

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВАДИМА ГЕТЬМАНА**

Інститут інформаційних технологій в економіці

Кафедра штучного інтелекту, моделювання та статистики

Освітньо-професійна програма «Економічна кібернетика і Дата Сайнс»

Галузь знань 05 «Соціальні та поведінкові науки»
Спеціальність 051 «Економіка»

Форма здобуття освіти: очна (денна)

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему «Аналіз рівня цифровізації країн світу в контексті економічного
розвитку»
(назва теми)

здобувача Шабелян Марія Ярославівна

(ПІБ, підпис)



Науковий керівник: к. е. н., доцент Ольга КАТУНІНА

(підпис)

**Робота допущена до захисту перед екзаменаційною
комісією з атестації здобувачів вищої освіти (ЕК)**

Завідувач кафедри: к. ф.-м. н., професор
Галина ВЕЛИКОІВАНЕНКО

(підпис)

Київ 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВАДИМА ГЕТЬМАНА**

Інститут інформаційних технологій в економіці

Кафедра штучного інтелекту, моделювання та статистики

Освітньо-професійна програма «Економічна кібернетика і Дата Сайнс»

Галузь знань 05 «Соціальні та поведінкові науки»

Спеціальність 051 «Економіка»

ПОГОДЖЕНО

Керівник проектної групи (гарант)
освітньо-професійної програми
Олена ПІСКУНОВА

(підпис)

_____ 2025 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри штучного інтелекту,
моделювання та статистики
Галина ВЕЛИКОІВАНЕНКО

(підпис)

_____ 2025 р.

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

здобувача вищої освіти

Шабелян Марії Ярославівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

очної (денної)

форми здобуття освіти

очної (денної), заочної, дистанційної

на підготовку кваліфікаційної магістерської роботи

на тему

«Аналіз рівня цифровізації країн світу в контексті економічного розвитку»

Тему затверджено наказом ректора Університету від «19» вересня 2025 р. № 1464-ст

Кваліфікаційна магістерська робота виконується на матеріалах

офіційних документів та статистичних ресурсів Європейської Комісії (<https://ec.europa.eu/>), Організації економічного співробітництва та розвитку (<https://oecd.org/>), Світового банку (<https://worldbank.org/>), а також даних інтегрованого набору Digital_Economy_2022_Enriched та інших відкритих джерел міжнародної цифрової статистики.

План кваліфікаційної магістерської роботи

Розділ 1	Теоретичні засади аналізу процесів формування цифрового економічного середовища як складової економічного розвитку країн світу
Розділ 2	Практичне застосування математичних методів та моделей для оцінювання та аналізу рівня цифровізації країн світу

Об'єкт дослідження:	процеси цифровізації економіки та розбудови інфраструктури цифрового економічного середовища, що реалізується у країнах світу
Предмет дослідження:	методи аналізу та математичного моделювання процесів цифровізації країн світу на базі системи індикаторів цифрового розвитку, дослідження їх структурних взаємозв'язків та впливу рівня цифровізації на економіку країн
Мета виконання кваліфікаційної магістерської роботи:	аналіз та моделювання рівня цифровізації країн світу та оцінювання її впливу на економічний розвиток

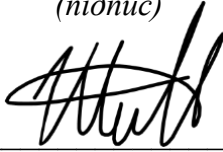
Конкретні завдання, які здобувач повинен виконати для досягнення поставленої мети:

У розділі 1: 1)дослідити теоретичні засади аналізу процесів формування цифрового економічного середовища та цифрової економіки; 2) проаналізувати підходи до оцінювання цифрового розвитку країн світу на базі системи показників та міжнародних індексів;

У розділі 2: 1) обґрунтувати структуру інформаційної бази цифрових індикаторів та побудувати інтегральні індекси (DCI та DRI_PCA) для комплексної оцінки рівня цифровізації країн світу; 2) розробити математичні моделі оцінювання та аналізу цифрового розвитку на базі методів статистичного аналізу даних; 3) оцінити залежності між комплексом факторів економічного розвитку країн світу та рівнем цифровізації та визначити позиції України у контексті глобального економічного розвитку

Завдання підготував
науковий керівник

Завдання одержав
здобувач

(підпис)


(підпис)

Ольга КАТУНІНА
(ім'я, прізвище)
«__» _____ 2025 р.

Марія ШАБЕЛЯН
(ініціали, прізвище)
«__» _____ 2025 р.

Реферат

Кваліфікаційна магістерська робота містить 74 сторінки, 18 таблиць, 13 рисунків, перелік використаних джерел з 54 найменувань, додатки.

«Аналіз рівня цифровізації країн світу в контексті економічного розвитку»

Об'єктом дослідження є процеси цифровізації економіки та розбудови інфраструктури цифрового економічного середовища, що реалізуються у країнах світу.

Предметом дослідження є методи аналізу та математичного моделювання процесів цифровізації країн світу на базі системи індикаторів цифрового розвитку дослідження їх структурних взаємозв'язків та впливу рівня цифровізації на економіку країн.

Мета та завдання виконання дослідження. Метою виконання кваліфікаційної магістерської роботи є аналіз та моделювання рівня цифровізації країн світу та оцінювання її впливу на економічний розвиток.

Відповідно до поставленої мети визначені такі *завдання* дослідження:

- дослідити теоретичні засади аналізу процесів формування цифрового економічного середовища та цифрової економіки;
- проаналізувати підходи до оцінювання цифрового розвитку країн світу на базі системи показників та міжнародних індексів;
- обґрунтувати структуру інформаційної бази цифрових індикаторів та побудувати інтегральні індекси (DCI та DRI_PCA) для комплексної оцінки рівня цифровізації країн світу;
- розробити математичні моделі оцінювання та аналізу цифрового розвитку на базі методів статистичного аналізу даних;
- оцінити залежності між комплексом факторів економічного розвитку країн світу та рівнем цифровізації та визначити Позиції України у контексті глобального економічного розвитку.

Теоретична, методична та практична значущість отриманих результатів. Кваліфікаційна робота має теоретичну значущість, оскільки поглиблює розуміння застосування технологій математичного моделювання для наукових досліджень та вдосконалення методології аналізу та прогнозування розвитку цифрової економіки та рівня цифровізації країн світу. У дослідженні систематизовано ключові підходи до оцінювання рівня цифровізації, уточнено зміст базових категорій, узагальнено структуру цифрових індикаторів та визначено їх роль у формуванні економічної динаміки.

Практичні результати дослідження полягають у можливості використання побудованих індексів, кластерних структур та економетричних моделей для моніторингу цифрової нерівності, оцінювання економічного потенціалу країн та обґрунтування стратегічних рішень у сфері цифрової політики. Запропоновані підходи можуть застосовуватися аналітичними центрами, державними установами та дослідниками, які працюють у напрямі цифрової трансформації економіки.

Рік виконання кваліфікаційної магістерської роботи – 2025.

Рік захисту роботи – 2025.

Ключові слова: цифровізація, цифровий розвиток, міжнародні цифрові індикатори, цифрова інфраструктура, інституційні фактори, кластеризація, PCA, економетричні моделі, цифрова економіка.

В і д г у к
про кваліфікаційну магістерську роботу
здобувача освітньо-професійної програми «Економічна кібернетика і Дата
Сайнс»

навчально-наукового інституту «Інститут інформаційних технологій в
економіці КНЕУ імені Вадима Гетьмана»

Шабелян Марії Ярославівни

на тему «Аналіз рівня цифровізації країн світу в контексті економічного розвитку»

1. Актуальність теми: у сучасних умовах глобальної цифрової трансформації оцінювання рівня цифровізації країн, визначення її детермінант та впливу на економічний розвиток є важливими завданнями. Цифрові інфраструктурні показники, цифрові навички, інституційна спроможність та індикатори розвитку електронного урядування впливають на продуктивність економіки країн та конкурентоспроможність держав. Тема роботи є актуальною, оскільки дозволяє комплексно дослідити цифрову готовність країн світу на основі міжнародних статистичних даних та застосувати сучасні економіко-математичні методи для виявлення зв'язків між цифровим і економічним розвитком.

2. Позитивні риси кваліфікаційної магістерської роботи: робота має чітку структуру, логічну послідовність і високий рівень аналітичного опрацювання. У роботі систематизовано наукові підходи до вимірювання цифровізації, проведено ґрунтовний аналіз міжнародних індикаторів цифрового розвитку та проаналізовано їхні методологічні особливості. Практична частина відзначається коректним формуванням і підготовкою великомасштабної бази даних, проведенням статистичного аналізу, побудовою інтегральних цифрових індексів DCI та DRI_PCA, кластеризацією країн та моделюванням взаємозв'язків між цифровими та економічними показниками. Усі завдання виконано в повному обсязі.

3. Наявність самостійних розробок автора: здобувачем самостійно сформовано інтегровану базу даних Digital_Economy_2022_Enriched та виконано повний цикл її опрацювання, включаючи очищення, нормалізацію та підготовку до моделювання. Побудовано власні інтегральні індекси цифрового розвитку, здійснено відбір найінформативніших показників із використанням PCA, проведено кластеризацію 179 країн, побудовано економетричні моделі та застосовано методи машинного навчання для оцінювання впливу цифровізації на економічне зростання. Використання програмних засобів (Python, R) підтверджує здатність здобувача застосовувати сучасні інструменти Data Science та працювати з великими обсягами міжнародних статистичних даних.

4. Цінність теоретичних висновків та практичних рекомендацій: теоретичні узагальнення дозволяють глибше проаналізувати сутність цифрової економіки, структуру міжнародних індикаторів цифрового розвитку та їх роль у формуванні цифрової конкурентоспроможності країн. Практичні результати, зокрема побудовані індекси, кластерні структури та економетричні моделі, можуть бути використані для моніторингу процесу цифровізації, аналізу цифрової нерівності

між країнами, формування цифрової стратегії України та обґрунтування управлінських рішень у сфері цифрової політики. Окремі результати роботи були подані для участі у **XIII Всеукраїнській науково-практичній конференції «Форум молодих економістів-кібернетиків» (21–22.11.2025 р.)** у вигляді тез доповіді *«Аналіз впливу цифровізації на соціально-економічний розвиток країн світу»*.

5. Наявність недоліків: до недоліків можна віднести те, що робота зосереджена переважно на порівняльному аналізі країн, тоді як аналіз динаміки цифрових показників у часі міг би надати додаткові можливості для прогнозування. Також доцільним є розширення комплексу моделей та використання нейромережевих інструментів. Проте зазначені недоліки не знижують загальної наукової та практичної цінності дослідження.

6. Загальна оцінка кваліфікаційної магістерської роботи та її допущення до захисту перед ЕК: зважаючи на те, що кваліфікаційна магістерська робота здобувача Шабелян Марії Ярославівни на тему *«Аналіз рівня цифровізації країн світу в контексті економічного розвитку»* є актуальною, дослідження є самостійним і ґрунтовним, поставлені завдання виконано у повному обсязі, вважаю, що робота повністю відповідає усім вимогам. Рівень якості виконання роботи є високим, вона може бути допущена до захисту перед ЕК. Робота свідчить про відповідність набутих здобувачем компетентностей вимогам освітньої програми *«Економічна кібернетика і Дата Сайнс»*, а її автор Шабелян М.Я., за умови успішного захисту, заслуговує на присвоєння освітньої кваліфікації *«Магістр з економіки»*.

Науковий керівник доцент кафедри штучного інтелекту, моделювання та статистики,
кандидат економічних наук, доцент

Ольга КАТУНІНА

“ ____ ” _____ 2025 р.

Рецензія

на кваліфікаційну магістерську роботу
здобувача вищої освіти
Шабелян Марії Ярославівни

Тема "Аналіз рівня цифровізації країн світу в контексті економічного розвитку "

Актуальність теми кваліфікаційної магістерської роботи і доцільність її розроблення. У контексті глобальної цифрової трансформації оцінювання цифрового розвитку країн набуває особливої важливості. Цифрові індикатори безпосередньо впливають на економічну продуктивність, конкурентоспроможність та можливості інтеграції у світову економіку, що робить дослідження теми актуальним та необхідним.

Якість проведеного дослідження. У роботі послідовно розкрито теоретичні засади цифровізації та методи її оцінювання. Практична частина виконана коректно, сформовано базу даних, здійснено статистичний аналіз, побудовано інтегральні індекси та моделі для оцінювання впливу цифрових факторів на економічний розвиток. Результати структуровані та логічно обґрунтовані.

Позитивні риси кваліфікаційної магістерської роботи. У роботі вдало поєднано теоретичні положення з практичними методами аналізу цифрового розвитку. Автор продемонструвала уміння працювати з великими масивами міжнародних даних та застосовувати сучасні статистичні й економіко-математичні методи. Побудовані інтегральні індекси цифровізації та проведена кластеризація країн відзначаються коректністю і логічністю, а результати моделювання підтверджують високий рівень аналітичної підготовки. Отримані висновки є обґрунтованими та відображають реальні тенденції цифрового розвитку.

Зауваження. Бажано було б додатково розглянути багатофакторні динамічні моделі, що побудовано на нейромережевих технологіях, які дадуть можливість врахувати інші динамічні процеси, що впливають на обсягові та структурні параметри ринку праці.

Практична значимість висновків і рекомендацій. Результати дослідження можуть бути використані державними органами для формування цифрової політики, аналітичними центрами для оцінювання глобальної цифрової нерівності, а також бізнесом для визначення цифрової привабливості ринків. Побудовані індекси та моделі можуть слугувати інструментами моніторингу цифрового розвитку та підтримки стратегічних управлінських рішень.

Місце роботи та посада рецензента

Науковий ступінь, учене звання (за наявності)

(підпис, Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Підпис засвідчую:

(посада, підпис)

Місце печатки організації, де працює рецензент

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ АНАЛІЗУ ПРОЦЕСІВ ФОРМУВАННЯ ЦИФРОВОГО ЕКОНОМІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ЯК СКЛАДОВОЇ ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ КРАЇН СВІТУ	6
1.1 Цифрова економіка та цифровізація як детермінанти економічного розвитку країн	6
1.2. Оцінювання рівня цифрового розвитку країн світу на базі системи міжнародних індикаторів та індексів	18
1.3. Методи аналізу та моделювання процесів цифровізації у країнах світу	25
РОЗДІЛ 2. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ РІВНЯ ЦИФРОВІЗАЦІЇ КРАЇН СВІТУ	34
2.1. Формування та попередня обробка аналітичної бази даних Digital_Economy_2022_Enriched	34
2.2. Результати статистичного аналізу системи цифрових показників країн світу	39
2.3. Кластеризація країн світу за рівнем цифровізації	50
2.4. Моделювання взаємозв'язків між рівнем цифровізації та економічним розвитком країн	55
2.5. Порівняльний аналіз цифрового розвитку країн світу та позиціонування України	64
ВИСНОВКИ	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	76
ДОДАТКИ	83

ВСТУП

Сучасний етап розвитку світового господарства характеризується стрімким поширенням цифрових технологій, які поступово трансформують усі сфери економічної діяльності. Цифровізація стає ключовим фактором підвищення конкурентоспроможності держав, формування інноваційної моделі економічного зростання, модернізації ринку праці та посилення ролі людського капіталу. Інформаційно-комунікаційні технології, великі дані, хмарні сервіси, штучний інтелект, цифрові платформи та електронне врядування формують нові механізми взаємодії між державою, бізнесом і суспільством, визначаючи нову структуру глобальної економіки.

В умовах посилення інтеграційних процесів та розвитку інформаційного суспільства цифрова економіка стає не лише технологічним, але й стратегічним пріоритетом багатьох країн світу [6; 7]. Саме тому оцінювання рівня цифровізації та визначення її впливу на економічний розвиток є важливим науковим завданням, що дозволяє виявити структурні диспропорції, визначити конкурентні переваги та сформувати ефективні напрямки державної політики [8; 9].

Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю об'єктивного аналізу цифрової трансформації національних економік, підвищенням ролі індикаторів цифрового розвитку у стратегічному плануванні, а також потребою удосконалення аналітичних моделей, що використовуються для комплексного оцінювання цифрової готовності країн. Особливо важливим є формування системних підходів до порівняльного аналізу цифрових екосистем різних держав, зважаючи на нерівномірність глобального цифрового прогресу [10].

Метою кваліфікаційної роботи є аналіз та моделювання рівня цифровізації країн світу та оцінювання її впливу на економічний розвиток. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі *завдання*:

1. Дослідити теоретичні засади аналізу процесів формування цифрового економічного середовища та цифрової економіки.

2. Проаналізувати підходи до оцінювання цифрового розвитку країн світу на базі системи показників та міжнародних індексів .
3. Обґрунтувати структуру інформаційної бази цифрових індикаторів та побудувати інтегральні індекси (DCI та DRI_PCA) для комплексної оцінки рівня цифровізації країн світу.
4. Розробити математичні моделі оцінювання та аналізу цифрового розвитку на базі методів статистичного аналізу даних.
5. Оцінити залежності між комплексом факторів економічного розвитку країн світу та рівнем цифровізації та визначити позиції України у контексті глобального економічного розвитку.

Об'єктом дослідження є процеси цифровізації економіки та розбудови інфраструктури цифрового економічного середовища, що реалізуються у країнах світу

Предметом дослідження є методи аналізу та математичного моделювання процесів цифровізації країн світу на базі системи індикаторів цифрового розвитку, дослідження їх структурних взаємозв'язків та впливу рівня цифровізації на економіку країн.

Теоретична, методична та практична значущість отриманих результатів. Кваліфікаційна робота має теоретичну значущість, оскільки поглиблює розуміння застосування технологій математичного моделювання для наукових досліджень та вдосконалення методології аналізу та прогнозування розвитку цифрової економіки та рівня цифровізації країн світу. У дослідженні систематизовано ключові підходи до оцінювання рівня цифровізації, уточнено зміст базових категорій, узагальнено структуру цифрових індикаторів та визначено їх роль у формуванні економічної динаміки.

Дослідження має методичну значущість, що полягає у розробленні комплексного підходу до оцінювання рівня цифровізації країн світу, який поєднує класичні статистичні методи (кореляційний аналіз, індексний аналіз, таксономія) з сучасними інструментами Data Science (кластеризація K-Means, PCA, машинне навчання). У роботі створено обґрунтовано систему інтегральних показників

цифрового розвитку (DCI та DRI_PCA), обґрунтовано процедуру підготовки багатовимірного датасету та продемонстровано алгоритм застосування математичних моделей для структурного аналізу цифрової економіки.

Практична значущість полягає у можливості використання результатів дослідження державними органами, аналітичними центрами та міжнародними організаціями для формування цифрової політики, оцінювання конкурентоспроможності національних цифрових екосистем та розроблення стратегій цифрової трансформації.

Інформаційною базою дослідження є відкриті статистичні дані міжнародних організацій, зокрема International Telecommunication Union (ITU), United Nations Development Programme (UNDP), UN E-Government Survey, Transparency International та World Bank.

Кваліфікаційна робота складається зі вступу, двох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ АНАЛІЗУ ПРОЦЕСІВ ФОРМУВАННЯ ЦИФРОВОГО ЕКОНОМІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ЯК СКЛАДОВОЇ ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ КРАЇН СВІТУ

1.1 Цифрова економіка та цифровізація як детермінанти економічного розвитку країн

У сучасному світі цифрова економіка стала не просто окремим сегментом господарства, а фундаментальною основою глобального розвитку. Більшість держав формують довгострокові стратегії цифрової трансформації, що охоплюють оновлення інфраструктури, модернізацію бізнес-процесів і систем управління, а також розширення доступу населення до цифрових послуг [1]. Саме тому дослідження цифровізації на рівні країн сьогодні є одним із ключових напрямів економічної науки та Data Science.

Поняття «цифрова економіка» вперше набуло широкого поширення після публікації Д. Тапскотта «The Digital Economy» (1994), у якій автор описав появу нової економічної системи, побудованої на масовому використанні телекомунікацій та інформаційних технологій [12]. Подібну концепцію розвивав Н. Негропonte у праці «Being Digital», акцентуючи увагу на переході від роботи з «атомами» до роботи з «бітами» - тобто від матеріальних ресурсів до цифрових [13]. Даний перехід і став відправною точкою формування цифрової економіки як системи, у якій створення цінності дедалі більше пов'язане з даними, програмними рішеннями та цифровими платформами.

У науковому дискурсі часто використовуються синонімічні поняття, такі як «інтернет-економіка», «нова економіка», «економіка знань» [4], проте всі вони описують спільну сутність: домінуючу роль цифрових технологій у виробництві, комунікаціях та управлінні. У вузькому розумінні цифрова економіка охоплює

індустрію створення цифрових товарів та ІТ-послуг, а в широкому, перетворює спосіб функціонування всієї економічної системи, змінюючи способи взаємодії держави, бізнесу та суспільства [5].

Окрім базових категорій важливо розрізняти взаємопов'язані, але різні за змістом терміни: *digitization*, *digitalization* та *digital transformation*. *Digitization* означає переведення аналогової інформації у цифровий формат, що є технічним етапом. *Digitalization* стосується впровадження цифрових технологій у бізнес-процеси, державне управління та соціальні практики. *Digital transformation*, у свою чергу, є системною перебудовою економічної моделі, коли цифрові технології стають основою створення доданої вартості та формують нові правила економічної взаємодії. Саме третій рівень трансформації визначає сучасний етап глобального розвитку й лежить в основі стратегій цифрової економіки провідних держав.

Однією з ключових рис сучасної цифрової економіки є *datafication* - процес перетворення людських дій, бізнес-операцій і соціальних взаємодій у дані, що можуть бути виміряні, оброблені та комерціалізовані. Дані стають новим виробничим ресурсом, аналогічним капіталу чи праці, і визначають конкурентні переваги держав і корпорацій. Саме тому OECD та Світовий банк включають якість даних і доступ до інформаційних ресурсів до переліку критичних факторів цифрової конкурентоспроможності [2; 6].

Сутність цифрової економіки охоплює види діяльності, що пов'язані зі створенням, обробкою, передаванням і використанням цифрових продуктів та сервісів [11]. Одним із найвідоміших структурних підходів є модель Т. Мезенбурга, який виділив три ключові компоненти цифрової економіки: цифрову інфраструктуру, електронний бізнес та електронну комерцію [12]. Організація економічного співробітництва та розвитку (OECD) визначає цифрову економіку як таку, у якій цифрові знання, дані, обчислювальні потужності та мережеві технології виступають критичними факторами виробництва та інновацій [6]. Світовий банк також наголошує, що у сучасній економіці дані та цифрові платформи стають стратегічними активами держав і корпорацій [2].

Тісно пов'язане з поняттям цифрової економіки поняття «цифровізація» означає процес упровадження цифрових технологій у різні сфери суспільного життя. Він охоплює збір, обробку, передавання та зберігання даних [13], ґрунтуючись на таких технологічних напрямках, як штучний інтелект, великі дані, хмарні обчислення, робототехніка, блокчейн та кібербезпека [5]. Цифровізація трансформує логіку управлінських, виробничих і соціальних процесів, формує нові бізнес-моделі, ринки й інструменти взаємодії між економічними агентами [14].

У глобальному контексті цифровізація стає важливим індикатором економічного потенціалу країни. Показники розвитку цифрової інфраструктури, рівня доступу до Інтернету, поширення широкосмугових мереж, цифрових компетенцій населення та ефективності електронних сервісів дедалі частіше використовуються для оцінки конкурентоспроможності національних економік [9]. За даними OECD, цифровізація стимулює продуктивність через автоматизацію рутинних процесів, обробку великих масивів даних та інтеграцію цифрових платформ у бізнес-моделі підприємств [1]. Країни з високими значеннями DESI, IDI чи EGDІ демонструють швидші темпи економічного зростання та вищий рівень інноваційності [21].

Світовий банк наводить емпіричні дані про те, що зростання проникнення широкосмугового Інтернету на 10 % здатне збільшувати ВВП на 0,8–1,5 % у країнах, що розвиваються [10]. Розвиток цифрової інфраструктури також впливає на продуктивність праці, зайнятість, електронну комерцію та доступність фінансових послуг. За даними WEF, цифрова готовність економік прямо корелює зі зростанням їх інноваційної активності [22]. Цифрове врядування, за оцінками ООН, забезпечує зниження адміністративних витрат, зміцнення прозорості державних процесів та сприяє покращенню бізнес-клімату [9].

Окремий вимір сучасної цифрової трансформації пов'язаний із цілями сталого розвитку. З одного боку, цифрові технології дають змогу знижувати матеріалоємність виробництва, оптимізувати логістичні ланцюги, скорочувати викиди завдяки «розумним» мережам, дистанційній роботі та розвитку сервісної економіки. З іншого боку, стрімке зростання обсягів передавання даних,

енергоспоживання дата-центрів і виробництва електронних пристроїв формує нові екологічні виклики – від збільшення вуглецевого сліду до проблеми електронних відходів. Тому цифрова економіка дедалі частіше розглядається не лише як драйвер зростання, а як інструмент «зеленої» трансформації, ефективність якої залежить від здатності держав поєднувати цифрові інновації з екологічними стандартами та політикою енергоефективності.

Для України цифровізація має системне, соціально-економічне та стратегічне значення. Розвиток електронного урядування, впровадження платформи «Дія», розширення доступу до онлайн-послуг, цифровізація фінансового сектору та активізація ІТ-індустрії сформували відчутний цифровий фундамент модернізації держави [15]. За оцінками Міністерства цифрової трансформації, збільшення частки цифрового сектору у ВВП на 1 % забезпечує приріст економіки на 0,7–0,8 %, значною мірою завдяки розвитку ІТ-експорту, підвищенню ефективності виробництва та поширенню електронних сервісів [16]. Національний банк України зазначає, що цифрові платформи у фінансовому секторі зменшують трансакційні витрати на 20–25 %, полегшуючи доступ до фінансових послуг та підтримуючи бізнес-активність [23].

Разом із тим цифровізація супроводжується низкою системних ризиків - від регіональної та соціальної цифрової нерівності до нестачі кваліфікованих ІТ-фахівців, кіберзагроз і посилення ринкової влади глобальних цифрових платформ [10]. Ці виклики потребують збалансованої державної політики, спрямованої на модернізацію інфраструктури, розвиток цифрових компетенцій та підвищення стійкості цифрового середовища. Водночас цифровізація суттєво трансформує структуру ринку праці, створюючи не лише нові виклики, а й принципово нові можливості. З одного боку, зростає попит на висококваліфікованих фахівців у сфері ІКТ, аналітики даних, розробників програмного забезпечення, експертів із кібербезпеки та цифрового маркетингу. З іншого боку, автоматизація рутинних операцій, впровадження роботизованих систем і поширення алгоритмічного управління призводять до зникнення або радикальної трансформації значної частини традиційних професій [1; 5; 22].

Одним із ключових процесів є поляризація ринку праці. Збільшується частка висококваліфікованих вакансій, пов'язаних із розробкою, впровадженням та управлінням цифровими системами, а також частка низькооплачуваних робіт у сфері сервісу та логістики, які обслуговують цифрову інфраструктуру (кур'єрські служби, складська логістика, технічна підтримка). Натомість середній сегмент, пов'язаний із виконанням стандартних адміністративних і виробничих операцій, поступово скорочується, що створює ризики посилення соціально-економічної нерівності та вимагає активної політики перекваліфікації [21; 29].

Цифрові технології змінюють і формати зайнятості. Поширення віддаленої роботи, гіг-економіки, фріланс-платформ та краудсорсингових сервісів дає змогу працівникам брати участь у глобальному ринку праці, не залишаючи власної країни. Для висококваліфікованих фахівців це відкриває нові можливості підвищення доходів, тоді як для держави це шанс утримати людський капітал, який раніше міг би повністю емігрувати. Водночас нестабільність доходів, відсутність класичних соціальних гарантій, непередбачуваний характер зайнятості в гіг-секторі створюють нові виклики для системи соціального захисту та регулювання трудових відносин [20; 22].

Важливим наслідком цифрової трансформації є перехід від одноразової освіти до концепції безперервного навчання (lifelong learning). Швидкість, із якою з'являються нові технології, робить традиційні моделі підготовки кадрів недостатніми: знання, отримані в університеті, швидко втрачають актуальність без постійного оновлення. Тому державна політика у сфері освіти й ринку праці має розвивати екосистему коротких програм підвищення кваліфікації, онлайн-курсів, модульних освітніх програм у співпраці з бізнесом та професійними спільнотами [15; 28].

Для країн з перехідною економікою, включаючи Україну, цифрова трансформація ринку праці має подвійний ефект. З одного боку, вона створює можливість «перестрибнути» окремі етапи індустріального розвитку, формуючи конкурентний ІТ-сектор, експорт цифрових послуг і нові кластери інноваційної економіки. З іншого боку, без системної політики навчання та перекваліфікації

існує ризик, що значна частина населення опиниться поза межами нових цифрових ринків праці й буде зосереджена в низькопродуктивних секторах. У таких умовах цифровізація може не зменшити, а посилити структурне безробіття та регіональні дисбаланси [16; 23].

Особливу роль у сучасній цифровій трансформації відіграють державні ініціативи, спрямовані на розвиток цифрових компетентностей населення. Національні програми цифрової грамотності, інтеграція цифрових модулів у формальну освіту, а також розбудова системи перекваліфікації для дорослого населення, зокрема для осіб, що втратили роботу через технологічні зміни або воєнні дії, стають ключовим механізмом як соціальної, так і економічної стабілізації. Для України, яка зіткнулася з масштабною міграцією, релокацією бізнесу та руйнуванням виробничих ланцюгів, такі заходи формують основу відновлення людського капіталу та підвищення стійкості економіки.

На цьому тлі швидке посилення впливу транснаціональних цифрових платформ актуалізує питання цифрового суверенітету. Якщо програми цифрової компетентності зміцнюють індивідуальну та національну спроможність працювати в цифровому середовищі, то цифровий суверенітет стосується здатності держави контролювати ключові цифрові ресурси, а саме інфраструктуру, дані, програмне забезпечення та критичні інформаційні потоки. На відміну від традиційного територіального суверенітету, цифровий суверенітет існує у наднаціональному середовищі глобальних мереж і платформ, де домінування приватних корпорацій може створювати ризики для національної безпеки, економічної стійкості та захисту прав громадян [1; 6; 22].

Центральною проблемою при цьому стає концентрація ринкової влади у небагатьох глобальних екосистем - великих провайдерів хмарних сервісів, пошукових систем, мобільних операційних систем, соціальних мереж та маркетплейсів. Такі компанії не лише домінують на окремих сегментах ринку, а й фактично формують «правила гри» для бізнесу та користувачів, встановлюють стандарти доступу до даних, алгоритми модерації контенту, умови використання API, політики конфіденційності. Для національних урядів це означає перенесення

частини регуляторних функцій у площину приватних корпоративних стратегій [30].

У відповідь на ці виклики формуються різні моделі регулювання цифрових платформ. Європейський підхід робить акцент на захисті персональних даних, прозорості алгоритмів та обмеженні зловживань ринковою владою через антитрастове законодавство і спеціальні рамкові акти щодо цифрових сервісів. Інші юрисдикції більше концентруються на стимулюванні інновацій та залученні інвестицій, припускаючи гнучкіші вимоги до платформ. Водночас загальним трендом є посилення відповідальності платформ за обробку даних, боротьбу з дезінформацією, кіберзагрозами та недобросовісними практиками на онлайн-ринках [6; 8; 22].

Питання цифрового суверенітету безпосередньо пов'язане з локалізацією та управлінням даними. Дані про громадян, підприємства, критичну інфраструктуру та державні процеси стають стратегічним ресурсом, від збереження якого залежить інформаційна безпека країни. Тому дедалі більше держав ініціюють політики локалізації окремих наборів даних, створення національних дата-центрів, умов для розвитку власних хмарних рішень та платформ відкритих даних. З іншого боку, занадто жорстка локалізація може стримувати інтеграцію в глобальні ланцюги створення цифрової вартості, підвищувати витрати бізнесу та зменшувати привабливість країни для інноваційних інвесторів [2; 19].

Важливою складовою цифрового суверенітету є кібербезпека. Цифровізація державних сервісів, фінансових операцій, енергетичних систем, транспорту та оборонного сектору робить держави вразливими до кібератак, саботажу, викрадення даних та інформаційно-психологічних операцій. Формування національної системи кібербезпеки вимагає не лише технічних рішень, а й розвиненої нормативно-правової бази, координації між державними органами, приватним сектором та міжнародними партнерами. Для України цей аспект має особливе значення в умовах гібридної війни, коли кіберпростір є одним із ключових театрів протистояння [15; 23; 31].

Окремий вимір дискусії про цифровий суверенітет - здатність держави розробляти власні цифрові сервіси та стандарти, а не лише адаптуватися до зовнішніх рішень. Розвиток національних платформ електронного урядування, систем електронної ідентифікації, цифрового документообігу, інфраструктури відкритих даних дозволяє зменшити залежність від комерційних закритих систем. При цьому важливо забезпечити їхню інтероперабельність із міжнародними стандартами, аби країна не опинилася у технологічній ізоляції. Баланс між відкритістю та контролем стає ключовим стратегічним завданням для урядів [16; 26].

З економічної точки зору цифровий суверенітет пов'язаний також із питаннями оподаткування цифрових гігантів, справедливого розподілу створеної вартості та запобігання виведенню прибутків у юрисдикції з низьким податковим навантаженням. Міжнародні ініціативи щодо оподаткування цифрових сервісів покликані скоригувати ситуацію, коли значні доходи формуються за рахунок користувачів та ринків одних країн, а податки сплачуються зовсім в інших. Для країн, що розвиваються, це питання особливо важливе, оскільки від нього залежить можливість фінансування цифрової інфраструктури, освіти та інновацій [2; 6; 10].

Для України проблематика цифрового суверенітету поєднує одразу декілька вимірів: захист критичних даних в умовах війни, інтеграцію в європейський цифровий простір, розвиток власних державних цифрових сервісів та створення сприятливих умов для ІТ-бізнесу. Від того, наскільки збалансовано буде поєднано ці завдання, залежить здатність країни не лише наздоганяти глобальні тренди, а й формувати власні цифрові компетенції, які можуть стати основою для довгострокової конкурентоспроможності.

Сучасні дискусії про цифрову економіку дедалі частіше виходять за межі вузько технократичного підходу і переходять до парадигми людиноцентричної цифрової трансформації. У документах ЄС та ОЕСР наголошується, що головною метою цифровізації є не максимізація прибутку, а підвищення якості життя, забезпечення інклюзивності, захисту прав людини в онлайн-середовищі та демократичної участі громадян [1; 6; 22]. Такий підхід передбачає, що оцінювання

цифрового розвитку має враховувати не лише інфраструктурні та економічні показники, а й параметри довіри, захисту персональних даних, участі громадян в управлінні та доступності цифрових сервісів для вразливих груп. Відповідно, цифрова політика розглядається як інструмент соціального контракту між державою, бізнесом і суспільством, а не як суто технологічний проєкт.

Важливим концептом стає цифрова стійкість (digital resilience), що поєднує технологічну надійність інфраструктури, кіберзахищеність, гнучкість інституцій та адаптивність бізнесу до шоків, від кібератак до воєнних дій чи пандемій. На відміну від класичної «кібербезпеки», яка фокусується переважно на запобіганні інцидентам, цифрова стійкість підкреслює здатність системи продовжувати функціонувати, швидко відновлюватися та навчатися на кризах [23; 31]. Для країн із перехідною економікою це особливо актуально: обмежені ресурси змушують поєднувати розбудову інфраструктури з механізмами оперативного відновлення та резервування, використовуючи хмарні технології, розподілені системи зберігання даних та гібридні архітектури державних сервісів.

Окремий пласт теоретичних досліджень стосується платформізації економіки. Цифрові платформи, що поєднують різні групи користувачів (продавці–покупці, водії–пасажири, розробники–споживачі контенту), створюють новий тип ринкових структур – багатосторонні платформи з потужними мережевими ефектами [2; 29]. Їхні бізнес-моделі базуються на масштабуванні даних та алгоритмічному керуванні попитом і пропозицією, що дозволяє швидко завойовувати глобальні ринки, але водночас концентрує ринкову владу у небагатьох корпорацій. Теоретики цифрової економіки відзначають, що класичні інструменти конкуренційної політики не завжди адекватні для регулювання платформ, адже ціни для користувачів можуть бути нульовими, а монополізація відбувається через контроль над даними та алгоритмами, а не лише через частку на ринку, вимагає перегляду антимонопольних підходів, зокрема впровадження правил щодо інтероперабельності, недискримінаційного доступу до платформ та прозорості алгоритмів [6; 30].

У цьому контексті зростає роль екосистемного підходу до цифрової економіки. Дедалі частіше мова йде не про окремі компанії або галузі, а про цілі екосистеми - сукупність платформ, розробників, постачальників даних, регуляторів і користувачів, які утворюють взаємозалежний простір створення цінності. Екосистеми можуть формуватися навколо великих технологічних гравців, національних проєктів електронного урядування або галузевих ініціатив (фінтех, агротех, медтех тощо) [2; 8]. Теоретичні моделі екосистем наголошують на важливості відкритих стандартів, API та спільних правил управління даними. Для держави це означає перехід від ролі «класичного» регулятора до ролі архітектора екосистеми, який забезпечує баланс між інноваційністю, конкуренцією та захистом суспільних інтересів.

З погляду розвитку підприємництва цифрова економіка створює якісно нові можливості для малого та середнього бізнесу (МСП). Доступ до хмарних сервісів, онлайн-маркетплейсів, платіжних платформ і рекламних інструментів знижує бар'єри входу на ринок і дозволяє МСП виходити на глобальну аудиторію без масштабних інвестицій у фізичну інфраструктуру [9; 22]. Водночас теорія «цифрових розривів другого порядку» наголошує, що не всі компанії однаково здатні використати ці можливості, вирішальну роль відіграють управлінські компетенції, цифрова грамотність власників, доступ до аналітики даних та здатність інтегрувати цифрові інструменти в бізнес-процеси. Тому сучасні підходи до політики підтримки МСП передбачають не лише фінансові стимули, а й програми цифрової менторської підтримки, бізнес-інкубатори, акселератори та центри цифрових інновацій.

Окремим напрямом теоретичних дискусій є подвійний перехід – “зелена” та цифрова трансформація (twin transition). Дослідники відзначають, що цифрові технології можуть виступати каталізатором екологічної модернізації, забезпечуючи моніторинг викидів, оптимізацію енергоспоживання, управління «розумними мережами» та розвиток циркулярної економіки [1; 10]. Водночас зростає усвідомлення того, що сама цифрова інфраструктура має істотний екологічний слід - від енергоспоживання дата-центрів до проблеми електронних

відходів. Теоретичні моделі «зеленої цифрової економіки» пропонують інтегрувати оцінку вуглецевого сліду ІКТ у стратегії цифровізації, розвивати відновлювані джерела енергії для дата-центрів, стимулювати повторне використання обладнання та запроваджувати стандарти еко-дизайну цифрових рішень.

Ще одна важлива площина - інституційне врядування цифровою трансформацією. У світовій практиці сформувалося кілька базових моделей: централізована (коли ключові рішення зосереджені в одному відомстві чи міністерстві цифровізації), децентралізована (з розподілом повноважень між різними міністерствами) та гібридна, що поєднує централізоване стратегічне планування з автономією галузевих регуляторів [15; 24]. Для країн, які перебувають у процесі активної цифрової трансформації, критичним є питання координації політик у сферах ІКТ, освіти, безпеки, фінансів та регіонального розвитку. Недостатня координація призводить до фрагментації цифрових сервісів, дублювання інвестицій та виникнення «інституційних розривів», коли нормативно-правова база відстає від реальної практики використання технологій.

У цьому зв'язку дедалі більшого значення набувають концепції data governance та data stewardship - управління даними як стратегічним активом. Теоретичні підходи підкреслюють необхідність чітких правил щодо прав власності на дані, доступу до них, умов вторинного використання та анонімізації [2; 19]. Держава виступає не лише збирачем і зберігачем даних, а й керуючим активом, який має забезпечити баланс між прозорістю, відкритістю, інноваційним використанням даних і захистом приватності громадян. Для цифрової економіки критично важливою є можливість безпечного обміну даними між державою, бізнесом, науковими інституціями та громадянським суспільством.

Не менш актуальним є питання етики та довіри до цифрових технологій. У дослідженнях, присвячених штучному інтелекту, алгоритмічному управлінню та великим даним, наголошується, що без прозорих етичних рамок цифровізація може призвести до посилення нагляду, маніпуляцій, дискримінації та ерозії демократичних процесів [6; 29]. Тому теоретичні моделі цифрової економіки дедалі частіше включають етичні принципи, а саме прозорість алгоритмів, підзвітність

розробників, запобігання алгоритмічній упередженості, право людини на пояснення автоматизованих рішень. Довіра стає не лише соціальною категорією, а й економічним ресурсом, без неї цифрові сервіси не можуть досягти достатнього рівня прийняття користувачами, а отже - реалізувати свій потенціал масштабування.

Для України ці теоретичні підходи мають не лише академічне, а й практичне значення. Поєднання високої швидкості впровадження електронних сервісів, воєнних ризиків, активної ролі громадянського суспільства та інтеграції в європейський цифровий простір робить українську модель цифровізації унікальним кейсом, який поєднує елементи цифрового суверенітету, платформізації державних послуг та експериментів із новими форматами електронної участі громадян [15; 20; 33]. Теоретичні концепції цифрової стійкості, екосистемного розвитку, twin transition та людиноцентричного підходу створюють рамку, в межах якої можна інтерпретувати емпіричні результати практичної частини дослідження – зокрема аналіз цифрових індикаторів, кластеризацію країн та оцінювання впливу цифровізації на економічне зростання.

Узагальнюючи, сучасний теоретичний дискурс цифрової економіки дедалі більше відходить від вузького технологічного розуміння й переходить до комплексного бачення взаємодії технологій, інститутів, ринку праці, екологічних чинників та суспільних цінностей. Цифровізація виступає глибинним трансформаційним процесом, що змінює структуру економічного розвитку, механізми державного управління та соціальні моделі. У такій багатовимірній системі ключовими викликами стають забезпечення цифрового суверенітету, подолання цифрової нерівності, розвиток компетентностей і стійкої інфраструктури. Саме тому оцінювання цифрового розвитку потребує використання стандартизованих міжнародних індикаторів, здатних об'єктивно відобразити позицію держави у глобальному цифровому просторі та окреслити ключові напрями її стратегічного прогресу.

1.2. Оцінювання рівня цифрового розвитку країн світу на базі системи міжнародних індикаторів та індексів

Оцінювання рівня цифрового розвитку стало ключовим інструментом для порівняння країн та формування ефективної цифрової політики. Міжнародні організації підкреслюють, що системні, стандартизовані показники дозволяють урядам і дослідникам не лише аналізувати наявні результати, а й визначати пріоритети цифрової трансформації на основі доказів [9].

У міжнародній практиці існує кілька інтегральних індексів, які стали стандартом вимірювання цифрової зрілості країн. Одним із найбільш комплексних є OECD Going Digital Toolkit, що охоплює сім доменів цифрового розвитку: інфраструктуру, навички, використання даних, інновації, конкуренцію, довіру та електронне врядування [17]. Цей інструмент надає країнам системне бачення їхніх сильних і слабких сторін та визначає потенційні напрями державної політики.

У Європейському Союзі головним вимірювачем цифрового прогресу є Digital Economy and Society Index (DESI). Індекс оцінює країни за п'ятьма компонентами: підключення, людський капітал, використання інтернет-послуг, цифровізація бізнесу та електронні державні послуги [7]. За результатами DESI, держави Північної Європи, такі як Фінляндія, Швеція, Данія стабільно демонструють найвищий рівень цифрової готовності завдяки інвестиціям у широкопasmовий інтернет, розвиток цифрових навичок та інноваційність бізнес-середовища [18].

Ще одним важливим інструментом є ICT Development Index (IDI), який розробляє Міжнародний союз електрозв'язку. Він оцінює цифрову інфраструктуру, доступність послуг та рівень користування ІКТ, що робить цей індекс одним із найзбалансованіших у частині вимірювання можливостей цифрової економіки [19].

Для оцінки здатності країн впроваджувати мережеві та інноваційні технології застосовується Network Readiness Index (NRI) Світового економічного

форуму. Індекс охоплює інституційну готовність, інфраструктуру, цифрові навички та вплив цифрової економіки на бізнес і суспільство [8].

Окремим напрямом є оцінка інноваційного потенціалу. Саме тому широко використовується Global Innovation Index (GII), який відображає не лише наявність цифрових технологій, але й інноваційні екосистеми, що забезпечують їх розвиток [20].

У сфері державного управління ключовим є E-Government Development Index (EGDI), що вимірює ефективність електронних державних послуг, розвиток онлайн-сервісів та цифрову інклюзивність громадян [9].

Попри відмінності у методології, більшість індексів структуровано навколо чотирьох головних доменів цифрової зрілості:

- Цифрова інфраструктура є доступом до широкосмугового інтернету, покриття мобільними мережами, якості зв'язку.
- Людський капітал і цифрові навички - це рівень цифрової грамотності, частка ІКТ-фахівців, розвиток компетентностей [7].
- Цифровізація бізнесу - використання хмарних технологій, даних, автоматизації й штучного інтелекту [9].
- Електронне врядування - цифрові державні послуги, прозорість, доступність онлайн-сервісів [35, с. 51].

У контексті цієї роботи ключові аспекти цифрового розвитку прямо представлені у базі даних Digital_Economy_2022_Enriched. У ній зібрано показники цифрової інфраструктури (мобільний та домашній інтернет, покриття 4G/5G), людського розвитку (HDI), інституційної якості (CPI), вартості цифрових послуг, а також EGDI. Дані дозволяють кількісно виміряти рівень цифровізації країн та використати статистичні і машинні методи такі як кластеризація, PCA, регресійне моделювання, щоб оцінити, як цифрові фактори пов'язані з економічним розвитком.

З позицій економічної кібернетики цифрові індикатори є інструментом моделювання складних систем. Вони дозволяють аналізувати взаємозалежність цифрових і економічних факторів, будувати прогнознi моделі та оцінювати

ефективність цифрової політики на основі даних, а не інтуїтивних припущень. Індeksi DESI, IDI, NRI, EGDI та GII виконують це та є фундаментальним елементом сучасних досліджень цифрової економіки й основою практичних аналітичних рішень [10].

Якщо говорити про оцінювання рівня цифрового розвитку країн, то воно значною мірою спирається на міжнародні рейтинги та індeksi, які формують порівняльну картину цифрової зрілості на глобальному рівні. Данні індeksi поєднують десятки кількісних і якісних показників, що характеризують стан цифрової інфраструктури, доступ населення до технологій, інноваційний потенціал, розвиток цифрових навичок та рівень електронного врядування [9]. Їхня роль виходить за межі статистичного моніторингу, вони стають інструментами стратегічного планування, формування цифрової політики та оцінювання ефективності реформ.

Одним із найавторитетніших інструментів у Європейському Союзі є Digital Economy and Society Index (DESI), створений Європейською комісією. DESI оцінює цифровий розвиток держав-членів за п'ятьма компонентами: підключення, людський капітал, цифровізація бізнесу, цифрові державні послуги та інноваційність [27]. Цей індекс відображає здатність країн адаптуватися до цифрових трансформацій та створювати сприятливі умови для розвитку ІКТ. Хоча Україна не входить до ЕС і не представлена в DESI, методологія індексу використовується у вітчизняному Індексі цифрової трансформації, який дозволяє оцінити прогрес цифровізації у контексті європейських стандартів [20].

Серед глобальних індексів особливе значення має ICT Development Index (IDI), розроблений Міжнародним союзом електрозв'язку. IDI поєднує одинадцять показників, згрупованих у три блоки: доступ, використання та навички, і дозволяє оцінити рівень розвитку телекомунікаційної інфраструктури, популярність цифрових сервісів та якість людського капіталу в контексті цифровізації [19]. Цей індекс часто використовується для аналізу відмінностей між розвиненими та країнами, що розвиваються, а також для вимірювання цифрової нерівності.

Global Innovation Index (GII), підготовлений Всесвітньою організацією інтелектуальної власності (WIPO), оцінює інноваційний потенціал країн, включно з розвитком ІКТ, цифрових компетенцій та дослідницької діяльності. Значна частка показників індексу стосується цифрової інфраструктури та технологічного прогресу, що робить ГІІ важливим доповненням до індикаторів цифрової економіки [20].

Network Readiness Index (NRI), оприлюднений Світовим економічним форумом і Portulans Institute, оцінює здатність країн використовувати цифрові технології для підвищення конкурентоспроможності та якості життя. Структура індексу включає технологічний, людський, управлінський і соціальний виміри, що дозволяє сформулювати комплексне бачення цифрової готовності держав [8].

Інші індикатори, такі як Digital Adoption Index (DAI) Світового банку, E-Government Development Index (EGDI) ООН чи AI Readiness Index, доповнюють картину цифрового розвитку, акцентуючи увагу на цифрових сервісах, рівні адаптації населення до технологій або готовності держав до впровадження штучного інтелекту [28]. Разом показники формують багатовимірну систему оцінювання, що дозволяє визначити сильні та слабкі сторони цифрової трансформації країн.

Міжнародні індекси цифрового розвитку створюють стандартизовану основу для порівняння цифрової зрілості країн та визначення їхнього потенціалу в умовах глобальної конкуренції. DESI, IDI, GII, NRI та інші індикатори поєднують технологічні, соціальні, економічні й інституційні характеристики цифровізації, що дозволяє бачити цифрову трансформацію як багатогранне явище. Для України такі індекси є орієнтиром, який визначає напрям реформ та забезпечує можливість зіставити національну траєкторію розвитку з провідними світовими практиками.

Водночас інтерпретація таких індексів потребує обережності. Агрегування десятків показників в один інтегральний бал неминує «згладжує» внутрішні диспропорції між окремими сферами цифрового розвитку та може маскувати слабкі місця за рахунок сильних компонентів. Крім того, ваги показників часто визначаються експертно або за допомогою статистичних процедур, які не завжди

враховують національні пріоритети конкретної країни. Часові лаги в оновленні даних також призводять до того, що індекси відображають переважно минулий стан цифрової сфери. Тому міжнародні рейтинги доцільно поєднувати з поглибленим аналізом національної статистики й стратегічних документів.

Також узагальнені міжнародні оцінки показують не лише прогрес країн, але й висвітлюють зворотний бік цифрової трансформації - посилення цифрової нерівності. Попри значний потенціал цифровізації для прискорення розвитку, доступ до цифрової інфраструктури, технологій, навичок і цифрових сервісів залишається вкрай нерівномірним між країнами, регіонами та соціальними групами. Традиційні соціально-економічні розриви доповнюються новими формами «цифрової сегрегації», а початкові відмінності в доступі до технологій з часом накопичуються і перетворюються на відмінності в рівні доходів, освітніх можливостях та якості життя [9; 10].

У науковій літературі виділяють кілька рівнів цифрової нерівності. Перший рівень пов'язаний із фізичним доступом до інтернету та пристроїв – наявністю підключення, швидкістю та стабільністю з'єднання, придатністю обладнання. Другий рівень стосується відмінностей у цифрових навичках: навіть за формального доступу до інтернету частина населення не володіє компетентностями, необхідними для ефективного користування державними електронними послугами, освітніми платформами чи фінтех-сервісами. Третій рівень пов'язаний із фактичними результатами використання цифрових технологій - можливістю монетизувати цифрові компетенції, підвищити конкурентоспроможність на ринку праці, отримати кращі освітні та кар'єрні траєкторії [21; 22].

Цифрова нерівність має виразний просторовий вимір. У багатьох країнах спостерігається розрив між урбанізованими центрами, де зосереджені високошвидкісні мережі, ІТ-компанії та освітні можливості, та периферійними регіонами, які часто залишаються на межі покриття або мають доступ лише до базових послуг. Така територіальна асиметрія відтворює класичний поділ на

«ядро» і «периферію», але вже в цифровому вимірі, що впливає на міграційні потоки, економічну активність та інвестиційну привабливість регіонів [19].

Не менш важливим є соціальний вимір цифрової нерівності. Дослідження показують, що цифрові бар'єри частіше відчують люди старшого віку, малозабезпечені домогосподарства, сільське населення, мігранти та особи з інвалідністю. Навіть за наявності технічного доступу вони можуть уникати використання онлайн-сервісів через недовіру, низький рівень цифрової грамотності або страх перед помилками в електронних транзакціях. У результаті виникає ситуація, коли цифровізація публічних послуг для одних груп означає спрощення доступу, а для інших - додатковий бар'єр, що фактично послаблює принципи соціальної справедливості [9; 40].

Цифрові платформи й алгоритмічні системи також можуть відтворювати та підсилювати існуючу соціальну нерівність. Алгоритми рекомендацій, таргетованої реклами, скорингу кредитоспроможності чи найму персоналу працюють на основі історичних даних, у яких вже зафіксовано упередження та дисбаланси. Якщо відповідні системи не проходять незалежний аудит і не супроводжуються чіткими етичними стандартами, це може призводити до прихованої дискримінації окремих груп користувачів, обмеження доступу до фінансових послуг чи можливостей працевлаштування [6; 29].

Окремо варто виділити цифрову нерівність у сфері освіти. Поширення дистанційного навчання, онлайн-курсів та змішаних форматів підвищило роль цифрових платформ у формуванні людського капіталу. Водночас для домогосподарств без якісного Інтернету, достатньої кількості пристроїв або базових цифрових навичок така трансформація створила додаткові ризики відставання, особливо в умовах кризових ситуацій (пандемія, війна). Таким чином, цифровізація освіти може як розширювати можливості для доступу до знань, так і поглиблювати розрив між тими, хто володіє необхідними ресурсами, і тими, хто їх не має [15; 31].

З погляду державної політики цифрова нерівність потребує цільових інструментів згладжування, серед яких: субсидування підключення для вразливих

груп, розвиток мереж у сільській місцевості, програми масового підвищення цифрової грамотності, створення публічних просторів доступу до інтернету (цифрові хаби, бібліотеки, центри надання адміністративних послуг). Важливо, що такі заходи мають поєднувати інфраструктурні рішення з освітніми та соціальними програмами, інакше розрив між «ціною доступу» та «здатністю користуватися» цифровими сервісами лише загострюється [9; 28].

Для України питання цифрової нерівності є особливо актуальним у контексті воєнних дій, внутрішнього переміщення населення та руйнування інфраструктури. Частина територій стикається з фізичними обмеженнями доступу до мережі, тоді як інша частина суспільства інтегрується в цифрові сервіси на рівні найрозвиненіших країн світу. Така внутрішня асиметрія формує ризики появи «двошвидкісної» цифрової держави, де одні громадяни повністю включені в цифрову економіку, а інші залишаються на периферії. Подолання цієї асиметрії стає необхідною умовою не лише економічного зростання, а й соціальної згуртованості та успішної повоєнної відбудови.

Узагальнюючи аналіз міжнародних індикаторів цифрового розвитку, можна стверджувати, що глобальні вимірювальні системи створюють цілісну аналітичну рамку, яка дозволяє не лише оцінювати цифрову зрілість країн, а й виявляти глибинні структурні розбіжності між ними. Сукупність індексів, від інфраструктурних до інноваційних, формує багатовимірне уявлення про те, як країни інтегруються у цифрову економіку, які компоненти є їхніми сильними сторонами, а які обмежуючими факторами.

Окремої уваги потребує той факт, що цифровізація має не лише прогресивний, але й асиметричний характер: позитивні ефекти зростання спостерігаються паралельно з поглибленням цифрової нерівності, нерівномірним доступом до цифрових можливостей та відмінностями у здатності суспільства та економіки адаптуватися до технологічних змін. Саме міжнародні індекси дозволяють кількісно зафіксувати ці диспропорції та порівняти позиції країн у глобальному цифровому просторі.

Інтеграція різних груп показників у єдину систему вимірювання робить можливим перехід від описових характеристик цифрового розвитку до більш глибокого структурного аналізу, який включає моделювання, прогнозування та виявлення причинно-наслідкових зв'язків. Такий підхід створює аналітичне підґрунтя для подальших досліджень, де цифровізація розглядається не як статичний набір показників, а як динамічний процес, що формує нову економічну та соціальну архітектуру сучасних держав.

1.3. Методи аналізу та моделювання процесів цифровізації у країнах світу

Оцінювання рівня цифровізації сьогодні виходить далеко за межі звичайної статистики. Цифрова економіка функціонує як динамічна система, у якій технологічні, соціальні й економічні фактори постійно взаємодіють між собою. Тому сучасні наукові підходи до її дослідження ґрунтуються на методології економічної кібернетики та Data Science - двох комплементарних напрямів, що дозволяють аналізувати цифровізацію одночасно як складну систему й як набір вимірюваних показників [24].

Економічна кібернетика пропонує цілісний погляд на цифрову економіку, розглядаючи її як систему зі зворотними зв'язками, в якій інформація є ключовим ресурсом управління. З кібернетичної точки зору цифровізація - це не просто впровадження технологій, а постійний процес трансформації, у якому рішення, прийняті на основі даних, змінюють поведінку економічних агентів, що, у свою чергу, змінює параметри самої системи [23]. Саме тому моделі цифрової трансформації будуються як системи взаємопов'язаних підсистем: інфраструктура, бізнес, держава, громадяни.

Для відображення цієї взаємодії використовуються кібернетичні методи, а саме: системна динаміка, факторний аналіз, імітаційне моделювання, мережевий

аналіз, а також кластеризація, яка дозволяє виділити групи країн за рівнем цифрової зрілості [20]. У практичній частині ці методи виявилися особливо ефективними: кластеризація країн за показниками інтернет-проникнення, широкосмугового доступу, індексів розвитку е-урядування та цифрових цінових параметрів дозволила виявити структурні закономірності у глобальному цифровому ландшафті.

Data Science посилює кібернетичний підхід завдяки здатності працювати з великими масивами даних та складними нелінійними зв'язками. На основі методів машинного навчання, таких як k-means, Random Forest, PCA чи регресійні моделі, дослідники мають змогу з високою точністю оцінювати вплив цифрових факторів на економічні показники, виявляти приховані патерни та прогнозувати майбутні тренди [25].

У світовій практиці Data Science широко застосовується у розрахунку цифрових індексів. Наприклад, OECD та Європейська комісія використовують алгоритми багатовимірної аналізу для побудови інтегральних індикаторів DESI та NRI, де ваги окремих компонент визначаються статистичними та машинними методами [17]. У цьому дослідженні подібний підхід реалізовано через побудову Digital Composite Index (DCI), а також DRI_PCA - індексу цифрової готовності, сформованого на основі головної компоненти PCA.

Суттєвим є й використання Data Science у моделюванні економічних наслідків цифровізації. Регресійні моделі дозволяють оцінити прямий вплив цифрових індикаторів на економічні результати: логарифм ВВП на душу населення, продуктивність чи рівень інноваційності. Машинні моделі, зокрема Random Forest, підсилюють цей аналіз, показуючи, які фактори мають найбільшу предиктивну силу. Використання таких алгоритмів підвищує точність оцінювання цифрової економіки порівняно з класичними методами.

Інтеграція економічної кібернетики та Data Science також лежить в основі сучасних систем підтримки прийняття рішень. В Україні такі системи активно впроваджуються у фінансовому секторі та державному управлінні, від аналітики «Дії» до моніторингу макроекономічних показників НБУ [26]. Вони дозволяють

обробляти великі обсяги даних, оперативно реагувати на відхилення та моделювати можливі сценарії розвитку.

Таким чином, методи економічної кібернетики та Data Science забезпечують комплексне розуміння цифровізації як процесу, що має глибокі структурні наслідки, і як явища, яке можна вимірювати точними кількісними методами. Вони створюють методологічну основу для практичної частини дослідження, у якій цифровий розвиток країн аналізується за допомогою кластеризації, регресійного моделювання та побудови інтегральних цифрових індексів.

Методи економічної кібернетики та Data Science дозволяють по-новому подивитися на цифровізацію, не як на набір окремих показників, а як на складну систему, у якій взаємодіють інфраструктура, технології, держава й бізнес. Кібернетика допомагає зрозуміти логіку цієї системи, а Data Science, точно виміряти її стан, знайти приховані зв'язки та побудувати прогнози. Саме тому такі підходи стають ключовими для глибокого аналізу цифрової економіки й формують основу тих методів, які застосовано в практичному розділі роботи.

У роботі Амеліної Н.Ю. цифрова економіка визначається як «нова форма організації господарських відносин, у якій цифрові платформи та інформаційні технології стають ядром виробничих процесів і бізнес-моделей», причому автори підкреслюють, що сучасна цифрова трансформація «породжує принципово нові механізми створення доданої вартості» [27]. Такий підхід демонструє, що цифровізація вже не є технологічним доповненням, а стає структурним фактором економічної динаміки.

У статті «Цифрова економіка: передумови та етапи становлення» автора Коляденко С. відзначається, що цифровізація не зводиться до впровадження ІКТ, оскільки вона змінює саму природу економічних рішень. Автори наголошують: «інформація більше не є допоміжним елементом; вона стає основою прийняття економічного рішення» [28]. Данна теза особливо важлива для розуміння сучасних процесів, оскільки підкреслює, що цифрові технології формують не стільки нові інструменти, скільки нову логіку раціональності. Подібний підхід демонструють й інші дослідження, де цифровізація трактується як фундаментальна зміна

інституційного середовища, у якому технології, дані та алгоритми стають ключовими інструментами організації економічних відносин.

У роботі «Цифрова економіка: тренди, ризики та соціальні детермінанти» цифровізацію прямо пов'язують із глобальною конкурентоспроможністю країн. Автори стверджують, що на тлі зростання ролі цифрових платформ та інтелектуальних технологій «економіки, що не створюють цифрових інновацій, приречені залишатися на периферії глобального розвитку» [29]. Даний висновок є вкрай важливим для України, оскільки підкреслює, що цифровізація - це не лише внутрішня модернізація, а й критична умова інтеграції у світовий технологічний простір.

Окремий пласт сучасних досліджень присвячений цифровій нерівності та ризикам цифрової концентрації. У роботі «Цифрова модернізація економіка України як можливість проривного розвитку» Ляшенка В.І. та Вишневського О.С., наголошується, що цифрові платформи формують нову структуру економічної влади, а володіння даними перетворюється на ключову конкурентну перевагу. Автори зазначають: «цифрові корпорації стають новими центрами впливу, здатними змінювати правила ринку, моделі поведінки користувачів і навіть політичні процеси» [30]. Подібні висновки узгоджуються з глобальними дослідженнями OECD та WEF про загострення цифрової асиметрії й посилення ринкової влади цифрових монополій. Для країн із перехідною економікою, таких як Україна, це означає ризик технологічної залежності та обмеження власного цифрового суверенітету [1;8].

Суттєву увагу науковці приділяють ролі інфраструктури й людського капіталу. У роботі Лазебник Л. та Войтенко В., підкреслюється, що «інформаційна інфраструктура є каркасом цифрової економіки, що визначає швидкість, якість та доступність цифрових послуг» [28]. Твердження повністю корелює з результатами другого розділу практичної частини нашого дослідження, де доведено, що саме показники мобільного та фіксованого широкосмугового доступу є найсильнішими предикторами індексу цифрової зрілості (EGDI), а отже і рівня економічного розвитку.

У низці сучасних українських і закордонних досліджень цифровізацію розглядають у зв'язку з інституційною спроможністю держави. У статті 2024 року наголошено, що країни з нестійкими політичними інститутами стикаються з особливими ризиками цифрової трансформації: кіберзагрози, нестача кваліфікованих кадрів, нерівномірний доступ до цифрових послуг. Автори зазначають, що без розвиненої кібербезпеки цифровізація може стати не каталізатором розвитку, а «вразливим місцем держави, яке підвищує ризики для національної економіки» [31].

Узагальнення наукових підходів показує, що дослідники пропонують різні трактування цифрової економіки: від технологічної модернізації до глибинної трансформації суспільства. Проте більшість робіт є фрагментарними: одні зосереджуються на інфраструктурі, інші на ринкових ефектах, ще інші на ризиках нерівності. Рідко зустрічаються комплексні дослідження, що поєднують макроекономічні, інституційні та технологічні фактори в єдину модель. Саме тому практична частина цієї магістерської роботи доповнює наявні наукові підходи, пропонуючи кількісні методи аналізу, кластеризацію країн та моделювання на основі реальних міжнародних даних.

На стику цих теоретичних підходів формується математичний апарат оцінювання цифровізації, а так як цифрова економіка являє собою складну багатовимірну соціально-економічну систему, для її коректного вимірювання потрібен математичний апарат, здатний працювати з великими масивами різномірних цифрових індикаторів, враховувати кореляційну структуру показників, виділяти латентні фактори та оцінювати причинно-наслідкові зв'язки. Саме тому провідні міжнародні організації (OECD, ITU, World Bank, WIPO, WEF) та українські дослідники активно використовують інструменти економічної кібернетики й Data Science, які дозволяють проводити багатовимірний аналіз цифрової трансформації.

У більшості методологій цифрової економіки країна описується як точка у p -вимірному просторі індикаторів:

$$X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}), \quad (1.1)$$

де кожен компонент відображає певну характеристику цифрового розвитку: проникнення Інтернету, поширеність фіксованого та мобільного ШСД, якість інфраструктури, цифрові навички, рівень конкуренції на ринку ІКТ, інституційну спроможність, рівень електронного врядування тощо.

Для порівняння країн у такому просторі застосовують класичну евклідову метрику:

$$d_E(X_i, X_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2}, \quad (1.2)$$

де, $d_E(X_i, X_j)$ - евклідова відстань між країнами;

x_{ik}, x_{jk} - значення k -го показника для країн i та j ;

p - кількість цифрових індикаторів.

Вона лежить в основі більшості індексних методів і кластерного аналізу. Однак через різні масштаби показників (наприклад, відсотки покриття та доларові ціни) необхідною є стандартизація:

$$z_{ik} = \frac{x_{ik} - \bar{x}_k}{s_k}, \quad (1.3)$$

де, x_{ik} - фактичне значення k -го показника для країни i ;

$\bar{x}_k$ - середнє значення цього показника;

s_k - стандартне відхилення показника.

Її застосовують у методологіях OECD, ITU та Європейської комісії для забезпечення коректності агрегування індикаторів у єдині індекси DESI, IDI, EGDІ.

У наукових працях Пономаренка В. Доведено, що для вимірювання складних соціально-економічних явищ просторові моделі на основі відстаней стають фундаментом для подальшої побудови таксономічних індексів [34]. Особливу цінність для аналізу цифровізації має міра Махаланобіса оскільки вона враховує кореляції між показниками:

$$D_M(X_i) = \sqrt{(X_i - \mu)^T S^{-1} (X_i - \mu)}, \quad (1.4)$$

де, X_i - вектор її цифрових показників;

μ - вектор середніх значень показників;

S^{-1} - обернена коваріаційна матриця.

У випадку цифрових індикаторів, які часто є взаємопов'язаними (наприклад, проникнення інтернету та рівень доходів) - ця метрика дозволяє більш точно визначати країни-викиди, регіональні кластери та відхилення від загальносвітових тенденцій.

Важливим етапом багатовимірною аналізу цифрової економіки є зменшення розмірності. Світовий банк, OECD та ITU активно застосовують Principal Component Analysis (PCA) для виділення латентних факторів цифровізації. PCA дозволяє перетворити початковий простір у систему головних компонент:

$$Z = XW, \quad (1.5)$$

де W - матриця власних векторів, а перша компонента пояснює найбільшу частку варіації індикаторів.

Наприклад, у дослідженні ITU (2020) встановлено, що перша головна компонента індексу ICT Development Index майже повністю відображає рівень інфраструктурної цифрової готовності (broadband penetration, mobile coverage, international bandwidth), тоді як друга - рівень цифрових навичок.

Ще одним важливим підходом є таксономічні індекси, широко використані в українських дослідженнях Гриценка І.М. та Тарана О.М. для оцінювання цифрової зрілості економік [35]. У таксономічному аналізі визначається еталонний вектор Z^0 (країна-лідер), а відстань країни до еталону:

$$D_i = \sqrt{\sum_{j=1}^p (z_{ij} - z_j^0)^2}, \quad (1.6)$$

де, z_{ij} - стандартизоване значення j -го показника для країни iii ;

z_j^0 - значення j -го показника для еталону;

p - кількість індикаторів.

Вона слугує основою для побудови інтегрального індексу цифрової зрілості:

$$T_i = 1 - \frac{D_i}{D_{max}}, \quad (1.7)$$

Такий підхід дозволяє вимірювати, наскільки певна країна наближається до світових лідерів у сфері цифровізації.

Для аналізу впливу цифровізації на економічне зростання міжнародні організації застосовують регресійні моделі, зокрема:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 * ICT + \beta_2 * skills + \beta_3 * eGov + \varepsilon, \quad (1.8)$$

де Y - ВВП на душу населення або продуктивність праці.

У звітах OECD та Світового банку доведено, що зростання інтернет-проникнення на 10% збільшує ВВП на 0,75–1,5% [9; 10]. У роботах Мельника Л.Г. і Ільяшенка С.М. відзначено, що регресійні моделі з робастними оцінками похибок (НСЗ) є найбільш коректними у випадку нерівномірної дисперсії показників [36].

Окремий блок методології становлять каузальні та панельні моделі, спрямовані на ідентифікацію саме причинно-наслідкових ефектів цифровізації. Використання панельних даних з фіксованими та випадковими ефектами, методів різниці-в-різницях, інструментальних змінних і природних експериментів дає змогу відокремити вплив цифрових факторів від інших макроекономічних зрушень. Для країн з перехідною економікою це особливо важливо, оскільки цифрова трансформація відбувається паралельно з інституційними реформами, зміною структури промисловості та фінансової системи.

Застосування машинного навчання в аналізі цифрової економіки - це відносно новий напрям, але його значущість стрімко зростає. За Мінцифрою (2023), алгоритми Random Forest, Gradient Boosting та нейронні мережі дозволяють підвищити точність прогнозування цифрових індексів на 15–20% порівняно з класичними статистичними моделями [37]. Random Forest подається у формалізованому вигляді:

$$\hat{y} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K f_k(X), \quad (1.9)$$

де f_k - *дерево рішень*,

що дозволяє враховувати нелінійні взаємозв'язки між цифровими факторами.

Окреме значення має робастна обробка даних - вінзоризація, перцентильна нормалізація та усунення викидів. У статистичних звітах ІТУ та Європейської Комісії наголошено, що екстремальні значення (наприклад, надвисокі ціни на мобільний інтернет або надзвичайно високі швидкості в окремих країнах) можуть суттєво викривлювати інтегральні індекси [38].

Узагальнюючи викладене, слід зазначити, що сучасні підходи до аналізу цифрової економіки формують єдину методологічну систему, у якій інструменти економічної кібернетики забезпечують системне бачення цифровізації, а методи Data Science – її кількісну верифікацію. Поєднання просторових метрик, стандартизації, факторного та таксономічного аналізу, РСА, регресійних моделей і алгоритмів машинного навчання дозволяє комплексно описувати структуру цифрового розвитку, виявляти внутрішні закономірності та оцінювати економічні наслідки цифрових змін. Робастні процедури обробки даних підвищують якість оцінок, усувають вплив викидів і забезпечують достовірність порівнянь між країнами.

Таким чином, інтеграція кібернетичних і data-driven методів створює повноцінний математичний апарат, здатний відображати багатовимірну природу цифрової економіки. Саме цей апарат стає основою практичного аналізу у другому розділі, де цифрова зрілість країн оцінюється через кластеризацію, побудову індексів та моделювання взаємозв'язку цифрових і економічних параметрів.

РОЗДІЛ 2

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ РІВНЯ ЦИФРОВІЗАЦІЇ КРАЇН СВІТУ

2.1. Формування та попередня обробка аналітичної бази даних Digital_Economy_2022_Enriched

Для проведення аналізу рівня цифровізації країн світу було сформовано аналітичну базу даних Digital_Economy_2022_Enriched, яка охоплює 179 країн світу та містить 38 показників, що відображають соціально-економічні, інституційні, інфраструктурні та технологічні аспекти цифрової трансформації у 2022 році. Дані інтегровано з відкритих міжнародних статистичних джерел, зокрема International Telecommunication Union (ITU, 2022) [39], UNDP (2023)[40], UN E-Government Survey (2022) [41], Transparency International (2022)[42] та World Bank (2023)[43].

Змістове наповнення бази даних структуровано за п'ятьма тематичними блоками:

1. Соціально-економічні індикатори розвитку: індекс людського розвитку (HDI), індекс сприйняття корупції (CPI 2022).
2. Показники цифрового розвитку та електронного урядування: інтегральний індекс EGDI.
3. ІКТ-інфраструктура та технологічна забезпеченість: підписки на мобільний і фіксований широкосмуговий доступ, пропускна здатність міжнародних каналів, рівень конкуренції на телекомунікаційних ринках.

4. Доступ населення до цифрових послуг та використання ІКТ: охоплення мобільними мережами 2G-5G, частка користувачів Інтернету, доступ домогосподарств до мережі.
5. Цінові характеристики телекомунікаційних послуг: вартість мобільних та фіксованих пакетів даних різних рівнів споживання.

Вибір конкретних змінних для включення до бази ґрунтувався не лише на доступності статистики, але й на їхній теоретичній значущості для опису цифрової екосистеми. У набір включені показники, які відображають «ядро» цифрового розвитку: інфраструктуру, доступ, інституційну якість та вартісні бар'єри. Водночас низка потенційно корисних змінних, наприклад детальні індикатори ринку хмарних сервісів чи використання штучного інтелекту, були відсутні або мали фрагментарне покриття, тому свідомо не використовувалися, щоб не погіршувати повноту вибірки. Такий компроміс дозволив зберегти баланс між глибиною опису та стабільністю статистичної основи.

Перед інтеграцією дані було піддано попередній обробці, що включала:

- уніфікацію кодів країн за стандартом ISO Alpha-3;
- виявлення та обробку пропусків (медіанне заповнення в межах регіональних груп, збереження пропусків у випадку відсутності релевантного заповнення);
- нормалізацію змінних для усунення впливу масштабності;
- перевірку наявності викидів та мультиколінеарності.

Структуру бази даних у скороченому вигляді наведено у табл. 2.1, де подано перелік ключових змінних, їх економічний зміст та джерела формування. Розширений фрагмент таблиці (20 перших змінних × 20 перших країн) наведено у Додатку А, а повний машинозчитуваний набір додається окремим файлом до магістерської роботи.

Таблиця 2.1 – Узагальнена структура бази даних
Digital_Economy_2022_Enriched
 (скорочена версія, повна – у Додатку А)

№	Назва змінної	Опис / економічний зміст	Джерело	Тип даних
1	Country Code	Код країни ISO Alpha-3	ISO / Автор	Текст
2	Country Name	Повна назва країни	UN / WB	Текст
3	HDI	Індекс людського розвитку	UNDP (2023)	Числовий

Продовження таблиці 2.1

№	Назва змінної	Опис / економічний зміст	Джерело	Тип даних
4	CPI 2022	Індекс сприйняття корупції	Transparency Intl. (2022)	Числовий
5	EGDI	Індекс розвитку електронного уряду	UN E-Gov Survey (2022)	Числовий
6	Active mobile-broadband subscriptions per 100 inhabitants (ITU)	Активні мобільні широкосмугові підписки на 100 жителів	ITU (2022)	Числовий
7	Competition in Fiber (ITU)	Конкуренція у сегменті Fiber	ITU (2022)	Числовий (0–2)
8	Competition in International Gateways (ITU)	Конкуренція у міжнародних шлюзах	ITU (2022)	Числовий

Джерело: побудовано автором на основі даних ITU, UNDP, Transparency International, UN E-Government Survey, World Bank.

Для забезпечення достовірності подальшого аналізу рівня цифровізації було проведено комплексну попередню обробку статистичного масиву Digital_Economy_2022_Enriched. Було здійснено процедуру очищення, імпутації та масштабування даних, описану нижче.

Спочатку для кожного показника визначено частку пропусків. Змінні з часткою NA понад 40% вилучалися згідно з рекомендаціями UN Statistical Division (2022), а саме видаляємо X_j , якщо $\frac{NA_j}{n}$, більше 0,4 де NA_j - кількість пропусків у змінній j , а n – загальна кількість країн у вибірці [44].

Так були видалені такі змінні, як :

- Competition in Fiber (57 % пропусків),
- Lit/equipped international bandwidth capacity (62 %),
- Mobile-broadband internet traffic (45 %).

Вилучення таких колонок обґрунтоване тим, що їхнє включення призвело б до надмірної імпутації та статистичного шуму.

Попередній аналіз розподілів виявив наявність аномальних значень, характерних для окремих мікродержав та країн із дуже низьким доходом. Для усунення впливу аномальних значень застосовано вінзоризацію 1–99%, згідно з методиками ITU та ЕС [38]:

$$x_{ij}^* = \begin{cases} Q_{0.01} & x_{ij} < Q_{0.01}, \\ Q_{0.99}, & x_{ij} > Q_{0.99}, \\ x_{ij}, & \text{інакше.} \end{cases} \quad (2.1)$$

Цей підхід не видаляє дані, а обмежує їхній негативний вплив на моделі.

Для усунення залишкових пропусків було застосовано два методи:

- медіанну імпутацію для всіх числових змінних, що мінімізує вплив викидів;
- імпутацію найбільш частим значенням (mode) для категоріальних.

Такі методи узгоджуються з рекомендаціями OECD (2020) та UN Statistical Division (2022) [6; 44].

Так як показники бази даних мають різні одиниці вимірювання: абсолютні значення, індекси, відсотки. Для їх порівнянності було виконано стандартизацію за формулою:

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j}, \quad (2.2)$$

де x_{ij} - значення показника j для країни i ;

$\bar{x}_j$ - середнє значення показника;

s_j - стандартне відхилення показника j .

Для задач кластеризації та побудови індексів застосовано додаткову нормалізацію показників до єдиного діапазону:

$$x_{ij}^{01} = \frac{x_{ij} - \min(X_j)}{\max(X_j) - \min(X_j)}, \quad (2.3)$$

Така трансформація забезпечує рівний внесок кожної ознаки у розрахунок відстаней між країнами, що є критично важливим для методів машинного навчання.

У результаті виконання всіх етапів сформовано набір даних Digital_Economy_2022_clean.csv, з хорошими показниками (табл. 2.2.)

Таблиця 2.2– Підсумкова характеристика очищеного датасету

Показник	Значення
Кількість країн	179
Кількість показників після очищення	23
Пропуски після імпутації	0 %
Мінімальна варіація показників (σ)	0.18
Максимальна варіація показників (σ)	2.43
Тип нормалізації	Z-score
Метод очищення викидів	Вінзоризація 1–99 %

Джерело: побудовано автором на основі даних [39-43]

Після очищення та імпутації пропусків не залишилося, а 23 стандартизовані показники мають достатню варіативність для проведення багатовимірного аналізу. Використання z-нормалізації та вінзоризації 1–99 % забезпечило усунення впливу масштабів і викидів, що підвищує надійність подальших розрахунків. Таким чином, сформована вибірка з 179 країн є коректною основою для побудови індексів, кластеризації та моделювання цифрового розвитку.

Для наочності увесь процес попередньої обробки даних подано у вигляді блок-схеми (рис. 2.1), яка відображає логіку формування фінального очищеного датасету.

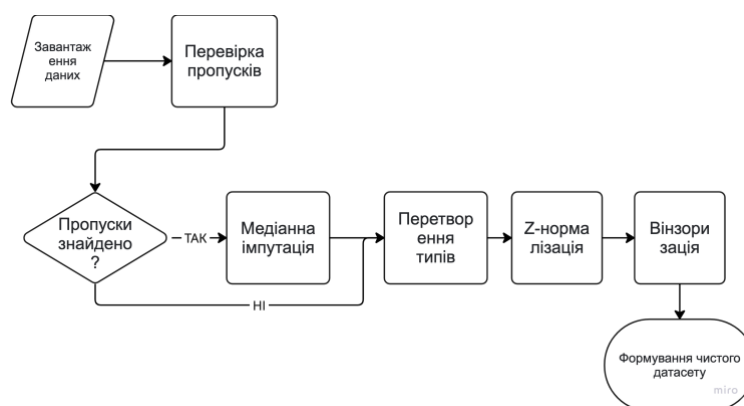


Рис. 2.1 – Блок-схема процесу очищення, імпутації та нормалізації даних

Джерело: побудовано автором.

Таким чином, підготовлена база даних є збалансованою, узгодженою за форматами та придатною для подальшого описового, кореляційного й кластерного аналізу. У результаті попередньої обробки вдалося зберегти найінформативніші індикатори цифрового розвитку, що відображають як технологічну, так і соціально-економічну складову процесу цифровізації у країнах світу.

2.2. Результати статистичного аналізу системи цифрових показників країн світу

Для оцінювання загальної структури цифрового розвитку країн світу здійснено описовий статистичний аналіз очищеного датасету з метою виявлення базових закономірностей у розподілі показників, визначення варіативності цифрових індикаторів, ідентифікації структурних відмінностей між країнами та попереднього встановлення потенційних взаємозв'язків між ключовими характеристиками цифровізації.

У табл. 2.3 наведено одномірні статистичні показники : мінімальні, максимальні значення, середні рівні та стандартні відхилення для основних цифрових індикаторів. Такий формат дає змогу визначити загальний діапазон, характер варіативності та потенційні джерела цифрової нерівності.

Таблиця 2.3 – Описова статистика ключових цифрових показників

Показник	Позначення	N	Min	Max	Mean	Std
Індекс людського розвитку (умовне HDI у базі)	HDI	156	53.72	33035.63	5395.16	5445.14
Індекс сприйняття корупції	CPI_2022	147	12	90	44.77	18.30
Індекс електронного урядування	EGDI	154	0.134	0.972	0.637	0.203
Активні мобільні широкосмугові підписки, на 100 жителів	AMB_subs	118	0.00	189.37	87.29	35.95
Фіксовані широкосмугові підписки, на 100 жителів	FBB_subs	179	0.00	55.23	17.79	15.71
Фіксовані телефонні підписки, на 100 жителів	FTel_subs	177	0.00	109.55	15.16	16.30

Показник	Позначення	N	Min	Max	Mean	Std
Покриття населення мережею не менше 4G, %	Cov_4G	179	0.00	100.00	85.12	22.67
Вартість пакета data-only mobile broadband, USD	Price_Data	179	0.00	51.95	10.37	7.44

Джерело: побудовано автором на основі даних [39-43].

Показник HDI демонструє дуже широкий спектр значень, від 53,72 до 33 035,63. Високе стандартне відхилення ($\sigma = 5445,14$) свідчить про значні міжкраїнові відмінності в рівні доходів та якості життя. Подібна ситуація спостерігається і для індексу сприйняття корупції (CPI_2022), значення варіюють від 12 до 90 балів, що підкреслює різний рівень інституційної спроможності держав.

Індекс EGDI, який характеризує розвиток електронного урядування, має середній рівень 0,637 і варіативність 0,203. Діапазон від 0,134 до 0,972 свідчить про значну диференціацію у доступності цифрових державних послуг. Графічний розподіл EGDI (рис. 2.2) показує асиметрію на користь середніх значень, що означає: більшість країн перебувають у стадії формування цифрової держави, тоді як лише невелика група досягла високого рівня зрілості.

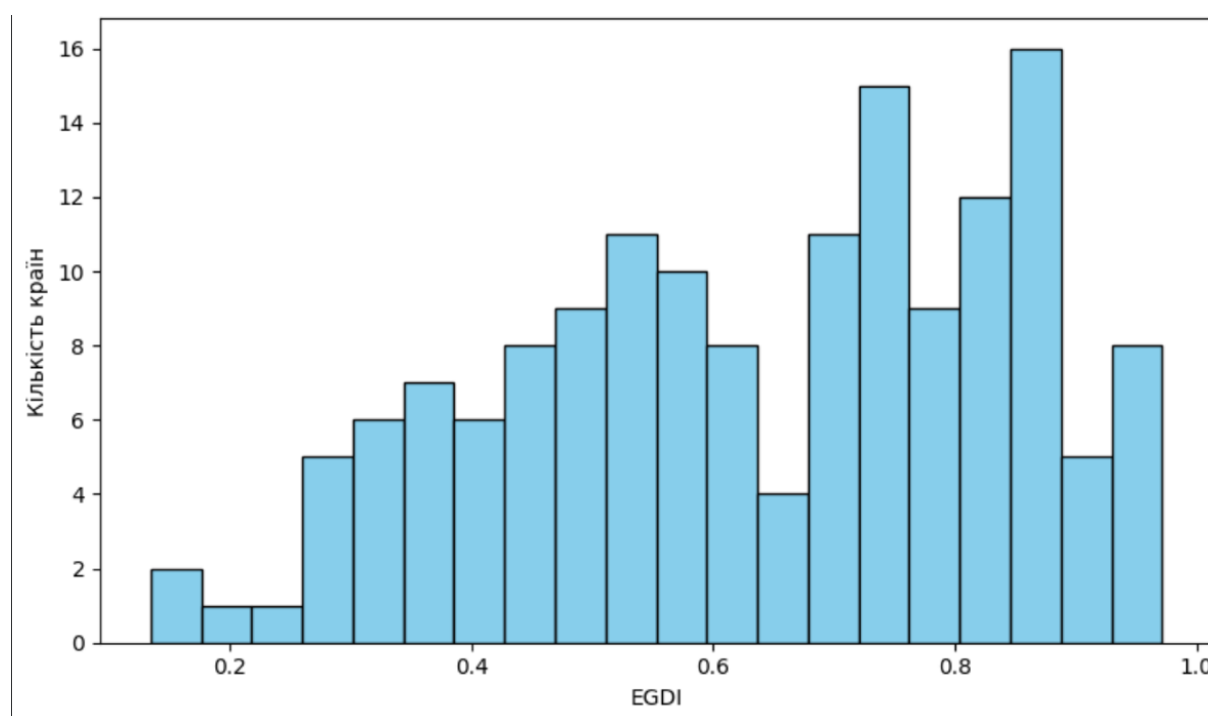


Рисунок 2.2 – Розподіл індексу EGDI серед країн світу

Джерело: розроблено автором на основі даних [39-43].

Інфраструктурні показники також характеризуються суттєвою неоднорідністю. Активні мобільні широкосмугові підписки (AMB_subs) коливаються від 0 до 189,37 на 100 жителів за середнього рівня 87,29. Наявність надвисоких значень (понад 100 на 100 жителів) у низці країн пояснюється розвиненими ринками мобільного зв'язку та поширенням кількох активних SIM-карт на одного користувача. Фіксовані широкосмугові підписки (FBB_subs) мають середнє значення 17,79, але мінімум дорівнює нулю, що свідчить про відсутність наземної інтернет-інфраструктури в окремих країнах. Водночас висока варіативність ($\sigma = 15,71$) підтверджує структурну нерівномірність розвитку телекомунікаційних ринків.

Показник покриття населення мережею не менше 4G має середній рівень 85,12 %, але мінімальне значення нульове, що означає, що частина країн усе ще не має доступу навіть до базових стандартів мобільного широкосмугового доступу. Високе стандартне відхилення (22,67) вказує на суттєві відмінності між регіонами, що є характерною ознакою глобальної цифрової нерівності, підтвердженої даними ІТУ [39].

Ціновий показник вартості мобільного data-only пакета відображає доступність цифрових послуг. Середня вартість становить 10,37 дол., але розкид від 0 до 51,95 дол. свідчить про неоднорідність цифрових ринків та вплив цінової політики на доступність Інтернету. Високе стандартне відхилення ($\sigma = 7,44$) підтверджує, що ціновий фактор може бути значущим бар'єром для країн із низьким рівнем доходів.

Розподіл доступу населення до Інтернету (рис. 2.3) демонструє наявність двох основних груп: — країн із майже повною інтеграцією населення в цифровий простір (90–95 % користувачів), — країн, де цифрова участь обмежується 20–30 %. Цей контраст повністю узгоджується зі світовими тенденціями, зафіксованими ІТУ та UNDP [39; 40], та відображає системні відмінності в рівні доходів, інституційних умовах і фінансовій доступності послуг.

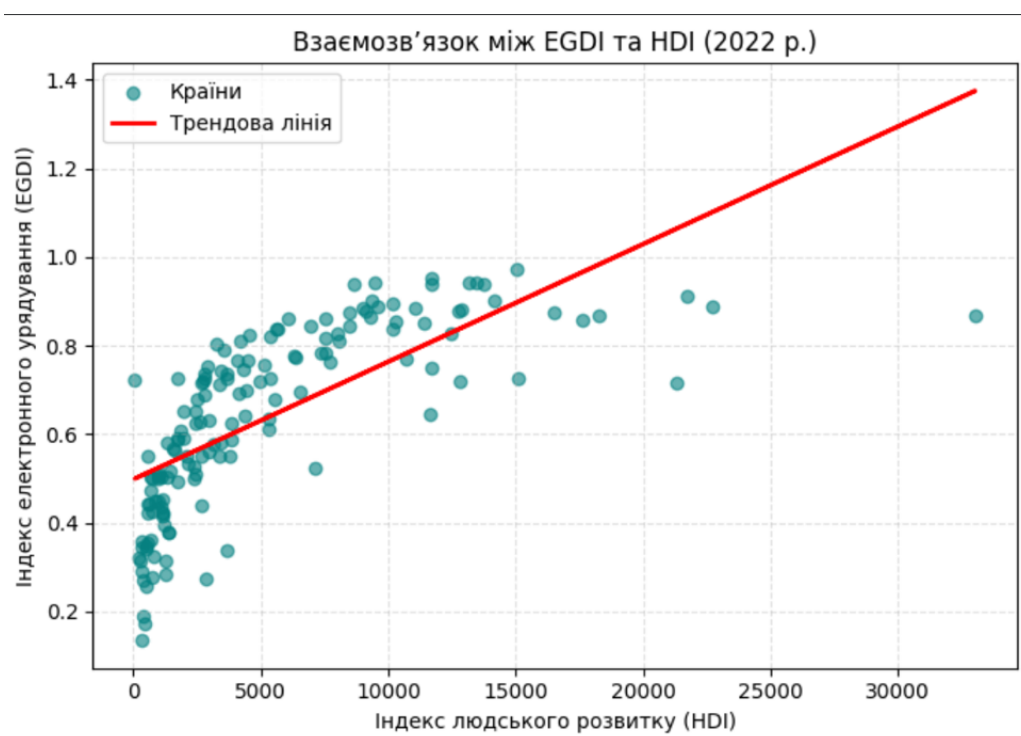


Рисунок 2.3 – Розподіл доступу до Інтернету серед населення (% individuals using the Internet).

Джерело: побудовано автором на основі даних [39-43]

Загальна картина описової статистики вказує на наявність глибокої міжкраїнової цифрової диференціації. Цифрові індикатори демонструють нерівномірність як між регіонами світу, так і між країнами одного рівня доходів. Інфраструктурні, інституційні та цінові фактори формують суттєво різні стартові умови для цифрового розвитку, що потребує подальшого багатовимірного аналізу.

У цьому контексті кореляційний аналіз уможливорює виявлення структурних залежностей між різними аспектами цифрового розвитку країн та визначення, які елементи цифрової екосистеми найбільшою мірою впливають на формування цифрової зрілості держав.

Результати аналізу матриці кореляцій Пірсона (табл. 2.4) показують, що найбільш тісний зв'язок із цифровою зрілістю мають показники цифрової участі населення, зокрема частка індивідуальних інтернет-користувачів ($r = 0.837$) та рівень фіксованого широкосмугового доступу ($r = 0.830$), що свідчить, що цифрова трансформація є не стільки технологічним, скільки соціально-мережовим

явищем, у якому ключову роль відіграють масові поведінкові моделі. Чим більше громадян активно користуються цифровими сервісами, тим сильнішими стають мережеві ефекти, що підвищують попит на електронні послуги і стимулюють розвиток цифрової інфраструктури.

Таблиця 2.4 – Кореляції Пірсона між EGDІ та цифровими/економічними показниками.

Показник	r (Пірсон)
% інтернет-користувачів	0.837
Фіксований ШСД / 100	0.830
CPI 2022	0.753
Покриття 4G	0.720
HDI (проху для GDPpc)	0.708
Активні mobile-broadband	0.692
Покриття 5G	0.679
Ціна data-only пакета	-0.093

Джерело: побудовано автором за даними [39-43].

Аналіз інфраструктурних характеристик показав, що покриття мобільною мережею 4G має кореляцію 0.720, а поширення 5G - 0.679 (табл. 2.4). Цей зв'язок підкреслює значення інфраструктурного ефекту масштабу, коли стабільні та швидкі мережі створюють умови для розвитку цифрових платформ, електронного документообігу, хмарних сервісів та сервісів на основі великих даних. В країнах, де 4G та 5G покриття є фрагментарним, навіть високий рівень інтернет-користувачів не гарантує стійкого цифрового розвитку.

Натомість вартість data-only мобільного пакета має слабку негативну кореляцію ($r = -0.093$), що свідчить про обмежений вплив цінового фактора на глобальному рівні. У більшості країн цифровізація просувається незалежно від вартості мобільних послуг, однак у державах із низьким доходом висока ціна може створювати бар'єри для цифрової участі, що підтверджується дослідженнями ITU щодо affordability gap [39].

Для оцінювання стійкості отриманих залежностей здійснено аналіз рангових кореляцій Спірмена (табл. 2.5). Він підтвердив домінуючу роль цифрової інфраструктури та людського розвитку^ фіксований ШСД зберігає кореляцію 0.880, HDI - 0.878, частка інтернет-користувачів - 0.843, що свідчить, що основні залежності носять структурний характер і не залежать від лінійності чи впливу окремих викидів.

Таблиця 2.5 – Кореляції Спірмена між EGDI та цифровими індикаторами

Показник	Кореляція
Fixed-broadband subscriptions per 100 inhabitants (ITU)	0.880240
HDI	0.877919
Percentage of individuals using the internet (ITU)	0.842743
CPI 2022	0.767442
Population coverage, at least 4G	0.732642
Population coverage, at least 5G	0.724433
Active mobile-broadband subscriptions per 100 inhabitants (ITU)	0.695367
Price of data-only mobile broadband bundle (ITU)	-0.095279

Джерело: побудовано автором за даними ITU, UNDP, TI, World Bank.

Графічна інтерпретація результатів подана на тепловій карті кореляцій (рис. 2.4), де високі значення коефіцієнтів концентруються навколо пари «EGDI - доступ/використання Інтернету» та «EGDI - інституційні індикатори». Можна сказати, що результат підкреслює комплексний характер цифрового розвитку, що технологічні, інфраструктурні та інституційні компоненти посилюють одна одну.

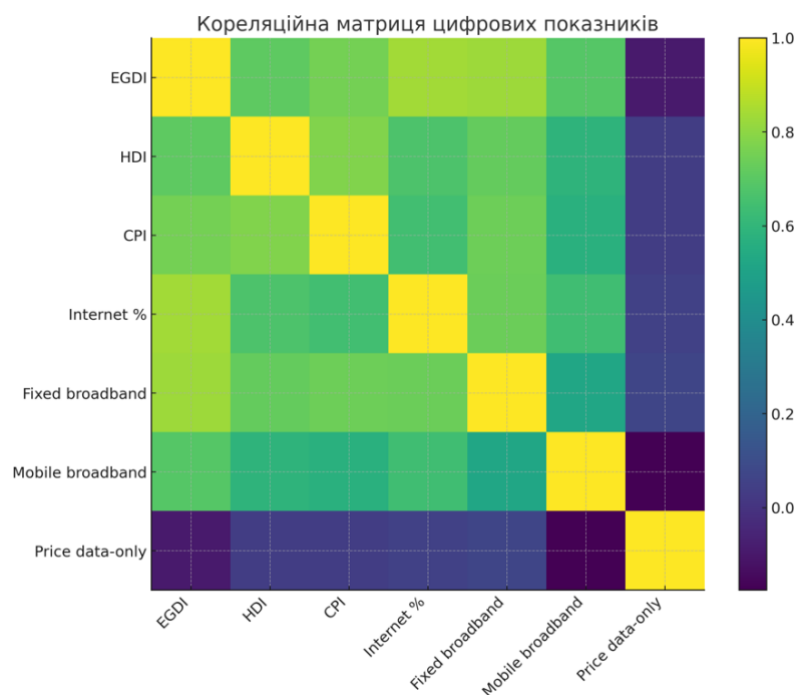


Рисунок 2.4 – Теплова карта кореляцій цифрових показників країн світу

Джерело: розроблено автором на основі даних [39-43].

Щоб переконатися у відсутності надлишкової кореляції між самими предикторами, розраховано індекси інфляції дисперсії (табл. 2.6). Значення VIF перебувають у межах 1,22–4,00, що свідчить про відсутність мультиколінеарності та про те, що кожна змінна містить унікальну інформацію. Що є важливим для подальшого моделювання, оскільки кореляційна структура цифрових показників зазвичай містить багато перетинів між інфраструктурою, доходами та інституційними умовами.

Таблиця 2.6 – Значення VIF для цифрових та економічних показників

Показник	VIF
HDI	4.00095
Percentage of individuals using the internet (ITU)	3.81016
CPI 2022	3.45295
Fixed-broadband subscriptions per 100 inhabitants (ITU)	2.75035
Population coverage, at least 4G	2.21607
Active mobile-broadband subscriptions per 100 inhabitants (ITU)	2.15675
Price of data-only mobile broadband bundle (ITU)	1.22062

Джерело: розроблено автором на основі даних [39-43]

З інноваційної точки зору варто підкреслити ще одну тенденцію: формування цифрової стратифікації, коли країни з високими значеннями цифрових показників демонструють комплексне зміцнення цифрових компонентів, а країни з низькими - відставання одразу за кількома напрямками. Високі кореляції між інфраструктурою, людським розвитком та EGDІ відображають ефект цифрових зовнішніх позитивних ефектів (digital spillovers): кожне покращення інфраструктури посилює можливості для розвитку людського капіталу, інституцій і цифрових сервісів.

Ще один важливий аспект цифрової стратифікації полягає в тому, що з часом вона набуває кумулятивного характеру. Країни, які вже мають розвинену інфраструктуру та високу цифрову участь населення, отримують доступ до більш ефективних технологій, дешевших інвестиційних ресурсів і глобальних інноваційних потоків даних, що додатково прискорює їхнє зростання. Натомість держави з початково слабким цифровим середовищем часто стикаються з «пасткою низької цифрової готовності», у межах якої обмежена інфраструктура, низька доступність послуг і нестача компетенцій взаємно підсилюють одна одну, формуючи бар'єри для інновацій та модернізації, це породжує не просто розрив у рівні цифровізації, а ефект дивергенції, коли навіть схожі за економічними характеристиками країни з часом відходять одна від одної через різну здатність інтегрувати й масштабувати цифрові технології.

Узагальнюючи результати, кореляційного аналізу зазначимо, що цифровізація є системним багатокомпонентним процесом, у якому фундаментальну роль відіграють інфраструктурні можливості, рівень цифрової участі населення та якість державних інститутів. Країни, які забезпечують поєднання цих факторів, формують стійкі цифрові екосистеми, тоді як розрив хоча б в одному компоненті призводить до уповільнення цифрової модернізації.

Для поглиблення результатів кореляційного аналізу, було побудовано регресійну модель OLS, що дає змогу кількісно оцінити вплив ключових цифрових індикаторів на рівень розвитку електронного урядування (EGDI). Модель

структурована таким чином, щоб врахувати як інфраструктурні, так і соціально-економічні та інституційні фактори, рекомендовані міжнародними організаціями (ITU, UNDP, World Bank) як базові драйвери цифрового розвитку [39-43].

Результати оцінювання моделі наведено в табл. 2.7, і вони демонструють високу якість специфікації: коефіцієнт детермінації $R^2 = 0.899$, що свідчить про те, що близько 90 % варіації EGDI пояснюється включеними змінними. Значущість F-статистики ($p < 0.001$) підтверджує адекватність моделі і вказує на те, що цифрова інфраструктура та доступність інтернет-послуг є системно важливими складниками цифрової трансформації.

Таблиця 2.7 – Результати регресійної моделі OLS для показника EGDI

Показник	Значення
Кількість спостережень (n)	96
R^2	0.899
Adjusted R^2	0.891
F-statistic	105.7
Prob(F-statistic)	4.80e-40
Covariance Type	HC3
Log-Likelihood	136.46
AIC	-256.9
BIC	-236.4
Degrees of Freedom (Model)	7
Degrees of Freedom (Residual)	88

Джерело: розроблено автором на основі даних [39-43].

З погляду окремих предикторів (табл. 2.8), статистично значущими є три групи факторів:

1. Показники використання Інтернету населенням.

Частка інтернет-користувачів має найбільший за величиною значущий коефіцієнт ($\beta = 0.0026$, $p < 0.001$), що узгоджується з висновками ITU про визначальну роль цифрової участі населення у формуванні державних електронних сервісів [39].

Таблиця 2.8 – Коефіцієнти моделі регресійної моделі OLS для показника EGDI

Змінна	Коефіцієнт	Std.Err	z-stat	p-value
Intercept	0.2471	0.049	5.072	0.000
HDI (proxy GDPpc)	0.0000026	0.0000032	0.823	0.410
CPI 2022	0.0008	0.0007	1.063	0.288
Percentage of individuals using the internet	0.0026	0.0006	4.167	0.000
Fixed-broadband subscriptions	0.0046	0.0008	5.458	0.000
Active mobile-broadband subscriptions	0.0006	0.0003	2.340	0.019
Population coverage 4G	0.0010	0.0006	1.660	0.097
Price of data-only bundle	-0.0043	0.0013	-3.334	0.001

Джерело: розроблено автором на основі даних ITU, UNDP, Transparency International, UN E-Government Survey, World Bank.

2. Показники фіксованої та мобільної широкопasmової інфраструктури.

Обидва індикатори це кількість фіксованих широкопasmових підписок та активні мобільні широкопasmові підписки, мають позитивний статистично значущий вплив ($p < 0.05$). Що свідчить, про те що цифрова інфраструктура залишається фундаментальною передумовою електронного урядування, що також підтверджують звіти World Bank та UNDESA [41; 43].

3. Цінова доступність цифрових послуг.

Негативний і значущий коефіцієнт при вартості мобільного data-only пакета ($\beta = -0.0043$, $p = 0.001$) вказує, що дорожчі послуги стримують цифрову інтеграцію населення, а отже знижують рівень EGDI.

Водночас HDI та CPI, попри високі кореляційні зв'язки з EGDI, у багатофакторній моделі виявилися статистично незначущими. Отже їхній вплив на цифрову зрілість реалізується опосередковано - через стан інфраструктури та доступність цифрових сервісів, що узгоджується з аналітичними висновками UNDP (2023) про роль цифрових інвестицій як посередника між інституційною якістю та цифровою трансформацією [40].

Позиція України за побудованої регресійної моделю характеризується даними табл. 2.9 Високе значення EGDI (0.8029) супроводжується значною часткою інтернет-користувачів (82.7 %), розвиненим мобільним сектором (120.3

підписок на 100 осіб) та доступним ціноутворенням. Одночасно відносно низький CPI (33) демонструє інституційну вразливість, яка поки не стримує цифрову сферу завдяки активній технологічній модернізації.

Таблиця 2.9 – Ключові цифрові та економічні показники України

Показник	Значення
EGDI	0.8029
HDI (proxy GDP per capita)	3228.35
CPI 2022	33
Частка інтернет-користувачів, %	82.7
Домогосподарства з доступом до Інтернету, %	79.9
Фіксований ШСД (на 100 населення)	17.54
Мобільний зв'язок (на 100 населення)	120.3
Покриття 4G, %	91.0
Ціна data-only пакета, \$	7.47

Джерело: розроблено автором на основі даних [39-43].

Узагальнюючи результати аналізу, можна відзначити, що сукупність описових показників, кореляційних залежностей та перевірки моделей створює узгоджену картину цифрового розвитку країн. Дані демонструють, що цифрові індикатори не існують ізольовано: вони формують взаємопов'язану систему, де стан інфраструктури, доступ населення до Інтернету та якість інституцій взаємно підсилюють або, навпаки, стримують один одного.

Виявлена диференціація між країнами свідчить про те, що цифрова нерівність має комплексний характер і не зводиться лише до технологічних відмінностей, вона відображає різницю в моделях розвитку, можливостях інвестування, інституційній стабільності та соціальній включеності. Кореляційна структура підтверджує, що цифрова зрілість найтісніше пов'язана з реальними можливостями користування цифровими сервісами, а не лише з формальними показниками добробуту чи інституційності.

Разом узяті результати дозволяють дійти важливого висновку, що цифровізація стає інтегральним показником загального розвитку країни, відображаючи не тільки технологічний прогрес, а й спроможність суспільства

адаптуватися до нових моделей комунікації, роботи та державного управління. Саме тому подальший аналіз потребує переходу від одномірних оцінок до системних моделей, які здатні враховувати багатовимірність цифрових процесів та їхній вплив на економічну динаміку.

2.3. Кластеризація країн світу за рівнем цифровізації

На основі підготовлених даних, було проведено кластерний аналіз з метою виявлення груп країн, подібних за профілем цифрового розвитку. Кластеризація дозволяє не лише порівняти окремі показники, а й оцінити комплексну структуру цифровізації у багатовимірному просторі.

Для визначення оптимальної кількості кластерів було порівняно значення інерції моделі K-Means для k від 2 до 7. Метод K-Means належить до класу алгоритмів непараметричної кластеризації та широко застосовується для аналізу багатовимірних соціально-економічних даних [45]. Найменше значення інерції досягалося при $k = 7$, тому саме це розбиття було використано для подальшого аналізу.

Для наочності результати кластеризації були відображені у просторі перших двох головних компонент (PCA), що дозволило оцінити форму та щільність отриманих груп (рис. 2.5).

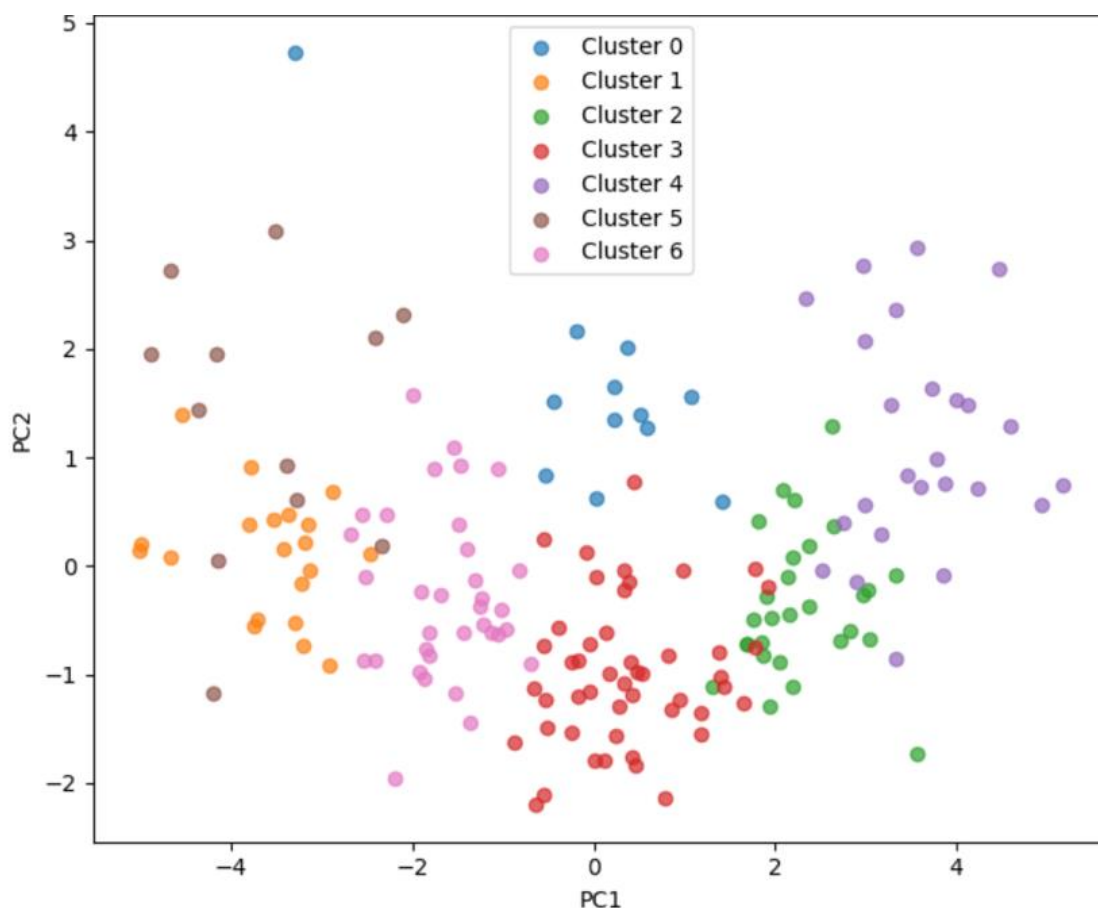


Рис. 2.5 – PCA-візуалізація кластерів країн світу за цифровими індикаторами ($k=7$).

Джерело: побудовано автором на основі результатів кластеризації [39-43].

За результатами кластеризації всі 179 країн було розподілено на сім груп (табл. 2.10). Кожен кластер характеризується власним рівнем цифрової зрілості (EGDI) та людського розвитку (HDI), що дозволяє виокремити лідерів, проміжні та відстаючі країни.

Таблиця 2.10– Зведена характеристика кластерів за розміром та середніми значеннями EGDI і HDI.

Кластер	Кількість країн	Середній EGDI	Середній HDI	Характеристика групи
4	25	0.892	14727.2	Лідери цифрової трансформації
2	28	0.814	7842.4	Високий рівень цифровізації
3	48	0.682	4145.2	Upper-middle економіки (включно з Україною)

Продовження таблиці 2.10

Кластер	Кількість країн	Середній EGDІ	Середній HDI	Характеристика групи
0	12	0.612	4089.3	Острівні та змішані економіки
6	34	0.527	1937.3	Середньо-низький рівень цифровізації
1	20	0.364	711.4	Низький рівень
5	12	0.325	704.1	Найнижчий рівень цифрової зрілості

Джерело: побудовано автором на основі результатів кластеризації [39-43].

Як видно з таблиці 2.10, кластери 4 і 2 об'єднують цифрових лідерів з найвищими значеннями EGDІ та HDI. Кластер 3 репрезентує країни із середньо-високим рівнем цифровізації, у тому числі Україну. Кластери 1 і 5 згруповують держави з низьким та найнижчим рівнем цифрового розвитку, тоді як кластери 0 та 6 займають проміжні позиції.

Для кращого розуміння профілю кластерів було розраховано середні значення ключових цифрових індикаторів у кожній групі (табл. 2.11).

Таблиця 2.11 – Профілі кластерів за середніми значеннями цифрових показників.

Кластер	Кількість країн	EGDI	HDI	CPI	Інтернет %	Домог-осподарства %	Фікс. ШСД	Моб. ШСД	4G %	5G %	Ціна data-only
0	12	0.612	4089	47.6	76.5	77.3	23.0	60.4	93.6	0.0	29.38
1	20	0.364	711	28.6	27.7	37.8	0.63	34.3	61.7	0.7	10.58
2	28	0.814	7842	51.7	89.7	91.3	31.3	104.5	98.7	79.5	7.49
3	48	0.682	4145	41.0	80.6	83.9	18.2	90.0	94.5	9.7	7.37
4	25	0.892	14727	75.8	94.7	95.2	38.7	117.6	99.0	76.8	12.04
5	12	0.325	704	29.1	37.4	50.1	1.36	35.4	23.9	1.0	8.72
6	34	0.527	1937	33.7	58.2	55.7	4.77	76.4	82.8	5.1	9.48

Джерело: розраховано автором на основі файлів `cluster_profiles.csv` та вихідного датасету.

Аналіз середніх значень показників у таблиці 2.11 дозволяє виокремити характерні риси кожного кластера. Найбільш розвинені країни увійшли до кластера 4. Для них характерні найвищі значення EGDІ (0.892), високі інституційні показники та майже повне охоплення мережею 4G. Впровадження 5G у цих

державках також відбувається швидкими темпами, середній рівень сягає понад 76 %. До цієї групи належать Данія, Фінляндія, Швеція, Ісландія та Нова Зеландія (рис. 2.6).

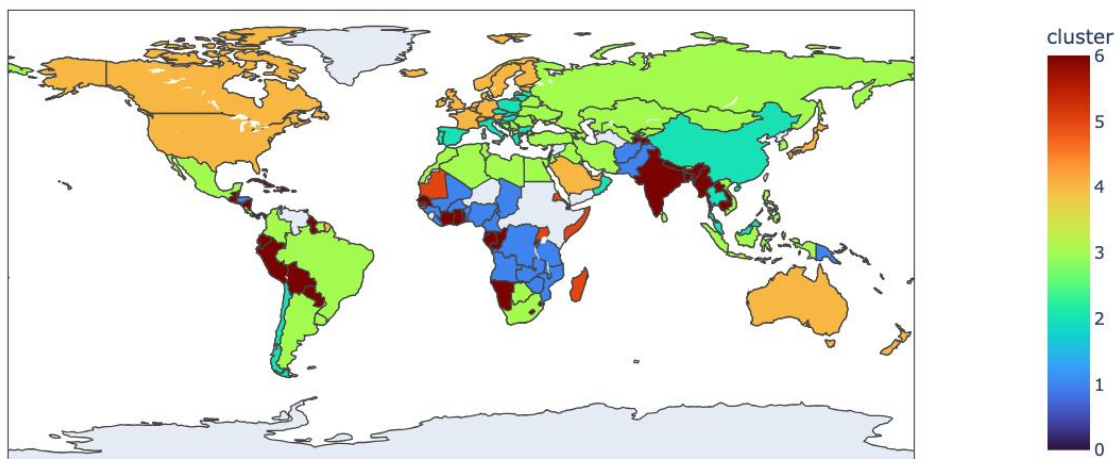


Рисунок 2.6 – Географічний розподіл кластерів цифрового розвитку країн світу ($k = 7$).

Джерело: побудовано автором на основі результатів кластеризації.

Трохи нижчі, але все одно високі показники демонструє кластер 2. Тут середнє значення EGDІ становить 0.814, а доступ до Інтернету поширений серед абсолютної більшості населення. Країни цієї групи активно модернізують мережеву інфраструктуру, що підтверджується високою часткою покриття 5G. До кластера входять Мальта, Ізраїль, Іспанія, Словенія та Литва.

Більш збалансований рівень цифрового розвитку спостерігається в кластері 3, до якого належить і Україна. Тут значення EGDІ становить 0.682, а Інтернетом користуються понад 80 % населення. Інфраструктура фіксованого та мобільного Інтернету є досить розвиненою, хоча впровадження 5G поки що обмежене. До цієї групи також входять Казахстан, Уругвай, Сербія та Аргентина.

На основі трендів інтернет-проникнення та GDP рс можна очікувати, що країни кластеру 3 мають потенціал наблизитися до кластеру 2 у перспективі 3–5 років за умови покращення інституційної стабільності та розвитку фіксованого ШСД.

Кластер 0 об'єднує здебільшого острівні та невеликі змішані економіки. Попри відносно високий рівень доступу до Інтернету й широке покриття 4G, ці країни стикаються з високою вартістю цифрових послуг, зокрема data-only пакетів. Серед прикладів - Барбадос, Панама, Сейшели чи Тринідад і Тобаго.

Кластер 6 характеризується нижчим рівнем цифровізації. Хоча мобільні технології у цих країнах поширені досить широко, розвиток фіксованого ШСД та загальні соціально-економічні показники суттєво відстають. До цієї групи належать Перу, Еквадор, Болівія та Парагвай.

Кластери 1 та 5 представляють країни з найнижчим рівнем цифрової зрілості. У кластері 1 середнє значення EGDІ становить 0.364, доступ до Інтернету має менше третини населення, а фіксований широкосмуговий зв'язок практично відсутній. У кластері 5 ситуація ще складніша: рівні цифровізації найнижчі серед усіх груп, інфраструктура слабо розвинена, а покриття 4G є вкрай обмеженим. До таких країн належать Уганда, Мадагаскар, Сан-Томе і Принсіпі та Тувалу.

Позиція України у сформованій кластерній структурі є показовою для країн, що перебувають на етапі активного розвитку цифрової екосистеми. За результатами кластерного аналізу Україна увійшла до третього кластера, який об'єднує держави із середньо-високим рівнем цифрової зрілості та динамічною траєкторією модернізації інформаційно-комунікаційної інфраструктури. Значення індексу EGDІ становить 0.8029, що наближає країну до групи високорозвинених цифрових економік та свідчить про достатньо високий рівень розвитку електронних державних сервісів, ІТ-інфраструктури та людського капіталу.

Доступ до Інтернету в Україні залишається стабільно високим, понад 82 % населення є активними користувачами мережі, а покриття 4G перевищує 91 %, що формує сприятливі умови для поширення цифрових технологій і створює базу для подальшого зростання цифрових сервісів. Розвиток фіксованого широкосмугового доступу також демонструє позитивну динаміку, у середньому 17.54 підписок на 100 жителів. Разом із тим упровадження технології 5G поки що перебуває на початковому етапі, що відрізняє Україну від держав із кластерів високого рівня цифровізації, де частка впровадження 5G значно вища.

Інституційний вимір цифрового розвитку залишається одним із ключових викликів, індекс сприйняття корупції (CPI = 33) поки що суттєво нижчий за показники країн-лідерів. Однак доступність цифрових послуг залишається порівняно високою: середня вартість пакета data-only становить 7.47 дол. США, що робить мобільний Інтернет досить доступним для більшості населення.

Загалом позиція України у кластері свідчить про впевнене наближення до цифрових лідерів та про наявність значного потенціалу для подальшої трансформації. Країна демонструє сильні сторони у розвитку інтернет-покриття, цифрових сервісів та інфраструктури, але потребує послідовного зміцнення інституційної спроможності та прискорення технологічних інновацій, насамперед впровадження 5G-мереж та модернізації телекомунікаційного сектору.

В цілому кластерний аналіз дав змогу побачити загальну архітектуру цифрового розвитку світу, не як набір окремих показників, а як цілісну картину структурних відмінностей між країнами. Побудовані кластери виявили логіку глобального цифрового ландшафту, де рівень технологічного прогресу, інституційної спроможності та доступності цифрових сервісів формує природні групи держав із подібними траєкторіями розвитку. Отримані результати дозволяють глибше зрозуміти позиціонування країн у цьому просторі та створюють підґрунтя для подальших аналітичних висновків щодо впливу цифровізації на економічну динаміку.

2.4. Моделювання взаємозв'язків між рівнем цифровізації та економічним розвитком країн

У попередніх підрозділах було встановлено, що цифрова інфраструктура, доступ населення до Інтернету та інституційні умови мають сильні зв'язки з індексом розвитку електронного урядування та загальним рівнем цифрової зрілості. Наступним етапом є оцінювання того, наскільки ці цифрові

характеристики здатні пояснювати та прогнозувати економічний розвиток країн світу. У ролі залежної змінної використовується логарифм ВВП на душу населення ($\log \text{GDP per capita}$), який у даному наборі даних представлений проксі-показником HDI.

Для моделювання застосовано три підходи:

- 1) проста лінійна регресія;
- 2) множинна регресія OLS;
- 3) модель Random Forest як сучасний ML-підхід, що дає змогу перевірити нелінійні взаємозв'язки та важливість змінних.

Аналіз проведено на основі сформованого композитного цифрового індексу DCI, який агрегує п'ять ключових цифрових показників (penetration rate, fixed broadband, household access, 4G coverage, price factors) шляхом стандартизації та зведення до єдиної метрики цифрової оснащеності країни. Індекс визначається як:

$$DCI_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Z_{ij}, \quad (2.4)$$

де Z_{ij} - стандартизоване значення j -го цифрового показника для i -ї країни, n - кількість змінних, що увійшли до складу індексу.

Такий підхід дозволяє інтегрувати різнорідні індикатори у єдину метрику та забезпечує однаковий внесок кожної ознаки у формування загального значення індексу.

Результати описової статистики DCI наведено в табл. 2.12. Діапазон значень простягається від -8.76 до 5.39 , тоді як медіана становить 1.01 . Такий широкий розкид свідчить про істотну цифрову нерівність, значна частина країн зосереджена в нижній та середній частині розподілу, тоді як високі значення характерні для обмеженої групи держав.

Таблиця 2.12 – Описова статистика індексу DCI

Показник	Значення
count	172
mean	0.190
std	3.485

Показник	Значення
min	-8.758
25%	-2.187
50%	1.011
75%	3.112
max	5.394

Джерело: розроблено автором на основі даних ITU, UNDP, Transparency International, UN E-Government Survey, World Bank.

На гістограмі (рис. 2.7) також помітна асиметрія розподілу, країни з високими значеннями DCI формують компактну групу, тоді як країни зі слабкою цифровою інфраструктурою демонструють набагато більшу варіативність. Отже, що цифрова доступність може бути критичним фактором розвитку для менш розвинених економік.

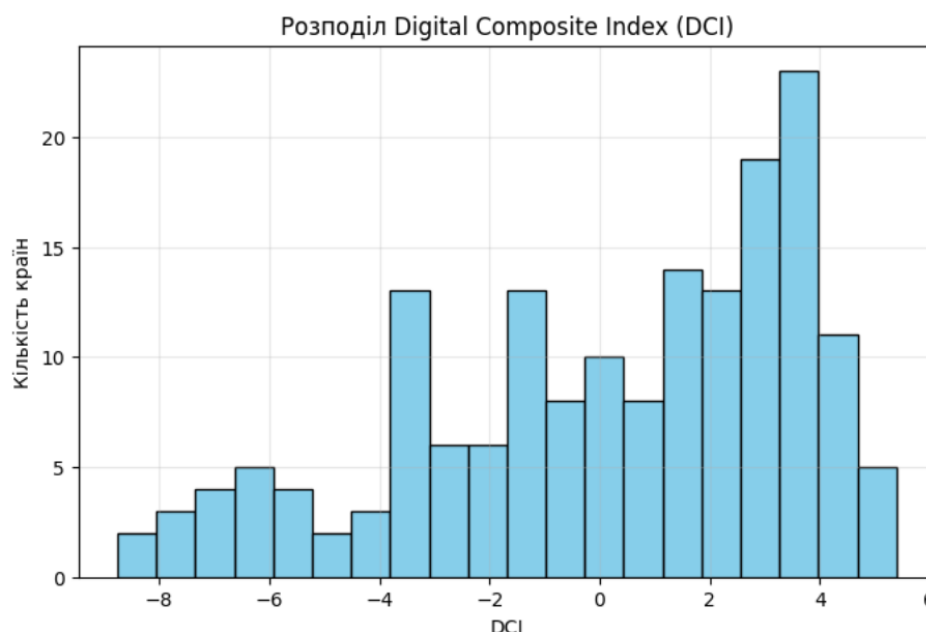


Рисунок 2.7– Розподіл Digital Composite Index (DCI)

Джерело: розроблено автором на основі даних [39-43].

Першим етапом є перевірити наявності лінійного зв'язку між цифровим розвитком і економічним добробутом. Для цього побудовано модель:

$$\ln(GDP_{pc}) = \alpha + \beta * DCI + \varepsilon, \quad (2.4.2)$$

де, DCI — композитний цифровий індекс,

$\ln(GDP_{pc})$ — логарифм ВВП на душу населення.

Результати:

- $\beta = 0.2630$
- $\alpha = 8.0598$
- $R^2 = 0.748$

Отримана модель пояснює близько 75 % варіації економічного розвитку, що є дуже високим результатом для моделі з одним фактором. А отже, цифровий розвиток сам по собі є сильним системним предиктором рівня добробуту країни.

Графік (рис. 2.8) ілюструє поєднання зростальної тенденції та достатньої щільності точок, що вказує на стійкий позитивний зв'язок, чим більш розвинута цифрова інфраструктура, тим вищий економічний рівень країни.

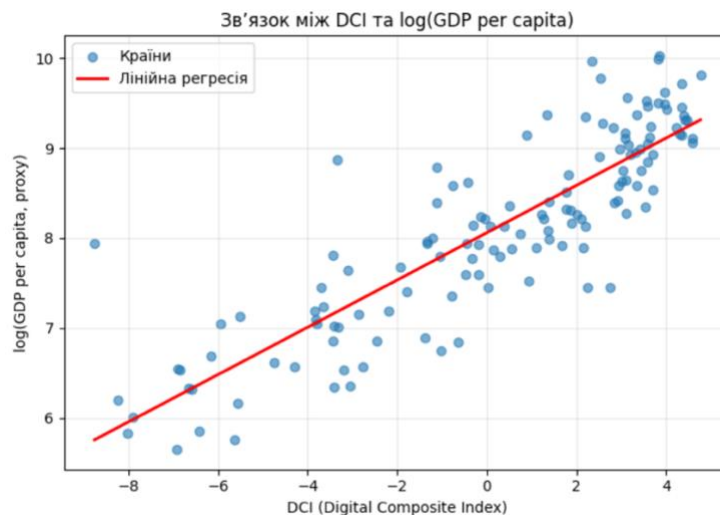


Рисунок 2.8 – Зв'язок між DCI та $\log(\text{GDP per capita})$

Джерело: розроблено автором на основі даних [39-43].

Оскільки цифровізація не є ізольованим процесом і супроводжується розвитком інституцій, було побудовано багатofакорну модель:

(2.5)

$$\ln(GDP_{pc}) = 7.3569 + 0.2110 * DCI + 0.0155 * CPI + 0.0084 * Internet + 0.0062 * Broadband + 0.0021 * Coverage4G + 0.0213 * Price + \varepsilon,$$

де, $\ln(GDP_{pc})$ - натуральний логарифм ВВП на душу населення, дол. США;

α – вільний член моделі;

$\beta_1 \dots \beta_6$ – параметри регресії, безрозмірні;

ε - випадкова похибка моделі.

Результати OLS-моделі:

- $R^2 = 0.789$
- $\beta_{DCI} = (p < 0.001)$
- $\beta_{CPI} = 0.0155 (p < 0.001)$

Ця модель пояснює вже 79 % варіації економічного розвитку, що підтверджує важливу роль інституційної спроможності. Цифровізація зберігає сильний та статистично значущий вплив, але коефіцієнт зменшується з 0.2630 до 0.2110, що означає: частину впливу цифрового розвитку “перекриває” інституційний фактор, що узгоджується з теорією «Цифрові інновації працюють ефективніше в середовищі довіри, стабільності та зрозумілих регуляцій».

Щоб перевірити можливі нелінійності та виявити найбільш важливі предиктори, було побудовано модель Random Forest.

Результати моделі:

- $R^2_{train} = 0.963$
- $R^2_{test} = 0.557$
- $R^2_{CV} = 0.847 (\sigma = 0.067)$

Модель показує дуже високу якість на тренувальних даних і середню - на тестових, що є типовим для Random Forest. Проте аналіз важливості ознак (рис. 2.9, табл. 2.13) дозволяє зробити цінні висновки, що серед усіх факторів, які впливають на економічний розвиток країн, найбільшу вагу має частка інтернет-користувачів, саме цей показник формує понад половину внеску моделі та виявляється найсильнішим драйвером зростання. На другому місці за значущістю опинився рівень розвитку фіксованого широкосмугового доступу, що відіграє ключову роль

у забезпеченні високоякісної цифрової інфраструктури. Далі за впливом розташовується композитний цифровий індекс DCI, який інтегрує кілька окремих технологічних характеристик і слугує узагальненим індикатором цифрової зрілості країни. Помітний, хоча й значно менший, внесок мають доступ домогосподарств до Інтернету, інституційний показник CPI, а також ціна мобільних data-only пакетів, яка впливає на доступність цифрових послуг. Найменшу, але все ж відчутну роль відіграє покриття 4G, що визначає масштаби використання мобільних технологій і формує базові умови для впровадження цифрових сервісів.

Таблиця 2.13 – Важливість ознак (Random Forest)

Ознака	Важливість
Percentage of individuals using the internet (ITU)	0.5211
Fixed-broadband subscriptions per 100 inhabitants (ITU)	0.2565
DCI	0.1428
Percentage of households with internet access at home	0.04885
CPI 2022	0.01483
Price of data-only mobile broadband bundle	0.00800
Population coverage, at least 4G	0.00790

Джерело: розроблено автором на основі даних ITU, UNDP, Transparency International, UN E-Government Survey, World Bank.

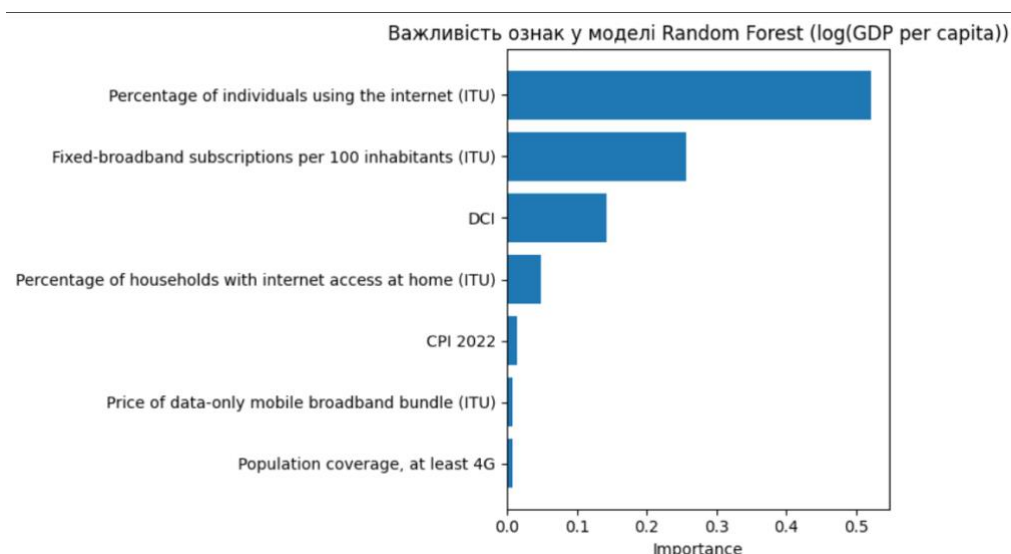


Рисунок 2.9 – Важливість ознак у моделі Random Forest

Джерело: розроблено автором на основі даних [39-43].

Можна зробити висновок, що ключовим рушієм економічного зростання є саме фактичне використання Інтернету населенням, а не номінальні технологічні показники. Іншими словами, не достатньо побудувати мережі важливо, щоб люди реально ними користувалися.

Україна демонструє значення $DCI = 1.3697$, що є вищим за середній рівень вибірки, проте рівень $\log(\text{GDP per capita})$ є нижчим, ніж можна було б очікувати для країн зі схожим цифровим профілем, що говорить про наявність нереалізованого економічного потенціалу, який може бути досягнутий у разі подальшої модернізації інституцій та зменшення бар'єрів для цифрової економіки.

Показники цифрової інфраструктури України (табл. 2.14) (82.7 % інтернет-користувачів, 91 % покриття 4G, помірна вартість мобільних пакетів) свідчать про те, що цифрова база є достатньою для прискореного економічного зростання, якщо паралельно вдосконалюватимуться умови економічної діяльності та управління.

Таблиця 2.14 – Позиція України у моделюванні

Показник	Значення
DCI	1.3697
GDP per capita (proxy)	3228.35
$\log(\text{GDP per capita})$	8.0797
CPI 2022	33
Інтернет-користувачі, %	82.7
Домогосподарства з Інтернетом, %	79.9
Фіксований ШСД	17.54
Покриття 4G	91.0
Ціна data-only пакета	7.47

Джерело: розроблено автором на основі даних ITU, UNDP, Transparency International, UN E-Government Survey, World Bank.

Порівняння моделей показує (табл. 2.15), що всі три підходи демонструють тісний зв'язок між рівнем цифровізації та економічним розвитком, проте відрізняються за точністю та стабільністю. Найпростішу структуру має лінійна регресія, яка, попри один предиктор, забезпечує досить високий рівень

пояснювальної здатності ($R^2 = 0.748$). Додавання інституційного показника (CPI) в моделі OLS дозволяє покращити якість прогнозу, зменшити похибку й отримати більш збалансовану модель.

Таблиця 2.15 – Порівняння якості моделей прогнозування $\log(\text{GDP per capita})$

Модель	R^2 (train)	R^2 (test)	R^2 (5-fold CV)	MAE	RMSE
Проста лінійна ($\log\text{GDP} \sim \text{DCI}$)	0.748	—	—	0.4007	0.5341
Множинна OLS ($\text{DCI} + \text{CPI}$)	0.789	—	—	0.3475	0.4887
Random Forest	0.963	0.557	0.847 ($\sigma = 0.067$)	0.3434	0.4597

Джерело: розроблено автором на основі даних ITU, UNDP, Transparency International, UN E-Government Survey, World Bank.

Модель Random Forest забезпечує найвищу точність на тренувальних даних, однак суттєве падіння R^2 на тестовій вибірці вказує на часткове перенавчання. Попри це, високе середнє значення R^2 у перехресній валідації свідчить, що модель добре захоплює загальні закономірності, включно з нелінійними залежностями. Таким чином, цифровізація стабільно виступає сильним фактором економічного розвитку незалежно від обраної методології моделювання.

Додатково важливо підкреслити, що отримані результати кількісного аналізу не лише фіксують наявні статистичні закономірності, але й дозволяють оцінити структурну стабільність цифрового розвитку країн та їхню здатність адаптуватися до змін технологічного середовища. Виявлені кореляції, результати регресійних моделей і кластеризації свідчать про те, що цифровізація має властивість кумулятивного ефекту: країни, які на початкових етапах інвестують у розвиток цифрової інфраструктури й людського капіталу, з часом отримують значно вищі економічні результати. Це пояснюється тим, що цифрові технології формують мережеві та платформні ефекти, які посилюються зі зростанням кількості користувачів, збільшенням пропускної здатності мереж і підвищенням рівня цифрової взаємодії в бізнесі й державному секторі.

У цьому контексті важливо враховувати, що цифрова трансформація не є лінійним процесом, її вплив на економіку залежить від того, наскільки швидко держави здатні масштабувати інвестиції у цифрову інфраструктуру, вирівнювати доступ до цифрових послуг та інтегрувати цифрові технології в управлінські й виробничі процеси. Країни з недостатньо розвиненою інституційною базою чи структурними диспропорціями ринку часто стикаються з тим, що позитивний ефект цифровізації не реалізується повною мірою, навіть якщо рівень інтернет-проникнення або мобільного зв'язку є формально високим. Такі країни опиняються у «пастці неповної цифровізації», коли цифрові сервіси та інфраструктура розвиваються фрагментарно, без достатньої інтеграції у державну політику, бізнес-процеси чи систему освіти.

Окремо варто зазначити, що моделювання взаємозв'язку цифрових показників і економічного розвитку демонструє високу чутливість економічного середовища до показників реального використання цифрових послуг населенням. Що означає, що цифрова політика повинна бути спрямована не лише на технологічні інвестиції, а й на стимулювання попиту - розвиток цифрових компетентностей, підвищення довіри громадян до онлайн-сервісів, зниження вартості цифрових продуктів та усунення соціальних бар'єрів. Такий підхід дозволяє перетворити цифровізацію на одночасно економічний, соціальний і управлінський інструмент, який забезпечує стійке зростання та інтеграцію в глобальну цифрову економіку. Таким чином, аналіз цифрових показників у системному контексті підкреслює, що цифровий розвиток є не лише технологічним процесом, а комплексною трансформацією, яка потребує узгодженості інфраструктури, інституцій та людського капіталу.

Проведене моделювання показало, що цифровізація є одним із ключових факторів економічного розвитку країн. Побудований композитний індекс DCI продемонстрував виразний і стабільний зв'язок із рівнем ВВП на душу населення, а проста регресійна модель підтвердила значущість цифрових компонентів навіть без додаткових контролів. Додавання інституційного показника CPI дозволило підвищити точність моделі, що свідчить про взаємодоповнюваність цифрових та

інституційних чинників. А результати Random Forest показали, що найбільший вплив на економічний добробут мають фактичне охоплення Інтернетом і розвиток широкопasmової інфраструктури. Таким чином, цифровізація формує не лише технологічну, а й економічну основу зростання, а країни з високими показниками використання цифрових послуг мають істотно вищий потенціал для сталого розвитку.

2.5. Порівняльний аналіз цифрового розвитку країн світу та позиціонування України

У цьому підрозділі аналіз виходить за межі базових моделей і кореляцій, щоб глибше зрозуміти стійкість отриманих результатів та реальне місце України серед інших країн. Тут перевіряється, наскільки надійними є попередні моделі, як виглядає цифровізація України у порівнянні з сусідами, і чи можна по-іншому оцінити рівень цифрової готовності, використовуючи метод головних компонент. Додатково цифрові показники подаються у геопросторовому форматі, що дозволяє побачити глобальні відмінності та закономірності, які не завжди очевидні у таблицях чи моделях.

Щоб оцінити, наскільки надійними є отримані в підрозділі 2.4 результати, було побудовано кілька лінійних моделей різної складності, від мінімалістичної (тільки DCI) до розширеної, що включає весь набір цифрових змінних. Усі моделі були протестовані на одній і тій самій вибірці даних, що дозволило порівняти їхню якість та чутливість до зміни структури предикторів.

Результати тестування стабільності наведено в таблиці 2.16. Видно, що зі збільшенням кількості змінних точність моделей зростає від $R^2=0.636$ у найпростішій специфікації до $R^2\approx 0.88$ у повній моделі. Паралельно зростає й точність прогнозу, MAE та RMSE зменшуються майже вдвічі, що підтверджує стійкість зв'язку між цифровими індикаторами та економічним розвитком.

Узагальнюючи, розширення моделі на додаткові цифрові показники не лише підвищує її точність, але й дозволяє врахувати більш глибокі структурні аспекти цифровізації.

Таблиця 2.16 – Перевірка стабільності регресійних моделей

Модель	Кількість спостережень	Кількість змінних	R ² (in-sample)	MAE	RMSE
M1: $\log(\text{GDPpc}) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{DCI}$	150	1	0.636	0.444	0.683
M2: + CPI	136	2	0.789	0.347	0.489
M3: + Internet + Broadband	136	4	0.880	0.289	0.369
M4: повний набір цифрових параметрів	136	7	0.881	0.287	0.368

Джерело: розроблено автором на основі даних ITU, UNDP, Transparency International, UN E-Government Survey, World Bank.

Для кращого розуміння позиції України у регіональному контексті було проведено порівняння з найближчими країнами-сусідами: Польщею, Угорщиною, Румунією, Молдовою, Чехією (табл. 2.17). У порівнянні використовувалися ключові змінні EGDI, DCI, логарифм ВВП на душу населення, CPI та основні індикатори цифрового доступу.

Таблиця 2.17 – Порівняльні цифрові та економічні показники України та сусідніх країн.

Країна	EGDI	DCI	GDP per capita (proxy)	$\log(\text{GDPpc})$	CPI 2022	Інтернет, %	Домогосподарства, %	Фіксований ШСД
Угорщина	0.7827	3.713	7541.01	8.928	42	90.0	91.4	36.53
Румунія	0.7619	3.329	7708.89	8.950	46	86.7	89.4	33.21
Польща	0.8437	3.165	8447.64	9.042	55	88.3	93.3	23.84
Чехія	—	3.079	9074.99	9.113	56	80.1	85.4	37.71
Молдова	—	2.016	—	—	39	76.7	67.5	26.32
Україна	0.8029	1.370	3228.35	8.080	33	82.7	79.9	17.54

Джерело: розроблено автором на основі даних ITU, UNDP, Transparency International, UN E-Government Survey, World Bank.

Отримані результати демонструють що Україна за рівнем цифровізації поступається більшості сусідів із ЄС (Польща, Угорщина, Румунія, Чехія), але випереджає Молдову. Попри достатній рівень використання Інтернету населенням (82.7 %), значення DCI України залишається нижчим через відносно слабший розвиток фіксованого ШСД та нижчий рівень доходів населення.

Країни з кращими інституційними показниками (CPI) та ширшим охопленням широкосмугових мереж мають вищі значення логарифма ВВП, що підтверджує висновки попередніх розділів про подвійний вплив цифрових і інституційних факторів.

Рисунок 2.10 ілюструє, що Україна належить до середньої групи, перебуваючи між країнами ЄС і менш розвиненими державами регіону.

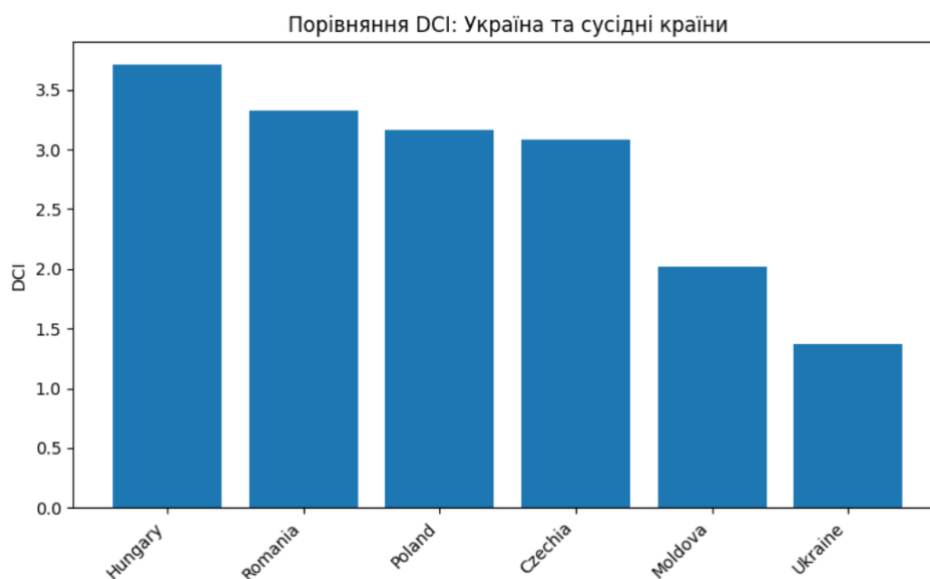


Рисунок 2.10 – Порівняння DCI України та сусідніх країн

Джерело: розроблено автором на основі даних ITU, UNDP, Transparency International, UN E-Government Survey, World Bank.

Окрім DCI, що має аналітичну структуру, було побудовано альтернативний індекс цифрової готовності DRI_PCA на основі методу головних компонент. Підхід дозволяє оцінити цифровізацію без попереднього визначення ваг, покладаючись лише на внутрішню структуру даних.

Для PCA використано шість цифрових змінних, що відображають як інфраструктуру, так і доступ населення до Інтернету. Перша головна компонента пояснює 57.5 % дисперсії, що дозволяє інтерпретувати її як узагальнений цифровий індикатор.

Індекс розраховується за формулою:

$$DRI = w_1 * x_1 + w_2 * x_2 + \dots + w_n * x_n \quad (2.6)$$

де x_i — стандартизовані цифрові показники,

w_i - ваги головної компоненти.

Отримані значення індексу мають широкий діапазон (від -5.07 до 2.81) і свідчать про значну нерівномірність цифрової готовності країн (табл. 2.11). Україні відповідає значення $DRI_PCA = 0.55$, що зміщує її до більш цифрово готових держав, але не у групу лідерів.

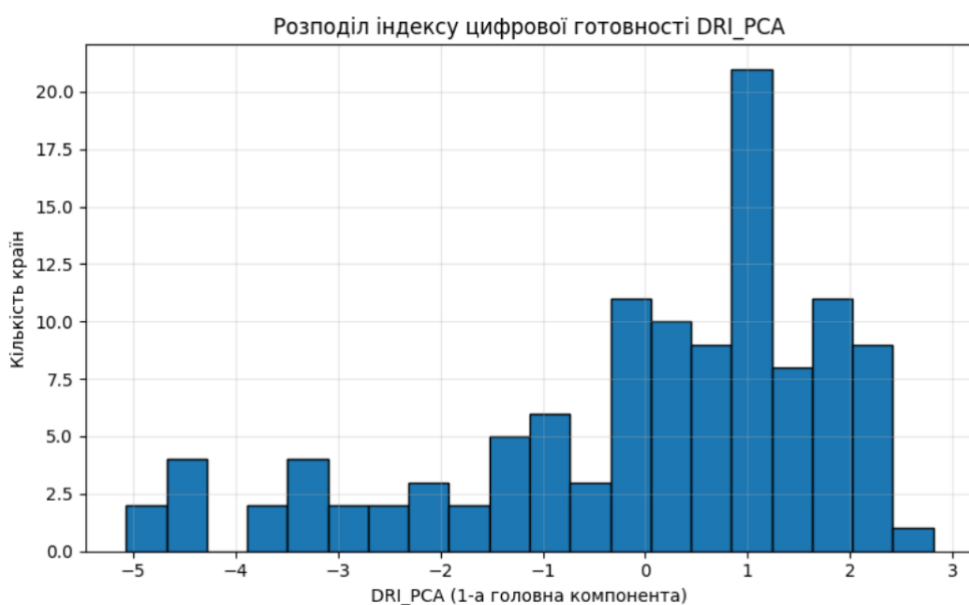


Рисунок 2.11 – Розподіл індексу цифрової готовності DRI_PCA

Джерело: розроблено автором на основі [39-43].

Таблиця 2.18 показує, що індекс цифрової готовності DRI_PCA має широкий діапазон, від суттєво негативних до високих позитивних значень. Країни сильно різняться за рівнем цифрової інфраструктури та доступу до технологій.

Медіана трохи вища за нуль, тож більшість держав мають середній або помірно високий рівень цифрової готовності, але існує група країн, що істотно відстають.

Таблиця 2.18 – Описова статистика DRI_PCA

Показник	Значення
Кількість спостережень	115
Середнє	0.000
Стандартне відхилення	1.866
Мінімум	-5.071
25-й перцентиль	-0.999
Медіана	0.552
75-й перцентиль	1.276
Максимум	2.813

Джерело: розроблено автором на основі даних [39-43].

Геопросторове відображення цифрових індикаторів дозволяє сформувати більш цілісне уявлення про глобальну картину цифрового розвитку. На основі отриманих даних було побудовано дві інтерактивні карти, перша демонструє значення композитного індексу DCI для кожної країни (рис. 2.12), друга - індекс цифрової готовності DRI_PCA, сформований методом головних компонент (рис. 2.13). Обидві візуалізації дають змогу побачити просторові закономірності, які складно розгледіти за допомогою традиційних таблиць чи регресійних моделей.

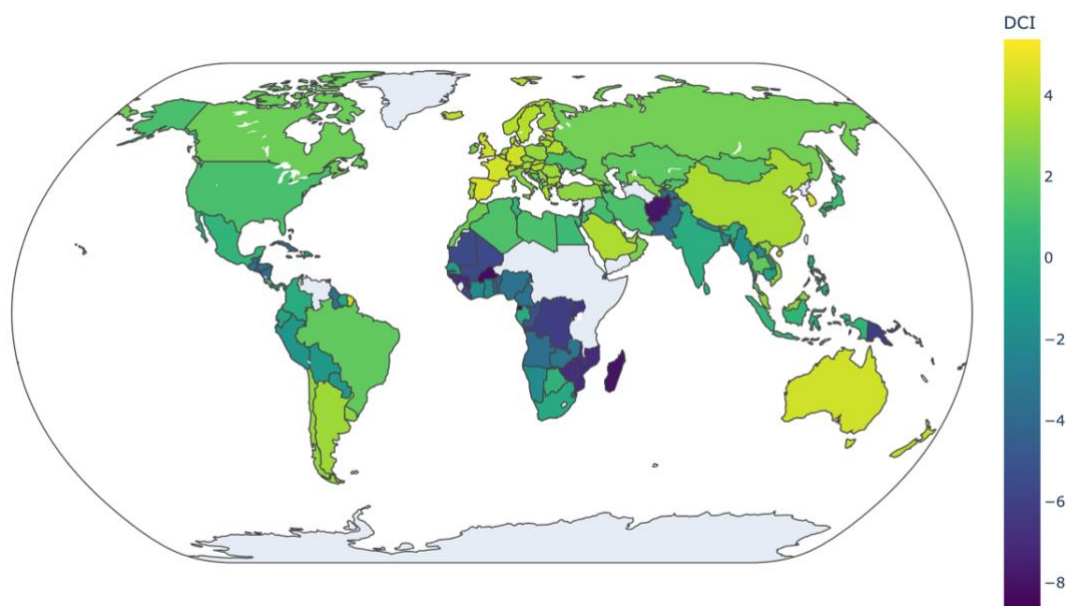


Рисунок 2.12 – Географічний розподіл Digital Composite Index (DCI)

Джерело: розроблено автором на основі даних ITU, UNDP, Transparency International, UN E-Government Survey, World Bank.

Digital Readiness Index (DRI_PCA), 2022

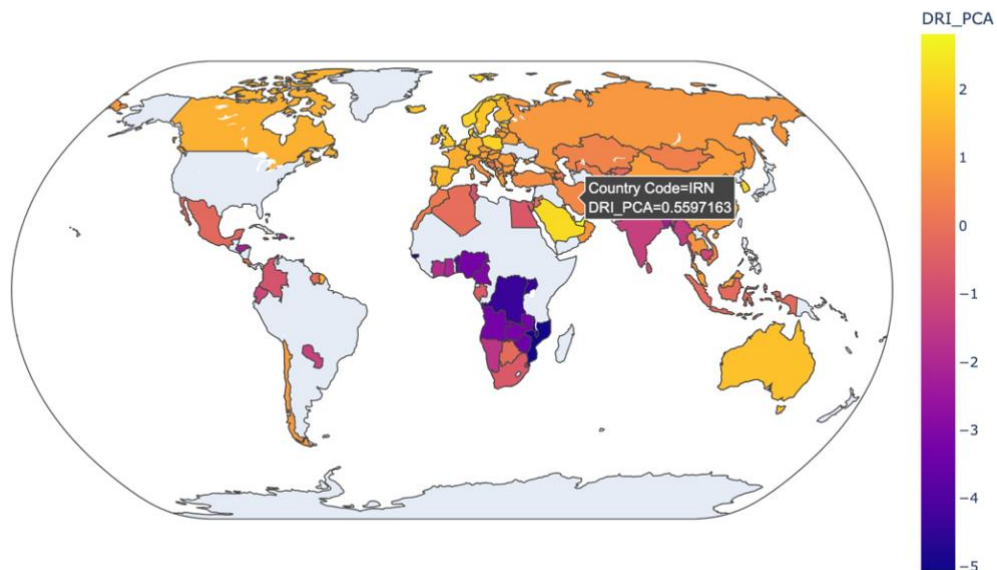


Рисунок 2.13 – Географічний розподіл індексу цифрової готовності DRI_PCA

Джерело: розроблено автором на основі даних ITU, UNDP, Transparency International, UN E-Government Survey, World Bank.

Карти показують чітку регіональну диференціацію. Найвищі значення цифрових індексів зосереджуються у Північній Америці, Північній та Західній Європі, а також у високорозвинених країнах Азії. На цих територіях цифрова інфраструктура давно інтегрована в економічні та соціальні процеси, а населення має широкий доступ до швидкісного Інтернету і цифрових послуг. Саме тут формуються глобальні центри цифрової інноваційності, що підтверджується як значеннями DCI, так і результатами PCA.

Зовсім іншу ситуацію фіксують мапи для країн Африки та Південної Азії, де значення цифрових індексів залишаються низькими. На геокартах ці регіони окреслюють широкі “зони цифрового відставання”, що пов’язано з високою вартістю послуг, браком інфраструктури та інституційною нестабільністю. У ряді країн спостерігаються мінімальні значення як DCI, так і DRI_PCA, що вказує на структурні бар’єри цифрового розвитку.

У межах Європи виявляється значна поляризація. Країни ЄС - Польща, Чехія, Румунія, Угорщина, демонструють високий рівень цифрової готовності. Україна та Молдова займають середні позиції, що корелює з результатами регресійних моделей та аналізом сусідніх країн. Інституційні фактори, масштаби інвестицій у інтернет-мережі та доступність послуг створюють різючі контрасти навіть між країнами, що географічно розташовані поруч.

Проведений розширений аналіз показав, що цифровізація має стабільний і передбачуваний зв’язок з економічним розвитком країн: чим більше цифрових показників залучено до моделі, тим точніше вона описує рівень добробуту. Перевірка альтернативних специфікацій підтвердила стійкість цього висновку, а порівняння України з сусідніми державами засвідчило її проміжне положення - країна володіє суттєвим цифровим потенціалом, але все ще поступається країнам ЄС за інфраструктурними та інституційними характеристиками.

У воєнних умовах оцінювання цифровізації України набуває ще більшої актуальності. Порівняння зі світовими тенденціями демонструє, що цифровий розвиток країни має асиметричний характер: окремі сегменти - зокрема електронне урядування та користування цифровими сервісами, зближуються з глобальними

лідерами, тоді як інші сфери, пов'язані з інфраструктурою та інституційною стійкістю, залишаються позаду [16; 17]. Комплексне зіставлення цифрових показників та моделювання подібності цифрових профілів дозволяють окреслити реальне місце України у світовій цифровій екосистемі та зрозуміти, які чинники визначають її траєкторію розвитку.

Україна демонструє результат, що істотно відрізняється від середньосвітового рівня, зокрема за інтегральним індексом цифровізації DCI (1,37 проти світового 0,19). Стандартизовані відхилення (z-оцінки) свідчать, що країна перевищує середній глобальний показник за рівнем інтернет-користувачів, інтернетизацією домогосподарств і розвитком мобільних мереж. Ці значення позитивно відхиляються від світових у межах 0,25–0,49 стандартних відхилень, що свідчить про сформовану культуру користування цифровими сервісами. Разом з тим, показники якості кіберсередовища, вартості мобільного Інтернету та індексу сприйняття корупції залишаються нижчими за середньосвітові, що підтверджує інституційну нестійкість і обмежену інвестиційну привабливість цифрового сектору [39-43].

Особливий науковий інтерес становить визначення країн, цифрові профілі яких найбільш схожі з українським. За результатами моделювання, найближчими аналогами України є Монголія, Бразилія, Таїланд, Казахстан, Сербія, Азербайджан, Мексика, Албанія та Вірменія. Спільною рисою цього кластеру є поєднання відносно розвиненої інтернет-інфраструктури та середнього рівня інституційної стабільності. Такі країни також характеризуються помірними значеннями EGDI й CPI, що робить їх релевантними для порівняльних досліджень. Усі вони рухаються шляхом «наздоганяючої цифровізації», де швидкість технологічних змін перевищує здатність інституцій до адаптації [16; 33]. Україна вписується у цю логіку, але вирізняється значно вищою динамікою розвитку електронного уряду та цифрових державних сервісів, що перетворює її на унікальний кейс серед країн із подібним рівнем економічного розвитку [16; 20; 41].

З другого боку, результати аналізу глобальних рейтингів показують, що цифрова зрілість України має асиметричний характер. З одного боку, країна

демонструє феноменальні результати у сфері електронного врядування. Індекс EGDІ підтверджує, що Україна за шість років здійснила один із найпотужніших проривів у світі, піднявшись на понад п'ятдесят позицій завдяки розбудові платформи «Дія», активному впровадженню електронних послуг і переходу держави до відкритої цифрової взаємодії з громадянами [16; 20; 41]. Україна увійшла до п'ятірки світових лідерів за розвитком онлайн-послуг і посіла перше місце у світі за рівнем електронної участі громадян, що є надзвичайно високим показником цифрової інклюзивності [41].

Однак у сфері інноваційної економіки спостерігається зворотна тенденція. Позиції України у Глобальному інноваційному індексі (GII) погіршилися приблизно на 15 місць, що відповідає системним ризикам, пов'язаним із війною, скороченням інвестицій у R&D, відтоком кадрів та руйнуванням інфраструктури. Цей контраст високий рівень е-врядування та слабкий інноваційний компонент свідчить про структурний дисбаланс цифрового розвитку. Країна володіє цифровими інструментами та компетенціями на рівні держави, але їх недостатньо інтегровано у реальний сектор економіки [16; 17].

Дані детального макроекономічного аналізу підтверджують, що цифровізація має відчутний вплив на економічний розвиток. Експорт ІТ-послуг став одним із ключових драйверів ВВП: кожен додатковий мільярд експорту генерує зростання економіки приблизно на 3,079 млрд доларів. Збільшення кількості інтернет-користувачів на 1 мільйон корелює з приростом ВВП майже на 3,827 млрд доларів [17; 43]. У структурному вимірі це пояснюється мультиплікативним ефектом цифрових платформ, які підвищують продуктивність бізнесу, знижують трансакційні витрати та створюють умови для розвитку високотехнологічного сектору.

Стратегічно важливим фактором є оцінка інфраструктурної стійкості. Попри значне поширення мобільного Інтернету (покриття 4G - близько 91 %), рівень фіксованого широкосмугового доступу залишається низьким у порівнянні з країнами ЄС, що обмежує конкурентоспроможність України у сферах інноваційного бізнесу, високопродуктивних сервісів та інтелектуального

виробництва [16; 39]. Дефіцит інфраструктури та нерівномірність цифрового покриття часто виявляються тим «вузьким місцем», яке перешкоджає розвитку цифрової економіки, попри високий рівень цифрової грамотності населення.

Комплексний аналіз дозволяє сформулювати критичні висновки. Україна належить до групи країн із високим потенціалом цифрового прориву, про що свідчать показники EGDI, темпи зростання цифрових сервісів та активність населення в електронних платформах [16; 20; 41]. Проте оновлена методологія порівняння цифрових профілів виявляє структурні обмеження: слабкий фіксований Інтернет, посередні позиції у GII та WDCR, зниження інноваційного потенціалу, недосконалість інституційної бази і підвищені кіберзагрози [16; 34]. Поєднання цих факторів формує нерівномірну модель цифрового розвитку, де держава рухається вперед швидше, ніж реальний сектор економіки.

Разом із тим, унікальність ситуації України полягає в тому, що війна стала каталізатором цифрових трансформацій, а не перешкодою. Форсоване впровадження електронних сервісів, розвиток кіберзахисту, масове використання цифрових інструментів взаємодії та волонтерських платформ створили умови для формування нової цифрової культури, що робить українську модель цифровізації принципово іншою від моделей країн, що перебувають у мирних умовах: Україна демонструє здатність розвиватися у середовищі високої турбулентності, одночасно створюючи інноваційні практики, що привертають увагу міжнародних експертів [33].

Узагальнення аналітичних результатів доводить, що цифровізація в Україні вже стала не окремою реформою, а системним трансформаційним процесом, який визначає траєкторію довгострокового економічного розвитку. Ступінь готовності країни до інтеграції в глобальний цифровий простір значною мірою залежатиме від того, наскільки швидко і комплексно буде усунуто інституційні та інфраструктурні обмеження, які сьогодні стримують реалізацію цифрового потенціалу.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження дозволило комплексно охарактеризувати цифрову економіку як багатовимірну систему, що поєднує технологічні, інституційні, соціальні та інфраструктурні компоненти. Узагальнення теоретичних підходів показало, що цифровізація сьогодні розглядається не лише як технічне впровадження ІКТ, а як трансформаційний процес, який змінює структуру економічних відносин, логіку управління, моделі створення цінності та конкурентоспроможність країн. Аналіз міжнародних методологій дозволив визначити ключові домени цифрового розвитку, які формують основу сучасних систем оцінювання.

Сформована інформаційна база цифрових індикаторів стала основою для подальшого кількісного аналізу. Описова статистика та візуалізація цифрових показників підтвердили наявність суттєвої міжкраїнової диференціації, яка проявляється у нерівномірності інфраструктурного розвитку, відмінностях цифрової доступності та соціально-економічних умовах. Виявлено, що цифрова нерівність має системний характер і тісно пов'язана з інституційною спроможністю держав та рівнем добробуту населення.

Побудований математичний апарат оцінювання цифрового розвитку продемонстрував високу ефективність різних кількісних методів. Кореляційний аналіз дозволив визначити ключові залежності, серед яких найбільший вплив на цифрову зрілість мають індикатори цифрової участі населення та розвиток широкопasmової інфраструктури. Кластеризація виявила групи країн зі структурно подібними цифровими профілями, тоді як таксономічний підхід та PCA забезпечили можливість виявлення латентних факторів цифровізації та побудови узагальнених оцінок.

На основі отриманих результатів сформовано інтегральну систему оцінювання цифрового розвитку, яка включає узагальнений індекс DCI та індекс цифрової готовності DRI_PCA. Обидва показники відтворюють структурні

закономірності цифрового розвитку та дозволяють зіставити країни за рівнем цифрової зрілості з урахуванням багатовимірності цифрових параметрів. Їх узгодженість підтверджує надійність методологічного підходу та обґрунтованість використаних методів нормалізації, зважування та агрегування.

Аналіз взаємозв'язку цифровізації з економічним розвитком показав, що цифрова інфраструктура, участь населення в онлайн-середовищі та доступність цифрових послуг є ключовими драйверами підвищення рівня електронного урядування та розвитку цифрової держави. Застосування регресійного моделювання виявило стабільні статистично значущі зв'язки між розвитком широкосмугових мереж, активністю інтернет-користувачів та показниками цифрової зрілості. При цьому інституційні характеристики впливають на цифровізацію переважно опосередковано - через доступність і якість цифрової інфраструктури.

Порівняльний аналіз України з іншими країнами світу засвідчив, що держава має достатній цифровий потенціал і вже демонструє результати, співставні з країнами середнього та вище середнього рівня цифрової готовності. При цьому інфраструктура мобільного широкосмугового зв'язку, швидке впровадження цифрових сервісів та розвиток цифрових платформ формують основу її подальшого зростання. Водночас інституційні ризики, регіональна нерівність та окремі інфраструктурні обмеження залишаються стримувальними чинниками, що потребують посиленої уваги.

У цілому проведене дослідження доводить, що цифровізація є ключовою детермінантою економічної динаміки та глобальної конкурентоспроможності. Системний аналіз цифрових показників, їх моделювання та інтегральна оцінка дозволяють не лише зафіксувати поточний рівень цифрового розвитку країн, а й сформулювати практичні орієнтири для державної політики. Україна, попри виклики воєнного часу, демонструє стійку здатність до цифрової трансформації та збереження стратегічного курсу на інтеграцію у глобальний цифровий простір.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. OECD. Digital Economy Outlook 2020. Paris : OECD Publishing, 2020. 336 p. URL: https://www.oecd.org/en/publications/oecd-digital-economy-outlook-2020_bb167041-en.html (дата звернення: 24.09.2025)
2. World Bank. World Development Report 2021: Data for Better Lives. Washington, D.C. : World Bank, 2021. 350 p. URL: <https://wdr2021.worldbank.org/> (дата звернення: 24.09.2025)
3. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. Geneva : World Economic Forum, 2016. 192 p. URL: https://law.unimelb.edu.au/_data/assets/pdf_file/0005/3385454/Schwab-The_Fourth_Industrial_Revolution_Klaus_S.pdf (дата звернення: 24.09.2025)
4. Castells M. The Internet Galaxy: Reflections on the Internet, Business and Society. Oxford : Oxford University Press, 2001. 304 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/249471554_The_Internet_Galaxy_Reflections_on_the_Internet_Business_and_Society_By_Manuel_Castells (дата звернення: 24.09.2025)
5. Brynjolfsson E., Kahin B. Understanding the Digital Economy: Data, Tools and Research. Cambridge, MA : MIT Press, 2000. 420 p. URL: <https://www.dhi.ac.uk/san/waysofbeing/data/data-crone-orlikowski-2000a.pdf> (дата звернення: 25.09.2025)
6. OECD. Measuring the Digital Transformation: A Roadmap for the Future. Paris : OECD Publishing, 2019. 234 p. URL: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2019/03/measuring-the-digital-transformation_g1g9f08f/9789264311992-en.pdf (дата звернення: 25.09.2025)
7. European Commission. Digital Economy and Society Index (DESI) 2022 Report. Brussels : European Commission, 2022. 112 p. URL: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi> (дата звернення: 25.09.2025)

8. World Economic Forum. The Network Readiness Index 2022. Geneva : WEF, 2022. 210 p.
URL: <https://download.networkreadinessindex.org/reports/data/2022/nri-2022.pdf>
(дата звернення: 25.09.2025)
9. United Nations. E-Government Survey 2022: The Future of Digital Government. New York : UN, 2022. 250 p. URL:
<https://desapublications.un.org/sites/default/files/publications/2022-09/Web%20version%20E-Government%202022.pdf> (дата звернення: 27.09.2025)
10. International Telecommunication Union. Measuring Digital Development: Facts and Figures 2020. Geneva : ITU, 2020. URL: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/FactsFigures2020.pdf> (дата звернення: 27.09.2025)
11. US Bureau of Economic Analysis. Defining and Measuring the Digital Economy. Washington : BEA, 2018. URL:
<https://www.bea.gov/sites/default/files/papers/defining-and-measuring-the-digital-economy.pdf> (дата звернення: 29.09.2025)
12. Tapscott D. The Digital Economy. New York : McGraw-Hill, 1994. URL:
<https://dontapscott.com/wp-content/uploads/Digital-Economy-20th-Anniversary-Sample-Chapter.pdf> (дата звернення: 29.09.2025)
13. Negroponte N. Being Digital. New York : Knopf, 1995. URL:
<https://web.stanford.edu/class/sts175/NewFiles/Negroponte.%20Being%20Digital.pdf> (дата звернення: 29.09.2025)
14. Bukht R., Heeks R. Defining the Digital Economy. Manchester : University of Manchester, 2017. URL:
https://www.researchgate.net/publication/327356904_Defining_Conceptualising_and_Measuring_the_Digital_Economy (дата звернення: 29.09.2025)
15. Міністерство цифрової трансформації України. Цифровізація України: Аналітичний звіт. Київ : Мінцифра, 2023. URL:
<https://thedigital.gov.ua/news/regions/rezultati-tsifrovoi-transformatsii-v-regionakh-ukraini-za-2023-rik> (дата звернення: 03.10.2025)

16. Міністерство цифрової трансформації України. Стратегія цифрової трансформації України – 2030. Київ : Мінцифра, 2021. URL: <https://thedigital.gov.ua/news/technologies/winwin-ukraina-zatverdila-strategiyu-tsifrovogo-rozvitku-innovatsiy-do-2030-roku> (дата звернення: 03.10.2025)
17. OECD. Going Digital Toolkit. 2020. URL: <https://goingdigital.oecd.org/> (дата звернення: 03.10.2025)
18. European Commission. Digital Economy Reports on EU leading countries. 2022. URL: https://www.coit.es/sites/default/files/ce_desi_full_european_analysis_2022.pdf (дата звернення: 03.10.2025)
19. International Telecommunication Union. ICT Development Index (IDI). URL: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/IDI/default.aspx> (дата звернення: 03.10.2025)
20. World Intellectual Property Organization. Global Innovation Index 2022. URL: <https://www.wipo.int/documents/d/global-innovation-index/docs-en-wipo-pub-2000-2022-en-main-report-global-innovation-index-2022-15th-edition.pdf> (дата звернення: 05.10.2025)
21. European Commission. *Europe's Digital Decade: Country Performance and Digital Leadership Report*. Brussels : European Commission, 2022. URL: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/europes-digital-decade> (дата звернення: 05.10.2025)
22. World Economic Forum. *Digital Infrastructure and Innovation Impact Report*. Geneva : World Economic Forum, 2022. URL: <https://www.weforum.org/publications/annual-report-2022-2023/in-full/our-impact-089adc5926/> (дата звернення: 08.10.2025)
23. Національний банк України. *Цифрові інновації у фінансовому секторі: аналітичний звіт*. Київ : Національний банк України, 2022. URL: https://bank.gov.ua/admin_uploads/article/annual_report_2023.pdf

24. Australian National University. Understanding System Dynamics: Methods and Applications in Economic Systems. Canberra : ANU Press, 2019. URL: https://press.anu.edu.au/files/2019_catalogue.pdf (дата звернення: 08.10.2025)
25. Іванченко О. В., Кривда Н. В. Використання Data Science в економічних дослідженнях. Бізнес Інформ. 2021. № 9. С. 40–45. URL: https://www.researchgate.net/profile/Rena-Kerbalayeva/publication/370593701_2nd_International_Scientific_and_Practical_Internet_Conference/links/645861b84af7887352634346/2nd-International-Scientific-and-Practical-Internet-Conference.pdf (дата звернення: 14.10.2025)
26. Національний банк України. Системи підтримки прийняття рішень у фінансовому секторі. Київ : НБУ, 2023. URL: https://bank.gov.ua/admin_uploads/article/FSR_2024-H1.pdf (дата звернення: 14.10.2025)
27. European Commission. Digital Economy and Society Index (DESI) 2022. Country Profiles and Thematic Analysis. Brussels : European Commission, 2022. URL: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/digital-economy-and-society-index-desi-2022> (дата звернення: 14.10.2025)
28. World Bank. Digital Adoption Index (DAI). Methodology and Country Rankings. Washington, D.C. : World Bank, 2020. URL: <https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2016/Digital-Adoption-Index> (дата звернення: 14.10.2025)
29. Амеліна Н. Ю., Комчатних О. В., Левіщенко О. С. *Цифровізація як основний фактор розвитку бізнесу*. Міжнародний науковий журнал «Інтернаука». 2021. URL: <https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/1432> (дата звернення: 15.10.2025)
30. Коляденко С. В. *Цифрова економіка: передумови та етапи становлення*. Східна Європа: економіка, бізнес та управління. 2022. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21R

- [EF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=efmapnp_2016_6_11](#) (дата звернення: 15.10.2025)
31. Пищуліна О. *Цифрова економіка: тренди, ризики та соціальні детермінанти*. Київ : Заповіт, 2020. URL: https://razumkov.org.ua/uploads/article/2020_digitalization.pdf (дата звернення: 15.10.2025)
 32. Ляшенко В. І., Вишневецький О. С. *Цифрова модернізація економіки України як можливість проривного розвитку*. Економіка та держава. 2021. URL: https://iie.org.ua/wp-content/uploads/monografiyi/2017/Lyashenko_Vishnevsky_2018.pdf (дата звернення: 15.10.2025)
 33. Інститут майбутнього України. *Як цифровізуються регіони: показник інституційної спроможності*. 2024. URL: <https://www.if.gov.ua/news/yak-tsyfrovizuiutsia-rehiony-pokaznyk-instytutsiinoi-spromozhnosti> (дата звернення: 15.10.2025)
 34. Пономаренко В. С., Малярець Л. М. Багатовимірний аналіз соціально-економічних систем. Харків : ХНЕУ, 2014. URL: <https://repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/3113> (дата звернення: 15.10.2025)
 35. Грищенко І. М., Таран О. М. Інтегральне оцінювання цифрової зрілості економіки. Вісник КНЕУ, 2023. URL: <http://www.vtei.edu.ua/doc/2023/vatra2004/zbl.pdf> (дата звернення: 15.10.2025)
 36. Мельник Л. Г., Ільяшенко С. М. Економічна кібернетика: методи та моделі управління цифровою економікою. Суми : СумДУ, 2021. URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/91748/1/Melnyk_Modern_industrial.pdf (дата звернення: 18.10.2025)
 37. Міністерство цифрової трансформації України. Використання машинного навчання для оцінки цифрових показників. Київ : Мінцифра, 2023. URL: <https://storage.thedigital.gov.ua/files/f/bf/a9595e0dcd238ab2b3602909107aabf9.pdf> (дата звернення: 18.10.2025)

38. International Telecommunication Union; European Commission. Reports on statistical robustness and outlier treatment in ICT measurement. 2020. URL: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/FactsFigures2020.pdf> (дата звернення: 18.10.2025)
39. International Telecommunication Union. *ICT Statistics Database 2022*. Geneva : ITU, 2022. URL: https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/ind/d-ind-ict_mdd-2022-pdf-e.pdf (дата звернення: 18.10.2025)
40. United Nations Development Programme. *Human Development Report 2023*. New York : UNDP, 2023. URL: <https://hdr.undp.org/content/human-development-report-2023-24> (дата звернення: 18.10.2025)
41. United Nations. *E-Government Survey 2022*. New York : United Nations, 2022. URL: <https://desapublications.un.org/sites/default/files/publications/2022-09/Web%20version%20E-Government%202022.pdf> (дата звернення: 18.10.2025)
42. Transparency International. *Corruption Perceptions Index 2022*. Berlin : TI, 2022. URL: <https://www.transparency.org/en/cpi/2022> (дата звернення: 18.10.2025)
43. World Bank. *World Development Indicators 2023*. Washington : World Bank, 2023. URL: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators> (дата звернення: 18.10.2025)
44. United Nations Statistical Division. *Handbook on Statistical Organization*. 2022. URL: https://unctad.org/system/files/official-document/tdstat47_en.pdf (дата звернення: 21.10.2025)
45. Мацуга О. М., Шеремет В. С. Кластеризація даних з пропусками методом k-середніх. *Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій*. 2019. Т. 23. С. 69–77. URL: <https://files.core.ac.uk/download/pdf/287229915.pdf> (дата звернення: 21.10.2025)
46. Бойко А. О., Костенко І. В. Цифрова трансформація економіки України: стан та перспективи розвитку. *Економіка і прогнозування*. 2021. № 3. С. 45–58. URL: <https://economics.net.ua/files/archive/2021/No2/47.pdf> (дата звернення: 21.10.2025)

47. Соколенко О. М. Цифрові технології в управлінні національним господарством: тенденції та виклики. Науковий вісник НаУКМА. Економіка. 2022. № 5. С. 27–34.
48. Гладкий О. В. Цифрові інновації як фактор модернізації економічних систем. Ефективна економіка. 2021. № 10. С. 14–22. URL:
49. Ткаченко Т. В., Мазаракі А. А. Цифрова інфраструктура та її вплив на конкурентоспроможність економіки. Вісник Київського національного торговельно-економічного університету. 2020. № 3. С. 89–98.
50. Савченко А. В., Гнатюк С. О. Кібербезпека та цифрова стійкість економіки України: ризики та інструменти регулювання. Фінанси України. 2022. № 4. С. 54–68.
51. Дороніна М. С. Розвиток цифрової інфраструктури та цифрових послуг в Україні: аналітичний аспект. Бізнес Інформ. 2022. № 7. С. 32–39.
52. Герасимова О. В. Роль цифрової грамотності населення у формуванні цифрової економіки України. Соціально-економічні проблеми сучасного періоду. 2021. № 6. С. 56–63.
53. Шаленко М. І., Кононенко К. М. Цифрова трансформація державного сектору: оцінка, інструменти та виклики. Державне управління: удосконалення та розвиток. 2022. № 12. С. 18–27.
54. Кобець І. О., Бондаренко І. В. Моделювання впливу цифрової інфраструктури на економічне зростання України. Економічний часопис-XXI. 2021. № 8–9. С. 65–71.

ДОДАТКИ

Додаток А

Опис змінних аналітичної бази даних *Digital_Economy_2022_Enriched*

№	Назва змінної (у файлі)	Зміст / економічний зміст	Джерело даних	Тип даних / одиниця виміру
1	Country Code	Трилітерний код країни за стандартом ISO Alpha-3	ISO / власна розробка автора	Якісна, номінальна (текст)
2	Country Name	Повна назва країни	UN / World Bank / власна обробка	Якісна, номінальна (текст)
3	HDI	Індекс людського розвитку (комплексний показник добробуту, освіти та тривалості життя)	UNDP (2023)	Кількісна, безрозмірний індекс
4	CPI 2022	Індекс сприйняття корупції (оцінка рівня корумпованості державного сектору)	Transparency International (2022)	Кількісна, бал (0–100)
5	EGDI	Індекс розвитку електронного уряду (рівень цифровізації державних послуг, інфраструктури та людського капіталу)	UN E-Government Survey (2022)	Кількісна, безрозмірний індекс (0–1)
6	Active mobile-broadband subscriptions per 100 inhabitants (ITU)	Кількість активних мобільних широкосмугових підписок на 100 жителів	ITU (2022)	Кількісна, кількість на 100 осіб
7	Competition in Fiber (ITU)	Рівень конкуренції на ринку фіксованих оптоволоконних мереж доступу	ITU (2022)	Кількісна, дискретна шкала (0–2)
8	Competition in International Gateways (ITU)	Рівень конкуренції на ринку міжнародних шлюзів передачі даних	ITU (2022)	Кількісна, дискретна шкала (0–2)
9	Competition in Internet Services (ITU)	Рівень конкуренції на ринку послуг доступу до Інтернету	ITU (2022)	Кількісна, дискретна шкала (0–2)
10	Competition in Mobile Broadband (ITU)	Рівень конкуренції на ринку мобільного широкосмугового доступу	ITU (2022)	Кількісна, дискретна шкала (1–2)
11	Fixed-broadband internet traffic	Обсяг інтернет-трафіку у фіксованих широкосмугових мережах	ITU (2022)	Кількісна, гігабайти / терабайти

№	Назва змінної (у файлі)	Зміст / економічний зміст	Джерело даних	Тип даних / одиниця виміру
				(залежно від методики ITU)
12	Fixed-broadband subscriptions per 100 inhabitants (ITU)	Кількість фіксованих широкосмтових підписок на 100 жителів	ITU (2022)	Кількісна, кількість на 100 осіб
13	Fixed-telephone subscriptions per 100 inhabitants (ITU)	Кількість фіксованих телефонних підписок на 100 жителів	ITU (2022)	Кількісна, кількість на 100 осіб
14	International bandwidth usage	Загальне фактичне використання міжнародної пропускної здатності мереж передачі даних	ITU (2022)	Кількісна, Мбіт/с або Гбіт/с (за методикою ITU)
15	International bandwidth usage - per capita	Використання міжнародної пропускної здатності в розрахунку на 1 жителя	ITU (2022)	Кількісна, Мбіт/с (на душу населення)
16	International bandwidth usage - per internet user	Використання міжнародної пропускної здатності в розрахунку на 1 інтернет-користувача	ITU (2022)	Кількісна, Мбіт/с (на 1 користувача)
17	Lit/equipped international bandwidth capacity	Встановлена (оснащена) міжнародна пропускна здатність мереж передачі даних	ITU (2022)	Кількісна, Мбіт/с або Гбіт/с
18	Mobile-broadband internet traffic within the country	Обсяг мобільного інтернет-трафіку всередині країни	ITU (2022)	Кількісна, гігабайти / терабайти
19	Mobile-cellular subscriptions per 100 inhabitants (ITU)	Кількість мобільних стільникових підписок на 100 жителів	ITU (2022)	Кількісна, кількість на 100 осіб
20	Percentage of households with internet access at home (ITU)	Частка домогосподарств, що мають доступ до Інтернету вдома	ITU (2022)	Кількісна, відсотки (%)
21	Percentage of individuals using the internet (ITU)	Частка населення, що користується Інтернетом	ITU (2022)	Кількісна, відсотки (%)
22	Population coverage, at least 2G	Частка населення, охоплена мобільними мережами не нижче 2G	ITU (2022)	Кількісна, відсотки (%)
23	Population coverage, at least 3G	Частка населення, охоплена мобільними мережами не нижче 3G	ITU (2022)	Кількісна, відсотки (%)
24	Population coverage, at least 4G	Частка населення, охоплена мобільними мережами не нижче 4G	ITU (2022)	Кількісна, відсотки (%)

№	Назва змінної (у файлі)	Зміст / економічний зміст	Джерело даних	Тип даних / одиниця виміру
25	Population coverage, at least 5G	Частка населення, охоплена мобільними мережами 5G	ITU (2022)	Кількісна, відсотки (%)
26	Price of a fixed broadband basket 5GB (ITU)	Вартість пакета фіксованого широкосмугового доступу обсягом 5 ГБ	ITU (2022)	Кількісна, грошова, USD/місяць*
27	Price of a high usage voice and data bundle (ITU)	Вартість пакета з високим рівнем споживання послуг голосу та даних	ITU (2022)	Кількісна, грошова, USD/місяць*
28	Price of a low usage voice and data bundle (ITU)	Вартість пакета з низьким рівнем споживання послуг голосу та даних	ITU (2022)	Кількісна, грошова, USD/місяць*
29	Price of a mobile-cellular basket low usage (ITU)	Вартість базового пакета мобільного стільникового зв'язку (низьке споживання)	ITU (2022)	Кількісна, грошова, USD/місяць*
30	Price of data-only mobile broadband bundle (ITU)	Вартість пакета мобільного широкосмугового доступу «тільки дані»	ITU (2022)	Кількісна, грошова, USD/місяць*

Додаток Б

Вихідні статистичні дані для країн світу

[illegible]

3	Овчинников_Катунина_плагіат 11/30/2024 Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman KNEU (кафедра математичного моделювання та статистики)	21 0.13 %	
4	Овчинников_Катунина_плагіат 11/30/2024 Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman KNEU (кафедра математичного моделювання та статистики)	17 0.11 %	
5	Облік розрахунків із заробітної плати у ДВНЗ «КНЕУ ім. В. Гетьмана».docx 5/27/2020 Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman KNEU (кафедра обліку в кредитних і бюджетних установах та економічного аналізу)	14 0.09 %	

з бази даних RefBooks (0.00 %)

порядковий номер	заголовок	кількість ідентичних слів (фрагментів)	
------------------	-----------	--	--

з домашньої бази даних (0.81 %)

порядковий номер	заголовок	кількість ідентичних слів (фрагментів)	
1	Шабелян_Кмиток_плагіат 5/29/2024 Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman KNEU (кафедра математичного моделювання та статистики)	46 (1) 0.29 %	
2	Овчинников_Катунина_плагіат 11/30/2024 Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman KNEU (кафедра математичного моделювання та статистики)	38 (2) 0.24 %	
3	Василенко_Ткач_плагіат 5/29/2025 Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman KNEU (кафедра математичного моделювання та статистики)	30 (1) 0.19 %	
4	Облік розрахунків із заробітної плати у ДВНЗ «КНЕУ ім. В. Гетьмана».docx 5/27/2020 Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman KNEU (кафедра обліку в кредитних і бюджетних установах та економічного аналізу)	14 (1) 0.09 %	

з програми обміну базами даних (0.00 %)

порядковий номер	заголовок	кількість ідентичних слів (фрагментів)	
------------------	-----------	--	--

з Інтернету (0.00 %)

порядковий номер	джерело URL	кількість ідентичних слів (фрагментів)	
------------------	-------------	--	--

Список прийнятих фрагментів (немає прийнятих фрагментів)

порядковий номер	зміст	кількість однакових слів (фрагментів)	
------------------	-------	---------------------------------------	--

ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА
Економічний факультет
Кафедра економічної кібернетики



ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

ХІІІ ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
ФОРУМ МОЛОДИХ ЕКОНОМІСТІВ-КІБЕРНЕТИКІВ

**«МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОНОМІКИ:
ПРОБЛЕМИ, ТЕНДЕНЦІЇ, ДОСВІД»**

21-22 листопада 2025 року, Львів

21-22 листопада 2025 року, Львів

СЕКЦІЯ 2		
ЕКОНОМЕТРИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ		
Хомищенко І.С.	Розробка моделей формування гібридного інвестиційного портфеля	97
Шабелян М.Я.	Аналіз впливу цифровізації на соціально-економічний розвиток країн світу	99
Гаврилюк М.С.	Нелінійне моделювання впливу кліматичних факторів на врожайність пшениці в Україні	101
Дмитрів О.Р. Дмитрів Д.В.	Аналітичне дослідження динаміки та трендів ставки Euribor 3М на основі даних Kredobank	103
Мигаль О.С.	Цінова конвергенція на електроенергетичному ринку Європейського Союзу в умовах енергетичної кризи	104
Ус Е.Ю. Кмитюк Т.Л.	Регіональне прогнозування урожайності зернових культур в Україні за допомогою моделей ETS та ARIMA	106
Сосновська Є.Р. Скіцько В.І.	Порівняльний аналіз компетентності моделей генеративного штучного інтелекту у вирішенні економетричних задач	109
Бабак Л.О.	Аналіз фінансової стійкості страхової компанії на основі стрес-тестування	111
Нестеренко Д.В.	Розробка моделей формування інвестиційної стратегії на криптовалютному ринку	113
Макаренко М.В.	Застосування економетричних методів для аналізу та прогнозування розвитку сектору відновлюваної енергетики	115
Ютовець Ю.А.	Прогнозування ефективності маркетингових стратегій підприємства	116
Тенета В.А.	Застосування аналітичних програмних засобів для прогнозування сезонних обсягів продажів сільськогосподарської продукції	118
Фіалка Ю.Є. Бандура З.Л.	Прогнозування попиту для налагодження систем управління запасами із використанням ARIMA-моделей	120
Семененко В.С.	Моделювання зв'язку між мінімальною заробітною платою та безробіттям	122
Касюк О.В. Зелінська О.В.	Оцінка та прогнозування рівня безробіття в регіонах України	125
Габрійчук Я.В. Зелінська О.В.	Підвищення ефективності логістичної системи українських підприємств: методи і приклади	127
Корендій С.М.	Моделювання інвестиційних проектів з використанням лагових моделей	129
Струк Н.С. Івахів А.Б.	Інтелектуальні технології в аналізі та прогнозуванні результатів експортно-імпортової діяльності підприємств	131
Гац Л.Є.	Моделювання оцінки структурних зрушень інвестиційних капіталовкладень в інформаційному секторі	133
Ладутько Д.В.	Комп'ютерний аналіз рекламних креативів за цифрової економіки	135

Шабелян М.Я.

«Економічна кібернетика і Дата Сайнс», 6 курс

Київський національний економічний

університет імені Вадима Гетьмана

Науковий керівник – к.е.н., доцент кафедри штучного інтелекту, математичного

моделювання та статистики

Катуніна О. С.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЦИФРОВІЗАЦІЇ НА СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗВИТОК КРАЇН СВІТУ

ANALYSIS OF THE IMPACT OF DIGITALIZATION ON THE SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF COUNTRIES

У сучасних умовах цифрова трансформація стає ключовим фактором підвищення конкурентоспроможності економік та рівня добробуту населення. Дослідження взаємозв'язку між рівнем цифровізації та соціально-економічним розвитком є надзвичайно актуальним для формування ефективних стратегій цифрової економіки. [1]

Для аналізу використано інтегровану базу даних **Digital_Economy_2022_Enriched** [2-4], яка містить показники для 179 країн світу за 2022 рік. До інформаційної бази дослідження включено понад 30 змінних, що характеризують рівень цифрової інфраструктури, використання інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ), економічні індикатори та індекси людського розвитку (HDI), розвитку електронного уряду (EGDI) тощо.

На **рисунку 1** відображено залежність між індексом розвитку електронного уряду (EGDI) та індексом людського розвитку (HDI).

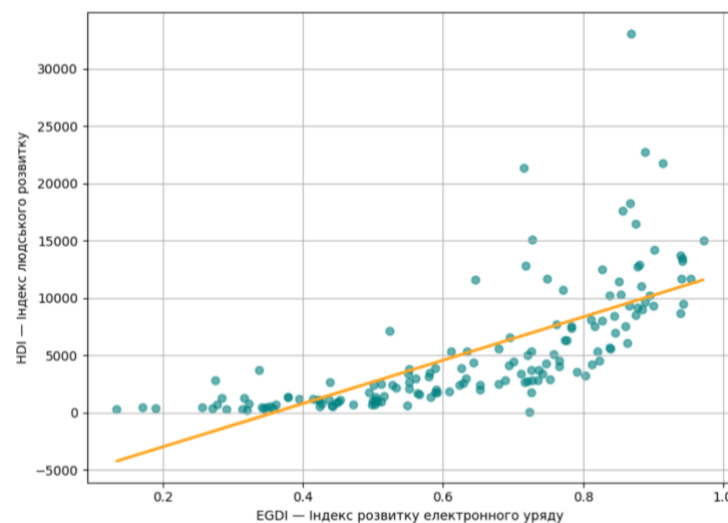


Рис. 1. Залежність між EGDI та HDI (2022)

Джерело: побудовано автором на основі даних ITU, UNDP, UN E-Government Survey та World Bank.

Графік демонструє чітку позитивну тенденцію: країни з вищим рівнем цифровізації мають кращі показники людського розвитку. Виявлений лінійний зв'язок між EGDI та HDI свідчить, що зростання рівня цифрових послуг та інституційного розвитку сприяє покращенню освітніх, соціальних та економічних показників населення.

На **рисунку 2** подано порівняльний аналіз цифрових показників для шести країн світу - України, Польщі, Німеччини, США, Китаю та Індії. У дослідженні використано три ключові метрики: EGDI (індекс розвитку електронного уряду), частку інтернет-користувачів серед населення та кількість активних мобільних широкосмугових підписок на 100 мешканців.

Отримані результати показують, що країни з розвинутою цифровою інфраструктурою (США, Німеччина) мають стабільно високі значення всіх трьох індикаторів. Україна посідає проміжне місце: EGDI становить близько 0,71, а рівень інтернетизації перевищує 80 %, що свідчить про позитивну динаміку цифрового розвитку, але також про наявність потенціалу для вдосконалення.

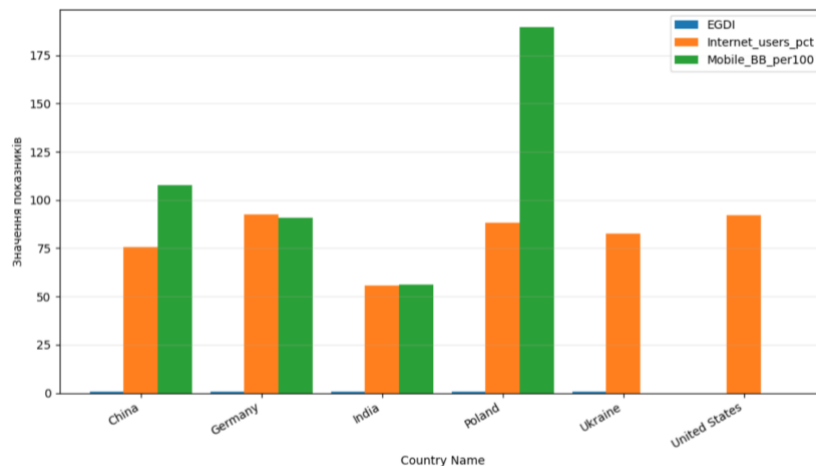


Рис. 2. Порівняння цифрових метрик: EGDI, інтернет-користувачі, мобільний ШСД (2022)

Джерело: побудовано автором на основі даних ITU, UNDP, UN E-Government Survey та World Bank.

Проведений аналіз підтверджує, що цифровізація економіки та розвиток інформаційно-комунікаційних технологій безпосередньо впливають на соціально-економічні показники держав. Формування доступної цифрової інфраструктури, розширення інтернет-покриття та розвиток цифрових державних послуг є ключовими чинниками підвищення конкурентоспроможності країн у глобальній економіці.

Література:

1. Bukht, R. & Heeks, R. *Defining, Conceptualising and Measuring the Digital Economy. Development Informatics Working Paper*, No. 68, 2017. URL: https://hummedia.manchester.ac.uk/institutes/gdi/publications/workingpapers/di/di_wp68.pdf
2. World Bank Open Data. URL: <https://data.worldbank.org/indicator>
3. UNDP Human Development Reports. URL: <https://hdr.undp.org>
4. UN E-Government Survey. URL: <https://publicadministration.un.org/egovkb>
5. International Telecommunication Union (ITU) Statistics. URL: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics>



ЛВІВСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
імені Івана Франка

СЕРТИФІКАТ

№ 13-2025/061

що засвідчує участь

Марії Шабелян

у XIII ВСЕУКРАЇНСЬКІЙ НАУКОВО-ПРАКТИЧНІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ
ФОРУМІ МОЛОДИХ ЕКОНОМІСТІВ-КІБЕРНЕТИКІВ

«МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОНОМІКИ: ПРОБЛЕМИ, ТЕНДЕНЦІЇ, ДОСВІД»

Професійна програма стажування
12 год (0,4 кредиту ECTS)



Декан економічного факультету
Ростислав МИХАЙЛИШИН

21-22 листопада 2025 року
м. Львів

