське планування та економіка. Існуючі методи прогнозування часто не враховують складність та динамічність демографічних процесів, що призводить до неточностей та обмежень у їх застосуванні.

Мета дослідження. Розробка інтелектуальної системи прогнозування розвитку населення, яка забезпечить високу точність прогнозів на основі методів машинного навчання, автоматизує процес моделювання та надасть зручний інтерфейс для інтеграції з існуючими інформаційними системами.

Таким чином, завданням статті є:

1. Опис та дослідження методів демографічного розвитку, формалізації та математичних моделей.
2. Розробка модуля генерації моделей машинного навчання:
 - Автоматизація процесу побудови прогнозних моделей на основі історичних демографічних даних (народжуваність, смертність, міграція тощо).
 - Забезпечення можливості прогнозування на різні часові горизонти (короткострокові, середньострокові, довгострокові).
3. Реалізація функціоналу попередньої обробки даних:
 - Автоматичне заповнення пропущених значень, нормалізація даних та виявлення аномалій.
 - Агрегація даних за різними критеріями (регіони, вікові групи, стать).
4. Вибір та інтеграція алгоритмів машинного навчання:
 - Застосування лінійної та поліноміальної регресії, деревоподібних моделей (Random Forest, Gradient Boosting) та інших методів.
 - Забезпечення можливості розширення набору алгоритмів для адаптації до різних типів даних та завдань.
5. Оцінка якості та оптимізація моделей:
 - Використання метрик RMSE, MAE, R^2 для оцінки точності прогнозів.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

- Застосування крос-валідації для оцінки стабільності моделей.
 - Автоматичний вибір найкращої моделі та підбір гіперпараметрів для оптимізації точності.
6. Забезпечення можливості перенавчання моделей:

- Регулярне оновлення моделей на основі нових демографічних даних.
- Підтримка автоматичного перенавчання із заданою періодичністю (щоквартально, щорічно).

7. Розробка інтерфейсу інтеграції:

- Створення інтерфейсу для інтеграції з іншими інформаційними системами (системи управління даними, аналітичні платформи).
- Автоматичне оновлення прогнозних значень у відповідних базах даних.

На основі постановки та мети дослідження отримані ключові аспекти:

1. Точність прогнозів – забезпечення високої точності прогнозування чисельності населення для ефективного стратегічного планування.

2. Автоматизація. Максимальна автоматизація процесів моделювання, обробки даних та оцінки якості.

3. Адаптивність. Можливість адаптації системи до змін у демографічних даних та тенденціях.

4. Інтеграція – забезпечення зручної інтеграції з існуючими інформаційними системами.

5. Масштабованість. Можливість обробки великих обсягів даних та підтримка великої кількості користувачів.

6. Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. Створення зручного та зрозумілого інтерфейсу для користувачів з різним рівнем технічної підготовки.

Етапи реалізації проведеного дослідження статті будуть:

1. Аналіз предметної області та аналіз аналогів.

2. Формулювання вимог до програмного забезпечення.

3. Вибір мови програмування, архітектури та технологій.

4. Розробка алгоритмів роботи модуля.

5. Створення програмного модуля та інтеграція з іншими системами.

6. Тестування і валідація системи на основі гнучкої технології розробки інтелектуальної системи прогнозування розвитку населення.

3. МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МЕТОДИ

Для ефективного аналізу демографічних тенденцій та прогнозування змін чисельності населення розроблено інтелектуальну систему. Цей інструмент забезпечує підтримку прийняття рішень у сферах соціально-економічного розвитку, розподілу ресурсів та стратегічного планування. Система об'єднує етапи збору та обробки даних, створення прогнозних моделей, інтеграцію з існуючими базами даних та візуалізацію результатів для зручного аналізу. Архітектура системи схематично зображена на рисунку 4.

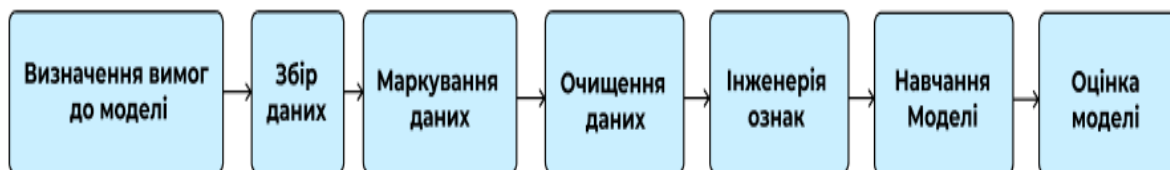


Рисунок 4 – Схема компонентів інтелектуальної системи прогнозування розвитку населення

У даному дослідженні для прогнозування чисельності населення були використані дві основні моделі: лінійна та поліноміальна регресії.

Лінійна регресія є класичним методом прогнозування, що застосовується для моделювання лінійних залежностей між змінними. У контексті прогнозування чисельності населення лінійна регресія дозволяє встановити зв'язок між часом (незалежна змінна) та чисельністю населення (залежна змінна), представляючи його у вигляді прямої лінії на графіку.

Математично лінійна регресія описується наступною формулою:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon, \quad (1)$$

де y – залежна змінна (прогнозоване значення чисельності населення), β_0 – вільний член (перетин з віссю y), β_1 – коефіцієнт нахилу (параметр, що відображає вплив часу на чисельність населення), x – незалежна змінна (час), ε – випадкова похибка.

Для побудови моделі лінійної регресії використовувалися історичні демографічні дані.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

Оптимальні значення коефіцієнтів β_0 та β_1 були визначені за допомогою методу найменших квадратів, що дозволило мінімізувати суму квадратів відхилень між фактичними та прогнозованими значеннями.

Метод найменших квадратів (МНК) — це статистичний метод, який використовується для знаходження найкращого наближення набору даних за допомогою функції, що мінімізує суму квадратів відхилень між спостережуваними та прогнозованими значеннями.

У контексті лінійної регресії, метою МНК є знаходження таких значень коефіцієнтів β_0 та β_1 , які мінімізують функцію:

$$S(\beta_0, \beta_1) = \sum (y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_i))^2, \quad (2)$$

де y_i — фактичні значення чисельності населення, x_i — відповідні значення часу, β_0 та β_1 — коефіцієнти, які потрібно знайти.

Для знаходження оптимальних значень коефіцієнтів використовуються часткові похідні функції $S(\beta_0, \beta_1)$ по β_0 та β_1 :

$$\partial S / \partial \beta_0 = -2 \sum (y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_i)) = 0$$

$$\partial S / \partial \beta_1 = -2 \sum x_i (y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_i)) = 0$$

Розв'язуючи цю систему рівнянь, можна отримати формули для обчислення коефіцієнтів:

$$\beta_1 = (n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i) / (n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2)$$

$$\beta_0 = (\sum y_i - \beta_1 \sum x_i) / n,$$

де n — кількість спостережень.

Лінійна регресія є ефективною для короткострокового прогнозування у випадках, коли очікується стабільний ріст або спад чисельності населення. Для оцінки точності моделі використовувалися метрики середнього абсолютного відхилення (MAE) та середньоквадратичного відхилення (RMSE).

Поліноміальна регресія є узагальненням лінійної регресії, що дозволяє моделювати нелінійні залежності між змінними. У контексті демографічного прогнозування поліноміальна регресія є особливо корисною для довгострокових прогнозів, де спостерігаються складніші тенденції зміни чисельності населення.

Поліноміальна регресія описується наступною формулою:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \dots + \beta_n x^n + \epsilon, \quad (3)$$

де y — залежна змінна (прогнозоване значення чисельності населення), β_i — коефіцієнти полінома, x — незалежна змінна (час), n — ступінь полінома, ϵ — випадкова похибка.

У даному дослідженні використовувалися поліноміальні регресії другого (квадратична) та третього (кубічна) ступенів:

Квадратична регресія ($n = 2$):

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \epsilon$$

Ця модель дозволяє моделювати криволінійні залежності з одним перегином.

Кубічна регресія ($n = 3$):

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 + \epsilon$$

Ця модель дозволяє моделювати складніші криволінійні залежності з двома перегинами.

Поліноміальна регресія продемонструвала ефективність для довгострокових прогнозів, де спостерігалися складніші зміни чисельності населення. Однак, точність моделі залежить від коректного вибору ступеня полінома. Для визначення оптимального ступеня використовувалася крос-валідація.

Метрики MAE та RMSE також використовувалися для оцінки точності поліноміальної регресії, де показники були кращими, ніж у лінійної регресії, особливо для довгострокових прогнозів.

Окрім лінійної та поліноміальної регресій, для прогнозування чисельності населення можуть бути використані й інші математичні моделі, такі як:

1. Експоненційне згладжування. Цей метод використовується для прогнозування часових рядів з трендами та сезонністю. Він враховує історичні дані, надаючи більшу вагу останнім спостереженням.

2. Моделі ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average). Ці моделі використовуються для аналізу та прогнозування часових рядів. Вони враховують автокореляцію та ковзне середнє, що дозволяє моделювати складні часові залежності.

3. Моделі когортно-компонентного методу. Цей метод використовується для прогнозування чисельності населення на основі даних про народжуваність, смертність та міграцію. Він враховує вікову структуру населення та дозволяє прогнозувати зміни у вікових групах.

4. Моделі на основі нейронних мереж. Ці моделі використовуються для моделювання складних нелінійних залежностей. Вони можуть бути особливо корисними для прогнозування чисельності населення в умовах високої волатильності та складності даних.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

Вибір конкретної моделі залежить від характеристик даних, часового горизонту прогнозування та необхідної точності.

4. РЕАЛІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ НАСЕЛЕННЯ

Для реалізації функціоналу прогнозування була розроблена система, що використовує моделі машинного навчання для аналізу історичних даних чисельності населення та побудови прогнозів. Основні компоненти системи були реалізовані у вигляді Python-додатку з використанням бібліотек scikit-learn, pandas, streamlit і plotly.

Ключовим елементом системи має бути функціонал побудови та використання моделей регресії для прогнозування. Програма надаватиме користувачеві можливість:

- обирати країну або регіон зі списку доступних;
- вводити цільовий рік для прогнозування;
- отримувати візуалізовані результати прогнозу.

Основний алгоритм роботи методу прогнозування розвитку населення зображено на рисунку 5.

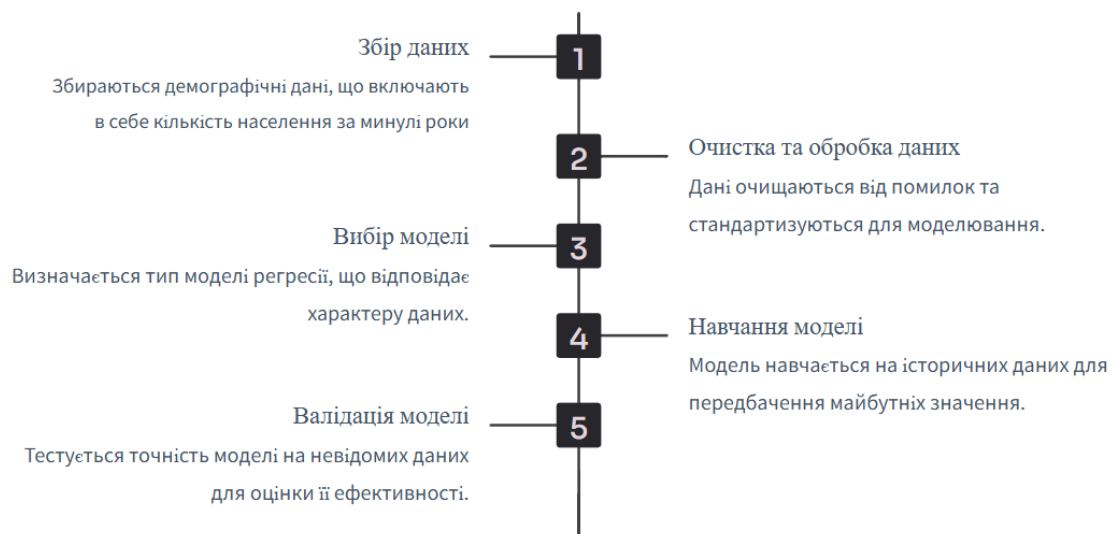


Рисунок 5 –Метод прогнозування розвитку населення

Опишемо етапи методу прогнозування розвитку населення:

1. Збір даних:

- Збір історичних даних про чисельність населення, демографічні характеристики, економічні та соціальні показники з надійних джерел.
- Врахування додаткових факторів, таких як міграція, рівень народжуваності, смертності та інші статистичні показники.

2. Попередня обробка даних:

- Очищення даних від пропущених значень (заповнення або видалення).
- Нормалізація даних для забезпечення однакових масштабів між різними характеристиками.
- Виявлення та усунення аномалій.
- Агрегація даних за необхідними ознаками (роки, країни, регіони).

3. Аналіз та вибір алгоритму машинного навчання:

- Вибір оптимального алгоритму прогнозування (лінійна регресія, поліноміальна регресія, дерева рішень тощо) на основі аналізу даних та вимог до точності.
- Визначення параметрів моделей для кожного конкретного випадку.

4. Навчання моделі:

- Розподіл даних на навчальну та тестову вибірки.
- Навчання обраної моделі машинного навчання на основі навчальних даних.
- Перевірка точності моделі на тестових даних.

5. Оцінка моделі:

- Використання метрик точності (RMSE, MAE, R-квадрат).
- Оцінка стабільності моделі за допомогою методів крос-валідації.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

6. Прогнозування:

- Використання навчених моделей для прогнозування майбутнього розвитку чисельності населення.

- Генерація прогнозів на коротко- та довгострокову перспективу.

7. Оновлення та перенавчання:

- Автоматичне оновлення моделей на основі нових даних.

- Підбір нових гіперпараметрів для покращення точності.

8. Інтерфейс та інтеграція:

- Розробка інтерфейсу для інтеграції з іншими системами або базами даних.

- Візуалізація результатів прогнозів для зручності використання.

Для реалізації функціоналу прогнозування розвитку населення в системі використовуються дві основні моделі: лінійна та поліноміальна регресія.

Лінійна регресія. Ця модель використовується для встановлення лінійної залежності між чисельністю населення та часом. Вона ефективна для прогнозування стабільних трендів, коли очікується рівномірний ріст або спад населення.

Поліноміальна регресія. Ця модель застосовується для врахування нелінійних залежностей у даних, що дозволяє моделювати складніші демографічні процеси, такі як демографічні вибухи або спади.

Основні кроки алгоритму прогнозування включають:

1. Завантаження даних. Зчитування наборів даних про населення (Countries_Population_final.csv) та списку країн (Countries_names.csv).

2. Вибір параметрів прогнозу. Користувач обирає країну чи регіон та цільовий рік для прогнозування.

3. Розділення даних. Розділення історичних даних на навчальну та тестову вибірки для оцінки точності моделей.

4. Навчання моделей. Навчання моделей лінійної та поліноміальної регресії на основі навчальних даних.

5. Прогнозування. Прогнозування чисельності населення для вибраного року за допомогою навчених моделей.

6. Візуалізація результатів. Візуалізація прогнозів у вигляді інтерактивних графіків для зручного аналізу.

Для реалізації моделі поліноміальної регресії використовується наступна функція:

```
def create_polynomial_regression_model(degree, X_train, Y_train,
X_test, target_year):
    from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures
    from sklearn.linear_model import LinearRegression
    from sklearn.metrics import r2_score
    import numpy as np

    # Трансформація даних
    poly_features = PolynomialFeatures(degree=degree)
    X_train_poly = poly_features.fit_transform(X_train)

    # Навчання моделі
    poly_model = LinearRegression()
    poly_model.fit(X_train_poly, Y_train)

    # Оцінка точності
    r2_test = r2_score(Y_test,
poly_model.predict(poly_features.fit_transform(X_test)))

    # Прогноз для вибраного року
    years_range = np.arange(X_train.min(), target_year + 1).reshape(-
1, 1)

    predictions_poly =
poly_model.predict(poly_features.fit_transform(years_range))

    return predictions_poly, r2_test
```


СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

Функція `create_polynomial_regression_model` приймає такі аргументи:

- `degree`: ступінь полінома.
- `X_train`: навчальні дані для незалежної змінної (час).
- `Y_train`: навчальні дані для залежної змінної (чисельність населення).
- `X_test`: тестові дані для незалежної змінної.
- `target_year`: цільовий рік для прогнозування.

Система здатна прогнозувати чисельність населення, використовуючи історичні дані, такі як народжуваність, смертність, міграція та інші демографічні показники. Її відмінною рисою є можливість адаптації прогнозів до змін соціально-економічного контексту, що забезпечує актуальність результатів протягом різних часових періодів.

На рисунку 6 представлено головний інтерфейс веб-додатку інтелектуальної системи прогнозування розвитку населення. У правій частині екрана розташований порожній графік, що призначений для відображення історичних даних про чисельність населення та прогнозів, які отримані за допомогою різних моделей.

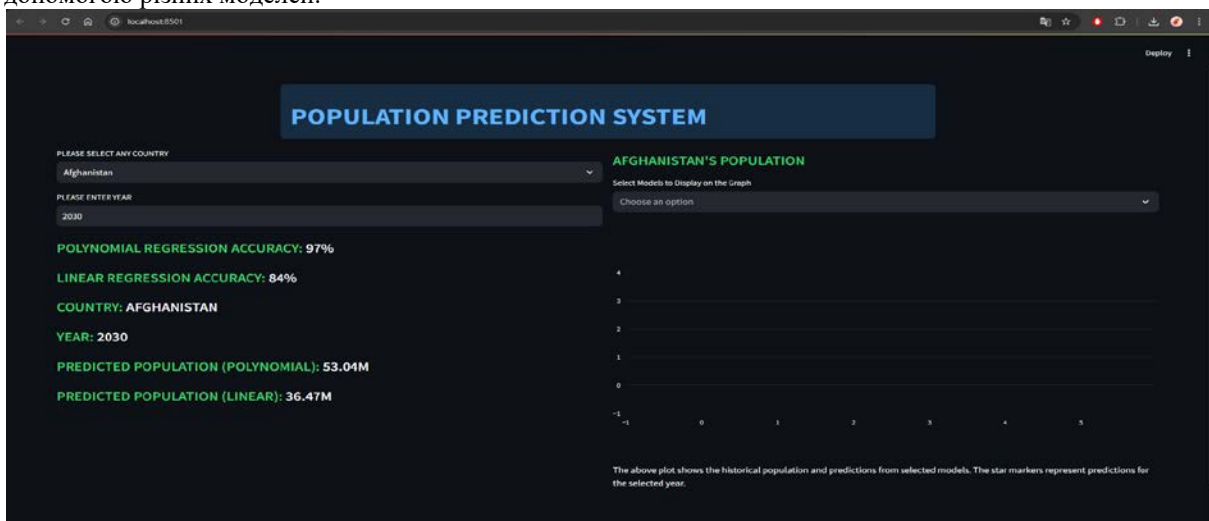


Рисунок 6 – Інтерактивний інтерфейс системи прогнозування розвитку населення

Рисунок 7 ілюструє перелік країн, доступних для вибору користувачем з метою здійснення прогнозування чисельності їхнього населення.

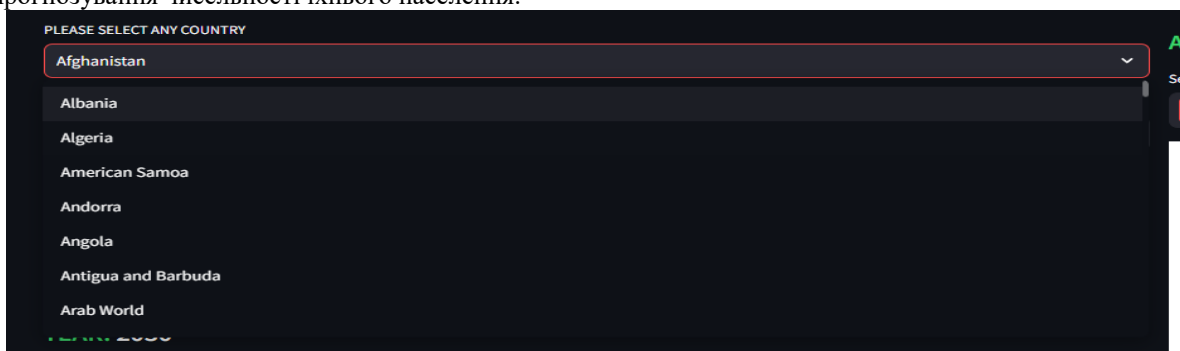


Рисунок 7 – Список країн для прогнозування розвитку населення

На рисунку 8 представлено кінцевий графік прогнозування демографічних показників для регіону Європа.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ



Рисунок 8 – Графік прогнозування розвитку населення для регіону Європа

Зокрема, перший експеримент (рисунок 8), що фокусувався на Німеччині, дозволив дослідити, наскільки ефективно моделі відтворюють національні демографічні особливості.

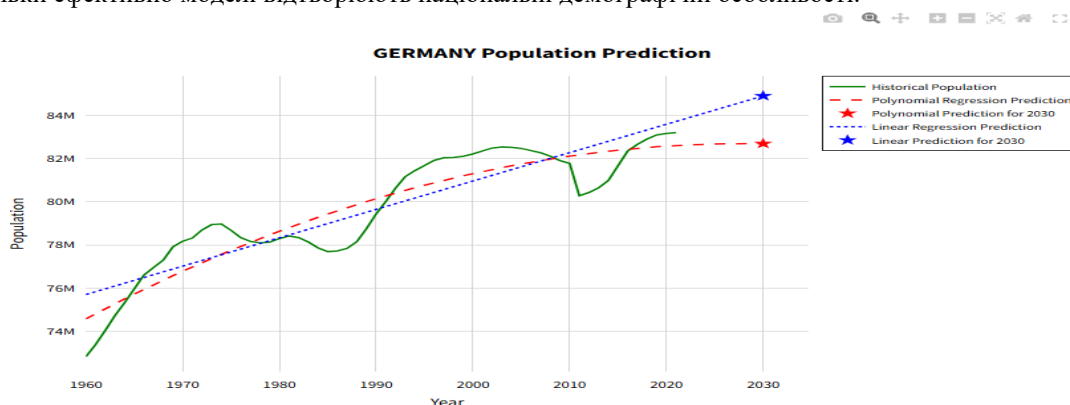


Рисунок 8 – Прогнозування розвитку населення в Німеччині

В рамках другого експерименту проводилось прогнозування на рівні світових регіонів (рисунок 9), що дозволило визначити загальні тенденції в групах країн, з урахуванням соціально-економічних та демографічних особливостей.

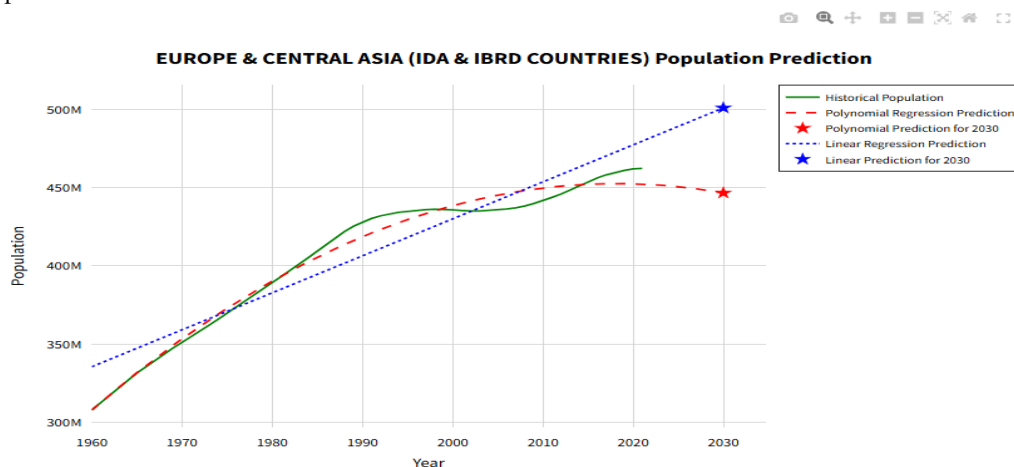


Рисунок 9 – Аналіз та прогнозування розвитку населення в Європі

В рамках третього експерименту проводилось прогнозування на рівні континентів (рисунок 10). На прикладі Північної Америки, було проаналізовано глобальний розвиток населення.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

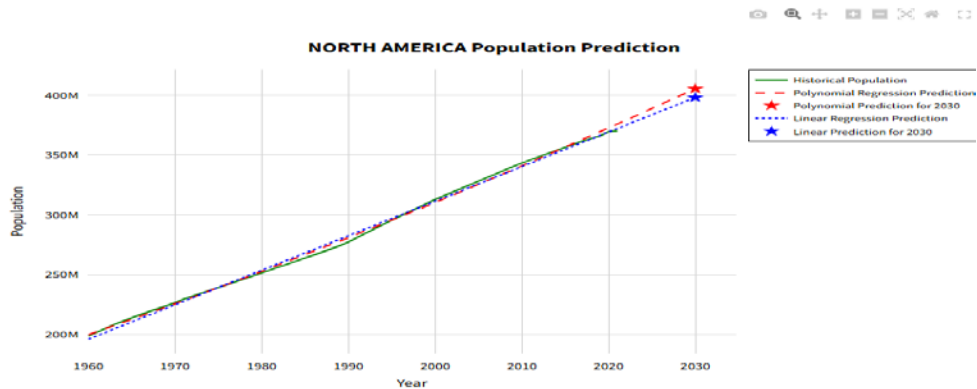


Рисунок 10 – Прогноз динаміки населення Північної Америки

Для оцінювання прогностичних можливостей різних моделей у контексті демографічних змін було проведено три експерименти. Проведено порівняння лінійної та поліноміальної регресії на предмет точності прогнозів для країн, регіонів та континентів (таблиця 1).

Таблиця 1

Результати експериментів

Назва моделі	Експеримент 1 (країни)	Експеримент 2 (регіони світу)	Експеримент 3 (материка)
Поліноміальна регресія	88%	98%	99%
Лінійна регресія	83%	91%	99%

ВИСНОВКИ

У статті було представлено підхід до розробки інтелектуальної системи прогнозування розвитку населення, яка поєднує методи машинного навчання, автоматизацію процесів моделювання та інтеграцію з інформаційними системами. Головні аспекти дослідження зосереджені на забезпеченні точності прогнозів, автоматизації обробки даних, адаптивності моделі до змінних демографічних умов, інтеграції з іншими системами та масштабованості.

Основні результати дослідження:

1. Розроблено підхід до автоматизованої побудови прогнозних моделей на основі історичних демографічних даних. Використання методів лінійної та поліноміальної регресії дозволило отримати точні прогнози на різні часові горизонти.

2. Забезпечено механізми попередньої обробки даних, включаючи автоматичне заповнення пропущених значень, нормалізацію та виявлення аномалій.

3. Інтегровано алгоритми машинного навчання, зокрема лінійну та поліноміальну регресію, Random Forest, Gradient Boosting, а також інші методи, що можуть бути розширені для обробки складних моделей прогнозування.

4. Лінійна регресія продемонструвала високу ефективність у короткострокових прогнозах, забезпечуючи низькі значення RMSE та MAE. Для довгострокових прогнозів кращою виявилася поліноміальна регресія, оскільки вона краще враховує складні тенденції змін населення та демонструє нижчі похибки. Найбільш оптимальною стала поліноміальна модель другого ступеня, тоді як модель третього ступеня показала схильність до перенавчання.

5. Забезпечено можливість регулярного оновлення моделей з урахуванням нових даних, що сприяє підвищенню точності прогнозів та адаптації до змін демографічної ситуації.

6. Розроблено інтерфейс для інтеграції з іншими інформаційними системами, що дозволяє автоматично оновлювати прогнозні дані у відповідних базах.

Отримані результати демонструють ефективність запропонованого підходу та можливість його використання у сфері стратегічного планування соціально-економічного розвитку. Перспективами подальшого розвитку дослідження є розширення набору алгоритмів прогнозування, включення нейронних мереж та когортних моделей, а також підвищення рівня автоматизації всіх етапів аналізу та прогнозування.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022). World Population Prospects 2022: Summary of Results. United Nations Publication.
2. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27.
3. Tableau Software. (2023). Tableau Public. URL: <https://public.tableau.com/> (дата звернення: 2023-11-24).
4. Ahmad, F., & Bashir, S. (2020). Population forecasting using machine learning techniques. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(10), 406-412.
5. Smith, S. K., Tayman, J., & Swanson, D. A. (2018). State and local population projections: Methodology and analysis. Springer.
6. Wilson, T., Raymer, J., & Rees, P. (2020). Methods of making national population projections: How well do they work? *Population Studies*, 74(1), 103-119.
7. Дергачов В. А. (2020). Демографічні процеси в Україні та світі: виклики та тенденції розвитку. Київ: Інститут демографії та соціальних досліджень НАН України. 256 с.
8. ООН. Цілі сталого розвитку: Глобальні показники. [Електронний ресурс]. URL: <https://unstats.un.org/sdgs/> (дата звернення: 03.03.2025).
9. Лібанова Е. М. (2019). Демографічні процеси в Україні: аналіз та прогноз. Київ: Інститут демографії НАН України. 340 с.
10. World Bank. (2023). World Development Report 2023: Demographics and Global Development. Washington: World Bank Publications. 380 p.
11. Russell, S., & Norvig, P. (2021). Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4th ed. New Jersey: Pearson. 1152 p.
12. Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2017). The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. 2nd ed. New York: Springer. 767 p.
13. Дуброва О. С., & Коваленко І. В. (2022). Використання нейронних мереж для прогнозування демографічних змін. *Науковий вісник Київського університету*, (3), 45–56.
14. Малиновський Б. М. (2021). Економічні та соціальні аспекти демографічного розвитку України. *Економіка і прогнозування*, (2), 79–94.
15. Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2017). Machine, Platform, Crowd: Harnessing Our Digital Future. New York: W. W. Norton & Company. 416 p.
16. European Commission. Population and Demographic Trends in Europe. [Електронний ресурс]. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat> (дата звернення: 03.03.2025).
17. United Nations. The Sustainable Development Goals Report 2023. [Електронний ресурс]. URL: <https://unstats.un.org>

REFERENCES

1. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022). World Population Prospects 2022: Summary of Results. United Nations Publication.
2. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27.
3. Tableau Software. (2023). Tableau Public. URL: <https://public.tableau.com/> (access date: 2023-11-24).
4. Ahmad, F., & Bashir, S. (2020). Population forecasting using machine learning techniques. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(10), 406-412.
5. Smith, S. K., Tayman, J., & Swanson, D. A. (2018). State and local population projections: Methodology and analysis. Springer.
6. Wilson, T., Raymer, J., & Rees, P. (2020). Methods of making national population projections: How well do they work? *Population Studies*, 74(1), 103-119.
7. Dergachev, V. A. (2020). Demographic processes in Ukraine and the world: challenges and development trends. Kyiv: Institute of Demography and Social Research of the National Academy of Sciences of Ukraine. 256 p.
8. UN. Sustainable Development Goals: Global indicators. [Electronic resource]. URL: <https://unstats.un.org/sdgs/> (access date: 03.03.2025).
9. Libanova, E. M. (2019). Demographic processes in Ukraine: analysis and forecast. Kyiv: Institute of Demography, NAS of Ukraine. 340 p.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

10. World Bank. (2023). World Development Report 2023: Demographics and Global Development. Washington: World Bank Publications. 380 p.
11. Russell, S., & Norvig, P. (2021). Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4th ed. New Jersey: Pearson. 1152 p.
12. Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2017). The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. 2nd ed. New York: Springer. 767 p.
13. Dubrova, O. S., & Kovalenko, I. V. (2022). Using Neural Networks to Predict Demographic Changes. Scientific Bulletin of Kyiv University, (3), 45–56.
14. Malinovsky, B. M. (2021). Economic and Social Aspects of Demographic Development of Ukraine. Economics and Forecasting, (2), 79–94.
15. Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2017). Machine, Platform, Crowd: Harnessing Our Digital Future. New York: W. W. Norton & Company. 416 p.
16. European Commission. Population and Demographic Trends in Europe. [Electronic resource]. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat> (accessed: 03.03.2025).
17. United Nations. The Sustainable Development Goals Report 2023. [Electronic resource]. URL: <https://unstats.un.org>

Надійшла до редакції 20.02.2025р.

УГРИН ДМИТРО ІЛІЧ – доктор технічних наук, професор, доцент кафедри комп'ютерних наук, Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, Чернівці, Україна.

e-mail: d.ugryn@chnu.edu.ua

УШЕНКО ЮРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач комп'ютерних наук, Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, Чернівці, Україна. **e-mail: y.ushenko@chnu.edu.ua**

ТЕРЛЕЦЬКИЙ ТАРАС ВОЛОДИМИРОВИЧ – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри комп'ютерної інженерії та безпеки, Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна. **e-mail: t.terletskyi@lntu.edu.ua**

КАЙДИК ОЛЕГ ЛЕОНТІЙОВИЧ – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії та безпеки, Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна. **e-mail: o.kaidyk@lntu.edu.ua**

ДОБРОВОЛЬСЬКИЙ ЮРІЙ ГЕОРГІЙОВИЧ – доктор технічних наук, професор, професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, Чернівці, Україна. **e-mail: y.dobrovolsky@chnu.edu.ua**

ШКІДИНА КАТЕРИНА СЕРГІЇВНА – студентка-магістрантка кафедри комп'ютерних наук, Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, Чернівці, Україна. **e-mail: shkidina.kateryna@chnu.edu.ua**

D.I. UHRYN, YU.O. USHENKO, T.V. TERLETSKYI,
O.L. KAIDYK, Yu.G. DOBROVOLSKY, K.S. SHKIDINA

AGILE TECHNOLOGY FOR DEVELOPING AN INTELLIGENT POPULATION DEVELOPMENT FORECASTING SYSTEM

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Lutsk National Technical University