

Івашко Л. М.

кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри менеджменту та інновацій Одеського національного університету імені І. І. Мечникова, Одеса, Україна, ivashkolm@onu.edu.ua
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3921-9072>

Юрасова О. О.

кандидат економічних наук, асистент кафедри бізнес-технологій та підприємництва Вільнюського технічного університету імені Гедемінаса, Вільнюс, Литва, olga.iurasova@vilniustech.lt
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9976-9124>

Максимов О. С.

старший викладач кафедри математичного забезпечення комп'ютерних систем Одеського національного університету імені І. І. Мечникова, Одеса, Україна, oleksandr.s.maksymov@onu.edu.ua
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8951-5251>

Максимов О. О.

старший викладач кафедри алгебри, геометрії і диференціальних рівнянь Одеського національного університету імені І. І. Мечникова, Одеса, Україна, o.maksymov@onu.edu.ua
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-7962-9185>

ОЦІНКА ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ОСВІТОЮ, НАВИЧКАМИ ТА СТАЛИМ ЕКОНОМІЧНИМ РОЗВИТКОМ НА ОСНОВІ РСА-АНАЛІЗУ

Анотація. Автори статті мали на меті оцінити вплив освіти та професійних навичок працівників на економічне зростання в європейських країнах. Проаналізовано сучасні тенденції виокремлення основних чинників економічного розвитку країн і з'ясовано, що економіка дедалі частіше характеризується з огляду на її креативність, діджиталізацію, інноваційність. Узагальнено методи визначення вартості людського капіталу за такими критеріями, як інвестиційний, дохідний, історичний, експертних оцінок. Визначено норми віддачі від освіти для 20 європейських країн із застосуванням методу аналізу головних компонентів (РСА). На основі доступних даних виокремлено дві ключові складові для оцінювання загального впливу цих показників на зростання ВВП на одну особу. Зазначені компоненти дають змогу оцінити, як освіта і професійні навички працівників сприяють економічному розвитку кожної країни, зокрема зростанню ВВП на одну особу. Для класифікації країн за ступенем впливу основних компонентів на економічний розвиток застосовано метод *k*-середніх, у результаті чого країни розподілено на три кластери. Перший кластер включає розвинуті країни з високим рівнем інновацій, другий – розвинуті країни з нижчим рівнем інновацій і середніми значеннями віддачі від освіти, третій – країни з переважно неінноваційними секторами. Потім було побудовано регресійні моделі для аналізу впливу кожного компонента на зростання ВВП на одну особу та визначено міру такого впливу. За результатами порівняння значень коефіцієнтів побудованих регресійних моделей зроблено висновок, що зв'язок між рівнем освіти й економічним зростанням низки країн Європи стає більш виразним за умови розвитку інноваційного та технологічного складників економіки.

Ключові слова: управління людським капіталом, економічне зростання, сталий розвиток, аналіз головних компонентів, рівень освіти.

JEL classification: I21, O40, Q01.

DOI: 10.32987/2617-8532-2025-2-91-113.

© Івашко Л. М., Юрасова О. О., Максимов О. С., Максимов О. О., 2025

У сучасному суспільстві майже кожна людина бере участь у процесі здобуття професійних знань, тобто тих, які згодом буде запропоновано їх носієм на ринку праці. Через сучасні тенденції загального посилення впливу чинників знань на економічний розвиток країн сучасна економіка дедалі частіше аналізується з урахуванням чинників креативності, цифровізації та інновацій [1; 2]. Придбання й застосування відповідних знань сьогодні є конкурентною перевагою для організацій, галузей і економіки в цілому [3]. Ефективне управління знаннями виступає потужним чинником високого рівня економічного розвитку в усьому світі. Ринкова оцінка сукупності знань, умінь і навичок, тобто капіталізація професійних знань, відображає справедливий (із точки зору ринку) рівень заробітної плати, яку можна запропонувати носію цих знань [4; 5].

Питання капіталізації знань і цінності людського капіталу стають предметом особливого дослідницького інтересу при розгляді їхнього впливу на сталий розвиток країни. Мета статті – оцінити вплив віддачі від освіти та професійних навичок працівників на зростання ВВП на одну особу в низці європейських країн. Низький рівень знань і навичок робочої сили частіше є проблемою країн, що розвиваються, зі слабкою системою освіти й, відповідно, обмеженою пропозицією кваліфікованої робочої сили. Феномен «переосвіченості» більш характерний для розвинутих країн, де маса осіб із вищою освітою й темпи її розширення можуть значно випереджати темпи зростання робочих місць, які вимагають високої кваліфікації. Американський соціолог А. Берг, один

із перших, хто порушив це питання, назвав неперервні перегони за дедалі вищими рівнями освіти «великим освітнім пограбуванням» [2].

Складність розроблення єдиного підходу до аналізу впливу людського капіталу полягає в тому, що останній – це багаторівнева система. Одна з основних проблем емпіричних досліджень людського капіталу, зокрема віддачі від освіти, – відсутність достовірних даних. Зокрема, ми можемо не мати змінної, яка відображає здібності людини. Ця проблема пов'язана зі складністю вимірювання рівня інтелектуальних здібностей. Адже для цього потрібно визначити, що саме слід розуміти під здібностями індивіда, та вибрати найприйнятнішу методику оцінювання інтелектуальних здібностей (IQ, AFQT).

У пропонованій статті буде розширено класичну методологічну базу для таких досліджень. Як додаток до стандартного методу найменших квадратів (МНК), що доповнюється методом інструментальних змінних і панельними моделями даних у разі проблем ендогенності, авторами буде реалізовано менш поширений метод квантильної регресії.

Квантильні регресії – це рівняння регресії, які моделюють не умовну середню величину залежної змінної за значеннями регресорів, як у випадку класичної регресії, а умовні квантили різних порядків. Застосування цього методу може бути продиктоване кількома обставинами: може постати потреба в аналізі не лише умовного середнього, а й характеру всього умовного розподілу модельованої змінної; може бути відомо, що оцінки, отримані МНК, не зміщені та ефективні лише за виконання умов тео-

реми Гаусса – Маркова. Але на практиці ці умови не завжди виконуються. Тому оцінки МНК не дають змоги побудувати модель високої якості. Тобто оцінки, отримані за допомогою МНК, мають асимптотичну ефективність, що дорівнює одиниці, при оцінюванні нормально розподілених випадкових змінних [6]. Якщо досліджувана змінна підпорядковується іншому закону розподілу, то асимптотична ефективність оцінок МНК може бути надзвичайно низькою.

Модель квантильної регресії вперше було офіційно сформульовано в праці Р. Коенкера та Д. Бассета [7]. На відміну від класичної лінійної регресії, де розподіл залишків вважається нормальним, у випадку квантильної регресії розподіл залишкового компонента залишається невизначеним. У моделі, описаній вище, передбачається, що всі змінні виміряно без помилок і що модель визначено правильно. Випадки неправильного

вимірювання чи пропуску змінних авторами не розглядалися.

Основні підходи для оцінювання людського капіталу на макrorівні наведено в табл. 1.

Теоретичне підґрунтя сучасних досліджень людського капіталу на основі інвестиційного підходу заклав Г. Беккер [26]. Він сформулював і емпірично підтвердив припущення про те, що людський капітал – це інвестиційний товар, який може приносити більший прибуток, ніж інвестиції на фондовому ринку [26; 27]. Вказана теорія залишається актуальною. Тому дослідники продовжують розробляти й адаптувати досконаліші методи розрахунку рентабельності освіти [8].

Відповідно до дохідного підходу, людський капітал – це сукупність знань, навичок і мотивацій, якими володіє працівник, що дає можливість виробляти економічні блага вищої якості та отримувати більший дохід [28].

Таблиця 1

Класифікація методів визначення вартості людського капіталу

Підхід	Визначення	Метод оцінки	Автори
Інвестиційний	Визначення вартості людського капіталу ґрунтується на оцінці витрат, пов'язаних із формуванням та управлінням людським капіталом на підприємстві	Метод, що ґрунтується на обліку	Аль-Хаснаві та ін. [6]; Г. Беккер [8]; Г. Беккер і Б. Чісвік [9]; М. Зафар та Е. Джафар [10]
		Конкурсний метод оцінювання	Е. Олафенва [3]; Р. Нельсон і Е. Фелпс [11]; П. Ромер [12; 13]; М. Абрамовіч [14]; П. Кленов і Е. Родрігес-Клер [15]; Р. Хол та С. Джонс [16]; В. Істерлі й Р. Левін [17]
		Метод перспективної вартості	Е. Хамед та ін. [2]; Х. Патрінос [5]; Е. Ханушек і Л. Воссманн [18]; С. Джозеф та ін. [19]; М. Кічурчак [20]
Дохідний	Вартість людського капіталу визначається на основі потенційного доходу (дисконтованого), який можна отримати, використовуючи людський капітал		Г. Беккер [8]; Г. Беккер та Б. Чісвік [9]; Б. Чісвік [21]; Л. Ван [22]
Історичний	Людський капітал – це результат історичного розвитку розширеної сім'ї (династії або суспільства, в якому живе індивід) до її нинішнього стану		Й. Фан та ін. [23]; В. Жу і Р. Ма [24]
Експертних оцінок	Оцінку людського капіталу проводять експерти (використовується в Японії)		М. Імаї [25]

Складено авторами за: [2; 3; 5; 6; 8–25].

Найпопулярніші на сьогодні методи визначення вартості людського капіталу, розроблені Г. Беккером [8; 9], ґрунтуються на доходах. Як інвестиції він розглядав витрати на освіту й навчання. На думку Л. Вонга [22], дохід, який можна отримати від капіталізації людського потенціалу під впливом інтелектуальної власності, – необмежений. Розмір доходу від використання людського капіталу змінюється під впливом внутрішніх (мотивація, стосунки в колективі, плинність кадрів тощо) та зовнішніх (соціальна політика держави, рівень суспільного добробуту тощо) чинників. Тому застосовувати методи, що ґрунтуються на доходах, некоректно в довгостроковій перспективі.

Метод експертних оцінок зародився в Японії в результаті спроб провести комплексну оцінку людського капіталу. Японські менеджери першими серед ліберальних менеджерів запропонували розглядати персонал як особистість, особливий тип капіталу – людський капітал, в який можна інвестувати кошти та який потребує не лише матеріальної підтримки для існування, а й соціальної та внутрішньоорганізаційної. Японія стала першою країною, де праця набула статусу не обов'язку (вимушеної необхідності), а засобу розвитку й вираження людського потенціалу, сенсу, мети життя, способу отримувати задоволення від навчання та праці [25].

За історичним підходом людський капітал – це універсальна, конкретна форма життєдіяльності, що асимілює попередні форми та реалізується як результат історичного руху людського суспільства до його сучасного стану [23; 24; 29].

Зв'язок між людським капіталом, що ґрунтується на теоретичних і практичних знаннях, та економічним зростанням країни підтверджується численними дослідженнями, зокрема виконаними такими науковцями, як О. Річард, М. Хіт, Т. Сакамото та ін. [30–32]. Оскільки продуктивність компаній у секторі ділових послуг переважно залежить від їхніх працівників, очікується, що високий рівень людського капіталу підвищить продуктивність. Гіпотеза дослідження підсумовує зв'язок між теоретичними й практичними знаннями та економічним зростанням країни.

Гіпотеза: людський капітал позитивно асоціюється з економічним зростанням країни, а саме з ВВП на одну особу.

Методологія обробки даних складається з кількох важливих кроків, кожен із яких призначений для поліпшення якості та інтерпретації набору даних. Ці кроки включають корегування даних, кластеризацію головних компонентів (РСА) й алгоритму *k*-середніх, а також накладення сформованих головних компонентів на зростання ВВП на одну особу. Детально кожний такий крок описано нижче.

Крок 1: попередня обробка даних, що включає їх очищення. Цей крок у нашій методології спрямований на створення мінімального набору ненадлишкових даних і вибір країн для аналізу.

Крок 2: розрахунок головних компонентів на основі аналізу головних компонентів (Principal Component Analysis, PCA). Такий аналіз передбачає формування еталонної моделі макрорівня, у якій взаємозв'язок чинників діяльності людського капі-

талу відповідає стратегічним цілям зростання ВВП на одну особу. Стратегічні цілі зростання ВВП на одну особу сформульовано як обмеження зміни чинників діяльності через зміну чинників трудового потенціалу. Хоча така модель може бути спрощенням фактичної діяльності країни, водночас, під час аналізу реальної діяльності країни, вона може виконувати функцію еталона. Моделювання завжди передбачає прийняття припущень різного ступеня важливості, що формуються як вимоги. Однією з важливих вимог є адекватність, що означає відповідність моделі вихідній реальній системі та врахування її найважливіших якостей, зв'язків і характеристик. Адекватність моделі визначається правильним вибором базових чинників, які описують чинники зростання ВВП на одну особу. Основна вимога бенчмарк-моделі – обмеження на взаємозв'язок базових чинників і чинників трудового потенціалу, що можуть бути як якісними, так і кількісними. Ці вимоги забезпечують найкращий можливий зв'язок між чинниками еталонної моделі.

Дані, що мають різні розмірності, такі як використані в цьому дослідженні, створюють низку обчислювальних проблем, зокрема неправильний розподіл значущості ознак і несумісності масштабів. При аналізі таких даних показники в різних шкалах створюють спотворену геометрію простору ознак. Це може вплинути на ефективність моделі за рахунок зниження значущості окремих ознак. Для розв'язання цієї проблеми зазвичай використовується РСА як метод зниження розмірності. Аналіз головних компонентів часто застосовується для зменшення розмірності великих

наборів даних шляхом перетворення великого набору змінних на менший, що, як і раніше, містить переважну частину інформації великого набору. Тобто РСА перетворює багатовимірні дані на простір із меншою розмірністю, витягуючи найважливіші ознаки або головні компоненти, які пояснюють найбільшу кількість дисперсії у наборі даних [33].

РСА допоможе усунути описані недоліки й дасть виважену лінійну комбінацію, яка враховує справжню структуру даних, а не просто масштаб. Це дає можливість нормалізувати та збалансувати внесок ознак, що робить створювану модель точнішою й репрезентативнішою.

РСА широко застосовується в літературі як ефективний спосіб зниження обчислювальної складності за збереження найрелевантнішої інформації, яка дає змогу ефективніше навчати моделі машинного навчання, включаючи нейронні мережі [34].

Метод головних компонент використовується нами для представлення багатовимірної вибірки даних на двовимірному графіку. Усі виділені показники можна представити як матрицю числових даних X розміром $n \times m$; де m – кількість показників, зафіксованих у кожному спостереженні, n – кількість спостережень, ($n \geq m + 1$). Матриця X має ранг m . Спостереження $x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(n)}$ утворюють $n(n-1)/2$ різних пар $(x^{(k)} - x^{(l)}), k > l$. Як міру відстані між спостереженнями пари ми будемо використовувати евклідову метрику.

Перший головний компонент визначається як напрямок (вектор $\bar{c}_1$), в якому досягається максимальне значення проєкції серед усіх пар спостережень:

$$\bar{c}_1 = \arg \max_c \max_{k,l} |c(x^{(k)} - x^{(l)})|. \quad (1)$$

У формулі (1) напрямком першого головного компонента збігатиметься з вектором $(x^{(k)} - x^{(l)})$, який з'єднує два спостереження з напрямком c із максимальною відстанню між ними. Тоді найбільше значення проєкції на головний компонент дорівнюватиме максимальній відстані між парами у вибірці та є напрямком із максимальним значенням проєкції. Якщо наявні декілька пар спостережень із максимальною відстанню, то розв'язок не єдиний (цей випадок у статті не розглядатиметься). Тому визначення першого головного компонента зводиться до знаходження пари спостережень із максимальною відстанню. Вектор, який з'єднує цю пару, вказує напрямком головного компонента, а його довжина – навантаження на неї (аналогічно власному значенню у класичному випадку). Для цілей статті i -ий головний компонент обчислюється як проєкція всіх спостережень на простір, утворений нормованими векторами $(\bar{c}_1, \bar{c}_2, \dots, \bar{c}_{i-1})$ попередньо розрахованих головних компонентів. Як результат отримуємо вектори проєкцій $(x_{pr||}^{(1)}, x_{pr||}^{(2)}, \dots, x_{pr||}^{(n)})$ спостережень. Із розкладання отримуємо послідовність проєкцій спостережень на простір, ортогональний раніше знайденим головним компонентам. Потім виконано кроки, подібні до обчислення першого компонента: отримані проєкції утворюють, як і вище, набір $(n(n-1)/2)$ різних пар, серед яких ми знаходимо пару з максимальною відстанню. Вектор, який з'єднує цю пару, визначає напрямок, а його величина – навантаження i -го головного компонента.

Отримавши оцінки РСА, переходимо до класифікації країн на основі цих характеристик. Для цього використовується метод кластеризації k -середніх. Цей алгоритм визначає центри кластерів для попередньо визначеної їх кількості без динамічного корегування останньої. K -means виконує чітку кластеризацію, призначаючи кожний вектор даних окремому кластеру. Алгоритм завершується, коли призначення кластера залишаються незмінними. Процес кластеризації використовує метрику евклідової відстані для вибраних атрибутів.

Перший крок нашої методології спрямований на створення мінімального набору незайвих даних і вибір країн для аналізу. Початкова база даних – це результати опитування людей із різних країн. Вона містить інформацію про 24 859 респондентів за дев'ятьма показниками: віком; освітою; ступенем освіти (бакалаврат, магістратура тощо); країною проживання; нинішньою посадою у компанії; галуззю, у якій зараз працює респондент; посадою згідно з контрактом; наявністю багаторічного досвіду роботи на нинішній посаді, а також рівнем заробітної плати (у діапазонах). Певну інформацію було видалено як помилкову чи відсутню (якщо у відповіді респондента не повідомляється ця інформація, а також відповіді на кшталт «Я не хочу надавати цю інформацію»). Далі для збереження репрезентативності вибірки було вилучено країни з менш ніж 200 респондентами. Вибір країн для аналізу пояснюється наявністю статистичних даних, тобто було відфільтровано країни, за якими таких даних не достатньо. Після внесення змін залишилося 20 країн: Нідерланди,

Іспанія, Німеччина, Румунія, Фінляндія, Данія, Норвегія, Кіпр, Франція, Греція, Ісландія, Литва, Португалія, Швейцарія, Бельгія, Італія, Швеція, Мальта, Люксембург та Ірландія. Загальна чисельність респондентів після корегування даних – 18 181 особа.

Основні характеристики бази даних надано на рис. 1–6.

Обґрунтування вибору показників:
Здобута освіта. Освіта в сучасному світі виступає ключовим чинником економічного зростання [10; 11; 21; 36; 37]. Дослідження цих авторів



Рис. 1. Розподіл респондентів за статтю, осіб

Побудовано авторами за: [35].

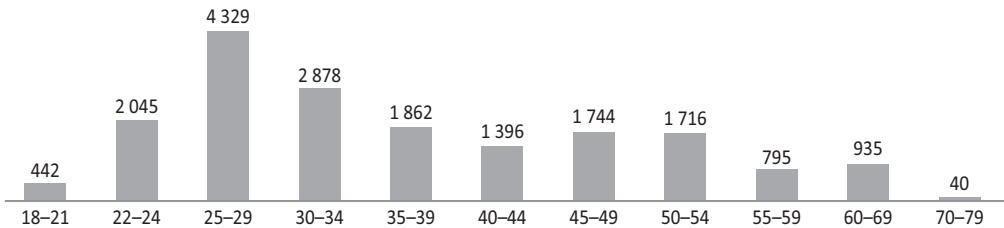


Рис. 2. Розподіл респондентів за віком, осіб, років

Побудовано авторами за: [35].

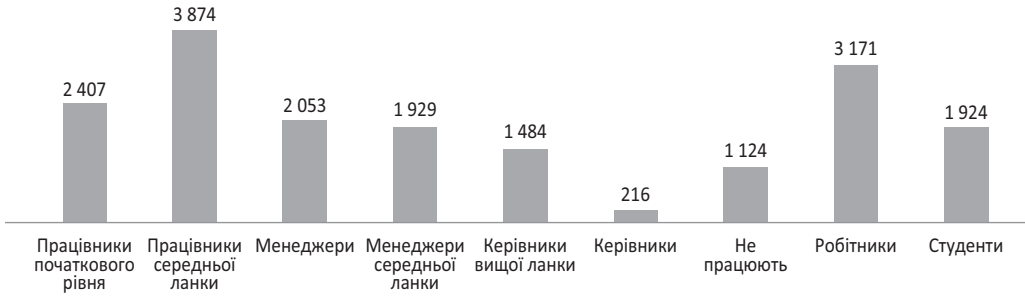


Рис. 3. Розподіл респондентів за нинішньою посадою в компанії, осіб

Побудовано авторами за: [35].

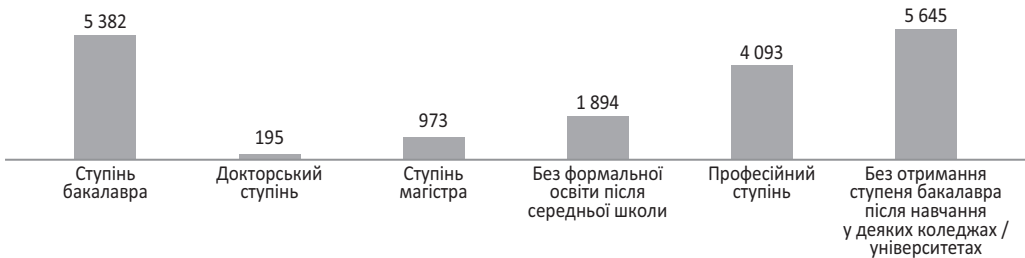


Рис. 4. Розподіл респондентів за освітою, осіб

Побудовано авторами за: [35].

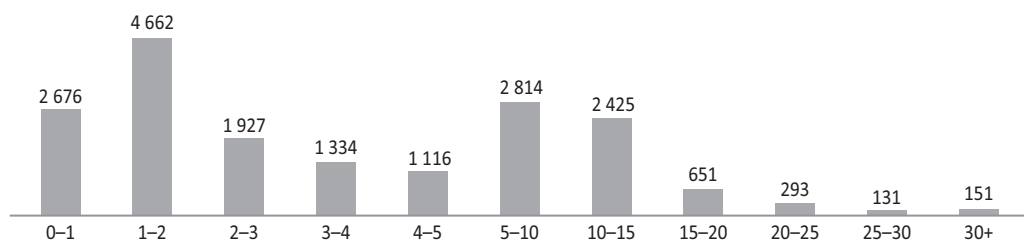


Рис. 5. Розподіл респондентів за стажем роботи в компанії, осіб, років

Побудовано авторами за: [35].

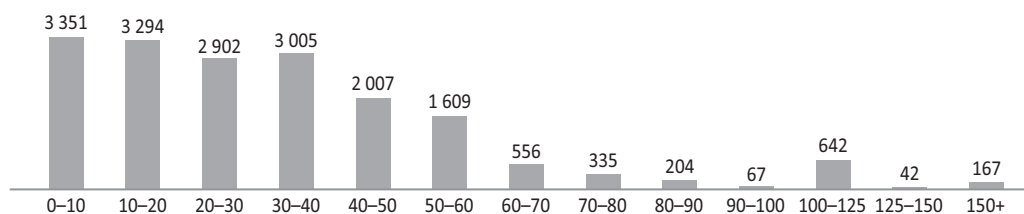


Рис. 6. Розподіл респондентів за сумою річного доходу, осіб, тис. євро

Побудовано авторами за: [35].

довели, що вищий рівень освіти корелює зі збільшенням продуктивності праці й економічним зростанням. У дослідженні Ш. Чанга [37] рівень освіти використано як основний індикатор людського капіталу. Це узгоджується з методологією Г. Патріноса [5], який також наголошує на важливості освіти для оцінювання віддачі від людського капіталу. Для уможливлення подальших розрахунків кожному варіанту відповіді присвоєно його цифрова інтерпретація. Зокрема, присвоєно: без формальної освіти після середньої школи – 1; професійний ступінь – 2; деякі коледжі/університети навчаються без отримання ступеня – 3; ступінь бакалавра – 4; ступінь магістра – 5; докторський ступінь – 6.

Тривалість роботи на одному місці та посада. Ці показники відображають професійні навички й компетенції, що є важливими характеристиками відповідності навичок і знань працівника вимогам компанії

[28]. Вони дають змогу оцінити, як накопичений професійний досвід та ефективність праці зрештою впливають на економічну віддачу й економічний розвиток [30].

Заробітна плата. Дохід працівника використовується як індикатор економічної віддачі від знань і вмінь індивіда [4]. Г. Азмат та Д. Бріттон у своїй праці доводять, що заробітна плата впливає на економічне зростання. Отриманим відповідям про дохід особи за рік присвоєно значення: 0–10 тис. євро – 1; 10–20 тис. євро – 2; 20–30 тис. євро – 3; 30–40 тис. євро – 4; 40–50 тис. євро – 5; 50–60 тис. євро – 6; 60–70 тис. євро – 7; 70–80 тис. євро – 8; 80–90 тис. євро – 9; 90–100 тис. євро – 10; 100–125 тис. євро – 11; 125–150 тис. євро – 12; понад 150 тис. євро – 13.

Галузь. Цей показник дає змогу врахувати відмінності в продуктивності між секторами економіки [1]. Отриманим відповідям присвоєно значення: створення комп'ютерних програм та систем – 1; безпека інформаційних

технологій – 2; аналітика даних – 3; штучний інтелект та машинне навчання – 4; хмарні технології – 5; IT-консалтинг – 6; системне адміністрування – 7; інформаційний менеджмент – 8.

Вік і країна проживання. Ці показники дають змогу врахувати у створюваній моделі демографічні й регіональні особливості, що можуть впливати на економічне зростання. Як доведено Т. Сакамото [32], молодші працівники можуть мати більший потенціал адаптації до нових технологій. Отриманим відповідям про вік респондентів присвоєно значення: 18–21 рік – 1; 22–24 роки – 2; 25–29 років – 3; 30–34 роки – 4; 35–39 років – 5; 40–44 роки – 6; 45–49 років – 7; 50–54 роки – 8; 55–59 років – 9; 60–69 років – 10; 70–79 років – 11. Кожній із 20 досліджуваних країн, поданих в алфавітному порядку, також присвоєно унікальні значення від 1 до 20.

Стать. Цей показник дає можливість врахувати гендерну нерівність щодо доходів [38; 39]. Отриманим відповідям присвоєно значення: жінка – 0; чоловік – 1.

Спочатку аналізуються показники соціального опитування (див. рис. 1–6).

Значення кожного показника було нормалізовано та перетворено на шкалу від 0 до 1. Для нормалізованих

значень кожного показника розраховано його вплив на принциповий компонент, що являє собою вектор багатовимірнього простору. У нашому дослідженні це 9-вимірний простір, відповідний кількості досліджуваних змінних.

На основі скорегованих даних було сформовано головні компоненти та отримано таблицю зі значеннями, спроектованими на їхні головні компоненти (табл. 2). Значення цих компонентів використано для класифікації країн.

РСА0 показує зв'язок між кар'єрним зростанням, що проявляється, зокрема, у збільшенні зарплати, та зростанням ВВП на одну особу. РСА0 відображає кар'єрний і фінансовий статус індивіда: що вища посада, зарплата й вік, то більше значення компонента. Від'ємні показники в галузі та освіті свідчать про те, що сфера освіти й академічний бекграунд протистоять «чистому кар'єрному успіху».

РСА1 відображає вплив сфери і здобутого рівня освіти на зростання ВВП на одну особу. РСА1 фокусується на академічному та професійному профілі, з акцентом на сфері знань і рівні освіти. Низькі значення набувають особи, які старші та обіймають вищі посади, а високі – молоді фахів-

Таблиця 2
Вплив вибраних показників на головні компоненти, од.

Показник	РСА0	РСА1
Стать (присвоєне значення)	-0,700	-0,834
Вік (років, після нормалізації)	0,813	-1,197
Заробітна плата (тис. євро, після нормалізації)	1,582	-0,463
Нинішня позиція в компанії (присвоєне значення посади в компанії, після нормалізації)	1,967	-0,846
Галузь, в якій працює респондент (присвоєне значення галузі після нормалізації)	-1,794	1,295
Напрямок бакалаврату (присвоєне значення напрямку бакалаврату, після нормалізації)	-1,712	1,667
Посада згідно з контрактом (присвоєне значення посади за контрактом, після нормалізації)	1,825	-0,499
Країна проживання (присвоєне значення країни проживання, після нормалізації)	-0,858	-0,367
Освіта (присвоєне значення ступеня освіти, після нормалізації)	-1,096	1,234

Складено авторами за: [35].

ці з яскраво вираженою академічною спеціалізацією.

Центри кластерів показують середню характеристику компонентів для всіх представників цього кластера. Для cluster_0 вплив віддачі від освіти на економічне зростання країни – максимальний із середнім впливом PCA1 для групи країн, які розглядаються (табл. 3), а згенерована модель PCA1 має максимальний вплив із трьох сформованих кластерів попри менший вплив PCA1 порівняно з PCA0. Для cluster_2 змінні, що розглядаються, мають мінімальний вплив на зростання ВВП на одну особу.

Результати кластеризації країн за ступенем впливу освіти на ВВП на одну особу відображено в табл. 4 і на

рис. 7. Авторами отримано три кластери.

Cluster_0 включає розвинуті країни (Нідерланди, Іспанія, Німеччина, Ірландія). Значний ступінь впливу освіти на економічне зростання свідчить про пропорційну структуру ринку праці разом із високим рівнем інноваційного розвитку, де досить великий попит на висококваліфікованих спеціалістів.

Cluster_1, який складається з 9 країн (Франція, Фінляндія, Данія, Норвегія, Швеція, Греція, Швейцарія, Португалія, Бельгія), включає країни, що розвиваються, та розвинуті країни з меншим впливом віддачі від освіти на економічне зростання, ніж у cluster_0. Низький вплив освіти на

Таблиця 3

Центри кластерів, од.

Номер кластера (cluster)	PCA0	PCA1
0	0,541	0,360
1	0,088	0,567
2	0,010	0,225

Складено авторами за: [35].

Таблиця 4

Статистика розмірів PCA та результатів кластеризації, од.

Країна	PCA0	PCA1	Номер кластера
Нідерланди	0,586	0,672	cluster_0
Іспанія	0,567	0,485	cluster_0
Німеччина	0,118	0,750	cluster_0
Ірландія	0,557	0,132	cluster_0
Франція	0,086	0,596	cluster_1
Фінляндія	0,095	0,557	cluster_1
Данія	0,057	0,554	cluster_1
Норвегія	0,051	0,525	cluster_1
Швеція	0,251	0,353	cluster_1
Швейцарія	0,185	0,347	cluster_1
Греція	0,042	0,317	cluster_1
Португалія	0,059	0,334	cluster_1
Бельгія	0,122	0,420	cluster_1
Ісландія	0,109	0,109	cluster_2
Литва	0,112	0,170	cluster_2
Румунія	0,074	0,164	cluster_2
Італія	0,130	0,202	cluster_2
Кіпр	0,034	0,193	cluster_2
Мальта	0,006	0,065	cluster_2
Люксембург	0,462	0,113	cluster_2

Складено авторами за: [35].

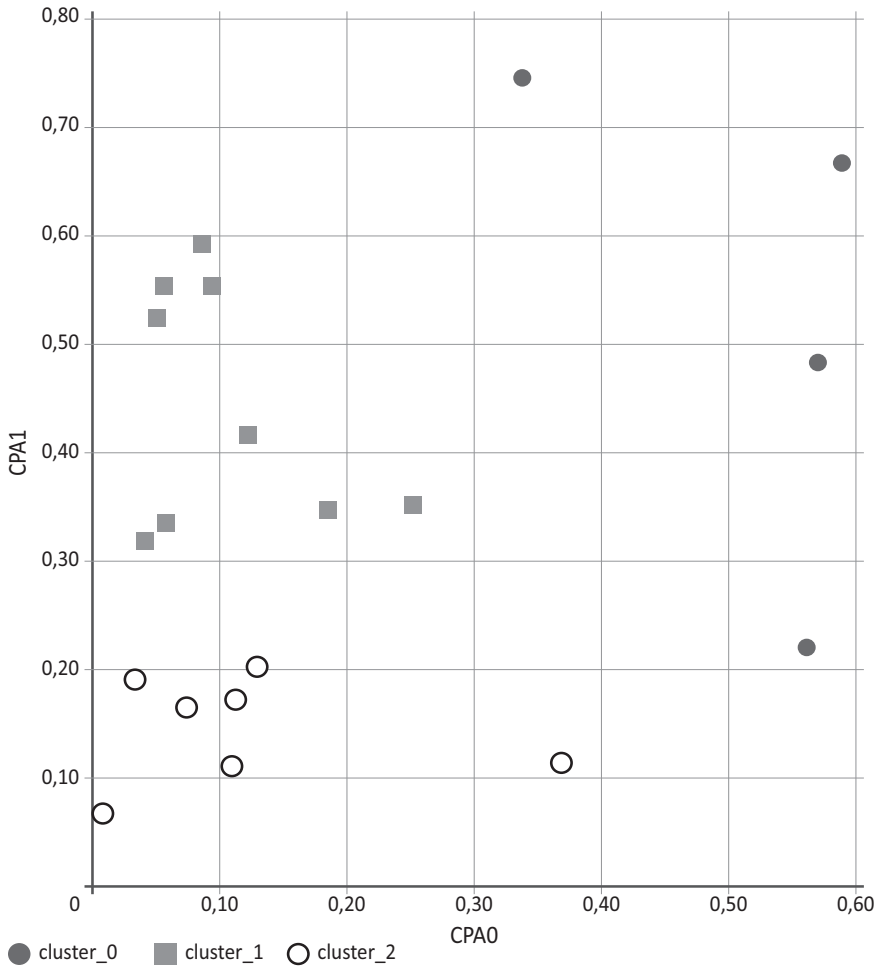


Рис. 7. Результати кластеризації країн за ступенем впливу освіти на ВВП на одну особу

Побудовано авторами за: [35].

ВВП на одну особу, попри високий дохід на одну особу й високий рівень розвитку інновацій (у більшості країн кластера), свідчить про пропорційну структуру ринку праці та перерозподіл доходів населення. Ця пропорційність гарантує, що віддача від освіти є узгодженою для різних секторів і посад. У названих країнах навіть особи з низькою кваліфікацією можуть розраховувати на відносно високу зарплату. Така інноваційна економіка створює загальну віддачу

від освіти, яка залишається стабільною завдяки збалансованому ринку праці та нормативному середовищу. Отже, відсутність прямого зв'язку між рівнем освіти й економічним зростанням у цьому випадку вказує на орієнтовно рівномірний розподіл доходів населення.

Cluster_2 включає 7 країн (Ісландія, Литва, Румунія, Італія, Кіпр, Мальта, Люксембург). У цьому кластері норми впливу освіти на економічне зростання відносно низькі. Цей

кластер містить країни зі значною часткою туристичного сектора або сільського господарства, за винятком Люксембурга та Мальти. У цих секторах рівень освіти має слабку кореляцію з обсягом вироблених товарів, що може пояснити слабкий вплив головних компонентів (РСА0, РСА1) на віддачу від освіти. У країнах цього кластера на віддачу від освіти впливає кілька чинників. Так, сектори туризму й сільського господарства часто вимагають спеціальних навичок і знань, які можуть безпосередньо не стосуватися формальної освіти, тому вплив освіти на економічне зростання менше виражений. Окрім того, ці сектори можуть більше покладатися на практичний досвід та навчання без відриву від виробництва, а не на формальну освіту, що ще більше послаблює пряму залежність між рівнями освіти та економічним результатом. До того ж структура ринку праці в цих країнах дає змогу особам із нижчим рівнем формальної освіти все одно досягати досить високого рівня доходу. А ще нижчі рівні інновацій і продуктивності обмежують віддачу від освіти для висококваліфікованих працівників, що знижує цей показник для країни загалом.

Люксембург і Мальта мають податкові системи, привабливі для підприємців та інвесторів, і не можна визначити прямий зв'язок між кваліфікацією й обсягом наданих послуг. Компаніям, які бажають влаштуватися у цих країнах, надаються великі переваги. Зазначені країни уклали угоди з низкою інших країн про уникнення подвійного оподаткування. Зокрема, Люксембург уклав угоду про звільнення від подвійного податкового обкладення з 86 країнами сві-

ту, у т. ч. із такими потужними економічними державами, як США й Китай. Окрім того, Люксембург підписав угоду з усіма державами-членами ЄС і ОЕСР. У свою чергу, Мальта уклала понад 70 угод про подвійне оподаткування. Ці угоди про звільнення від подвійного податкового обкладення надають компаніям низку переваг. Наприклад, відсутній податок на дивіденди, виплачувані компаніям-резидентам ЄС або резидентам угоди про вилучення подвійного податку, інакше застосовується певний податок на утримання (10–15 %). Також немає податку на утримання відсотків. Ці положення допомагають компаніям мінімізувати податковий тягар і оптимізувати фінансові операції. Завдяки цьому Люксембург та Мальта є країнами з привабливою юрисдикцією для міжнародного бізнесу. До того ж вони можуть похвалитися різноманітною, висококваліфікованою й мультикультурною робочою силою, що робить їх ідеальним місцем для компаній, які шукають глобальний фонд талантів. Ці країни приваблюють багато іноземних громадян з їхніми навичками, досвідом і перспективами. Така мультикультурна робоча сила сприяє творчості, інноваціям та міжнародній співпраці.

Далі статистично визначимо рівень довіри для отриманих результатів (табл. 5). Для цього розрахуємо ймовірність того, що отримані результати виникли випадково (p -значення), тобто ймовірність отримання результатів, які істотно відрізняються від застосованих у проведеному дослідженні. Аналогічно було розраховано F -статистику, що показує міру впливу досліджуваних показників у кожній з розглянутих економік.

Таблиця 5

Коефіцієнти p -значення, F -значення та результати значущості для PCA0 і PCA1

Країна	PCA0			PCA1		
	p -значення	F -значення	Результат	p -значення	F -значення	Результат
Нідерланди	0,021	9,235	Гранична причинність	0,034	8,697	Гранична причинність
Іспанія	0,024	4,014		0,090	7,789	Відсутність причинності
Німеччина	0,046	8,782		0,012	5,639	Гранична причинність
Ірландія	0,063	6,808	Відсутність причинності	0,038	4,243	
Румунія	0,048	3,085	Причинність	0,023	3,678	Причинність
Франція	0,000	3,968		0,031	4,267	Гранична причинність
Фінляндія	0,059	0,562	Відсутність причинності	0,071	0,557	Відсутність причинності
Данія	0,025	6,343	Гранична причинність	0,037	8,209	Гранична причинність
Норвегія	0,037	4,346		0,128	4,007	Відсутність причинності
Швеція	0,093	3,504	Відсутність причинності	0,077	3,192	
Греція	0,015	2,573	Причинність	0,051	4,997	Гранична причинність
Швейцарія	0,052	7,641	Відсутність причинності	0,023	7,817	
Португалія	0,049	3,017	Причинність	0,075	2,836	Відсутність причинності
Бельгія	0,048	5,133	Гранична причинність	0,026	4,834	Гранична причинність
Кіпр	0,049	2,724	Причинність	0,007	2,563	Причинність
Італія	0,009	3,318		0,052	3,119	Відсутність причинності
Мальта	0,070	1,109	Відсутність причинності	0,035	1,036	Причинність
Люксембург	0,021	6,513	Гранична причинність	0,003	6,134	Гранична причинність
Ісландія	0,044	3,917	Причинність	0,008	3,694	Причинність
Литва	0,040	4,329	Гранична причинність	0,047	4,080	Гранична причинність

Складено авторами за: [35].

У класичному аналізі головних компонент (PCA), як самостійному методі, коефіцієнти p (p -значення) та F (F -статистика) зазвичай безпосередньо не відносяться до основних елементів інтерпретації результатів. PCA – це насамперед метод зменшення розмірності та дослідження структури даних, а не метод перевірки статистичних гіпотез у традиційному розумінні.

Однак ці показники можуть з'являтися у контексті PCA, коли він інтегрується з іншими статистичними тестами або використовується для подальшого аналізу. Як і в будь-якому статистичному тесті, низьке p -значення (зазвичай $< 0,05$) вказує на те, що спостережуваний ефект (наприклад, внесок компонента або

зв'язок з іншою змінною) є статистично значущим і малоімовірно виник випадково.

F -статистика у PCA також не є основним показником: подібно до p -значення, F -статистика сама по собі не є частиною базового виведення результатів PCA. F -статистика найчастіше використовується для перевірки про значущість регресійної моделі. Велика F -статистика з низьким p -значенням зазвичай вказує на те, що дисперсія, пояснена моделлю або компонентом, значно більша, ніж дисперсія, яка пояснюється випадковістю чи залишковою дисперсією.

Отже, PCA першочергово відноситься до методів дослідження даних та зменшення розмірності, що не генерує p -значення або F -статистики як

свої первинні результати. Його основні результати – це головні компоненти.

Низьке значення p свідчить про виправданість побудованої моделі впливу освіти та професійних навичок на віддачу від освіти (загальне значення p для $РСА0$ становить 0,040, для $РСА1$ – 0,043) (див. табл. 5). Існують докази того, що ступінь довіри до побудованої моделі відрізняється по країнах. Але загалом для розглянутої групи європейських країн побудована модель відображає вплив професійних навичок на зростання ВВП на одну особу. Пояснимо деякі терміни, а саме «гранична причинність», «причинність», «відсутність причинності». Вони вказують на наявність і силу зв'язку між досліджуваними змінними. Термін «гранична причинність» (marginal causality) означає, що причинний зв'язок перебуває на межі статистичної значущості, тобто такий вплив існує, але його вплив чи докази не дуже сильні або ж він є «периферійним» до основного ефекту. Термін «причинність», або «каузальність» (causality) означає, що зміна однієї змінної (причини) систематично й безпосередньо спричиняє зміну іншої змінної (наслідку). Це не просто кореляція (співвідношення, коли дві змінні змінюються разом), а прямий вплив. Термін «відсутність причинності» (no causality) означає, що немає статистично значущих доказів чи логічного обґрунтування для твердження, що одна змінна безпосередньо впливає на іншу. У цьому випадку, хоча між змінними й спостерігається певна кореляція, вона вважається випадковою, непрямою (через третю змінну) або неістотною для встановлення причинно-наслідкового зв'язку.

$РСА0$ показує, що реальні професійні навички, здобуті як формально, так і неформально, мають статистично значущий вплив на продуктивність економіки. Це узгоджується з концепцією людського капіталу як результату не лише освіти, а й досвіду, адаптивності та практики. У більшості країн, для яких p -значення менше ніж 0,05 (Нідерланди – 0,021, Німеччина – 0,046, Франція – 0, Італія – 0,009), статистично значущий вплив професійних навичок на ВВП на одну особу є відчутним. F -значення для них вище за 3–4, отже, модель має адекватну пояснювальну силу.

$РСА1$, зосереджуючись на формальній освіті, демонструє слабший або варіативний зв'язок, оскільки висока формальна освіта не завжди призводить до реального внеску у ВВП на одну особу, особливо в країнах із розвиненим сектором послуг, перерозподілом доходів чи альтернативними механізмами передачі знань (ідеться про виробничі кластери, сімейний бізнес тощо). Зокрема, Німеччина (p -значення – 0,012), Кіпр (0,007), Ісландія (0,008) мають статистично значущий зв'язок між освітнім профілем і ВВП на одну особу. Водночас Норвегія (0,128), Швеція (0,077), Іспанія (0,090) демонструють відсутність статистично значущого зв'язку між освітнім профілем і ВВП на одну особу.

Отже, збільшення людського капіталу веде до зростання ВВП на одну особу в більшості країн, що розглядаються (див. табл. 5). Такий причинно-наслідковий зв'язок передбачає, що розвиток людського капіталу забезпечує основу для підвищення ефективності трудового процесу, можливо, відображаючи як навички,

отримані під час навчання в університеті, так і неформальні навички й уміння, набуті в процесі роботи.

В Ірландії, Фінляндії, Швеції, Швейцарії не спостерігається прямого впливу кар'єрного й фінансового статусу індивіда на ВВП на одну особу. Це може бути пов'язано, по-перше, з наявною системою перерозподілу доходів, що призводить до мінімальних відмінностей у рівні доходів людей з освітою та без неї. По-друге, демократичний устрій дає можливість громадянам володіти невеликими підприємствами й передавати традиції сімейного виробничого процесу особам, що не мають формальної освіти (ідеться про ферми, гостьові будинки, виробництво сиру тощо). Як уже зазначалось, економіки Мальти й Люксембурга є нетиповими для країн Європи. Основу цих економік становлять фінансові послуги (насамперед пільговий режим оподаткування). Галузі туризму та нерухомості не показують прямої залежності між освітою і зростанням зарплати, а основні необхідні навички набуваються в процесі роботи. Іспанія, Норвегія, Швеція, Греція, Португалія не демонструють впливу PSA_0 на зростання ВВП на одну особу.

Таким чином, у третині країн спостерігається сильний, послідовний причинно-наслідковий зв'язок між освітою та ВВП на одну особу; у майже половині країн – змішаний або асиметричний причинно-наслідковий зв'язок, що свідчить про складні, специфічні освітні ефекти. Водночас кілька країн, а саме Фінляндія та Швеція, не демонструють причинно-наслідкового зв'язку тому, що r -значення не є статистично значущими (див. табл. 5). Це вказує на те,

що вплив освіти на ВВП на одну особу залежить від контексту.

Далі визначимо вплив кожного головного компонента на зростання ВВП на одну особу. Модель залежності річного приросту ВВП на одну особу від PSA_0 має вигляд:

$$\begin{aligned} \text{Річний приріст ВВП на одну особу} = \\ = -0,4040 + 1,8166 \text{ } PSA_0. \end{aligned} \quad (2)$$

Відповідно до формули (2), наявний позитивний вплив створеного PSA_0 на зростання ВВП на одну особу: з кожною одиницею збільшення PSA_0 річний темп зростання ВВП на одну особу збільшується на 1,8166, починаючи з базового темпу зниження 0,4040. Такий незначний вплив чинників на ВВП на одну особу зумовлений обмеженою кількістю показників, що характеризують віддачу від освіти, а також численністю цих чинників.

Далі розглянемо модель лінійної регресії, яка передбачає річний темп зростання ВВП на одну особу на основі першого головного компонента (PSA_1):

$$\begin{aligned} \text{Річний приріст ВВП на одну особу} = \\ = 0,1714 + 0,0069 \text{ } PSA_1. \end{aligned} \quad (3)$$

Рівняння (3) свідчить про те, що PSA_1 позитивно впливає на річний темп зростання ВВП на одну особу: з кожною одиницею збільшення PSA_1 річний темп зростання ВВП на одну особу зростає на 0,0069, починаючи з базового темпу зростання 0,1714. Отже, обидва компоненти, PSA_0 і PSA_1 , позитивно впливають на зростання ВВП на одну особу в країнах ЄС, при цьому вплив PSA_0 істотніший, ніж PSA_1 . Водночас в інноваційно розвиненіших економіках такий вплив сильніший. Це пов'язано з використанням складнішого обладнання, більшою кількістю науково-дослідних проєктів, а також необхідністю постійного

професійного розвитку. Порівняння значень коефіцієнтів у регресійних моделях (2) і (3) свідчить, що зв'язок між рівнем освіти та зростанням ВВП на одну особу в європейських країнах посилюється зі збільшенням інноваційної й технологічної складових економіки. Цей висновок підкреслює важливість сприяння інноваціям і постійному професійному розвитку для посилення економічного зростання.

Отже, нами побудовано моделі комплексного впливу чинників, які характеризують віддачу від освіти, а також доведено їх позитивний вплив на ВВП на одну особу.

На основі попередніх наукових досліджень у статті структуровано різні погляди на поняття людського капіталу та особливості його розрахунку. Виявлено, що віддача від освіти може бути вищою за норми віддачі від фізичного капіталу й не має обмежень, оскільки витрати на освіту можна розглядати як інвестиції. Аналіз наукової літератури обґрунтовує зростання впливу людського капіталу на економіку, зокрема норми прибутку від освіти на ВВП на одну особу.

У представленому дослідженні створено два фундаментальних компоненти, які характеризують вплив віддачі від освіти та професійних навичок на зростання ВВП на одну особу в європейських країнах. За допомогою РСА авторами розраховано ступінь впливу дев'яти показників, що характеризують віддачу від освіти у 20 країнах. Отримані оцінки параметрів моделі для кожної з цих країн дають можливість визначити ступінь комплексного впливу показників на ВВП на одну особу.

У результаті ми отримали три однорідні групи країн. До першої з

них увійшли розвинуті країни з високою часткою інноваційного сектора, в яких віддача від освіти є помірною, але вищою від середньої. Cluster_1 включає розвинуті країни з помірними величинами норми прибутку від освіти; cluster_2 – переважно країни з високою часткою туризму чи сільського господарства, де вплив освіти на обсяг вироблених товарів або послуг істотно менший, ніж в інноваційно-інтенсивних секторах, за винятком Мальти та Люксембурга. На основі отриманих значень коефіцієнтів РСА країни поділяються на кластери, а потім перевіряється вплив коефіцієнтів на їхні показники ВВП на одну особу.

Аналіз засвідчив позитивний вплив обох основних компонентів на зростання ВВП на одну особу в європейських країнах, при цьому вплив РСА0 істотніший порівняно з РСА1. Такий вплив, хоч і незначний, підкреслює важливість вибраних показників для характеристики віддачі від освіти та їхньої ролі в економічному зростанні. До того ж сильніший ефект спостерігається в інноваційно розвинутих економіках. Це пояснюється використанням ними складнішого обладнання, більшою кількістю науково-дослідних проєктів і необхідністю постійного професійного розвитку. РСА перетворює вихідні змінні на головні компоненти та рівняння моделей лінійної регресії окремо для РСА0 й РСА1. Ці моделі представляють лінійні комбінації вихідних змінних. Однак зв'язок між освітою та економічною віддачею може бути нелінійним, і РСА може не вловлювати ці складні зв'язки точно й ефективно.

Результати дослідження узгоджуються з висновками Е. Ханушека

та Л. Весмана [18], що країни з високим рівнем інновацій демонструють сильніший зв'язок між освітою й економічним зростанням. Це підтверджує cluster_0 у цьому дослідженні, до якого ввійшли високо-розвинуті країни.

Cluster_1, що включає країни з помірним впливом людського капіталу, відповідає висновкам М. Кічурчак [20], яка показала, що в країнах із розвинутою, але менш інноваційною економікою віддача від освіти може бути не так виражена внаслідок збалансованості ринку праці.

Cluster_2, для якого вплив людського капіталу мінімальний, узгоджується з висновками В. Істерлі та Р. Левіна [17], що в країнах із величезним переважанням сільського господарства й туризму роль формальної

освіти може бути менш значущою через специфіку цих галузей.

Незважаючи на обґрунтованість вибору показників та отриманих висновків проведено дослідження має обмеження, що буде темою подальших експериментів, а саме:

1. У дослідженні не враховувалась якість освіти, проте це може бути важливішим фактором, ніж її тривалість [18].

2. У дослідження включено лише 20 європейських країн, що не дає змоги оцінити різницю між економічними регіонами.

3. У статті не розглядався вплив інших галузей економіки або аспектів економічного розвитку на стале економічне зростання. Це зроблено умисно, з метою спрощення створеної моделі та для зосередження уваги на обраному напрямку.

Список використаних джерел

1. Chen T, Zhou S. The impact of digital economy on the upgrading of manufacturing structure. *Plos One*. 2024. Vol. 19(7): e0307184. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0307184>.
2. Human capital development in knowledge economies / A. Hamed et al. *Journal of Ecohumanism*. 2024. Vol. 3. P. 798–816. DOI: <https://doi.org/10.62754/joe.v3i5.3938>.
3. Olafenwa A., Magaji N., Egwhakhe J. A., Nwankwere I. A. Effect of human capital and social capital on financial performance of small and medium enterprises. *Uniport Journal of Business, Accounting & Finance Management Department of Accounting*. 2024. Vol. 15, No. 2. P. 128–152. URL: <https://repository.mouau.edu.ng/work/view/effect-of-human-capital-development-on-the-financial-performance-of-banks-in-nigeria-onyirimba-chika-d-7-2>.
4. Azmat G., Britton J. Labor market returns to higher education. *Oxford Research Encyclopedia of Economics and Finance*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190625979.013.660>.
5. Patrinos H. The returns to education. *Greece – Europe 2030: Education, Research, Innovation, New technologies, Institutions and Sustainable Development*. 2024. Vol. 3. P. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.12681/elrie.7034>.
6. Al-Hasnawi M., Chin L., Mazlan N. S., Ahmad M. Evaluating the role of institutional quality in the relationship between education expenditure and manufacturing growth: insights from quantile regression models. *Advances in Social Sciences Research Journal*. 2024. Vol. 11, No. 9. P. 242–260. DOI: <https://doi.org/10.14738/assrj.119.17617>.
7. Koenker R., Bassett G. Regression quantiles. *Econometrica*. 1978. Vol. 46, No. 1. P. 33–50. URL: <http://www.econ.uiuc.edu/~roger/NAKE/rqs78.pdf>.

8. Becker G. S. Human capital: a theoretical and empirical analysis, with special reference to education. Chicago : University of Chicago Press, 1993. DOI: <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226041223.001.0001>.
9. Becker G., Chiswick B. Education and distribution of earnings. *American Economic Review*. 1966. Vol. 56. P. 358–369.
10. Zafar M. B., Jafar A. Human capital and Islamic banking: a systematic literature review. *Journal of Islamic Accounting and Business Research*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1108/jiabr-11-2023-0376>.
11. Nelson R., Phelps E. Investment in Humans, Technological Diffusion, and Economic Growth. *The American Economic Review*. 1966. Vol. 56. P. 69–75.
12. Romer P. M. Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*. 1989. Vol. 98. P. 71–102. DOI: <https://doi.org/10.1086/261725>.
13. Romer P. Human Capital and Growth: Theory and Evidence. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*. 1990. Vol. 32. P. 251–286. DOI: [https://doi.org/10.1016/0167-2231\(90\)90028-J](https://doi.org/10.1016/0167-2231(90)90028-J).
14. Abramovitz M. Catching Up, Forging Ahead, and Falling Behind. *The Journal of Economic History*. 1986. Vol. 46, No. 2. P. 385–406. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0022050700046209>.
15. Klenow P., Rodriguez-Clare A. The Neoclassical Revival in Growth Economics: Has It Gone Too Far? *NBER Macroeconomics Annual*. 1997. Vol. 12. P. 73–114.
16. Hall R. E., Jones C. Levels of Economic Activity across Countries. *American Economic Review*. 1997. Vol. 87, No. 2. P. 173–177. URL: https://econpapers.repec.org/article/aeaarec/v_3a87_3ay_3a1997_3ai_3a2_3ap_3a173-77.htm.
17. Easterly W., Levine R. Tropics, Germs, and Crops: How Endowments Influence Economic Development. *Journal of Monetary Economics*. 2002. Vol. 50. P. 3–39. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0304-3932\(02\)00200-3](https://doi.org/10.1016/S0304-3932(02)00200-3).
18. Hanushek E., Woessmann L. The Knowledge Capital of Nations: Education and the Economics of Growth. Cambridge, MA, 2015. DOI: <https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262029179.001.0001>.
19. Joseph C., Leyaro V., Ndanshau M. Education and labour earnings inequality in Tanzania: evidence from quantile regression analysis. *Tanzanian Economic Review*. 2024. Vol. 13, No. 2. DOI: <https://doi.org/10.56279/ter.v13i2.137>.
20. Kichurchak M. Human capital in the sustainable development of EU countries: a longitudinal data analysis. *Economic Forum*. 2024. Vol. 14. P. 18–27. DOI: <https://doi.org/10.62763/cb/1.2024.18>.
21. Chiswick B. R. Earnings Inequality and Economic Development. *The Quarterly Journal of Economics*. 1971. Vol. 85, No. 1. P. 21–39. DOI: <https://doi.org/10.2307/1881838>.
22. Wang L. How does education affect the earnings distribution in urban China? *Oxford Bulletin of Economics and AMP Statistics*. 2011. Vol. 75. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.2012.00697.x>.
23. Fan Y., Yi J., Zhang J. Rising intergenerational income persistence in China. *American Economic Journal: Economic Policy*. 2021. Vol. 13. P. 202–230. DOI: <https://doi.org/10.1257/pol.20170097>.
24. Zou W., Ma R. An extended family perspective on intergenerational human capital transmission in China. *Social indicators research*. 2024. Vol. 174. P. 1101–1139. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11205-024-03427-3>.
25. Imai M. Kaizen: the key to Japan's competitive success. New York : McGraw-Hill education, 1986. URL: <https://maaw.info/ArticleSummaries/ArtSumImaiKaizen1986.htm>.
26. Becker H. S. Whose side are we on? *Social Problems*. 1967. Vol. 14, No. 3. P. 239–247. DOI: <https://doi.org/10.1525/sp.1967.14.3.03a00010>.

27. *Becker G. S.* Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education. Chicago : University of Chicago Press, 1964. URL: <https://www.nber.org/books-and-chapters/human-capital-theoretical-and-empirical-analysis-special-reference-education-second-edition/front-matter-human-capital-theoretical-and-empirical-analysis-special-reference-education>.
28. *Shultz T. R.* From agency to intention: A rule-based, computational approach. *Natural theories of mind: Evolution, development and simulation of everyday mindreading* / A. Whiten (Ed.). Basil Blackwell, 1991. P. 79–95.
29. *Mood C.* More than money: social class, income, and the intergenerational persistence of advantage. *SocioLogical Science*. 2017. Vol. 4. P. 263–287. DOI: <https://doi.org/10.15195/v4.a12>.
30. *Richard O.* Racial Diversity, Business Strategy, and Firm Performance: A Resource-Based View. *Academy of Management Journal*. 2000. Vol. 43. P. 164–177. DOI: <https://doi.org/10.2307/1556374>.
31. *Hitt M. A., Bierman L., Shimizu K., Kochhar R.* Direct and Moderating Effects of Human Capital on Strategy and Performance in Professional Service Firms: A Resource-Based Perspective. *The Academy of Management Journal*. 2001. Vol. 44, No. 1. P. 13–28. DOI: <https://doi.org/10.2307/3069334>.
32. *Sakamoto T.* Four worlds of productivity growth: a comparative analysis of human capital investment policy and productivity growth outcomes. *International Political Science Review*. 2017. Vol. 39, No. 4. P. 531–550. DOI: <https://doi.org/10.1177/0192512116685413>.
33. *Juanhua M., Donglin Xu.* China's Economic Growth from a Comprehensive Analysis Perspective: A Synergistic Application of GRA, PCA, and GRU Models. *Journal of Economics and Management Sciences*. 2025. Vol. 8, No. 1. P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.30560/jems.v8n1p1>.
34. *Riyadi D., Hendajany N.* Mean years of schooling inequality and return on education: analysing the main determining factors. *Journal of Economics and Sustainability*. 2023. Vol. 5, No. 1. P. 43–58. DOI: <https://doi.org/10.32890/jes2023.5.1.4>.
35. Education at a glance: Education, migration and labour market outcomes. *OECD Library*. 2023. URL: https://www.oecd-ilibrary.org/education/data/oecd-education-statistics/education-at-a-glance-education-migration-and-labour-market-outcomes-edition-2023_35cbf466-en.
36. *Kadia V., Parmar P.* The impact of education on the economic growth of India. *EPRA International Journal of Economic and Business Review-Peer Reviewed Journal*. 2025. Vol. 13, No. 3. P. 61–69. DOI: <https://doi.org/10.36713/epra20749>.
37. *Zhang S.* The development of higher education and regional economic growth: the mediating effects of regional innovation capacity and human capital. *Journal of Education and Educational Research*. 2025. Vol. 12, No. 2. P. 200–208. URL: <https://drpress.org/ojs/index.php/jeer/article/view/29970/29389>.
38. *Trzcińska K.* Income Inequalities Between Women And Men In Selected European Countries. *Folia Oeconomica Stetinensia*. 2024. Vol. 24, No. 2. P. 327–343. DOI: <https://doi.org/10.2478/fofi-2024-0028>.
39. *Gariba M., Prokop V.* Does Women in Politics and Income Inequality Affect Social and Economic Well-Being? Insights from OECD Countries. *Journal of the Knowledge Economy*. 2024. P. 1–22. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13132-024-02203-5>.

Larysa Ivashko

Ph. D. (Economics), Associate Professor, Odesa I. I. Mechnykov National University, Odesa, Ukraine, ivashkolm@onu.edu.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3921-9072>

Olga Iurasova

Ph. D. (Economics), Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania, olga.iurasova@vilniustech.lt

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9976-9124>

Oleksandr Maksymov

Odesa I. I. Mechnykov National University, Odesa, Ukraine, oleksandr.s.maksymov@onu.edu.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8951-5251>

Oleksandr Maksymov

Odesa I. I. Mechnykov National University, Odesa, Ukraine, o.maksymov@onu.edu.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-7962-9185>

ASSESSMENT OF THE RELATIONSHIP BETWEEN EDUCATION, SKILLS AND SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENT BASED ON PCA ANALYSIS

Abstract. *The purpose of this study is to assess the impact of employees' education and professional skills on economic growth in European countries. The paper analyses current trends to identify the most influential factors driving economic development of countries. The economy is increasingly analysed in terms of the roles of creativity, digitalisation and innovation. Methods for determining the value of human capital are summarised according to criteria such as investment, income, historical and expert assessments. Using principal component analysis (PCA), the study determines the rates of return on education for 20 European countries. Based on the available data, two main components are identified to assess the overall impact of these indicators on GDP per capita growth. These components make it possible to evaluate the contribution of education and employees' professional skills to the economic development of each country, particularly to GDP per capita growth. The k-means clustering method was applied to classify countries according to the degree to which the main components influence economic development, resulting in three clusters. The first cluster includes developed countries with a high level of innovation, the second – developed countries with a lower level of innovation and average returns to education, and the third – countries with predominantly non-innovative sectors. Regression models are subsequently built to analyse the impact of each component on GDP per capita growth and to determine the extent of that impact. Based on a comparison of the coefficients of the constructed regression models, it is concluded that the relationship between the level of education and economic growth in a number of European countries becomes more pronounced under the condition of the development of the innovative and technological components of the economy.*

Keywords: *human capital management, economic growth, sustainable development, principal component analysis, level of education.*

References

1. Chen, T., & Zhou, S. (2024). The impact of digital economy on the upgrading of manufacturing structure. *Plos One*, 19(7), e0307184. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0307184>.

2. Hamed, A., Salman, A., Yassen, M., Aldabagh, D., & Savenko, V. (2024). Human capital development in knowledge economies. *Journal of Ecohumanism*, 3, 798-816. DOI: <https://doi.org/10.62754/joe.v3i5.3938>.
3. Olafenwa, A., Magaji, N., Egwhakhe, J. A., & Nwankwere, I. A. (2024). Effect of human capital and social capital on financial performance of small and medium enterprises. *Uniport Journal of Business, Accounting & Finance Management Department of Accounting*, 15(2), 128-152. Retrieved from <https://repository.mouau.edu.ng/work/view/effect-of-human-capital-development-on-the-financial-performance-of-banks-in-nigeria-onyirimba-chika-d-7-2>.
4. Azmat, G., & Britton, J. (2024). Labor market returns to higher education. *Oxford Research Encyclopedia of Economics and Finance*. DOI: <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190625979.013.660>.
5. Patrinos, H. (2024). The returns to education. *Greece – Europe 2030: Education, Research, Innovation, New technologies, Institutions and Sustainable Development*, Proceedings of the 3rd International Scientific Conference, 3, 1-14. DOI: <https://doi.org/10.12681/elrie.7034>.
6. Al-Hasnawi, M., Chin, L., Mazlan, N. S., & Ahmad, M. (2024). Evaluating the role of institutional quality in the relationship between education expenditure and manufacturing growth: insights from quantile regression models. *Advances in Social Sciences Research Journal*, 11, 242-260. DOI: <https://doi.org/10.14738/assrj.119.17617>.
7. Koenker, R., & Bassett, G. (1978). Regression quantiles. *Econometrica*, 46(1), 33-50. Retrieved from <http://www.econ.uiuc.edu/~roger/NAKE/rqs78.pdf>.
8. Becker, G. S. (1993). *Human capital: a theoretical and empirical analysis, with special reference to education*. Chicago: University of Chicago Press. DOI: <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226041223.001.0001>.
9. Becker, G., & Chiswick, B. (1966). Education and distribution of earnings. *American Economic Review*, 56, 358-369.
10. Zafar, M. B., & Jafar, A. (2024). Human capital and Islamic banking: a systematic literature review. *Journal of Islamic Accounting and Business Research*. DOI: <https://doi.org/10.1108/jiabr-11-2023-0376>.
11. Nelson, R., & Phelps, E. (1966). Investment in Humans, Technological Diffusion, and Economic Growth. *The American Economic Review*, 56, 69-75.
12. Romer, P. M. (1989). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, 98, 71-102. DOI: <https://doi.org/10.1086/261725>.
13. Romer, P. (1990). Human Capital and Growth: Theory and Evidence. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, 32, 251-286. DOI: [https://doi.org/10.1016/0167-2231\(90\)90028-J](https://doi.org/10.1016/0167-2231(90)90028-J).
14. Abramovitz, M. (1986). Catching Up, Forging Ahead, and Falling Behind. *The Journal of Economic History*, 46(2), 385-406. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0022050700046209>.
15. Klenow, P., & Rodriguez-Clare, A. (1997). The Neoclassical Revival in Growth Economics: Has It Gone Too Far? *NBER Macroeconomics Annual*, 12, 73-114.
16. Hall, R. E., & Jones, C. (1997). Levels of Economic Activity across Countries. *American Economic Review*, 87, 173-177. Retrieved from https://econpapers.repec.org/article/aeaecrev/v_3a87_3ay_3a1997_3ai_3a2_3ap_3a173-77.htm.
17. Easterly, W., & Levine, R. (2002). Tropics, Germs, and Crops: How Endowments Influence Economic Development. *Journal of Monetary Economics*, 50, 3-39. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0304-3932\(02\)00200-3](https://doi.org/10.1016/S0304-3932(02)00200-3).
18. Hanushek, E., & Woessmann, L. (2015). *The Knowledge Capital of Nations: Education and the Economics of Growth*. Cambridge, MA. DOI: <https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262029179.001.0001>.

19. Joseph, C., Leyaro, V., & Ndanshau, M. (2024). Education and labour earnings inequality in Tanzania: evidence from quantile regression analysis. *Tanzanian Economic Review*, 13. DOI: <https://doi.org/10.56279/ter.v13i2.137>.
20. Kichurchak, M. (2024). Human capital in the sustainable development of EU countries: a longitudinal data analysis. *Economic Forum*, 14, 18-27. DOI: <https://doi.org/10.62763/cb/1.2024.18>.
21. Chiswick, B. R. (1971). Earnings Inequality and Economic Development. *The Quarterly Journal of Economics*, 85(1), 21-39. DOI: <https://doi.org/10.2307/1881838>.
22. Wang, L. (2011). How does education affect the earnings distribution in urban China? *Oxford Bulletin of Economics and AMP Statistics*, 75. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.2012.00697.x>.
23. Fan, Y., Yi, J., & Zhang, J. (2021). Rising intergenerational income persistence in China. *American Economic Journal: Economic Policy*, 13, 202-230. DOI: <https://doi.org/10.1257/pol.20170097>.
24. Zou, W., & Ma, R. (2024). An extended family perspective on intergenerational human capital transmission in China. *Social indicators research*, 174, 1101-1139. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11205-024-03427-3>.
25. Imai, M. (1986). *Kaizen: the key to Japan's competitive success*. New York: McGraw-Hill education. Retrieved from <https://maaw.info/ArticleSummaries/ArtSumImaiKaizen1986.htm>.
26. Becker, H. S. (1967). Whose side are we on? *Social Problems*, 14(3), 239-247. DOI: <https://doi.org/10.1525/sp.1967.14.3.03a00010>.
27. Becker, G. S. (1964). *Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education*. Chicago: University of Chicago Press. Retrieved from <https://www.nber.org/books-and-chapters/human-capital-theoretical-and-empirical-analysis-special-reference-education-second-edition/front-matter-human-capital-theoretical-and-empirical-analysis-special-reference-education>.
28. Shultz, T. R. (1991). From agency to intention: A rule-based, computational approach. *Natural theories of mind: Evolution, development and simulation of everyday mindreading*, 79-95. Basil Blackwell.
29. Mood, C. (2017). More than money: social class, income, and the intergenerational persistence of advantage. *SocioLogical Science*, 4, 263-287. DOI: <https://doi.org/10.15195/v4.a12>.
30. Richard, O. (2000). Racial Diversity, Business Strategy, and Firm Performance: A Resource-Based View. *Academy of Management Journal*, 43, 164-177. DOI: <https://doi.org/10.2307/1556374>.
31. Hitt, M. A., Bierman, L., Shimizu, K., & Kochhar, R. (2001). Direct and Moderating Effects of Human Capital on Strategy and Performance in Professional Service Firms: A Resource-Based Perspective. *The Academy of Management Journal*, 44(1), 13-28. DOI: <https://doi.org/10.2307/3069334>.
32. Sakamoto, T. (2017). Four worlds of productivity growth: a comparative analysis of human capital investment policy and productivity growth outcomes. *International Political Science Review*, 39(4), 531-550. DOI: <https://doi.org/10.1177/0192512116685413>.
33. Juanhua, M., & Donglin, Xu. (2025). China's Economic Growth from a Comprehensive Analysis Perspective: A Synergistic Application of GRA, PCA, and GRU Models. *Journal of Economics and Management Sciences*, 8(1), 1-15. DOI: <https://doi.org/10.30560/jems.v8n1p1>.
34. Riyadi, D., & Hendajany, N. (2023). Mean years of schooling inequality and return on education: analysing the main determining factors. *Journal of Economics and Sustainability*, 5(1), 43-58. DOI: <https://doi.org/10.32890/jes2023.5.1.4>.

35. OECD Library. (2023). *Education at a glance: Education, migration and labour market outcomes*. Retrieved from https://www.oecd-ilibrary.org/education/data/oecdeducation-statistics/education-at-a-glance-education-migration-and-labour-market-outcomes-edition-2023_35cbf466-en.

36. Kadia, V., & Parmar, P. (2025). The impact of education on the economic growth of India. *EPRA International Journal of Economic and Business Review-Peer Reviewed Journal*, 13(3), 61-69. DOI: <https://doi.org/10.36713/epra20749>.

37. Zhang, S. (2025). The development of higher education and regional economic growth: the mediating effects of regional innovation capacity and human capital. *Journal of Education and Educational Research*, 12(2), 200-208. Retrieved from <https://drpress.org/ojs/index.php/jeer/article/view/29970/29389>.

38. Trzcińska, K. (2024). Income Inequalities Between Women And Men In Selected European Countries. *Folia Oeconomica Stetinensia*, 24(2). 327-343. 10.2288/10. DOI: <https://doi.org/10.2478/fofi-2024-0028>.

39. Gariba, M., & Prokop, V. (2024). Does Women in Politics and Income Inequality Affect Social and Economic Well-Being? Insights from OECD Countries. *Journal of the Knowledge Economy*, 1-22. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13132-024-02203-5>.