

УДК 330.4:[330.3+37]

Петрова Анжела Юріївна

*кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри економічної кібернетики та прикладної економіки
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна*

Petrova Anzhela

*PhD in Physics and Mathematics,
Associate Professor of the Department of
Economic Cybernetics and Applied Economics
V. N. Karazin Kharkiv National University
ORCID: 0000-0003-1773-1427*

Дейнека Маргарита Олександрівна

*старший викладач кафедри
економічної кібернетики та прикладної економіки
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна*

Deyneka Margarita

*Senior Lecturer of the Department of
Economic Cybernetics and Applied Economics
V. N. Karazin Kharkiv National University
ORCID: 0000-0001-9412-7122*

ІННОВАЦІЇ ТА ОСВІТА: КОРЕЛЯЦІЙНО-РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ INNOVATION AND EDUCATION: CORRELATION-REGRESSION ANALYSIS

Анотація. *Інновації в сучасних умовах стають важливими фактором впливу, зокрема для розвитку національної економіки країни, підвищення рівня людського розвитку та в соціальній сфері. Цим*

обґрунтовується необхідність дослідження взаємозв'язку відповідних соціально-економічних показників з інноваціями. В нашій роботі представлено результати кореляційно-регресійного аналізу між індексом інноваційних можливостей (Глобальний індекс інновацій) та спектром освітніх показників (очікувана тривалість навчання в роках, середня кількість років, що витрачені на навчання та Індекс освіти). Статистичні дані показників за 2021 рік. Вибірка включає 123 країни, що відрізняються за географічною ознакою та приналежністю країни до дохідної групи. Проведено кореляційний аналіз для вибірки в цілому, що дозволив виявити однаковий характер лінійного зв'язку (прямий та тісний) між індексом інновацій та обраними освітніми показниками. Для груп країн за рівнем доходу між індексом освіти та інновацій виявлено різний за характером прямий лінійний зв'язок: тісний між показниками для високодохідних країн, а слабкий – для країн з доходом вище середнього. Побудовано однофакторні лінійні моделі регресії та багатфакторну, які демонструють вплив освітніх показників на індекс інновацій. Представлено розрахунки щодо перевірки параметрів моделей на статистичну значимість (t-критерій Стьюдента) та адекватність моделей в цілому (F-критерій Фішера), а також порівняння результатів побудованих моделей регресії. Візуалізовано співставлення значень відповідних показників на діаграмах. Отримано результат щодо позитивного впливу освітніх показників на індекс інновацій, що відображає різні аспекти інноваційної діяльності в країні. Зокрема, зростання Глобального індексу інновацій супроводжується збільшенням значення узагальненого показника рівня освіти – Індeksu освіти.

Ключові слова: інновації, освіта, кореляція, регресія, візуалізація, індекс.

Summary. *Innovations in modern conditions become an important influencing factor, in particular, for the development of the country's national economy, increasing the level of human development and in the social sphere. This substantiates the need to study the relationship between relevant socio-economic indicators and innovations. Our work presents the results of a correlation-regression analysis between the index of innovation opportunities (The Global Innovation Index) and a range of educational indicators (Expected years of schooling, Mean years of schooling and the Education Index). Statistics of indicators for 2021. The sample includes 123 countries, differing by geographic feature and country's membership of the income group. A correlation analysis was conducted for the sample as a whole, which revealed the same nature of the linear relationship (direct and close) between the innovation index and the selected educational indicators. For groups of countries by income level, a direct linear relationship of different nature was found between the education and innovation index: close between the indicators for high income countries, and weak for countries with upper middle income. One-factor and multivariate linear regression models were built, which demonstrate the influence of educational indicators on the innovation index. Calculations for checking model parameters for statistical significance (Student's t-test) and the adequacy of models in general (Fisher's F-test) are presented, as well as a comparison of the results of built regression models. The comparison of the values of the relevant indicators on the charts is visualized. A result was obtained regarding the positive influence of educational indicators on the innovation index, which reflects various aspects of innovative activity in the country. In particular, the growth of the Global Innovation Index is accompanied by an increase in the value of the generalized indicator of the level of education – the Education Index.*

Key words: *innovation, education, correlation, regression, visualization, index.*

Постановка проблеми. Сучасний етап розвиток суспільства супроводжується масштабним впровадженням та застосуванням інноваційних розробок у різних сферах діяльності та життя. Саме тому виникає потреба в дослідженні механізму зв'язку інновацій з відповідними соціально-економічними факторами. Відзначимо, що у напрямку дослідження взаємозв'язку інновацій з освітою мало уваги акцентується на емпіричному та кількісному аналізі показників. А такі розробки можуть стати додатковими та обґрунтованими аргументами під час планування та створення програм розвитку освітньої та інноваційної політики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Інновації стали важливим фактором розвитку економіки країни і це підтверджується рядом досліджень [1-4]. Позитивний вплив на рівень людського розвитку від інноваційних розробок відзначено в роботах [5-7].

Слід відзначити ефект застосування інновацій в соціальних сферах життя суспільства, зокрема в охороні здоров'я та освіті. У роботі [8] автори стверджують про необхідність інновацій для надання медичної допомоги. Нові та інноваційні рішення дозволяють вирішити ряд проблем з доступністю та якістю надання медичних послуг. А тому автори вважають, що медична сфера має сприяти активному впровадженню інновацій на різних рівнях та місцях. А стаття [9] демонструє можливості застосування такої інноваційної розробки як мікрочіпи, а саме їх основи, переваги та недоліки.

Проведення ефективної інноваційної політики пов'язано з заходами освітньої сфери. Зокрема, в дослідженні [10] розроблено моделі регресії, які відображають залежність рівня людського розвитку від певного набору факторів. Серед яких рівень освіти та розвитку інновацій, де їх підвищення позитивно впливає на рівень життя населення. Крім того, виникає питання, чи мають взаємозв'язок інновації з рівнем освіти та грамотності населення.

Так в роботі [11] досліджується вплив інтелектуального капіталу (рівень національного IQ, людський капітал та індекс освіти) на індекс інновацій. Визначено, що між ними існує позитивний зв'язок та підвищення рівня інтелектуального капіталу сприяє інноваційному розвитку.

Мета статті: реалізація кореляційно-регресійного аналізу між індексом інноваційних можливостей та спектром освітніх показників для вибірки країн.

Виклад основного матеріалу. Дані. Сформовано вибірку, яка включає 123 країни, що відрізняються за географічною ознакою (Європа, Центральна, Південна та Східна Азія, Північна та Латинська Америка, Африка та інші), а також за рівнем доходу на душу населення за класифікацією Світового банку [12]: високодохідні (High income), дохід вище середнього (Upper middle income), дохід нижче середнього (Lower middle income) та низькодохідні (Low income).

Показником, що демонструє рівень інноваційних можливостей країни, є Глобальний індекс інновацій (The Global Innovation Index – GII). На основі значення GII (його розрахунок включає 80 показників) формується рейтинг країн, де в 2021 році до нього потрапити 132 країни. На рис. 1 показано трійку лідерів за значенням GII, для України GII=35,6 та 49 місце в рейтингу, Ангола займає останнє місце в рейтингу зі значенням GII, що дорівнює 15.



Рис. 1. Фрагмент рейтингу країн за GII, 2021

Джерело: створено авторами за даними [13]

Індекс освіти (the Education Index – EI) розраховується як середнє арифметичне двох індексів, отриманих на основі показників: очікувана тривалість навчання в роках (Expected years of schooling – EYS) та середня кількість років, що витрачені на навчання (Mean years of schooling – MYS). Рейтинг країн за обраними показниками, де найбільша очікувана тривалість навчання в Новій Зеландії (20,3 роки), а найменша – в Нігерії (7 років), в Україні це 15 років. Що стосується середньої кількості років, що витрачені на навчання, найбільше значення фіксується в Німеччині (14,1 роки), а найменше – в Буркіна-Фасо (2,1 роки), а в Україні значення дорівнює 11,1 роки.

Індекс освіти певним чином узагальнює лише два попередньо розглянуті показники, а тому неодноразово піддавався критиці. Даний індекс не враховує якість освіти та особливості надання освітніх послуг, зокрема вікові обмеження чи доступність освіти. Крім того, Індекс освіти є важливою складовою авторитетного Індексу людського розвитку (Human Development Index – HDI). Таким чином, для нашої вибірки країн максимальне значення EI (0,995) має Нова Зеландія, а мінімальне значення EI (0,264) – Нігер, Україна в 2021 році досягла значення EI=0,787 (рис. 2).

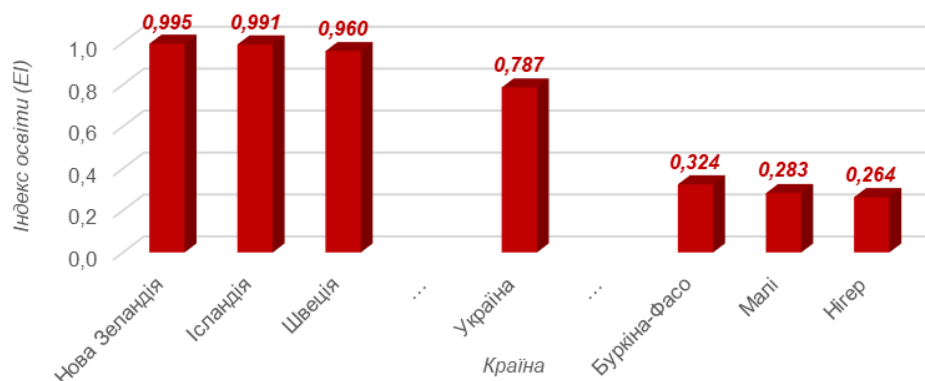


Рис. 2. Фрагмент рейтингу країн за значенням EI, 2021

Джерело: створено авторами за даними [14]

Кореляційний аналіз. Проведення даного виду аналізу передбачає розрахунок кореляційної матриці (табл. 1). Вона складається з коефіцієнтів

кореляції (r), а їх значення демонструє напрямок та силу лінійного зв'язку між обраними показниками. Таким чином, виявлено прямий та тісний лінійний зв'язок ($r > 0,7$) між індексом інновацій та спектром освітніх показників, а саме: очікуваною тривалістю навчання, середньою кількістю років, що витрачені на навчання, а також індексом освіти (табл. 1).

Таблиця 1

Кореляційна матриця

	ГП	EYS	MYS	EI
ГП	1			
EYS	0,7513	1		
MYS	0,7401	0,7786	1	
EI	0,7888	0,9246	0,9589	1

Джерело: розраховано авторами за даними [13; 14]

В табл. 1 розраховано лінійний коефіцієнт кореляції $r = 0,7888$ для вибірки в цілому, який демонструє наявність прямого тісного зв'язку між індексами інновацій та освіти. Таким чином, зростання одного призводить до збільшення іншого. Результати кореляційного аналізу між індексами для груп країн за рівнем доходу представлено в табл. 2, де виявлено варіацію сили зв'язку. Зокрема, тісний зв'язок між показниками для високодохідних країн ($r = 0,6988$), а слабкий ($r = 0,2187$) для країн з доходом вище середнього.

Таблиця 2

Кореляція між Індексом освіти (EI) та Глобальним індексом інновацій (ГП)

Група країн за рівнем доходу	Коефіцієнт кореляції (r)		Напрямок та характер зв'язку
	EI	ГП	
High income (47)	0,6988		Прямий, тісний
Upper middle income (31)	0,2187		Прямий, слабкий
Lower middle income (33)	0,3918		Прямий, помірний
Low income (12)	0,5041		Прямий, середній

Джерело: розраховано автором за даними [13; 14]

Побудова моделей регресії. Для оцінки параметрів моделей використано надбудову Аналіз даних (Регресія) в MS Excel.

Побудовано першу лінійну модель регресії $\widehat{ГІІ} = 3,4 \cdot EYS - 14,61$, де залежною змінною є Глобальний індекс інновацій (ГІІ), а незалежна змінна – очікувана тривалість навчання (EYS). На рис. 3 представлено співставлення фактичних значень відповідних показників та відображення лінійної моделі. Значення коефіцієнта детермінації (R^2) показує, що Глобальний індекс інновацій на 56,44% залежить від очікуваної тривалості навчання, а вплив інших факторів 43,56%. Крім того, якщо очікувана тривалість навчання зростає на 1 рік, то індекс інновацій в середньому зростає на 3,4 пункти.

Побудовано другу модель регресії $\widehat{ГІІ} = 3,02 \cdot MYS + 5,18$, де змінна MYS – середня кількість років, що витрачені на навчання. На рис. 4 показано співставлення фактичних значень відповідних показників та відображення лінійної моделі. Значення коефіцієнта детермінації (R^2) показує, що Глобальний індекс інновацій на 54,77% залежить від середньої кількості років, витрачених на навчання, а вплив інших факторів 45,23%. Крім того, якщо середня кількість років, витрачених на навчання зростає на 1 рік, то індекс інновацій в середньому зростає на 3,02 пункти.

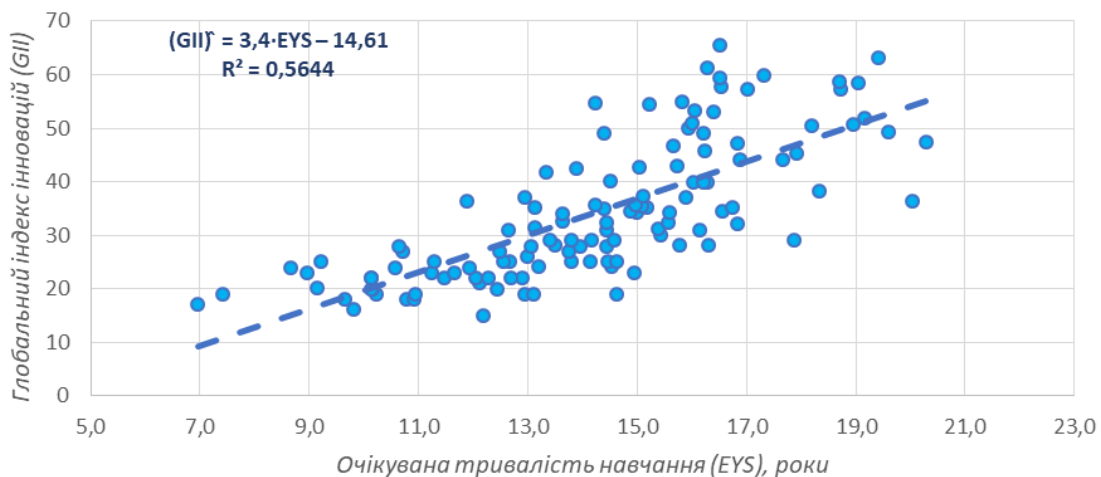


Рис. 3. Візуалізація залежності ГІІ від EYS для вибірки країн, 2021

Джерело: створено авторами за даними [13; 14]

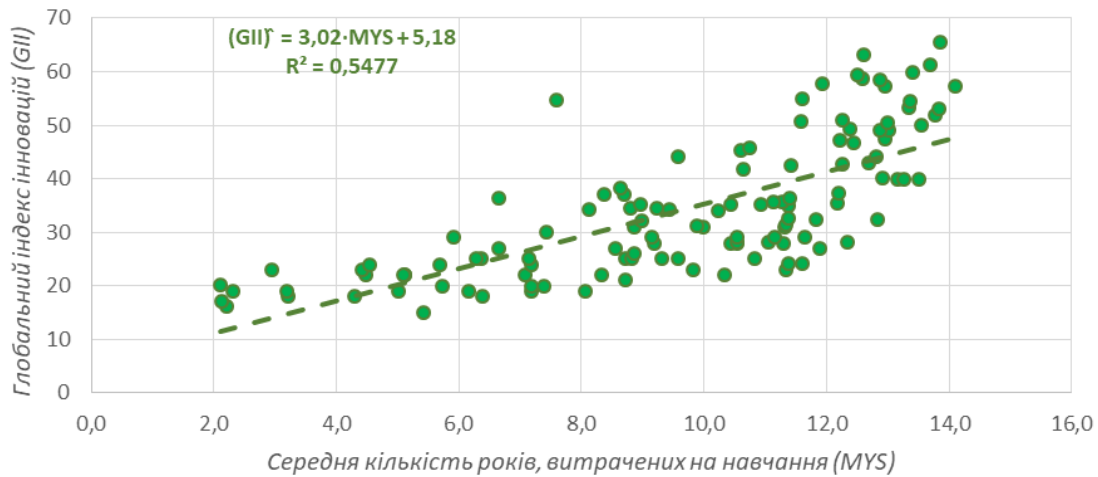


Рис. 4. Візуалізація залежності ГІІ від МYS для вибірки країн, 2021

Джерело: створено авторами за даними [13; 14]

Оскільки, за результатами побудови однофакторних моделей, ми з'ясували, що на Глобальний індекс інновацій мають значний вплив інші фактори, що не враховані в моделях.

Побудовано багатофакторну модель, що одночасно відображає вплив EYS та MYS на ГІІ:

$$\widehat{ГІІ} = -10,14 + 2,03 \cdot EYS + 1,61 \cdot MYS,$$

де ГІІ – Глобальний індекс інновацій; EYS – очікувана тривалість навчання, роки; MYS – середня кількість років, витрачених на навчання.

Якщо очікувана тривалість навчання зросте на 1 рік, то індекс інновацій в середньому зросте на 2,03 пункти за умови, що решта факторів залишаться незмінними. А якщо збільшиться на 1 рік середня кількість років, витрачених на навчання, то індекс інновацій зросте в середньому на 1,61 пункт за умови незмінності інших факторів моделі.

В табл.3 представлено розрахунки щодо перевірки та порівняння побудованих моделей регресії.

Проведено перевірку параметрів та виявлено, що вони для всіх моделей статистично значимі ($|t_{емп}| > t_{крит}$). F-критерій дозволив визначити, що всі моделі є адекватними, бо $F_{емп} > F_{крит}$ (табл. 3). Порівнюючи побудовані моделі, за значенням R^2 та SSE , що краще і точніше описує залежність

Глобального індексу інновацій від очікуваної тривалості навчання та середньої кількості років, витрачених на навчання, а саме багатofакторна модель.

Таблиця 3

Перевірка та порівняння побудованих моделей регресії

Вид моделі	$\widehat{G\Pi} = 3,4 \cdot EYS - 14,61$		$\widehat{G\Pi} = 3,02 \cdot MYS + 5,18$		$\widehat{G\Pi} = -10,14 + 2,03 \cdot EYS + 1,61 \cdot MYS$		
Значимість параметрів моделі (t-критерій Стьюдента, рівень надійності 95%)							
t_{emp}	12,5218	-3,6762	12,1043	2,0526	-2,6428	4,9943	4,4247
t_{crit}	1,9797				1,9799		
Адекватність моделі (F-критерій Фішера, рівень надійності 95%)							
F_{emp}	156,797		146,515		100,225		
F_{crit}	3,919				3,072		
R^2	0,5644		0,5477		0,6255		
SSE	8551,14		8879,79		7351,67		

Джерело: розраховано авторами

Графічний аналіз (рис. 5) дозволяє сформулювати гіпотезу про наявність лінійного зв'язку між показниками (індекс освіти та інновацій). Побудувавши лінійну залежність: $\widehat{GII} = 58,62 \cdot EI - 7,74$, де EI – Індекс освіти, маємо, що Глобальний індекс інновацій пояснюється на 62,22% зміною EI (за коефіцієнтом детермінації), а решта 37,78% іншими факторами, що не враховані в моделі. Перевірка параметрів за критерієм Стюдента показала їх статистичну значимість, а в цілому модель є адекватною за критерієм Фішера.

Висновок. За результатами кореляційно аналізу між Глобальним індексом інновацій та очікуваною тривалістю навчання, середньою кількістю років, витрачених на навчання, а також Індексом освіти для вибірки 123 країн світу, виявлено прямий та тісний характер зв'язку. Для груп країн за рівнем доходу на душу населення між індексами інновацій та освіти він також прямий ліній, але має різний характер (тісний – для високодохідних країн, але слабкий – для країн з доходом вище середнього).

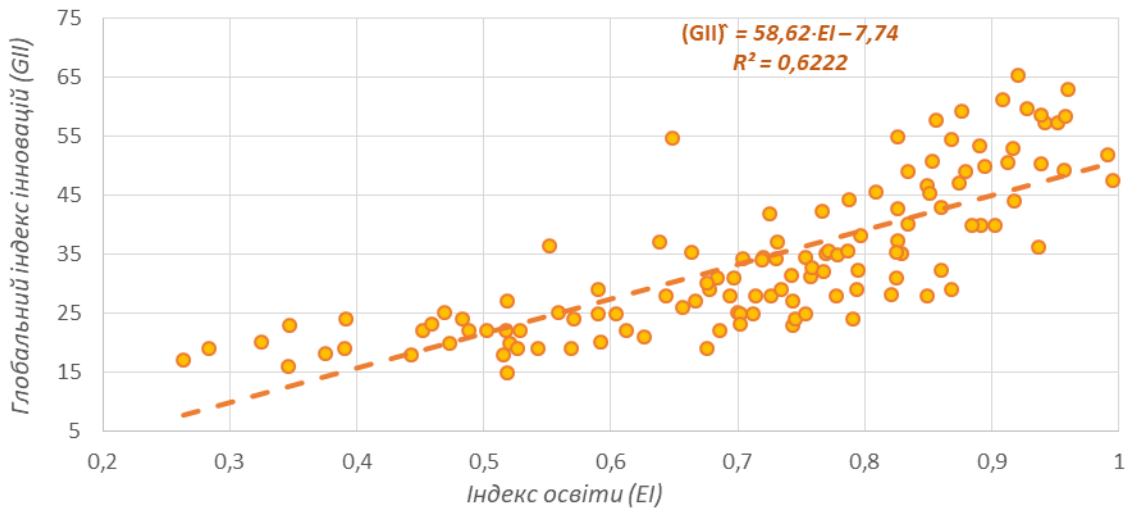


Рис. 5. Візуалізація залежності ГІІ від ЕІ для вибірки країн, 2021

Джерело: створено авторами за даними [13; 14]

Побудовано однофакторні лінійні моделі регресії та багатфакторну модель, що характеризують залежність ГІІ від обраних освітніх показників. Відповідно отримано значення коефіцієнтів детермінації, що дозволяють оцінити, який відсоток зміни індексу інновацій пояснюється обраними факторами впливу. Перевірка отриманих моделей по відповідних критеріях показала, що параметри є статистично значимі, а самі моделі в цілому адекватні. Виявлено, що вплив на індекс інновацій таких факторів як очікувана тривалість навчання та середня кількість років, витрачених на навчання краще розглядати в комплексі (якість багатфакторної моделі краща), хоча варто провести перевірку даної моделі на наявність мультиколінеарності. Загалом відмічаємо позитивний вплив освітніх показників на Глобальний індекс інновацій.

Література

1. Rosenberg N. Innovation and Economic Growth. *Innovation and Growth in Tourism*. 2006. P. 43–52. doi: <https://doi.org/10.1787/9789264025028-4-en>.
2. Czarnitzki D., Toivanen O. Innovation Policy and Economic Growth, European Comission-Fellowship initiative. *The future EMU, European*

- Economy, Economic Papers*. 2013. Vol. 482/2013. P. 2–40. doi: <https://doi.org/10.2765/42480>.
3. Pece A.M., Oros S.O.E., Salisteanu F. Innovation and Economic Growth: An Empirical Analysis for CEE Countries. *Procedia Economics and Finance*. 2015. Vol. 26. P. 461–467. doi: [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00874-6](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00874-6).
 4. Дейнека М.О., Тітомир О.С. Інновації та економічний ріст: емпіричний аналіз. *About the problems of practice, science and ways to solve them: XXIV міжнародна науково-практична конференція (04-07 травня 2021 р.)*. Мілан, Італія. С. 43–47. doi: <https://doi.org/10.46299/ISG.2021.I.XXIV>.
 5. Ejemeyovwi J.O., Osabuohien E.S., Osabohien R. ICT investments, human capital development, and Institutions in ECOWAS. *International Journal of Business Research*. 2018. Vol. 15(4). P. 463–474. doi: <http://dx.doi.org/10.1504/IJEBR.2018.092151>.
 6. Azuh D. E., Ejemeyovwi J. O., Adiat Q., Ayanda B. A. Innovation and Human Development Perspectives in West Africa. *SAGE Open*. 2020. Vol. 10(4). doi: <https://doi.org/10.1177/2158244020983277>.
 7. Дейнека М.О. Інновації та людський розвиток: взаємозв'язок з диференціацією доходів. *Interaction of society and science: prospects and problems: XXII міжнародна науково-практична конференція (20-23 квітня 2021 р.)*. Лондон, Англія. С. 90–95. doi: <https://doi.org/10.46299/ISG.2021.I.XXII>.
 8. Dzau V.J., Yoediono Z., ElLaissi W.F., Cho A.H. Fostering Innovation in Medicine and Health Care: What Must Academic Health Centers Do? *Academic Medicine*. 2013. Vol. 88(10). P. 1424–1429. doi: <https://doi.org/10.1097/ACM.0b013e3182a32fc2>.
 9. Shukla S., Agarwal A. K. and Lakhmani A. MICROCHIPS: A leading innovation in medicine. *3rd International Conference on Computing for*

- Sustainable Global Development (INDIACom)*, 2016. New Delhi, India. P. 205–210.
10. Mihaela M., Țițan E. Education and Innovation in the Context of Economies Globalization. *Procedia Economics and Finance*. 2014. Vol. 15. P. 1042–1046. doi: [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00667-4](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00667-4).
11. Rus A.I., Ilies I., Achim M.V. May intellectual capital influence innovation? A Worldwide empirical study. *Finance & Business Conference – Virtual/Online: 23rd RSEP International Economics* (25-26 November 2021). Rome, Italy. P. 225–232.
12. World Bank Open Data. URL: <https://data.worldbank.org/> (дата звернення: 10.04.2023)
13. The Global Innovation Index. URL: <https://www.globalinnovationindex.org/analysis-indicator> (дата звернення: 10.04.2023)
14. Human Development Index. URL: <http://hdr.undp.org/en/content/human-development-index-hdi> (дата звернення: 10.04.2023)

References

1. Rosenberg N. Innovation and Economic Growth. *Innovation and Growth in Tourism*. 2006. P. 43–52. <https://doi.org/10.1787/9789264025028-4-en>.
2. Czarnitzki D., Toivanen O. Innovation Policy and Economic Growth, European Commission-Fellowship initiative. *The future EMU, European Economy, Economic Papers*. 2013. Vol. 482/2013, P. 2–40. <https://doi.org/10.2765/42480>.
3. Pece A.M., Oros S.O.E., Salisteanu F. Innovation and Economic Growth: An Empirical Analysis for CEE Countries. *Procedia Economics and Finance*. 2015. Vol. 26. P. 461–467. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00874-6](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00874-6).
4. Deyneka M.O., Titomyr O.S. Innovatsii ta ekonomichnyi rist: empiychnyi analiz. About the problems of practice, science and ways to solve them:

- XXIV mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia (04-07 travnia 2021r.). Milan, Italiia. S. 43–47. <https://doi.org/10.46299/ISG.2021.I.XXIV>.
5. Ejemeyovwi J.O., Osabuohien E.S., Osabohien R. ICT investments, human capital development, and Institutions in ECOWAS. *International Journal of Business Research*. 2018. Vol. 15(4). P. 463–474. <http://dx.doi.org/10.1504/IJEBR.2018.092151>.
6. Azuh D. E., Ejemeyovwi J. O., Adiat Q., Ayanda B. A. Innovation and Human Development Perspectives in West Africa. *SAGE Open*. 2020. Vol. 10(4). <https://doi.org/10.1177/2158244020983277>.
7. Deyneka M.O. Innovatsii ta liudskyi rozvytok: vzaiemozviazok z dyferentsiatsiieiu dokhodiv. Interaction of society and science: prospects and problems: XXII mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia (20-23 kvitnia 2021r.). London, Anhliia. S. 90–95. <https://doi.org/10.46299/ISG.2021.I.XXII>.
8. Dzau V.J., Yoediono Z., ElLaissi W.F., Cho A.H. Fostering Innovation in Medicine and Health Care: What Must Academic Health Centers Do? *Academic Medicine*. 2013. Vol. 88(10). P.1424–1429. <https://doi.org/10.1097/ACM.0b013e3182a32fc2>.
9. Shukla S., Agarwal A. K. and Lakhmani A. MICROCHIPS: A leading innovation in medicine. *3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*, 2016. New Delhi, India. P. 205–210.
10. Mihaela M., Țițan E. Education and Innovation in the Context of Economies Globalization. *Procedia Economics and Finance*. 2014. Vol. 15. P. 1042–1046. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00667-4](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00667-4).
11. Rus A.I., Ilies I., Achim M.V. May intellectual capital influence innovation? A Worldwide empirical study. Finance & Business Conference – Virtual/Online: 23rd RSEP International Economics (25-26 November 2021). Rome, Italy. P. 225–232.

12. World Bank Open Data. URL: <https://data.worldbank.org/> (date of access 10.04.2023)
13. The Global Innovation Index. URL: <https://www.globalinnovationindex.org/analysis-indicator> (date of access 10.04.2023)
14. Human Development Index. URL: <http://hdr.undp.org/en/content/human-development-index-hdi> (date of access 10.04.2023)