

**Європейська економічна інтеграція**

Дмитро ЖЕРЛІЦИН,
Наталія РЕКОВА

**ЦИФРОВИЙ РОЗРИВ ТА ТИПОЛОГІЯ КРАЇН
ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ У ДВОХ РЕЖИМАХ
ВИМІРЮВАННЯ ІНДЕКСУ ЦИФРОВОЇ
ЕКОНОМІКИ ТА СУСПІЛЬСТВА**

Резюме

У статті оцінено цифровий розрив і побудовано типологію країн Європейського Союзу за рівнем і динамікою цифрового розвитку у двох режимах вимірювання: за зведеним індексом цифрової економіки та суспільства DESI у 2016–2021 рр. та за системою показників «Цифрового десятиліття» у 2021–2025 рр. Припинення публікації композитного DESI після 2022 р. та перехід до системи «Цифрового десятиліття» зумовили структурну неузгодженість динаміки, що унеможливило пряме порівняння показників до та після реформи. Показники приведено до спільної безрозмірної шкали, цифровий розрив виміряно стандартним відхиленням доменного балу за країнами, а типологію побудовано двома методами кластеризації з оцінюванням їх узгодженості. Встановлено, що напрям зміни цифрового розриву відрізняється за доменами та режимами вимірювання: у 3 із 4 доменів DESI розрив розширювався, водночас у режимі «Цифрового десятиліття» «Цифрові публічні послуги» та «Людський капітал» зближуються найшвидше, а «Інтеграція» розходиться. Виявлено типологію з 3 груп країн, яка відтворюється в обох режимах, причому за основною схемою ресемплювання поріг стійкості долають усі групи, а перехід між режимами супроводжувався зміною групової належності 8 із 27 країн. Цифровий рівень тісно пов'язаний із ВВП на душу населення, тоді як групування за цифровими ознаками не збігається з поділом за рівнем доходу. Уперше запропоновано зістав-

© Дмитро Жерліцин, Наталія Рекова, 2026.

Жерліцин Дмитро, доктор економічних наук, професор, дослідник R4, Університет національного та світового господарства, Софія, Болгарія. ORCID: 0000-0002-2331-8690 Email: d.zherlitsyn@unwe.bg
Рекова Наталія, доктор економічних наук, професор, дослідник, факультет математики та інформатики, Софійський університет "Св. Климента Охридського", Софія, Болгарія. ORCID: 0000-0003-0956-6564 Email: rekova@uni-sofia.bg

лення типології країн між цими двома режимами вимірювання та кількісну оцінку структурного зсуву між ними. Отримані результати формують інструмент порівняльного аналізу, що залишається коректним за зміни системи вимірювання, оскільки зіставляє поділи країн, а не значення показників.

Ключові слова:

Європейський Союз, Індекс цифрової економіки та суспільства (DESI), кластерний аналіз, конвергенція, цифрове десятиліття, цифровий розрив.

Класифікація за JEL: C38, O33, C43, L86.

4 таблиці, 5 рисунків, 9 формул, 33 джерела літератури.

Постановка проблеми

Цифрова трансформація економіки Європейського Союзу залишається одним із пріоритетів політики Союзу (Troitiño, 2022), а її кількісне вимірювання впродовж 2014–2022 рр. забезпечував зведений індекс цифрової економіки та суспільства (DESI). У 2022 р. Європейська Комісія припинила публікацію DESI у попередньому вигляді та перейшла до системи показників Цифрового десятиліття, орієнтованої на цільові показники Програми політики «Цифрове десятиліття» до 2030 року. Ця зміна створює методологічну проблему, оскільки набір базових показників, їхні визначення та одиниці вимірювання після 2021 р. суттєво відрізняються від попередніх, а два ряди даних Eurostat зазнали задокументованих структурних змін, що робить пряме порівняння значень до та після реформи некоректним.

Актуальність дослідження зумовлена тим, що оцінювання цифрового розриву між державами-членами та їхньої типології потребує методу, який залишається коректним за умови зміни системи вимірювання. Наявні дослідження здебільшого спираються на безперервний ряд DESI до 2022 року та не враховують структурної неузгодженості, спричиненої переходом до системи «Цифрове десятиліття». Відкритим залишається питання, чи зберігається типологія країн за рівнем та динамікою цифрового розвитку при переході між двома режимами вимірювання, і чи відрізняється швидкість змін цифрового розриву за окремими доменами. Без відповіді на ці питання порівняльний аналіз цифрового розвитку країн ЄС ризикує спиратися на несумісні дані.

Метою статті є оцінювання цифрового розриву та побудова типології країн Європейського Союзу за рівнем і динамікою цифрового розвитку у двох режимах вимірювання, у режимі зведеного індексу DESI за 2016–2021 роки та у режимі системи показників “Цифрове десятиліття” за 2021–2025 роки, із застосуванням методу, що залишається коректним за умови структурної неузгодженості між цими режимами.

Огляд літератури

Перший напрямок наукових досліджень стосується DESI як зведеного композитного індексу, його методології побудови та критики. Методологічні засади побудови композитних індексів, зокрема проблеми зважування, агрегації та робастності, систематизовано у праці Gresco et al. (2019), а загальну критику суб'єктивності відбору показників і вибору ваг розгорнуто у роботі Kuc-Czarnecka et al. (2020). Стосовно безпосередньо DESI, у дослідженні Olczyk & Kuc-Czarnecka (2022) методами аналізу чутливості та невизначеності показано, що індекс надмірно визначається доменом зв'язності, тоді як використання інтернет-послуг і цифрові публічні послуги додають обмежену інформаційну цінність. Структурну надмірність показників DESI підтверджено Bruno et al. (2023), які за допомогою методу головних компонент побудували спрощений варіант індексу, що відтворює вихідні рейтинги за меншим набором показників. Статистичний аналіз вимірів DESI Bánhidi et al. (2020) виявив значну кореляцію між доменами та окремо вказав на проблему частотої зміни складу індексу, що ускладнює порівняння в часі. Економетричний аналіз чинників DESI наведено у роботі Stavitsky et al. (2019), де продемонстровано залежність індексу від його попередньої динаміки та макроекономічних змінних.

Попри значну увагу до методології DESI, наявні дослідження аналізують індекс у межах єдиного безперервного ряду до 2022 р. і не розглядають методологічних наслідків його припинення та переходу до системи показників Цифрового десятиліття. Питання сумісності двох режимів вимірювання та коректності їх порівняння залишається невирішеним, що визначає перше дослідницьке завдання цієї роботи.

Другий напрямок досліджень охоплює цифровий розрив, цифрову конвергенцію та типологію країн ЄС. Конвергенцію цифрового розвитку на основі DESI досліджено Kovács et al. (2022), де автори виявили ознаки скорочення відставання разом із ефектом Метью, а також у праці Andrei et al. (2023), де методами сигма- та бета-конвергенції підтверджено звуження цифрового розриву за провідної ролі економічного розвитку. У дослідженні Borowiecki et al. (2021) на даних DESI методом кластерного аналізу зафіксовано загальну конвергенцію за більшістю компонентів індексу та водночас посилення поляризації за доменом інтеграції цифрових технологій. Kolupaieva & Tiesheva (2023) проаналізували асиметрію та нерівномірність цифрового розвитку країн ЄС, виявивши, що цифровий розрив може зберігатися навіть за швидкого поширення технологій.

Типологію країн і громадян за рівнем цифрового розвитку висвітлено в кількох працях. Засадниче дослідження Cruz-Jesus et al. (2012) методами факторного та кластерного аналізу виокремило кілька груп країн ЄС за двома латентними вимірами цифрового розвитку. Gomes & Dias (2025) сформулювали типологію громадян ЄС за характером користування цифровими технологіями, де виявили концентрацію цифрового розриву в окремих країнах. Dobos & Bánhidi (2025) групує країни Центральної та Східної Європи за цифровою готовністю, а Zeinali & Mussari (2025) виконали кластерний аналіз цифрового розвитку за даними DESI вже періоду "Цифрового десятиліття". Регіональні відмінності цифрової економіки ЄС та їхні чинники досліджено у роботі Szeles & Simionescu (2020). Найближчим за предметом є дослідження de Maya Matallana et al. (2026), у якому для країн ЄС побудовано композит на основі методу відстаней і проаналізовано часткову конвергенцію за збереження структурних відмінностей.

Динаміку самого індексу DESI в соціально-економічному вимірі простежено у праці Masoura & Malefaki (2023). Zherlitsyn & Rekova (2026) дослідили зв'язок цифрового розвитку з ринками праці в окремих європейських економіках, а бібліометричне картування досліджень цифрового розриву в ЄС та на Західних Балканах за 2018–2023 роки виконано Kovač et al. (2024). Zherlitsyn et al. (2025) бібліометрично картували тенденції цифрової трансформації в ЄС. Вищезгадані роботи дозволяють окреслити стан напряду та обґрунтувати дослідницьку прогалину. Конвергенцію цифрового розвитку за даними DESI оцінено також у (Szajt et al., 2024), де ефект наздоганяння виявився слабшим, ніж очікувалось.

Спільним обмеженням наведених досліджень є те, що типологію та конвергенцію оцінено в межах одного режиму вимірювання, без перевірки стійкості групування країн за зміни набору показників. Залишається невирішеним питання, наскільки типологія країн за рівнем та динамікою цифрового розвитку зберігається у процесі переходу від зведеного індексу DESI до системи показників Цифрового десятиліття, та чи визначається ця типологія рівнем доходу країн. Тут і надалі розглядаються два режими вимірювання цифрового розвитку – зведеного індексу DESI та показників Цифрового десятиліття, які відповідають двом різним методологічним конфігураціям моніторингу цифрової трансформації ЄС.

Узагальнення наведених досліджень дає змогу визначити невирішені питання та сформулювати гіпотези для цієї роботи.

H1. Напрямок зміни цифрового розриву відрізняється за доменами цифрового розвитку.

H2. Країни ЄС утворюють стійкі групи за рівнем і динамікою цифрового розвитку.

H3. Групування країн за ознаками цифрового розвитку не збігається з їх поділом за рівнем економічного розвитку.

Перевірка цих гіпотез у двох режимах вимірювання із застосуванням методу, стійкого до структурної неузгодженості, є предметом цього дослідження. Поглиблений аналіз методологічних властивостей індексу DESI та конвергенції цифрового розвитку окреслює ширше коло проблем, що визначає перспективи подальших досліджень.

Методологія

Аналіз цієї роботи базується на двох режимах вимірювання, а саме: період припиненого композиту DESI (з 2016 по 2021 рр., причому рік спостереження дорівнює року видання мінус 1, оскільки індекс має однорічну затримку публікації); поточний період за панеллю “Цифрового десятиліття” (з 2021 по 2025 рр.). Причина такого розмежування подвійна: затримка публікації та задокументована структурна зміна у двох рядах Eurostat, цифрові навички за переглянутою «Рамкою цифрових компетентностей» із 2021 року та «Фахівці з ІКТ» після перегляду «Обстеження робочої сили», що може робити значення непорівнянними до і після реформи.

Джерела даних

Цифрові показники базуються на панелі “Цифрового десятиліття” DESI Європейської Комісії, яка публікує видання DESI та базові ряди показників для держав-членів ЄС (European Commission, 2026a). Із цього джерела аналіз бере 10 субдоменів DESI за період композиту (до 2021 року) та 17 показників Цифрового десятиліття, доступних щонайменше для 25 з 27 держав-членів у кожному році. Для режиму “Цифрового десятиліття” дашборд не містить атрибута виміру, тому віднесення показників до 4 доменів виконано авторами за одиницею спостереження: 3 показники для «Людського капіталу» (фахівці з ІКТ, користування інтернетом, загальне охоплення інтернетом), 6 для «Зв'язності», 2 для «Інтеграції цифрових технологій» і 6 для «Цифрових публічних послуг».

В обох режимах карта доменів лише впорядковує показники для аналізу розриву та ознак кластеризації. У припиненому композиті підключення домогосподарств належало до «Зв'язності», тому доменні бали двох режимів не є взаємозамінними. Вимога покриття відсіює показники, які Комісія публікує раз на два роки, зокрема, принаймні базові цифрові навички та цифрову інтенсивність малих і середніх підприємств, тому єдиним показником кваліфікації в панелі є частка фахівців з ІКТ, а два інші показники домену є контекстними, а не цільовими. Панель “Цифрового десятиліття” має один пропуск із 2295 пар «країна–рік»: доступ домогосподарств до інтернету для Ірландії за 2022 рік, тому доменний бал «Людського капіталу» для цієї країни того ж року обчислено за 2 показниками з 3. Панель субдоменів DESI заповнена повністю, імпутації немає. Повний перелік показників наведено в додатку А. Усі показники зростають за бажаністю, а офіційне значення не перетворено перед стандартизацією. Стандартизація є лінійним перетворенням, тому вона не змінює форми розподілу показника. Методологічна записка Європейської Комісії визначає показник кількості компаній-єдиноків як суму компаній за пунктами 11(a) та 11(b) статті 2 Рішення (ЄС) 2022/2481, віднесених до держави-члена за місцем розташування штаб-квартири на момент отримання даних з комерційної платформи Dealroom (European Commission, 2026b). Це одиничний зріз комерційної бази в абсолютних одиницях, тоді як другий показник домену подано у відсотках.

Макроекономічні показники базуються на даних Eurostat і зіставлені з відповідним роком спостережень для кожного режиму. Використано чотири ряди наборів даних, ВВП на душу населення за паритетом купівельної спроможності з tec00114, реальна продуктивність праці на одну особу з nama_10_ip_ulc за позицією RLPR_PER на індексі, де 2015 рік дорівнює 100, рівень безробіття населення віком від 15 до 74 років з une_rt_a, та валові внутрішні витрати на дослідження й розробки як частка ВВП з rd_e_gertot (Eurostat, n.d.). Макроекономічні показники не входять до кластеризації та використовуються лише для опису зв'язку між цифровим та економічним розвитком.

Для панелей даних за офіційною методологією Єврокомісії розрізняють рік видання, рік спостереження та референтний рік. Рік спостережень для ознак цифрового розвитку взято з даних Єврокомісії, зазвичай із запізненням на 1 рік. Референтний рік макропоказників обрано як спільний рік, доступний для всіх 4 показників за всіма 27 країнами. У режимі «Цифрового десятиліття» це 2024 рік, у режимі DESI – 2021 рік.

Стандартизація та ознаки рівня й динаміки

Показники подано в різних одиницях, частках, балах та кількостях, тож їх приведено до однієї безрозмірної шкали перед обчисленням будь-якої відстані чи кореляції. Для показника i та країни s у році спостереження t із вихідним значенням x об'єднаний за роками стандартизований бал z з-оцінкою за формулою (1) (Milligan & Cooper, 1988):

$$z_{ict} = \frac{x_{ict} - \bar{x}_i}{\sigma_i}, \quad (1)$$

де x_{ict} – вихідне значення показника i для країни s у рік t ; $\bar{x}_i$ – середнє значення показника i за всіма країнами та роками; σ_i – генеральне стандартне відхилення показника i за всіма країнами та роками.

Об'єднання спостережень за роками, а не в межах кожного року, прибирає одиницю вимірювання, зберігаючи часовий сигнал, потрібний для подальшого визначення тренду, і дає спільну шкалу з нульовим середнім та одиничною дисперсією.

Дослідження має ретроспективний характер, тому стандартизація за всім часовим вікном забезпечує міжчасову зіставність без обробки поза вибіркою. Вибір стандартизації, а не приведення до фіксованого відрізка, зумовлений станом джерела даних. Для припиненого композиту Європейська Комісія публікувала межі такого приведення, проте для системи показників “Цифрового десятиліття” вони не оприлюднені, а методологічна записка прямо зазначає, що нормалізація не застосовується (European Commission, 2026b). Приведення до відрізка вимагало б визначення власних меж для 6 показників із 17, зокрема для кількості компаній-єдиноборців. Стандартизація власних меж не потребує.

Доменний бал країни щороку є середнім стандартизованих балів показників, віднесених до цього домену (формула 2), де множина I_D збирає показники домену D . Загальний бал агрегує 4 домени за двома схемами зважування, поданими паралельно, рівноваговою схемою та схемою, пропорційною кількості показників на домен, (формула 3), тож результат не залежить від однієї умовності (Greco et al., 2019):

$$Z_{Dct} = \frac{1}{|I_D|} \sum_{i \in I_D} z_{ict}, \quad (2)$$

$$Z_{ct}^{\text{eq}} = \frac{1}{4} \sum_D Z_{Dct}$$

$$Z_{ct}^{\text{prop}} = \sum_D \frac{|I_D|}{N} Z_{Dct}, \quad N = \sum_D |I_D|, \quad (3)$$

де z_{ict} – стандартизований бал показника за формулою (1); Z_{ct}^{eq} – загальний бал країни за рівноваговою схемою; Z_{ct}^{prop} – загальний бал країни за пропорційною схемою; I_D – множина показників домену D ; $|I_D|$ – кількість показників у ній; Z_{Dct} – бал домену D для країни s у рік t ; N – загальна кількість показників за всіма доменами.

У подальшому основні результати подано за рівноваговою схемою.

Кожну країну далі підсумовано двома скалярними показниками. Рівень є стандартизованим балом в останній рік режиму. Динаміка є нахилом цього бала за весь період режиму, оціненим методом найменших квадратів як коефіцієнт β_1 у лінійному тренді формули (4), тож на тренд впливає весь проміжок, а не лише дві крайні точки, і оцінка є стійкою до шуму окремого року (Zherlitsyn, 2024):

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \varepsilon, \quad (4)$$

де y_t – ряд, до якого застосовано тренд; t – рік спостереження; β_0 – вільний член тренду; β_1 – нахил тренду, що слугує ознакою динаміки; ε – залишок.

Додатний нахил означає зростання бала країни в одиницях об'єднаного стандартного відхилення.

Вимірювання розриву

Цифровий розрив у домені та році є розкидом між країнами доменного бала, вимірним вибіркоvim стандартним відхиленням за формулою (5). Зміна цього розкиду в часі інтерпретується як конвергенція або дивергенція в сенсі сигми, відповідно, скорочення або розширення розриву між державами-членами, а впорядкування 4 доменів за нахилом розкиду, оціненим за формулою (4), відповідає на питання, які частини цифрової економіки збігаються, а які розходяться, окремо в кожному режимі, щоб ефект реформи був видимим (Kovács et al., 2022):

$$SD_{Dt} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_c (Z_{Dct} - \bar{Z}_{Dt})^2}, \quad (5)$$

де n – кількість країн; Z_{Dct} – бал домену D для країни c у рік t; $\bar{Z}_{Dt}$ – міжкраїнне середнє бала домену D у рік t; SD_{Dt} – стандартне відхилення бала домену по країнах, тобто міра розриву.

Типологія через кластеризацію та її валідація

Типологія групує країни за їхнім рівнем і динамікою. Два методи кластеризації з різною логікою застосовано паралельно і порівняно, метод k-середніх, який відносить кожну країну до найближчого з k центроїдів через мінімізацію внутрішньокластерної суми квадратів, та агломеративну ієрархічну кластеризацію Уорда, яка на кожному кроці об'єднує ту пару груп, що дає найменший приріст внутрішньокластерної суми квадратів. Обидва методи застосовано до стандартизованої матриці ознак (Arbelaitz et al., 2013; Murtagh & Legendre, 2014; Zherlitsyn, 2024). Узгодженість цих двох методів є довідковою характеристикою, оскільки обидва мінімізують внутрішньогрупову суму квадратів в евклідовому просторі, і на малій вибірці з однією домінантною віссю можуть збігатися тавтологічно.

Кількість груп обрано за статистичними критеріями, доповненими економічним змістом поділу. Оскільки поділ на дві групи протиставляє лідерів решті країн і не несе типологічної інформації, первинну кількість груп k обрано серед рішень із трьома і більше групами як значення, що максимізує середній коефіцієнт силуєту поділу за методом Уорда і за якого два алгоритми узгоджуються (формула 6). Силует країни обчислено за формулою (7), а бал розбиття є середнім за всіма країнами (Arbelaitz et al., 2013; Hennig, 2007):

$$k^* = \arg \max_{k \in K} S(k), \quad (6)$$

де k – кандидатна кількість груп; K – множина кандидатів з трьома і більше групами, для яких обидва алгоритми дають тотожний поділ; $S(k)$ – середній коефіцієнт силуету розбиття на k груп; k^* – обрана кількість груп.

$$s_i = \frac{b_i - a_i}{\max(a_i, b_i)}, \quad (7)$$

де a_i – середня відстань країни i до інших країн її кластера; b_i – найменша середня відстань країни i до країн іншого кластера; s_i – силует країни i .

Вибір додатково перевірено трьома індексами. Індекс Калінскі-Харабаша подає відношення між- до внутрішньокластерного розкиду, де вище значення краще. Індекс Девіса-Болдіна усереднює по кластерах відношення розсіяння до відстані між центроїдами для найгіршого сусіда, де нижче – краще. Для ієрархії обчислено кофенетичну кореляцію між відстанями дендрограми та вихідними відстанями, що вимірює, наскільки точно дерево зберігає геометрію даних (Arbelaitz et al., 2013; Saraçlı et al., 2013).

Також наведено додаткові оцінки для k^*+1 та k^*-1 груп, оскільки це може відповідати додатковому рівню ранжування диференційованих показників країн ЄС; такий поділ є економічно вмотивованим і не подано як статистичний оптимум. У кожному розбитті групи перепозначено за спаданням середнього цифрового рівня, тож група 1 є провідною незалежно від довільної внутрішньої нумерації.

Типологію завершують перевірки чутливості. Узгодженість між двома розбиттями тих самих країн виміряно скоригованим індексом Ренда, часткою пар країн, які два розбиття класифікують однаково, скоригованою на випадковість за маргінальними підрахунками пар, (формула 8) (Warrens & van der Hoeft, 2022):

$$ARI = \frac{\sum_{ij} \binom{n_{ij}}{2} - \frac{\sum_i \binom{a_i}{2} \sum_j \binom{b_j}{2}}{\binom{n}{2}}}{\frac{1}{2} \left[\sum_i \binom{a_i}{2} + \sum_j \binom{b_j}{2} \right] - \frac{\sum_i \binom{a_i}{2} \sum_j \binom{b_j}{2}}{\binom{n}{2}}}, \quad (8)$$

де n_{ij} – кількість країн, спільних для групи i першого розбиття та групи j другого; a_i – кількість країн у групі i першого розбиття; b_j – кількість країн у групі j другого розбиття; n – загальна кількість країн; $\binom{n}{2}$ – біноміальний коефіцієнт, тобто число пар.

Індекс дорівнює одиниці для тотожних розбиттів і наближається до нуля для узгодженості, очікуваної за випадковості. У межах кожного режиму він оцінює чутливість до конвенції зважування, зіставляючи групування за двома схемами агрегування. Окремо перевірено чутливість домену «Інтеграція», найвужчого за складом. Нахил розриву обчислено на опублікованих значеннях, після логарифмування, після вінзоризації на 90-му перцентилі та при виключенні показника кількості єдинорогів, а також для розширеного складу домену з 6 показників дашборда, доступних на дворічній сітці. Між режимами той самий

індекс, обчислений між типологіями двох режимів на спільних країнах, вимірює, наскільки зміна набору показників перебудувала групування.

Стійкість виміряно на 3 рівнях. Стійкість поділу загалом виміряно середнім скоригованим індексом Ренда між еталонним поділом та поділами, отриманими на ресемплюваних наборах країн. Стійкість окремої групи виміряно індексом Жаккара, причому групу вважають стійкою за середнього індексу не нижчого за 0,75 (Hennig, 2007). Стійкість окремого спостереження виміряно часткою повторних вибірок, у яких країна зберігає ту саму групу, що й у базовому поділі.

Оскільки стандартизацію виконано за всією сукупністю спостережень, повторна вибірка успадковує середнє та розкид, обчислені з урахуванням вилучених країн, що завищує оцінки стійкості. Тому оцінку продубльовано за суворою схемою, у якій кожна повторна вибірка проходить увесь шлях обчислень наново – від опублікованих значень до рівня та нахилу, спираючись лише на залишені країни. Додатково поділ збурено випадковим шумом на рівні 10% стандартного відхилення ознак, а кожну конфігурацію перевірено на 3 незалежних вибірових послідовностях.

Зв'язок з економікою та відтворюваність

Зв'язок між цифровим розвитком та економікою описано ранговою кореляцією Спірмена між цифровим рівнем та кожним макроекономічним показником:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_i d_i^2}{n(n^2 - 1)}, \quad (9)$$

де d_i – різниця рангів країни i за двома порівнюваними показниками; n – кількість країн; ρ – коефіцієнт рангової кореляції Спірмена.

Типологію зіставлено з поділом країн на терцилі ВВП на душу населення скоригованим індексом Ренда за формулою (8) (Kovács et al., 2022). Кореляція Спірмена оцінює монотонний зв'язок за рангами, а скоригований індекс Ренда оцінює узгодженість двох розбиттів за парами країн, тому жодна з мір не залежить від величини відомих верхніх викидів у ВВП на душу населення для Люксембургу та Ірландії.

Рівень значущості становить 5%. Оскільки за двома режимами одночасно перевіряється 8 кореляцій із цифровим рівнем відповідного режиму, поряд із нескоригованими наведено p -value, скориговані низхідною процедурою Холма (Holm, 1979).

Аналіз виконано на основі аналітичних інструментів і бібліотек мови програмування Python 3.12 (бібліотеки: NumPy 1.26, pandas 2.3, scikit-learn 1.7, SciPy 1.16 та Matplotlib 3.10).

Результати дослідження

Зміна розриву за чотирма доменами

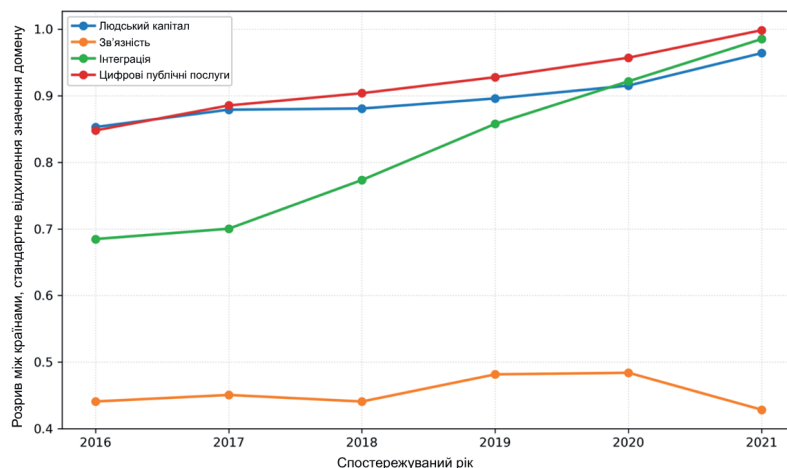
Перший напрямок аналізу стосується того, чи з однаковою швидкістю змінюється цифровий розрив у різних доменах, і чи змінилася ця динаміка після

перегляду Європейською Комісією підходу до вимірювання. Рис. 1 відображає річну динаміку розриву між країнами в кожному домені, а табл. 1 подає нахил тренду цієї зміни.

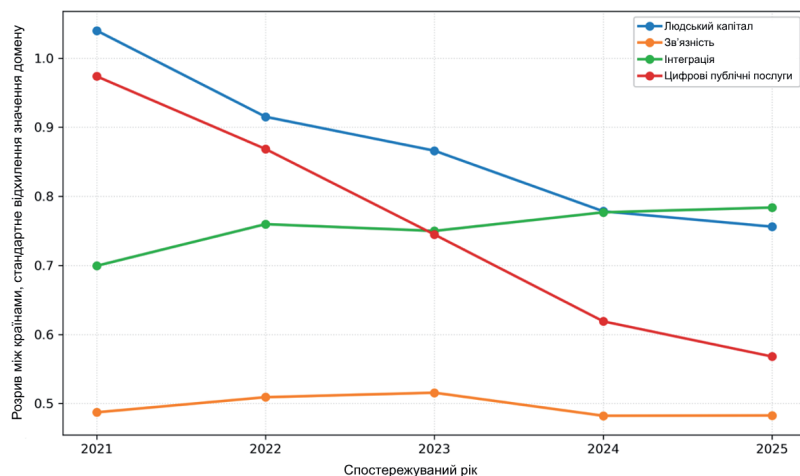
Рисунок 1

Розрив між країнами за чотирма доменами і роками спостереження

а) режим DESI



б) режим “Цифрового десятиліття”



Джерело: розраховано авторами за даними DESI (European Commission, 2026a).

Таблиця 1

Оцінений річний нахил тренду розриву між країнами за доменом та режимом, з величиною розриву в перший та останній роки

Режим	Домен*	Оцінений нахил тренду за рік	Розрив, початок	Розрив, кінець**
DESI	Зв'язність	+0,0022	0,441	0,428
DESI	Людський капітал	+0,0194	0,853	0,964
DESI	Цифрові публічні послуги	+0,0283	0,848	0,998
DESI	Інтеграція	+0,0643	0,685	0,985
Цифрового десятиліття	Цифрові публічні послуги	-0,1061	0,974	0,568
Цифрового десятиліття	Людський капітал	-0,0705	1,040	0,756
Цифрового десятиліття	Зв'язність	-0,0036	0,487	0,483
Цифрового десятиліття	Інтеграція	+0,0186	0,699	0,784

Примітка: * Домени різняться за складом у двох режимах, тому їх не можна порівнювати безпосередньо. ** Для немонотонного ряду нахил тренду та різниця між останнім і першим роками можуть мати різні знаки, як у домені «Зв'язність» режиму DESI, тому наведено обидві величини.

Джерело: розраховано авторами за даними DESI (European Commission, 2026a).

Два режими дають різні картини зміни розриву. У режимі DESI розрив між країнами розширювався у 3 із 4 доменах: від «Людського капіталу» (+0,0194 на рік) до «Інтеграції», що розходилася найшвидше (+0,0643 на рік). Домен «Зв'язність» лишився практично незмінним, оскільки нахил тренду становить +0,0022 на рік, тоді як розрив в останньому році нижчий, ніж у першому. Знаки різні, тому що ряд немонотонний: розрив досягає максимуму 0,484 у 2020 р. і падає до 0,428 у 2021 р. У режимі «Цифрового десятиліття» знак нахилу змінюють «Цифрові публічні послуги» та «Людський капітал», «Зв'язність» лишається близькою до нуля в обох режимах, а «Інтеграція» зберігає додатний знак, причому домени двох режимів мають різний склад. Найшвидше розрив скорочується за доменом «Цифрові публічні послуги» (-0,1061 на рік), далі йде «Людський капітал» (-0,0705), «Зв'язність» лишилася майже незмінною (-0,0036), а «Інтеграція» продовжила розходитися (+0,0186). Домен «Інтеграція» у режимі «Цифрового десятиліття» спирається лише на 2 показники, і один із них, кількість компаній-єдинорогів, є абсолютним лічильником, сконцентрованим у небагатьох великих економіках і залежним радше від розміру економіки, ніж від інтенсивності використання цифрових технологій підприємствами. Асиметрія цього показника у вікні розрахунку дорівнює 2,148, а максимальне значення сягає 4,07 стандартного відхилення. У домені з 2 показників йому належить половина ваги, тому властивості його розподілу переходять у доменний бал. Нахил розриву змі-

нює знак між обробками, від +0,0186 на опублікованих значеннях до -0,0142 за виключення показника, -0,0027 за логарифмування та -0,0001 за вінзоризації на 90-му перцентилі, тому за такого складу напрям не є стійким. За розширеного складу з 6 показників дашборду на сітці 2021, 2023 та 2025 років, зумовленій дворічною періодичністю обстежень підприємств, розходження зберігається за будь-якої обробки, від +0,0173 до +0,0220, отже склад домену визначає, чи витримує напрям альтернативні обробки. Несумісність одиниць визнана й самим джерелом (European Commission, 2026b) і має системний характер, оскільки 3 домени «Цифрового десятиліття» складені з обмежених зверху шкал і саме вони зближуються. Водночас єдиний домен, що розходиться, містить необмежений лічильник. Зміна знака в домені «Людський капітал» зумовлена його складом. У режимі «Цифрового десятиліття» 2 показники з 3 вимірюють доступ до інтернету, і розрив за ними звужується на 0,0973 та 0,0827 за рік за середніх рівнів 93,0 та 94,6% і максимумів 99,7 та 99,3%, тобто на межі шкали. Натомість частка фахівців з ІКТ розширює розрив на 0,0135 за рік, а показник принаймні базових цифрових навичок, який не відповідає вимозі щодо покриття річної сітки, на 0,0150 за рік. Кваліфікація розходиться в обох режимах, і в режимі DESI домен спирається лише на неї, тоді як у режимі Цифрового десятиліття» доменний знак задають показники доступу. Напрямок зміни розриву відрізняється за доменами, тож H1 підтверджується. Оскільки напрям висновку залежить від системи показників, два режими не можна розглядати як один безперервний ряд. Це породжує завдання сформувати порівняльний перелік базових показників за весь період, що виходить за межі цього дослідження.

Вибір кількості груп та якість поділу

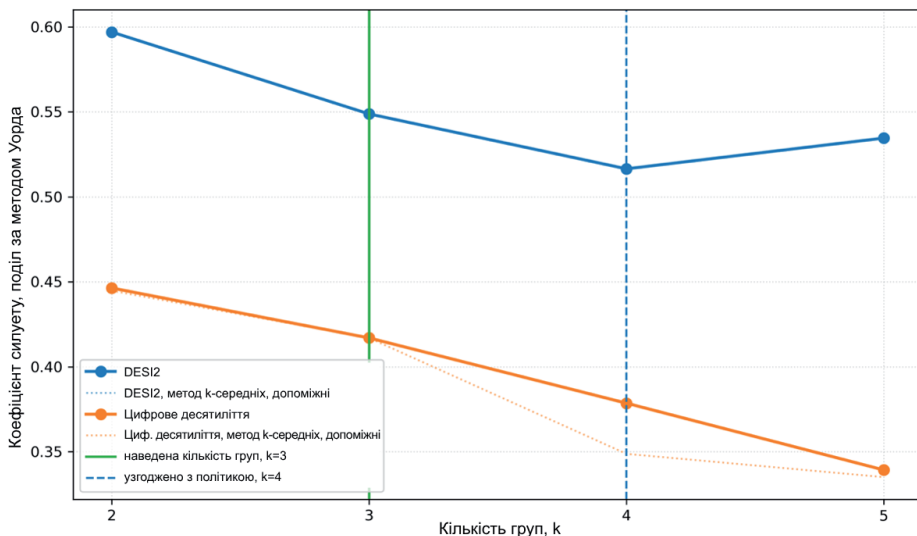
Наступний напрямок аналізу стосується поділу країн ЄС на стійкі групи за рівнем і динамікою цифрового розвитку в кожному режимі вимірювання. Кількість груп перевірено за трьома критеріями, якістю поділу, узгодженістю двох алгоритмів та стійкістю кожної групи. Рисунок 2 подає силует поділу за методом Уорда суцільною лінією та допоміжний силует методу k-середніх пунктиром, обидва за рівновагової схеми агрегування.

У режимі DESI два алгоритми дають тотожний поділ за будь-якої кількості груп у розглянутому діапазоні від 2 до 5, у режимі «Цифрового десятиліття» вони збігаються лише за 3 груп. Силует за 3 груп становить 0,417 у режимі Цифрового десятиліття, що відповідає помірному розділенню, та 0,549 у режимі DESI, а узгодженість двох методів повна, скоригований індекс Ренда дорівнює 1,000 в обох режимах. Показники якості поділу наведено у табл. 2.

Дані табл. 2 показують, що рангова кореляція рівня між рівноваговою та пропорційною схемами становить 0,976 у режимі DESI та 0,949 у режимі «Цифрового десятиліття», тобто впорядкування країн за рівнем практично не залежить від схеми зважування. Натомість склад груп залежить від неї, оскільки скоригований індекс Ренда між тими самими поділами дорівнює 0,625 та 0,367 відповідно, а приналежність змінюють 4 та 7 країн. Пропорційна схема надає кожному показнику однакову вагу, тому вона тотожна агрегації без доменного шару. Наведені величини вимірюють, наскільки типологія залежить від поділу показників на домени.

Рисунок 2

Якість поділу залежно від кількості груп, обидва режими



Джерело: розроблено авторами за даними DESI (European Commission, 2026a).

Таблиця 2

Якість поділу на 3 групи за режимом та схемою агрегування

Режим	Силует (Уорда)	Узгодженість методів (ARI)	Калінські-Харабаша	Девіса-Болдіна	Кофенетична
DESI	0,549	1,000	60,87	0,640	0,777
Цифрового десятиліття	0,417	1,000	37,27	0,741	0,642
DESI (пропорційне зважування)	0,537	0,702	48,47	0,764	0,791
Цифрового десятиліття (пропорційне зважування)	0,467	0,883	40,41	0,737	0,737

Джерело: розроблено авторами за даними DESI (European Commission, 2026a).

Стійкість поділу за ресемплюванням

Наступний напрямок аналізу стосується того, чи зберігається тригруповий поділ за зміною складу вибірки країн. Результати ресемплювання наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Стійкість поділу за ресемплюванням країн, за режимом та кількістю груп*

Режим	Груп	Сувора схе- ма, середня узгодже- ність (ARI)	Сувора схе- ма, найниж- чий індекс Жаккара	Груп не нижче 0,75, суво- ра схема	Повтор- на вибір- ка ознак, ARI	Повтор- на вибір- ка ознак, Жаккар
DESI	2	0,997	0,998	2 з 2	0,997	0,998
DESI	3	0,974	0,958	3 з 3	0,975	0,958
DESI	4	0,959	0,896	4 з 4	0,957	0,900
DESI	5	0,894	0,721	4 з 5	0,883	0,732
Цифрового десятиліття	2	0,663	0,807	2 з 2	0,729	0,846
Цифрового десятиліття	3	0,697	0,774	3 з 3	0,761	0,816
Цифрового десятиліття	4	0,639	0,592	2 з 4	0,704	0,641
Цифрового десятиліття	5	0,613	0,504	2 з 5	0,684	0,559

Примітка: * Ресемплювання без повернення на рівні 90 % країн, 400 повторів. Групу вважають стійкою за середнього індексу Жаккара не нижчого за 0,75 (Hennig, 2007).

Джерело: розраховано авторами.

Як видно з даних табл. 3, за умов суворої схеми середня узгодженість поділу в режимі “Цифрового десятиліття” становить 0,697, а індекси Жаккара 3 груп дорівнюють 0,809, 0,774 та 0,867, тому поріг 0,75 долають усі три. Повторна вибірка ознак дає оптимістичніші значення 0,761 та 0,816, а різниця між двома схемами становить у середньому 0,034. У режимі DESI поділ стійкіший, узгодженість становить 0,974, а мінімальний індекс Жаккара – 0,958. Стійкість поділу на 4 групи залежить від режиму. У режимі DESI мінімальний індекс Жаккара становить 0,896, і поріг долається, у режимі “Цифрового десятиліття” він дорівнює 0,592, і поріг не долається. Поділ на 5 груп порога не долає в жодному режимі. Окремий прогін ресемплювання, у якому ознаки додатково збурено випадковим шумом на рівні 10% їхнього стандартного відхилення, дає узгодженість 0,918 у режимі DESI, де поріг долають усі 3 групи, і 0,626 у режимі Цифрового десятиліття, де поріг долають 2 групи з 3. Отже, серед рішень із трьома і більше групами за основною схемою перевірку в обох режимах витримує лише тригрупове, тоді як за збурення ознак його стійкість у режимі “Цифрового десятиліття” знижується. Висновок не змінюється за зміни вибіркової послідовності.

Структуру поділу демонструють дерева кластеризації, наведені на рис. 3, що узгоджуються з виділенням трьох груп. Водночас склад гілок і висоти злиття у двох дерев різняться, і ця відмінність відображає структурний зсув, який детально проаналізовано далі.

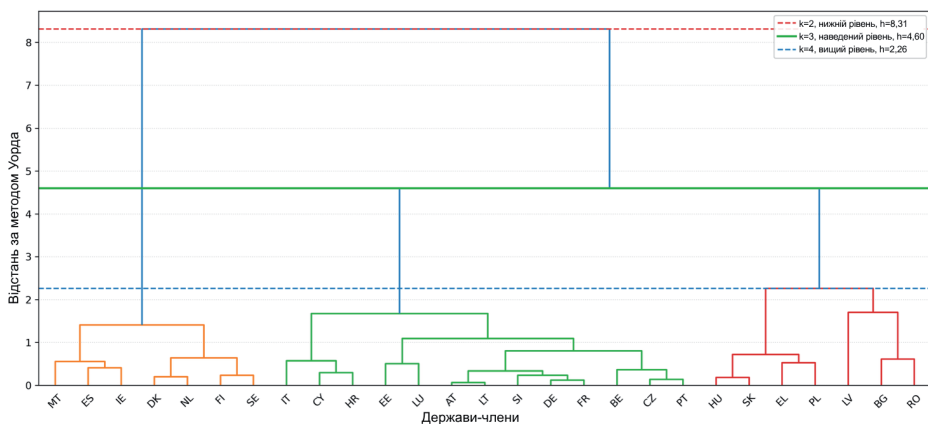
Рисунок 4 додатково ілюструє 3 кластери режиму “Цифрового десятиліття” у площині, де по осі Ох відкладено досягнутий рівень, а по осі Оу динамі-

ку. Групи перенумеровано так, що перша завжди є провідною. Розмір маркера відповідає частці повторних вибірок, у яких країна зберігає показану приналежність, тобто малий маркер позначає країну на межі між групами.

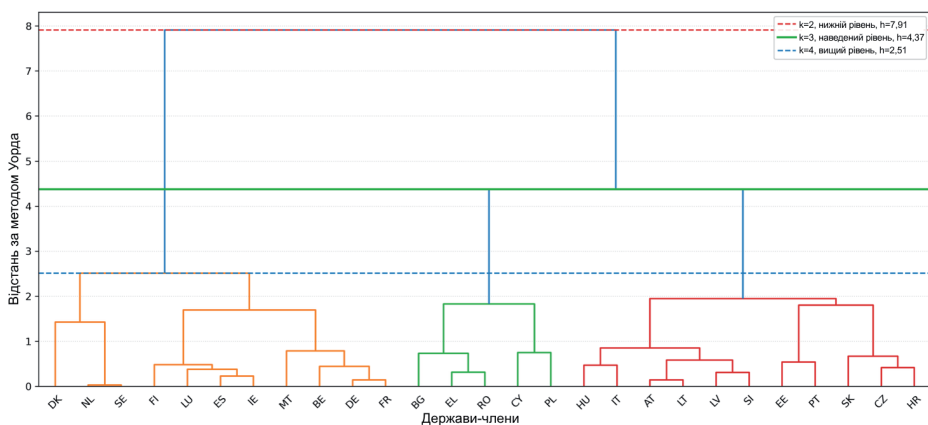
Рисунок 3

Дерева кластеризації країн за методом Уорда

а) режим DESI



б) режим “Цифрового десятиліття”



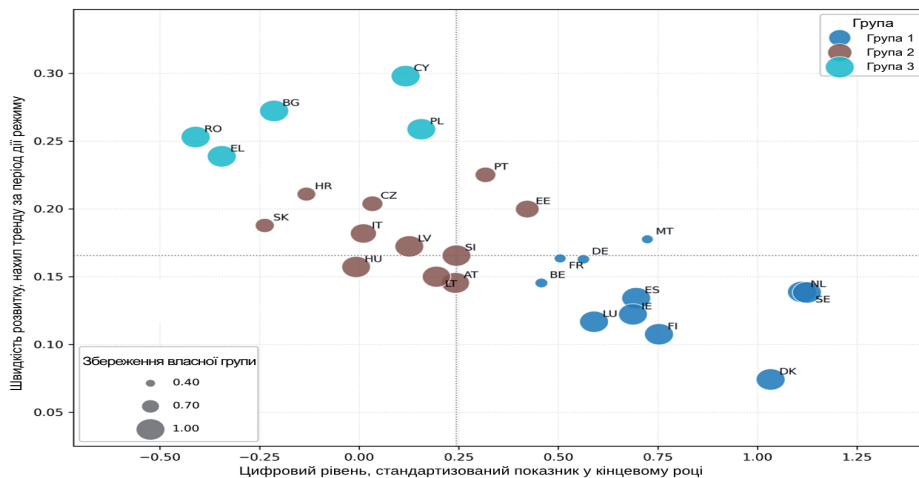
Джерело: розроблено авторами за даними DESI (European Commission, 2026a).

Найнижчу частку утримання мають Мальта (0,475), Франція (0,482), Німеччина (0,503) та Бельгія (0,518), тоді як 8 країн, а саме Болгарія, Кіпр, Данія, Греція, Фінляндія, Нідерланди, Румунія та Швеція, – найвищу, що дорівнює 1.

Розмита межа проходить у середині верхнього ешелону, а не між провідною та замикаючою групами. У провідній групі зібралися Данія, Швеція, Нідерланди, Фінляндія, Ірландія, Мальта, Люксембург, Німеччина та Бельгія, а також Іспанія і Франція, чий ВВП на душу населення за ПКС нижчий за середній рівень ЄС. Середню групу утворюють Естонія, Португалія, Словенія, Австрія, Литва, Латвія, Чехія, Італія, Угорщина, Хорватія та Словаччина, причому ВВП на душу населення Австрії перевищує середній показник ЄС. Замикають Болгарія, Румунія, Греція, Кіпр і Польща. Групи розділені передусім динамікою, оскільки діапазони нахилу середньої та замикаючої груп не перетинаються, водночас за рівнем вони частково накладаються, і Кіпр та Польща стоять вище за кілька країн середньої групи. Провідна група має найвищий рівень і найнижчу динаміку, замикаюча – навпаки, тож за загальним балом розрив між ними скорочується.

Рисунок 4

Три групи країн у площині рівня та динаміки, режим «Цифрового десятиліття», групи впорядковано за спаданням середнього рівня



Джерело: розроблено авторами за даними DESI (European Commission, 2026a).

Окремо наведено поділ на 4 групи. Це прочитання не є статистично оптимальним, адже в обох режимах за 4 груп якість поділу нижча, ніж за 3. Ресемплювання уточнює цей висновок, оскільки за 4 груп поріг стійкості долається в режимі DESI та не долається в режимі «Цифрового десятиліття». Четвертий поділ ділить надвоє одну з наявних груп, причому в двох режимах це різні групи. У режимі «Цифрового десятиліття» він виокремлює з провідної групи Данію, Нідерланди та Швецію, у режимі DESI розділяє замикаючу групу на Грецію, Угорщину, Польщу і Словаччину та на Болгарію, Латвію і Румунію. Середня група в обох режимах залишається неподіленою, а додаткова група не відповідає жодному рівню розвитку.

Структурний зсув між двома режимами

Окремим предметом аналізу є те, наскільки зміна набору показників перебудувала розподіл країн за групами. Порівняння коректне, оскільки в обох режимах застосовано однаковий метод, однакову кількість груп і ті самі 27 країн, а різняться лише набір показників, тобто саме той чинник, вплив якого підлягає вимірюванню. Рівень кожної країни визначено за останнім роком відповідного режиму, тож дві карти закріплені за різними опорними роками – 2021 для DESI та 2025 для «Цифрового десятиліття», разом із відповідними вікнами оцінювання нахилили. Тому отримана узгодженість відображає сукупний вплив зміни набору показників і чотирирічного інтервалу між опорними роками, а не лише заміну індикаторів.

Узгодженість між тригруповою картою DESI і тригруповою картою «Цифрового десятиліття» на спільних країнах становить 0,291, і 8 країн із 27 змінили групу. Розміри 3 груп змінилися з 7, 13 і 7 у режимі DESI на 11, 11 і 5 у режимі «Цифрового десятиліття». Провідна група розширилася, бо до неї піднялися Бельгія, Німеччина, Франція та Люксембург, середню поповнили Угорщина, Латвія та Словаччина, що піднялися із замикаючої, а Кіпр опустився до замикаючої.

Щоб розмежувати внесок зміни системи показників та часового зсуву, обчислено два еталони, обидва за рівнем, оскільки для 2021 року режим «Цифрового десятиліття» не має ретроспективи, достатньої для оцінювання нахилу. Часовий еталон утримує набір показників незмінним і змінює лише рік спостереження, він перепризначає 5 країн за узгодженості 0,608. Індикаторний еталон утримує спільний 2021 рік і змінює лише набір показників, він перепризначає 10 країн за узгодженості 0,220. Для зіставності в тій самій конструкції обчислено сукупну зміну, яка перепризначає 5 країн за узгодженості 0,463. Сукупна величина не є сумою двох окремих величин, оскільки скоригований індекс Ренда не є адитивним, а два чинники не є ортогональними, тож розкладання слугує діагностикою, а не причинним розділенням. Індикаторний еталон дає більше перепризначень і нижчу узгодженість, ніж часовий, що вказує на більший структурний зсув, пов'язаний зі зміною системи показників. Роздільна атрибуція переходу кожної окремої країни при цьому неможлива.

Середня частка збереження власної групи для 8 перепризначених країн становить 0,778 проти 0,922 для решти, проте різниця не досягає загальноприйнятого рівня значущості, оскільки критерій Манна-Вітні дає p-value 0,103. Картина неоднорідна й усередині самої групи переходів, адже Франція, Німеччина та Бельгія належать до 4 найменш стійких країн режиму, тоді як Люксембург, Латвія та Кіпр зберігають власну групу практично незмінно. Оскільки за такої чисельності груп тест має низьку потужність, він не є доказом відсутності зв'язку, проте наявні дані не показують, що нестійкість на межі пояснює міжрежимний зсув. Порівнювати два режими можна лише на рівні методу та узгодженості поділів, а не на рівні первинних значень показників.

Зв'язок цифрової типології з економічним розвитком

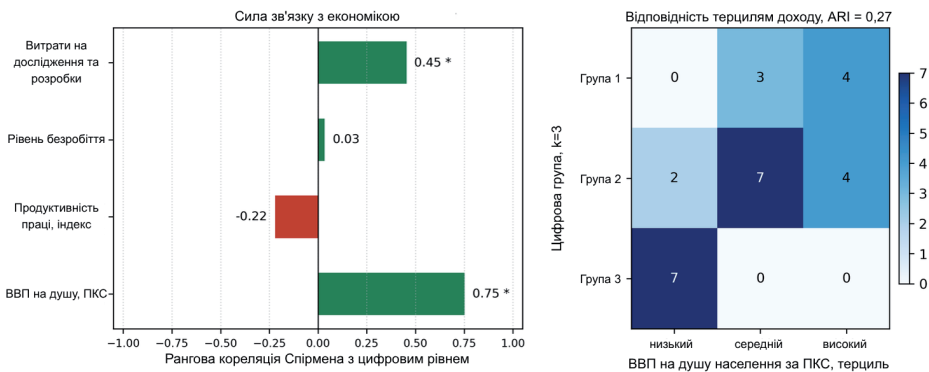
НЗ стверджує, що групування країн за ознаками цифрового розвитку не збігається з їхнім поділом за рівнем економічного розвитку. Рисунок 5 зводить разом два свідчення для кожного режиму: ліворуч – силу зв'язку цифрового рівня з 4 макроекономічними показниками, праворуч – збіг тригрупового поділу з поділом країн на терцилі ВВП на душу населення.

Як видно з даних рис. 5, зв'язок із добробутом справді сильний, рангова кореляція цифрового рівня з ВВП на душу населення за паритетом купівельної спроможності становить 0,782 у режимі “Цифрового десятиліття” та 0,752 у режимі DESI, обидві значущі й після поправки на множинність, і рівень також зростає разом із витратами на дослідження та розробки, 0,552 та 0,454, причому цей зв'язок витримує поправку в режимі “Цифрового десятиліття” і не витримує в режимі DESI. Водночас цифровий поділ не дублює рейтинг за доходом, оскільки збіг цифрових груп із поділом за доходом слабкий, узгодженість становить 0,260 у режимі “Цифрового десятиліття” та 0,268 у режимі DESI, тобто типологія не повністю відтворюється поділом країн за доходом. Для чотиригрупового прочитання ця узгодженість ще нижча, 0,172 та 0,166, тому висновок не залежить від обраної кількості груп.

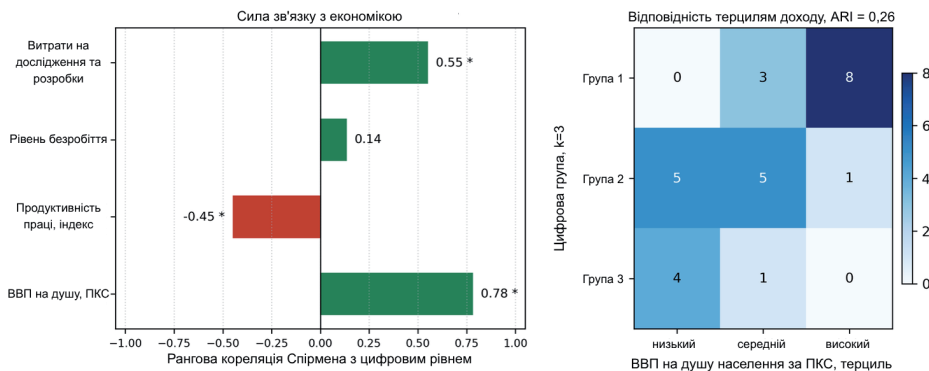
Рисунок 5

Зв'язок цифрового рівня з макроекономічними показниками та збіг типології з терцілями доходу

а) панель режиму DESI



б) панель режиму Цифрового десятиліття



Джерело: розроблено авторами за даними Eurostat (Eurostat, n.d.) та DESI (European Commission, 2026a).

Відповідні значення кореляції наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Сила рангового зв'язку цифрового рівня з макроекономічними показниками за режимом, з нескоригованими та скоригованими за Холмом p-value, 27 країн

Макропоказник	ρ (DESI)	p-value (DESI)	p-value Холма (DESI)	ρ (Цифрового десятиліття)	p-value (Цифрового десятиліття)	p-value Холма (Цифрового десятиліття)
ВВП на душу, ПКС	0,752	< 0,001	< 0,001	0,782	< 0,001	< 0,001
Продуктивність праці, індекс	-0,221	0,268	0,804	-0,449	0,019	0,087
Рівень безробіття	0,034	0,868	1,000	0,135	0,503	1,000
Витрати на дослідження та розробки	0,454	0,018	0,087	0,552	0,003	0,017

Джерело: розроблено авторами за даними Eurostat (n.d.) та DESI (European Commission, 2026a).

Як видно з даних табл. 4, індекс продуктивності праці пов'язаний із цифровим рівнем оберненою залежністю в режимі Цифрового десятиліття, значущою за нескоригованим p-value і незначущою після поправки, тоді як рівень безробіття не показує значущого зв'язку в жодному режимі.

Обернений зв'язок із продуктивністю пояснюється базою порівняння, оскільки ряд індексовано до 2015 р., а наздоганяючі економіки, які стартують із нижчої бази, показують вищий темп зростання індексу, ніж лідери з вищим рівнем продуктивності. Тому коректне формулювання вузьке, цифровий рівень рухається обернено до індексу накопиченої зміни продуктивності, а не до її рівня. Сильна рангова кореляція разом зі слабким збігом груп підтверджує H3.

Обговорення

Отримані результати уточнюють три напрями попередніх досліджень. Щодо конвергенції цифрового розвитку, наш результат не суперечить результатам праці Andrei et al. (2023) та Kovács et al. (2022), проте показує, що напрям висновку не є однорідним ані за доменами, ані за режимами вимірювання. У межах припиненого композиту розрив розширювався у 3 доменах з 4, тоді як у системі показників «Цифрового десятиліття» найшвидше зблизилися «Цифрові публічні послуги» та «Людський капітал». Отже, узагальнене твердження про

конвергенцію є коректним лише за умови зазначення системи показників, на які воно отримане.

Щодо типології країн, наш поділ на 3 групи відтворює в поточній системі показників структуру, виявлену в роботі Cruz-Jesus et al. (2012), і додає до неї кількісну оцінку стійкості, якої в цій праці немає. Оцінка виявляє відмінність між режимами, яку раніше не фіксували. У пізньому режимі стійкість поділу нижча, ніж у ранньому, а найменш стійкі країни розташовані в середині провідної групи, а не на межі із замикаючою. У такому разі проблема частоті зміни складу індексу (Bánhidí et al., 2020) стає вимірюваною, оскільки зміну набору показників виражено як зсув у групуванні.

Щодо зв'язку цифрового розвитку з економікою, робота de Maya Matallana et al. (2026) будує рівні цифрового розвитку країн ЄС та зіставляє їх з економічними характеристиками. Наш результат уточнює цю картину, оскільки висока рангова кореляція рівня з доходом поєднується з низьким збігом групувань, тобто типологія містить інформацію, якої поділ за доходом не відтворює. Окремо наш висновок щодо домену «Інтеграція» співвідноситься з роботою Borowiecki et al. (2021), де на даних DESI зафіксовано посилення поляризації саме в цьому домені. Ми додаємо кількісну оцінку крихкості цього спостереження, оскільки за складу з 2 показників напрям не витримує альтернативних обробок, а за розширеного складу розходження підтверджується.

Головна відмінність цієї роботи від розглянутих досліджень полягає в побудові порівняння. Вони оцінюють конвергенцію та типологію в межах одного режиму вимірювання, як от Zeinali & Mussari (2025) на даних періоду Цифрового десятиліття. Водночас у цьому дослідженні результат отримано окремо у двох режимах, а їхнє зіставлення виконано на рівні методу та узгодженості поділів. Це дозволяє відокремити зміну змісту явища від зміни інструмента його вимірювання.

Висновки

У статті оцінено цифровий розрив та побудовано типологію країн Європейського Союзу за рівнем і динамікою цифрового розвитку у двох режимах вимірювання, із застосуванням методу, стійкого до структурної неузгодженості між припиненим композитом DESI та системою показників Цифрового десятиліття. Перевірку трьох гіпотез проведено окремо в кожному режимі.

За H1 встановлено, що напрям зміни цифрового розриву відрізняється за доменами. У режимі DESI розрив між країнами розширювався у 3 з 4 доменів, найшвидше в домені «Інтеграція», водночас «Зв'язність» є практично незмінною. У режимі «Цифрового десятиліття» найшвидше зблизилися «Цифрові публічні послуги» та «Людський капітал», а «Інтеграція» продовжила розширюватися. Останній висновок витримує альтернативні обробки лише за розширеного складу домену, оскільки за 2 показників напрям задає обробка кількості компаній-єдинорогів. Зближення в домені «Людський капітал» дають показники доступу до інтернету, значення яких у провідних країнах наближаються до межі шкали, водночас показники кваліфікації розширюють розрив в обох режимах.

За Н2 встановлено, що поділ на 3 групи відтворюється в обох режимах. Серед рішень із трьома і більше групами найвища якість поділу досягається саме за 3 груп, і лише тригрупове рішення витримує перевірку стійкості в обох режимах, оскільки чотиригрупове рішення долає поріг лише в режимі DESI. Середня узгодженість поділу за ресемплювання країн становить 0,974 у режимі DESI та 0,697 у режимі Цифрового десятиліття, а за основною схемою індекси Жаккара всіх груп перевищують поріг 0,75 в обох режимах, тоді як за збурення ознак у режимі «Цифрового десятиліття» поріг долають 2 групи з 3.

За Н3 встановлено, що цифровий рівень тісно пов'язаний із доходом, тоді як групування країн за цифровими ознаками за доходом не відтворюється. Рангова кореляція цифрового рівня з ВВП на душу населення за паритетом купівельної спроможності висока в обох режимах, водночас збіг цифрових груп із терцилями доходу є слабким. Отримані результати підтримують усі три гіпотези в межах, сформульованих у дослідженні.

Окремим практичним результатом є кількісна оцінка структурного зсуву між двома режимами. Вісім країн із 27 класифіковано по-різному в двох режимних аналізах із узгодженості поділів 0,291. Побудоване окремо за рівнем розкладання показує, що часовий еталон за незмінного набору показників дає 5 перепризначень, а індикаторний еталон за незмінного 2021 року — 10. Оскільки скоригований індекс Ренда не є адитивним, а два чинники не ортогональні, це розкладання є діагностикою, а не причиновим розділенням, і роздільна атрибуція переходу кожної окремої країни неможлива. Порівняння двох режимів є коректним на рівні методу та узгодженості поділів. Науковий внесок роботи полягає в схемі порівняльного аналізу цифрового розвитку країн ЄС, що залишається коректною за умов змін системи вимірювання, оскільки зіставляє поділи країн, а не значення показників. Емпірично встановлено, що тригрупова структура відтворюється в обох режимах, тоді як склад груп при переході змінюється.

Подальші дослідження доцільно спрямувати у трьох напрямках, що поглиблюють окремі результати цієї роботи. Перший напрям стосується методологічних властивостей самого композитного DESI, зокрема перевірки внутрішньої узгодженості його доменної структури, що дозволить оцінити, наскільки висновки залежать від конструкції індексу. Другий напрям стосується поглибленого аналізу цифрової конвергенції країн ЄС у часі, з оцінюванням бета-конвергенції за початковими рівнями та перевіркою гіпотези клубної конвергенції, що дозволить встановити, чи зберігається зближення країн у тривалішому періоді. Третій напрям стосується розширення аналізу на регіональний рівень та включення макроекономічних чинників до пояснювальної моделі цифрового розвитку.

Подяка

Автори висловлюють вдячність за підтримку, надану проєктом UNITE BG16RFPR002-1.014-0004, що фінансується PRIDST, у частині дослідницької інфраструктури, співпраці та тематичних обговорень; цей проєкт не надавав прямої фінансової підтримки для емпіричного аналізу чи підготовки цього рукопису.

Генеративний асистент Claude (Anthropic, Opus 5.0) і Grammarly Generative AI (Grammarly Inc.) використано для перевірки та виправлення ана-

літичного коду, а також для мовного й стилістичного редагування авторського тексту; вони не генерували результати дослідження, і автори несуть повну відповідальність за зміст відповідно до політики журналу щодо штучного інтелекту.

Список використаної літератури

- Andrei, J. V., Chivu, L., Sima, V., Gheorghe, I. G., Nancu, D., & Duică, M. (2023). Investigating the digital convergence in European Union: An econometric analysis of pitfalls and pivots of digital economic transformation. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 36(2), Article 2142814. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2022.2142814>
- Arbelaitz, O., Gurrutxaga, I., Muguerza, J., Pérez, J. M., & Perona, I. (2013). An extensive comparative study of cluster validity indices. *Pattern Recognition*, 46(1), 243–256. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2012.07.021>
- Bánhidi, Z., Dobos, I., & Nemeslaki, A. (2020). What the overall Digital Economy and Society Index reveals: A statistical analysis of the DESI EU28 dimensions. *Regional Statistics*, 10(2), 42–62. <https://doi.org/10.15196/RS100209>
- Borowiecki, R., Siuta-Tokarska, B., Maroń, J., Suder, M., Thier, A., & Žmija, K. (2021). Developing digital economy and society in the light of the issue of digital convergence of the markets in the European Union countries. *Energies*, 14(9), Article 2717. <https://doi.org/10.3390/en14092717>
- Bruno, G., Diglio, A., Piccolo, C., & Pipicelli, E. (2023). A reduced Composite Indicator for Digital Divide measurement at the regional level: An application to the Digital Economy and Society Index (DESI). *Technological Forecasting and Social Change*, 190, Article 122461. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122461>
- Cruz-Jesus, F., Oliveira, T., & Bacao, F. (2012). Digital divide across the European Union. *Information & Management*, 49(6), 278–291. <https://doi.org/10.1016/j.im.2012.09.003>
- de Maya Matallana, M., García-Luque, O., López-Martínez, M., & Rodríguez-Pasquín, M. (2026). Digital development levels in the European Union: Measurement and analysis. *Economies*, 14(2), Article 58. <https://doi.org/10.3390/economies14020058>
- Dobos, I., & Bánhidi, Z. (2025). Where Central and Eastern European countries stand in terms of digital readiness. *Society and Economy*, 47(1), 66–84. <https://doi.org/10.1556/204.2024.00012>
- European Commission. (2026a). *Digital Economy and Society Indicators* [Data set]. Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology. <https://digital-decade-desi.digital-strategy.ec.europa.eu/datasets/desi/charts>
- European Commission. (2026b). *Commission Staff Working Document: DESI 2026 methodological note* (SWD(2026) 154 final). Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news-redirect/938549>

- Eurostat. (n.d.). *Eurostat database* [Data set]. European Commission. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database>
- Gomes, A., & Dias, J. G. (2025). Digital divide in the European Union: A typology of EU citizens. *Social Indicators Research*, 176(1), 149–172. <https://doi.org/10.1007/s11205-024-03452-2>
- Greco, S., Ishizaka, A., Tasiou, M., & Torrisi, G. (2019). On the methodological framework of composite indices: A review of the issues of weighting, aggregation, and robustness. *Social Indicators Research*, 141(1), 61–94. <https://doi.org/10.1007/s11205-017-1832-9>
- Hennig, C. (2007). Cluster-wise assessment of cluster stability. *Computational Statistics and Data Analysis*, 52(1), 258–271. <https://doi.org/10.1016/j.csda.2006.11.025>
- Holm, S. (1979). A simple sequentially rejective multiple test procedure. *Scandinavian Journal of Statistics*, 6(2), 65–70. <https://www.jstor.org/stable/4615733>
- Kolupaieva, I., & Tiesheva, L. (2023). Asymmetry and convergence in the development of digital technologies in the EU countries. *Equilibrium. Quarterly Journal of Economics and Economic Policy*, 18(3), 687–716. <https://economic-policy.pl/index.php/eq/article/view/2699>
- Kovač, N., Žmija, K., Roy, J. K., Kusa, R., & Duda, J. (2024). Digital divide and digitalization in Europe: A bibliometric analysis. *Equilibrium. Quarterly Journal of Economics and Economic Policy*, 19(2), 463–520. <https://economic-policy.pl/index.php/eq/article/view/2899>
- Kovács, T. Z., Bittner, B., Huzsvai, L., & Nábrádi, A. (2022). Convergence and the Matthew effect in the European Union based on the DESI index. *Mathematics*, 10(4), Article 613. <https://doi.org/10.3390/math10040613>
- Kuc-Czarnecka, M., Lo Piano, S., & Saltelli, A. (2020). Quantitative storytelling in the making of a composite indicator. *Social Indicators Research*, 149(3), 775–802. <https://doi.org/10.1007/s11205-020-02276-0>
- Masoura, M., & Malefaki, S. (2023). Evolution of the Digital Economy and Society Index in the European Union: A socioeconomic perspective. *TalTech Journal of European Studies*, 13(2), 177–203. <https://doi.org/10.2478/bjes-2023-0020>
- Milligan, G. W., & Cooper, M. C. (1988). A study of standardization of variables in cluster analysis. *Journal of Classification*, 5(2), 181–204. <https://doi.org/10.1007/BF01897163>
- Murtagh, F., & Legendre, P. (2014). Ward's hierarchical agglomerative clustering method: Which algorithms implement Ward's criterion? *Journal of Classification*, 31(3), 274–295. <https://doi.org/10.1007/s00357-014-9161-z>
- Olczyk, M., & Kuc-Czarnecka, M. (2022). Digital transformation and economic growth – DESI improvement and implementation. *Technological and Economic Development of Economy*, 28(3), 775–803. <https://doi.org/10.3846/tede.2022.16766>
- Saraçlı, S., Doğan, N., & Doğan, İ. (2013). Comparison of hierarchical cluster analysis methods by cophenetic correlation. *Journal of Inequalities and Applications*, 2013, Article 203. <https://doi.org/10.1186/1029-242X-2013-203>

- Stavytskyy, A., Kharlamova, G., & Stoica, E. A. (2019). The analysis of the Digital Economy and Society Index in the EU. *TalTech Journal of European Studies*, 9(3), 245–261. <https://doi.org/10.1515/bjes-2019-0032>
- Szajt, M., Smolag, K., & Chomiak-Orsa, I. (2024). Digitization in European Union countries. Convergence analysis based on DESI. *Procedia Computer Science*, 246, 5448–5457. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.09.688>
- Szeles, M. R., & Simionescu, M. (2020). Regional patterns and drivers of the EU digital economy. *Social Indicators Research*, 150(1), 95–119. <https://doi.org/10.1007/s11205-020-02287-x>
- Troitiño, D. R. (2022). The European Union facing the 21st century: The digital revolution. *TalTech Journal of European Studies*, 12(1), 60–78. <https://doi.org/10.2478/bjes-2022-0003>
- Warrens, M. J., & van der Hoef, H. (2022). Understanding the adjusted Rand index and other partition comparison indices based on counting object pairs. *Journal of Classification*, 39(3), 487–509. <https://doi.org/10.1007/s00357-022-09413-z>
- Zeinali, Z., & Mussari, R. (2025). Expansion of the digital realm: Analyzing DESI and digital transformation across EU member states, with a focus on Spain and Italy: A cluster analysis. *Public Organization Review*, 25, 1233–1273. <https://doi.org/10.1007/s11115-025-00836-x>
- Zherlitsyn, D. (2024). *Financial data analysis using Python*. Mercury Learning and Information. <https://doi.org/10.1515/9781501521843>
- Zherlitsyn, D., Kolarov, K., & Rekova, N. (2025). Digital transformation in the EU: Bibliometric analysis and digital economy trends highlights. *Digital*, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/digital5010001>
- Zherlitsyn, D., & Rekova, N. (2026). Comparative analysis of labor markets in Bulgaria, Italy, and the UK: Wage dynamics, labor costs, and digital development. *Economies*, 14(1), Article 13. <https://doi.org/10.3390/economies14010013>

Додаток А

Таблиця А1

Перелік показників з назвами, одиницями, охопленням та обліком пропусків

Режим	Домен	Показник	Розбивка	Одиниця	Роки	С-нь	П-ків
Цифрового десятиліття	Людський капітал	Фахівці з ІКТ (desi_ict_spec)	total	pc_ind_emp	2021–2025	135	0
Цифрового десятиліття	Людський капітал	Користування інтернетом (desi_iuse)	ind_total	pc_ind	2021–2025	135	0
Цифрового десятиліття	Людський капітал	Загальне охоплення інтернетом (desi_ci_in_h)	hh_total	pc_hh	2021–2025	134	1
Цифрового десятиліття	Зв'язність	Покриття оптикою до приміщень (desi_ftp)	hh_deg3	pc_hh	2021–2025	135	0
Цифрового десятиліття	Зв'язність	Покриття мережами дуже високої пропускної здатності (desi_vhcn)	hh_deg3	pc_hh	2021–2025	135	0
Цифрового десятиліття	Зв'язність	Загальне покриття 5G (desi_5gcov)	hh_deg3	pc_hh	2021–2025	135	0
Цифрового десятиліття	Зв'язність	Спектр 5G (desi_5g_spectrum)	5g_pb	pc_spectrum_assigned	2021–2025	135	0
Цифрового десятиліття	Зв'язність	Частка абонентів фіксованого широкопasmового доступу не нижче 100 Мбіт/с (desi_bbspeed_100)	total	pc_lines	2021–2025	135	0
Цифрового десятиліття	Зв'язність	Частка абонентів фіксованого широкопasmового доступу не нижче 1 Гбіт/с (desi_bbspeed_1000)	total	pc_lines	2021–2025	135	0
Цифрового десятиліття	Інтеграція	Кількість єдинокорів (desi_unicorns)	total	nb_unicorns	2021–2025	135	0
Цифрового десятиліття	Інтеграція	МСП, що продають онлайн (desi_sme_esell)	ent_sm_xfin	pc_ent	2021–2025	135	0
Цифрового десятиліття	Цифрові публічні послуги	Цифрові публічні послуги для громадян (desi_dps_cit)	national	egov_score	2021–2025	135	0
Цифрового десятиліття	Цифрові публічні послуги	Цифрові публічні послуги для бізнесу (desi_dps_biz)	national	egov_score	2021–2025	135	0
Цифрового десятиліття	Цифрові публічні послуги	Підтримка користувачів (desi_us)	national	egov_score	2021–2025	135	0
Цифрового десятиліття	Цифрові публічні послуги	Зручність для мобільних пристроїв (desi_mf)	egov_le_all	egov_score	2021–2025	135	0
Цифрового десятиліття	Цифрові публічні послуги	Прозорість надання послуг, дизайну та персональних даних (desi_tdpd)	egov_le_all	egov_score	2021–2025	135	0

Режим	Домен	Показник	Розбивка	Одиниця	Роки	С-нь	П-ків
Цифрового десятиліття	Цифрові публічні послуги	Попередньо заповнені форми (desi_pff)	egov_le_all	egov_score	2021–2025	135	0
DESI	Зв'язність	Ціни на широкосмуговий доступ (desi_c_bbpi)	sub-dimension score	DESI points	2016–2021	162	0
DESI	Зв'язність	Покриття фіксованим широкосмуговим доступом (desi_c_fbbc)	sub-dimension score	DESI points	2016–2021	162	0
DESI	Зв'язність	Абонування фіксованого широкосмугового доступу (desi_c_fbbc)	sub-dimension score	DESI points	2016–2021	162	0
DESI	Зв'язність	Мобільний широкосмуговий доступ (desi_c_mbb)	sub-dimension score	DESI points	2016–2021	162	0
DESI	Цифрові публічні послуги	Електронне урядування (desi_dps_egov)	sub-dimension score	DESI points	2016–2021	162	0
DESI	Людський капітал	Просунуті навички та розвиток (desi_hc_asd)	sub-dimension score	DESI points	2016–2021	162	0
DESI	Людський капітал	Навички користувача інтернету (desi_hc_bsu)	sub-dimension score	DESI points	2016–2021	162	0
DESI	Інтеграція	Цифрова інтенсивність (desi_idt_di)	sub-dimension score	DESI points	2016–2021	162	0
DESI	Інтеграція	Цифрові технології для бізнесу (desi_idt_dtb)	sub-dimension score	DESI points	2016–2021	162	0
DESI	Інтеграція	Електронна комерція (desi_idt_ecomm)	sub-dimension score	DESI points	2016–2021	162	0

Джерело: складено авторами. Назви показників подано згідно з методологічною запискою Європейської Комісії (European Commission, 2026b) та даних Eurostat (n.d.).

Отримано: 28 червня 2026 р.
Рецензовано: 10 вересня 2026 р.
Рекомендовано до друку: 18 вересня 2026 р.