

## ВПЛИВ РОЗВИТКУ ЧЕТВЕРТОЇ ІНДУСТРІАЛЬНОЇ РЕВОЛЮЦІЇ НА ДИВЕРГЕНЦІЮ І КОНВЕРГЕНЦІЮ ЕКОНОМІЧНОЇ НЕРІВНОСТІ ДЛЯ РІЗНИХ КРАЇН СВІТУ

В. М. Кобець

Доктор економічних наук, доцент,  
професор кафедри інформатики,  
програмної інженерії та економічної кібернетики  
Херсонський державний університет  
вул. Університетська, 27, м. Херсон, 73003, Україна  
[vkobets@kse.org.ua](mailto:vkobets@kse.org.ua)

В. О. Яценко

Магістр з міжнародної економіки,  
аспірант кафедри міжнародної економіки та маркетингу  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
вул. Васильківська, 90а, м. Київ, 03022, Україна  
[valeriayatsenko5@gmail.com](mailto:valeriayatsenko5@gmail.com)

---

Вибір між економічною ефективністю та соціальною справедливістю став ключовою проблемою в економічному розвитку, оскільки в сучасній економічній системі, яка наблизилася до оптимуму Парето, досягнення обох цих цілей є взаємовиключним. Подальше забезпечення балансу між цими цілями можливе лише за кардинальної зміни діючої системи економічних відносин та отримання доступу до нових кривих виробничих можливостей, що може стати цілком реальними в рамках розвитку Індустрії 4.0 та шостої технологічної хвилі. Тим не менш, ніхто не може передбачити соціальний вплив Індустрії 4.0 на суспільство, яке в контексті майбутніх технологічних змін перетворюється на «Суспільство 4.0». Метою даної роботи є здійснення кластерного аналізу нерівності країн під впливом розвитку ІТ. Ми дослідили вплив валового капіталу, витрат на дослідження та розробки для створення інновацій, інтелектуальної власності та експорту високих технологій на нерівність країн, використовуючи аналіз основних компонентів на основі відкритих даних 2012–2015 років. Було визначено 2 основних кластери з 45 країн, які мають ознаки конвергенції та дивергенції завдяки розвитку ІТ. Було також виявлено країни, які мали нерівність в забезпеченні економічної ефективності та соціальної справедливості через інші причини, не пов'язані з розвитком інформаційних технологій.

**Ключові слова:** *кластерний аналіз, факторний аналіз, метод головних компонент, метод дендритів, економічна нерівність, четверта промислова революція.*

## ВЛИЯНИЕ ЧЕТВЕРТОЙ ИНДУСТРИАЛЬНОЙ РЕВОЛЮЦИИ НА ДИВЕРГЕНЦИЮ И КОНВЕРГЕНЦИЮ ЭКОНОМИЧЕСКОГО НЕРАВЕНСТВА ДЛЯ РАЗНЫХ СТРАН МИРА

В. Н. Кобець

Доктор экономических наук, доцент,  
профессор кафедры информатики, программной инженерии  
и экономической кибернетики

Херсонский государственный университет

ул. Университетская, 27, г. Херсон, 73003, Украина

*vkobets@kse.org.ua*

В. О. Яценко

Магистр по международной экономике,  
аспирант кафедры международной экономики и маркетинга  
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

ул. Васильковская, 90а, г. Киев, 03022, Украина

*valeriyatsenko5@gmail.com*

---

Выбор между экономической эффективностью и социальной справедливостью стал ключевой проблемой в экономическом развитии, поскольку в нынешней экономической системе, которая приблизилась к оптимуму по Парето, достижение обеих этих целей является взаимоисключающим. Дальнейшее обеспечение баланса между этими целями возможно только при фундаментальном изменении существующей системы экономических отношений и получении доступа к новым кривым производственных возможностей, что может стать вполне реальными в рамках развития Индустрии 4.0 и шестой технологической волны. Тем не менее, никто не может предсказать социальное влияние Индустрии 4.0 на общество, которое в контексте будущих технологических изменений трансформируется в «Общество 4.0». Целью данной работы является проведение кластерного анализа неравенства стран в связи с развитием ИТ. Мы исследовали влияние валового накопления капитала, расходов на исследования и разработки для создания инноваций, интеллектуальной собственности и экспорта высокотехнологичных товаров на неравенство стран с использованием анализа основных компонентов на основе открытых данных за 2012–2015 годы. Было определено 2 основных кластера из 45 стран, которые имеют атрибуты конвергенции и дивергенции из-за развития ИТ. Также были выявлены страны, имевшие неравенство в обеспечении экономической эффективности и социальной справедливости по другим причинам, не связанным с развитием информационных технологий.

**Ключевые слова:** кластерный анализ, факторный анализ, метод главных компонент, метод дендритов, экономическое неравенство, четвертая промышленная революция.

## INFLUENCE OF THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION ON DIVERGENCE AND CONVERGENCE OF ECONOMIC INEQUALITY FOR VARIOUS COUNTRIES

Vitaliy Kobets

DSc (Economic Sciences), Docent,  
Professor of Department of Informatics,  
Software Engineering and Economic Cybernetics  
Kherson State University

27 Universitetska Str., Kherson, 73003, Ukraine  
*vkobets@kse.org.ua*

Valeria Yatsenko

Master's Degree in International Economics,  
PhD student, Department of International Economics and Marketing  
Taras Shevchenko National University of Kyiv

90a Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine  
*valeriyatsenko5@gmail.com*

---

The choice between economic efficiency and social equity has become a key objection in economic development, since in the current economic system, which has become close to the Pareto optimum, the achievement of both of these goals is mutually exclusive. Further balancing between these goals is possible only with a fundamental change of current system of economic relations and getting access to new curves of production capabilities, which may become quite real within development of Industry 4.0 and 6th technological wave. Nevertheless, nobody can predict the social impact of Industry 4.0 on society, which in the context of future technological changes transforms into Society 4.0. The purpose of this paper is to conduct a cluster analysis of countries inequality due to IT development. We researched impact of gross capital formation, research and development expenditure to create innovations, intellectual property and high-technology exports on inequality of countries using principal component analysis based on open data for 2012–2015. 2 main clusters of 45 countries were identified which have convergence and divergence attributes due to IT development. It was also revealed the countries with inequalities in ensuring economic efficiency and social equity due to other reasons which are not connected with IT development.

**Keywords:** *cluster analysis, factor analysis, principal component analysis, dendrite method, economic inequality, fourth industrial revolution.*

**JEL Classification:** D63, O14, O47, P51

## Вступ

Протягом багатьох століть економічна наука еволюціонувала та змінювалась відповідно до поточних викликів, що втілювалось у логічній зміні мети економічної діяльності: з максимізації прибутку в умовах первісного накопичення капіталу, оптимізації ресурсів у другій половині ХХ ст., до покращення суспільного добробуту в рамках концепції сталого розвитку. У результаті, вибір між економічною ефективністю та соціальною справедливістю постав наріжним каменем в економічній теорії, оскільки за умов функціонування нинішньої економічної системи, яка досягла стану близького до Парето-оптимуму, досягнення обох цих цілей є взаємовиключним. Єдиним способом їх одночасної реалізації виступає принципова зміна усієї системи економічних відносин і, як наслідок, вихід на нові криві виробничих можливостей. Такий сценарій може стати цілком реальним із впровадженням Індустрії 4.0 і переходом на новий шостий технологічний уклад. Проте постає питання соціальних наслідків впливу Індустрії 4.0 на суспільство, яке в рамках майбутніх технологічних змін зазнає потужних трансформацій, перетворившись на Society 4.0. [1], що спроможне змінити існуючий розподіл доходів, за якого 8 % населення світу володіє половиною світового багатства, в той час як на 92 % населення припадає решта [3].

Вивченню проблеми нерівності розподілу суспільного багатства в країнах і між країнами в цілому присвячено велика кількість досліджень вітчизняних і зарубіжних вчених. Так, наприклад, Н. Бірдсал досліджувала дуалістичну природу нерівності, конструктивна форма якої може здійснювати позитивний вплив на економічний розвиток країни [4]. Фактори та природу виникнення нерівності у суспільстві аналізували А. Сбарбелла та Е. Піетронеро [5]. Однак, вивчення впливу Індустрії 4.0 на ступінь розподілу доходів залишається малодослідженим [3] і потребує глибокого комплексного аналізу з метою адаптації країн світу до нової технологічної революції, оскільки різниці в рівнях продуктивності факторів виробництва та доходності формують резерв для зростання як окремих країн і їхніх угруповань, так і для міжнародної економіки в цілому, що дозволяє ідентифікувати нерівномірність як необхідну, проте недостатню умову економічного розвитку та зростання. Саме тому важливим постає питання, які дії необхідно вчинити економічним суб'єктам, аби

нерівномірність стала достатньою умовою для їхнього подальшого розвитку.

Метою даного дослідження є аналіз впливу впровадження Індустрії 4.0 на рівномірність розподілу доходів у міжнародній економіці.

## **Виклад основного матеріалу**

### ***1. Зв'язок нерівності та технологічних змін***

Друга половина ХХ ст. відзначена рядом «економічних див», які внесли суттєві зміни в розподіл світового економічного впливу. Насамперед йдеться про Японію та країни першої хвилі НІК — «азійських драконів», економічний розквіт яких припав на 50–60-ті та 80-ті рр. минулого століття, відповідно. Не випадково, що пік розвитку цих країн паралельно проходив зі зміною технологічних укладів: четвертого, визначальною інновацією якого був двигун внутрішнього згорання, на п'ятий, рушієм якого стали мікроелектронні компоненти. Саме тому можна зробити логічне припущення про домінують роль технологічного фактора та активного трансфера технологій у зростанні продуктивності праці та стрімкому розвитку галузей з високим рівнем доданої вартості в цих країнах. Аналогічно можна припустити, що нині в умовах переходу на шостий технологічний уклад у рамках Четвертої промислової революції можна очікувати новий вибух «економічних див», які можуть видозмінити співвідношення економічних сил у глобальному масштабі. Однак, постає питання про ймовірність реалізації подібного сценарію та масштаби його наслідків у міжнародній економіці.

Зважаючи на історичну ретроспективу попередніх промислових революцій, країни з відносно більшим обсягом капіталу та виробничих потужностей першими імплементували нові технології і винаходи та, відповідно, першими отримували позитивні ефекти від них. Саме тому логічно передбачити, що розвинені країни, які володіють потужним промисловим комплексом, достатнім обсягом капіталу та розвинутою ІТ сферою отримуватимуть більші ефекти від нової промислової революції та надалі домінуватимуть на міжнародних ринках нових високотехнологічних товарів. Проте, тренд розвитку нинішньої економічної системи є нелінійним, що свідчить про невизначеність наслідків впровадження Індустрії 4.0, які залежать від широкого спектру

детермінант. На нашу думку, майбутній сценарій розвитку міжнародної економіки в умовах шостого технологічного укладу буде описуватися X-подібною моделлю та включатиме чотири ймовірні сценарії розвитку (рис. 1).

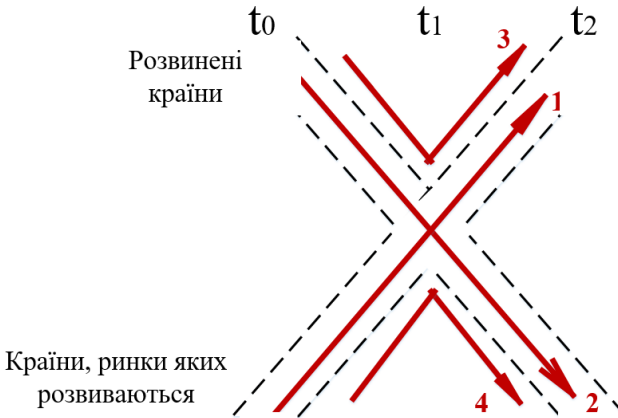


Рис. 1. Ймовірні сценарії розвитку країн в умовах Індустрії 4.0

*Джерело:* розроблено авторами

Під впливом таких факторів, як готовність національної економіки до нового технологічного укладу, інституційного забезпечення країни, обсягу міжнародного трансферу технологій, психологічного портрету суспільства країни можуть або зберегти свої лідируючі позиції на світовому ринку, або поступитися ними в результаті запровадження Індустрії 4.0, формуючи чотири ймовірні траєкторії розвитку в трьох часових проміжках:

$t_0$  — поточний стан соціально-економічного розвитку;

$t_1$  — початок впровадження Індустрії 4.0;

$t_2$  — стадія зрілості Індустрії 4.0.

*1. Країни, що розвиваються завдяки новим технологіям, відіграватимуть провідну роль у міжнародній економіці*

Цілком очевидно, що нові галузі виникають лише за наявності необхідних потужностей, які забезпечують появу та поступовий розвиток складніших систем і галузей [5]. Проте транснаціоналізація, міжнародний трансфер технологій і рух капіталу виступа-

ють інструментами ліквідації глибинних технологічних розривів і часових лагів між країнами, що відкриває можливість країнам, що розвиваються, відносно швидко та з низькими витратами імплементувати нові технології. Саме таким сценарієм описувався розвиток Східної Азії, в результаті якого Японія повністю змінила ранжування країн, впевнено займаючи місце у топ-3 країн за номінальним ВВП [6], у той час як «дракони» очолили різноманітні міжнародні рейтинги та індекси Doing Business, Economic Freedom, Innovation Index.

На користь реалізації даного сценарію можуть слугувати такі аргументи:

- нині напрямок економічного розвитку має експоненційну траєкторію, що робить наслідки впровадження Четвертої промислової революції непрогнозованими та радикально відмінними від попередніх революцій;

- на відміну від розвинених країн, суб'єкти господарювання країн, що розвиваються, готові брати на себе ризики та здатні набагато швидше адаптуватися до нових економічних умов;

- країни, що розвиваються, завдяки трансферу технологій можуть швидко та з відносно низькими витратами налагодити роботу Smart factories and Cyber-Physical Systems, ліквідовуючи відставання від розвинених країн.

### *2. Розвинені країни поступляться конкурентними перевагами*

У переважній більшості розвинених країн, а особливо в країнах ЄС, можна спостерігати зростання тенденцій до уникнення ризиків і зниження мотивації до підприємництва, що викликано інертністю соціально-економічних систем цих країн [1] і нездатністю справлятися з невизначеністю ефективно. Як наслідок, траєкторія їхнього розвитку, на відміну від попередніх промислових революцій, матиме спадний темп зростання.

### *3. Розвинені країни збережуть провідну роль у розподілі глобальних економічних сил*

Маючи потужний промисловий потенціал, розвинену ІТ сферу, значні обсяги капіталу та сформовану систему зрілих інституцій, розвинені країни є головними ініціаторами Четвертої промислової революції та отримують найбільші вигоди від її впровадження у майбутньому. Крім того, розвинені країни зможуть отримати набагато більші позитивні ефекти завдяки розвиненій системі підтримуючих або суміжних з Індустрією 4.0 галузей, утворюючи так званий ефект суміжних галузей.

Проте таке припущення є справедливим лише для тих країн, які вже розпочали підготовку до впровадження Індустрії 4.0. Оскільки суспільство може не мати достатньо часу для адаптації, завчасна підготовка має все більше і більше значення. Наприклад, Японія вже презентувала концепцію Суспільства 5.0 — п'ятого наукового та технологічного базового плану Японії (2016–2020) [1].

Однак, зважаючи на відносно високу вартість більшості ресурсів у розвинених країнах і, відповідно, низьку цінову конкурентоспроможність нових високотехнологічних товарів, максимізація ефектів від нової Промислової революції відбудеться лише у періоді  $t_2$ .

*4. Країни, що розвиваються, не реалізують можливості Індустрії 4.0*

Не маючи достатнього обсягу капіталу та слабку інституціональну структуру, країни, що розвиваються, не зможуть повністю реалізувати всі можливості та переваги нової промислової революції, надалі експлуатуючи ресурс цінової конкурентоспроможності своїх товарів і послуг.

У кінцевому випадку реалізація одного із зазначених сценаріїв залежатиме від домінування того чи того фактору конкурентоспроможності — наявної виробничої та технологічної бази або здатності швидко та з найменшими витратами адаптуватися до нової економічної кон'юнктури, оскільки технологічний прогрес відбувається набагато швидше, ніж здатність суспільства абсорбувати зміни [7].

## **2. *Методологія***

Незважаючи на велику різноманітність статистичних методів (рис. 2), факторний і кластерний аналіз усе ще залишаються найпопулярнішими для проведення угруповання досліджуваних об'єктів — виявлення їх однорідних груп за набором визначених ознак. Відповідно до методології факторного аналізу, група високорельованих ознак може бути пояснена та описана невеликою кількістю латентних факторів, які безпосередньо не спостерігаються, але мають суттєвий вплив на цю групу. Натомість, алгоритми кластерного аналізу дозволяють розділити набір об'єктів на однорідні групи за деяким формальним критерієм. Основна особливість цих груп полягає в тому, що об'єкти, які належать до одного кластеру, більше схожі між собою, ніж з об'єктами, які увійшли до інших кластерів.





Рис. 2. Різноманітність методів багатофакторного статистичного аналізу

Джерело: складено авторами на основі [8–10]

Обидва методи є досить подібними у своїх цілях, проте відмінні у принципах роботи (табл. 1). Враховуючи це, їх зазвичай використовують разом, поетапно усуваючи недоліки один одного. Варто зауважити, що дискримінантний аналіз досить схожий на кластерний аналіз: в обох випадках мета полягає в тому, щоб розділити всі спостереження на кілька груп, але для дискримінантного аналізу кількість і склад груп визначаються заздалегідь.

Таблиця 1

**ПОРІВНЯННЯ ФАКТОРНОГО ТА КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ**

	Факторний аналіз	Кластерний аналіз
Спільне (мета)	обидва призначені для зменшення набору великих даних до меншої розмірності (кластерів)	
Відмінне (механізм)	факторні змінні агрегуються на основі часткової дисперсії, на яку впливає один фактор	консолідація спостережень шляхом поступового аналізу відстані між ними та вже створеними кластерами
	аналізує взаємозв'язок чи подібність змінних	створює ієрархічну структуру кластерів

У даному дослідженні були використані факторний (метод головних компонент, PCA) і кластерний аналіз. У подальших

дослідженнях може бути використаний дискримінантний аналіз для визначення правила формування кластерів і прогнозування майбутнього формування та розвитку технологічних кластерів на основі лінійної моделі класифікації (рис. 3).



Рис. 3. Алгоритм дослідження

*Джерело:* складено авторами на основі [8–10]

Незважаючи на всі недоліки кластерного аналізу, такі як описовий характер і дефіцит статистичної бази, цей метод залишається одним із найвикористовуваних серед усіх статистичних методів через його простоту та високу пояснювальну здатність.

### **3. Вплив четвертої індустріальної революції на соціальну нерівність**

Стрімкий розвиток інформаційних технологій підіймає таке дослідницьке запитання: який вплив ІТ та інновації мають на соціальну нерівність для різних країн?

Одним із основних індексів соціальної нерівності є індекс Тейла, що розраховується за співвідношенням

$$T = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \left( \frac{c_i}{\bar{c}} \cdot \ln \frac{c_i}{\bar{c}} \right), \quad (1)$$

де  $c_i$  — дохід  $i$ -го індивіда країни,  $\bar{c}$  — середній дохід для країни,  $N$  — кількість людей в країні.

Якщо доходи всіх індивідів рівні, то індекс Тейла нульовий. Якщо дохід всього населення сконцентрований у одного індивіда, то індекс Тейла дорівнює  $\ln N$ .

Щоб порівняти індекси Тейла ( $TI$ ) для різних країн, використовується середньозважений індекс Тейла із поправкою на ВВП

$$TI = \frac{GDP_l}{GDP} \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \left( \frac{c_i}{\bar{c}} \cdot \ln \frac{c_i}{\bar{c}} \right), \quad (2)$$

де  $GDP_l$  — валовий внутрішній продукт країни  $l$ ,  $GDP = \sum_{l=1}^n GDP_l$  — світовий ВВП,  $n$  — кількість країн.

Серед пояснюючих змінних ми можемо використовувати набори даних за 2012–2015 рр. (після введення концепції Четвертої промислової революції у 2011 р.):

- 1) валове накопичення капіталу у % від ВВП ( $x_1$ ), яке може замінювати ресурси праці [11];
- 2) витрати на наукові дослідження і розробки у % від ВВП ( $x_2$ ) для створення інновацій [12];
- 3) виплати по інтелектуальній власності ( $x_3$ ), що забезпечують конкурентні переваги для ноухау [13];
- 4) частка високотехнологічного експорту у % від промислового експорту ( $x_4$ ) [14].

#### **4. Кластерний аналіз з використанням макросів**

Метод головних компонент (РСА) дозволяє зробити попередній аналіз впливу розвитку інформаційних технологій (ІТ) на економічну нерівність. Проте, цього аналізу недостатньо, щоб визначити чіткі межі кластерів країн, нерівність або рівномірність розподілу благ в яких визначається розвитком ІТ. Вирішення даної задачі спрямоване на з'ясування того, наскільки сутте-

вий чи несуттєвий вплив ІТ здійснює на розподіл доходів у розвинених країнах і країнах, що розвиваються.

Кластерний аналіз дозволяє розподілити країни на однорідні групи за наявності сукупності властивостей, що описують вплив розвитку ІТ на ці країни. Матриця «об'єкти-властивості» формується на основі даних [11–15] та в загальному набуває вигляду ( $n = 45$  — кількість країн,  $m = 4$  — кількість властивостей):

$$X = \begin{pmatrix} x_{11}x_{12}\dots x_{1m} \\ x_{21}x_{22}\dots x_{2m} \\ \dots \dots \dots \dots \\ x_{i1} x_{i2} \dots x_{im} \\ \dots \dots \dots \dots \\ x_{n1}x_{n2}\dots x_{nm} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

де  $x_{ij}$  — значення властивості  $j$  ( $j = 1, \dots, m$ ) для країни з номером  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ ).

Загальна схема розв'язання задачі кластерного аналізу реалізується таким чином:

1. формується вибірка країн для аналізу (до вибірки входять країни, для яких є статистична інформація стосовно індексу економічної нерівності [15]);

2. обирається сукупність ознак, що характеризують ІТ фактори, які впливають на економічну нерівність в країнах [11–14];

3. визначається міра подібності між країнами за сукупністю ознак;

4. формуються кластери;

5. аналізується отримана інформація щодо впливу ІТ факторів на структуру кластерів і нерівність у країнах, що увійшли до них.

Для кластерного аналізу використовується ізотонічний або ізоморфний алгоритм. *Ізотонічний алгоритм* формує групи країн (кластери) з однорідних значень за показниками нерівності ( $y$ ) за допомогою РСА. *Ізоморфний алгоритм* у групи включає країни, близькі за структурою, в яких пропорції властивостей ( $x_1, x_2, x_3, x_4$ ) несуттєво відрізняються. Із застосуванням ізоморфного перетворення перш за все здійснюється нормування показників за співвідношенням:

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \cdot \frac{\sum_{j=1}^m x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}. \quad (4)$$

У процесі кластеризації відстань між двома країнами  $i$  та  $k$  розраховується за формулою:

$$d_{ik} = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_{ij} - Z_{kj})^2}. \quad (5)$$

В ізоморфному перетворенні відстані будуть мінімальні, коли вектори ознак колінеарні, а максимальними — якщо вектори перпендикулярні.

Після визначення відстаней між країнами розподіл на групи відбувається за допомогою методу шарів (методу дендритів), відповідно до якого будуються дендрити для визначення сліду даних (тобто утворюється просторова форма шарів). Сутність методу полягає в тому, що для кожного об'єкта (країни) визначається мінімальна відстань до найближчого до нього об'єкта. Потім з цих мінімальних відстаней обирається максимальна, яка задає критичний радіус (визначає відстань, що показує, чи належить об'єкт даному кластеру):

$$r = \max_i \min_j d_{ij}. \quad (6)$$

Об'єкти, між якими відстань менше критичної, належать до одного кластера. Первинний розподіл об'єктів дозволяє одержати кластери шаровидної або еліпсоїдної форми. Оскільки при виконанні практичних задач такі кластери зустрічаються не завжди (частіше буває складніша форма), то на наступному етапі методу шарів здійснюється побудова дендритів і визначення зв'язності в системі кластерів, що дозволяє їх поєднати в складніші структури, які в більшій мірі відповідають скупченням досліджуваних об'єктів. З метою такого поєднання визначається відстань між кластерами, що дорівнює мінімальній відстані між об'єктами, які входять у ці кластери:

$$C_{lk} = \min_{p \in g_l, q \in g_k} d_{pq}, \quad (7)$$

де  $d_{pq}$  — відстань між елементами  $p$  кластера  $l$  і  $q$  кластера  $k$  ( $l, k = \overline{1, G}$ ),  $G$  — кількість груп (кластерів).

При перевищенні критичної відстані кластери вважаються незв'язними. Критична відстань дорівнює максимальній з-поміж

усіх кластерів відстані між сусідніми елементами в одному кластері й обчислюється за формулою:

$$C = \max_{l=1, \bar{G}} \min_{p, q \in g_l} d_{pq}. \quad (8)$$

При конструюванні дендриту, що поєднує всі групи, розриваються зв'язки між кластерами, відстань між якими вище критичної. У результаті отримується набір дендритів, незв'язаних між собою. Дані, що входять у кожну підвибірку, можна досліджувати засобами регресійного аналізу.

Для вирішення задачі розбиття країн на кластери з використанням ізотонічного перетворення з пошуком сліду авторами було розроблено програму, що складається з таких блоків:

1. Обирається черговий об'єкт А (країна). Якщо він входить хоча б в один ланцюг, то відбувається перехід до наступного об'єкта.

2. Для чергового об'єкта знаходиться такий об'єкт В, відстань до якого від А мінімальна. Далі перевіряється, чи не входить об'єкт В до одного зі вже сформованих ланцюгів. Якщо входить, то об'єкт А додається до ланцюга, в який входить об'єкт В. Якщо ні, то з об'єктів А і В утворюється первинний ланцюг.

3. Якщо є об'єкти, не включені в ланцюги, то здійснюється перехід до п. 1, у протилежному випадку — до п. 4.

4. Знаходиться матриця відстаней між ланцюгами (відстань між ланцюгами дорівнює відстані між найближчими об'єктами в цих ланцюгах).

5. Будується дендрит — до кожного ланцюга приєднується лише один найближчий ланцюг (за виключенням випадку, коли два або більше ланцюгів мають однакові відстані до певного ланцюга).

6. Розраховується критична відстань, що дорівнює сумі середнього значення відстаней між ланцюгами в дендриті (п. 5) і середньоквадратичного значення цих же відстаней.

7. При конструюванні дендриту, що поєднує всі ланцюги, розриваються зв'язки між кластерами, відстань між якими вище критичної.

Виконання програми дозволяє визначити матрицю ізоморфних відстаней (рис. 4), відстані між об'єктами ланцюгів (рис. 5) і відстані між ланцюгами (табл. 2).

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
28	Малайзія	0,44427	0,50949	0,480468237	0,64856	0,43851	0,40864	0,55621	0,5185741	0,325578815	0,18753	0,357022604	0,50609
29	Оман	0,51636	0,66051	0,622945178	0,1004	0,58289	0,34145	0,71903	0,1994542	0,449765302	0,52581	0,550594033	0,70379
30	Нідерланди	0,53327	0,71331	0,835134185	0,91634	0,47935	0,79736	0,3093	0,8052166	0,764862545	0,82787	0,724096233	0,74734
31	Нова Зеландія	0,23516	0,58681	0,527281556	0,37922	0,40905	0,28125	0,53591	0,2209414	0,310753019	0,26862	0,421901169	0,61905
32	Норвегія	0,44128	0,24326	0,228105589	0,46531	0,28964	0,20695	0,45461	0,3865005	0,101340076	0,21006	0,067985517	0,25332
33	Філіппіни	0,61325	0,77986	0,752464301	0,84311	0,69067	0,63859	0,78652	0,707926	0,575686972	0,40051	0,625711364	0,77241
34	Пальца	0,3084	0,27631	0,195218253	0,40691	0,10987	0,24126	0,27189	0,31964	0,225431398	0,36936	0,210658932	0,32692
35	Португалія	0,59228	0,11782	0,159801124	0,4993	0,34742	0,33878	0,47488	0,4886446	0,309357078	0,48127	0,219625358	0,15567
36	Румунія	0,36998	0,4489	0,405818251	0,15905	0,37115	0,12011	0,52755	0,0882884	0,224274495	0,33341	0,323022823	0,49065
37	Росія	0,30149	0,44292	0,354523783	0,59913	0,17262	0,4758	0,08365	0,4953687	0,455064902	0,55095	0,426818905	0,48857
38	Сінгапур	0,33158	0,52207	0,442256864	0,73869	0,26855	0,56685	0,17244	0,6067136	0,515623528	0,55052	0,484244603	0,54986
39	Словачія	0,41011	0,29988	0,274647025	0,33783	0,30682	0,08187	0,48184	0,2701258	0,044369879	0,21921	0,14086741	0,32695
40	Південна Африка	0,30577	0,30075	0,223016856	0,37625	0,14024	0,23475	0,29023	0,2943907	0,23741215	0,38487	0,236499055	0,35358
41	Іспанія	0,53878	0,18061	0,200162073	0,41138	0,34351	0,22785	0,50189	0,3982068	0,200079735	0,37033	0,147577824	0,20733
42	Турція	0,49012	0,40873	0,376137937	0,21394	0,39455	0,26138	0,5263	0,2678995	0,33778025	0,5016	0,369499562	0,45991
43	Україна	0,37743	0,29846	0,254826483	0,28549	0,26265	0,10249	0,43064	0,2283497	0,139676608	0,31125	0,187566992	0,34214
44	Велика Британія	0,34618	0,40728	0,330543598	0,58445	0,18421	0,49243	0,13589	0,5632843	0,430393285	0,48653	0,380825404	0,48324
45	США	0,54741	0,69323	0,617015497	0,91284	0,47125	0,79343	0,29783	0,8068382	0,760335349	0,83132	0,713917915	0,72724

Рис. 4. Матриця ізоморфних відстаней

Розроблений макрос обчислив 15 ланцюгів: ланцюг 1 (країни 1, 21); ланцюг 2 (країни 2, 12, 3, 17); ланцюг 3 (країни 4, 13, 23, 29); ланцюг 4 (країни 5, 34, 40); ланцюг 5 (країни 6, 26); ланцюг 6 (країни 7, 37, 25); ланцюг 7 (країни 8, 36, 22, 31); ланцюг 8 (країни 9, 39, 10, 27, 28, 33); ланцюг 9 (країни 11, 32, 18); ланцюг 10 (країни 14, 41, 35); ланцюг 11 (країни 15, 24); ланцюг 12 (країни 16, 44, 38); ланцюг 13 (країни 19, 20); ланцюг 14 (країни 30, 45); ланцюг 15 (країни 42, 43). Ілюстрацію відстаней між об'єктами 9–15 ланцюгів наведено на рис. 5.

Ланцюг 9 (3):	11	0,067986	32	0,031323	18
Ланцюг 10 (3):	14	0,034074	41	0,129668	35
Ланцюг 11 (2):	15	0,096836	24		
Ланцюг 12 (3):	16	0,086971	44	0,117105	38
Ланцюг 13 (2):	19	0,143087	20		
Ланцюг 14 (2):	30	0,042321	45		
Ланцюг 15 (2):	42	0,204531	43		

Рис. 5. Відстані між об'єктами ланцюгів

Матриця відстаней між об'єктами 15 ланцюгів (рис. 5) дозволяє обчислити мінімальну відстань між ланцюгами (табл. 2) для подальшого їх об'єднання в кластери.

Таблиця 2

## ВІДСТАНІ МІЖ ЛАНЦЮГАМИ

Між країнами	Між кластерами	Відстань
(21; 22)	[1; 7]	0,165415567
(12; 24)	[2; 11]	0,078828257
(4; 36)	[3; 7]	0,159051831
(5; 17)	[2; 4]	0,120105846
(6; 39)	[5; 8]	0,081872222
(5; 25)	[4; 6]	0,126574802
(6; 36)	[5; 7]	0,120105846
(27; 32)	[8; 9]	0,080980923
(27; 32)	[8; 9]	0,080980923
(2; 35)	[2; 10]	0,117821652
(12; 24)	[2; 11]	0,078828257
(5; 16)	[4; 12]	0,131730255
(18; 20)	[9; 13]	0,091566985
(17; 45)	[2; 14]	0,213944224
(6; 43)	[5; 15]	0,102494332

*Джерело:* розроблено авторами

Підготовлений на основі даних рис. 5 і табл. 2 дендрит буде мати структуру, в якій кластери будуть включати такі ланцюги: кластер 1 ∈ ланцюг 16; кластер 2 ∈ ланцюг 1; кластер 3 ∈ ланцюг 3; кластер 4 ∈ ланцюг 7 ∪ ланцюг 5 ∪ ланцюг 8 ∪ ланцюг 15 ∪ ланцюг 9 ∪ ланцюг 13 (рис. 6); кластер 5 ∈ ланцюг 14; кластер 6 ∈ ланцюг 12; кластер 7 ∈ ланцюг 2 ∪ ланцюг 11 ∪ ланцюг 10 ∪ ланцюг 4 ∪ ланцюг 6 (рис. 7).



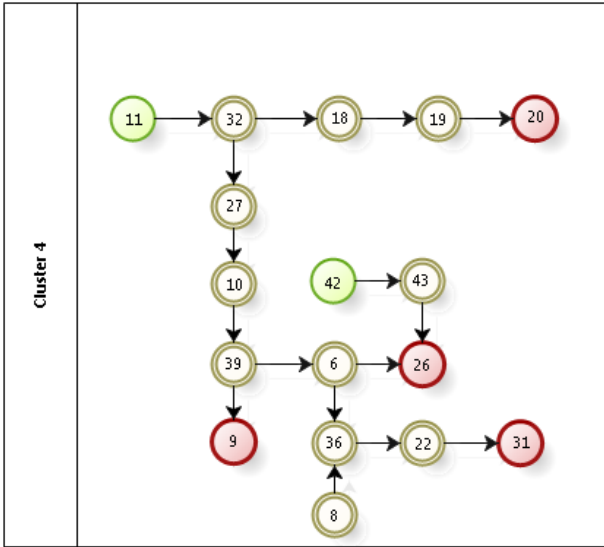


Рис. 6. Діаграма дендриту для кластера країн 4 під впливом ІТ факторів

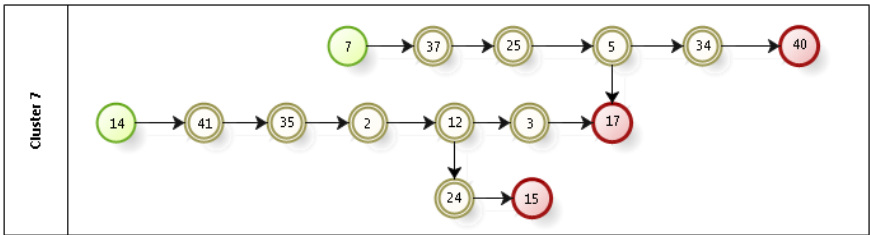


Рис. 7. Діаграма дендриту для кластера країн 7 під впливом ІТ факторів

У результаті було отримано 7 кластерів, які описують різноманітний вплив ІТ факторів на нерівномірний розподіл доходів у різних країнах світу. Зокрема, у табл. 3 і 4 наведено значення індекса Тейла та ІТ факторів, що впливають на нього (валове накопичення капіталу  $x_1$ , витрати на наукові дослідження і розробки  $x_2$ , виплати по інтелектуальній власності  $x_3$ , частка високотехнологічного експорту  $x_4$ ), розраховані для країн четвертого та сьомого кластеру, відповідно.

Таблиця 3

**ЗНАЧЕННЯ ІНДЕКСА ТЕЙЛА ТА ІТ ФАКТОРІВ  
ДЛЯ КРАЇН ЧЕТВЕРТОГО КЛАСТЕРА**

№ п/п	Країни	$x_1$ , % від ВВП	$x_2$ , % від ВВП	$x_3$ , млн дол. США	$x_4$ , % від промислового експорту	y
11	Чеська Республіка	26,19	1,78	1042,9	16,08	$5,06 \cdot 10^{-5}$
32	Норвегія	26,48	1,62	587,8	18,83	$6,44 \cdot 10^{-5}$
18	Греція	12,80	0,70	370,9	9,07	$1,58 \cdot 10^{-4}$
19	Гонконг	25,22	0,73	2018,6	16,18	$7,15 \cdot 10^{-5}$
20	Угорщина	19,45	1,26	1701,0	18,12	$1,77 \cdot 10^{-4}$
27	Литва	19,37	0,89	38,2	10,42	$4,95 \cdot 10^{-5}$
10	Кипр	16,12	0,44	0,0	13,00	$2,02 \cdot 10^{-6}$
39	Словакія	20,94	0,80	181,0	9,21	$5,13 \cdot 10^{-5}$
9	Хорватія	19,18	0,75	307,4	9,91	$5,29 \cdot 10^{-5}$
6	Болгарія	21,94	0,60	184,8	7,75	$1,08 \cdot 10^{-4}$
26	Латвія	26,17	0,66	43,7	9,78	$2,42 \cdot 10^{-5}$
43	Україна	21,72	0,75	727,0	6,30	$1,98 \cdot 10^{-4}$
42	Турція	28,30	0,83	741,0	1,83	$1,50 \cdot 10^{-3}$
36	Румунія	26,95	0,48	452,5	6,38	$2,66 \cdot 10^{-4}$
8	Колумбія	22,22	0,22	526,9	5,19	$1,12 \cdot 10^{-4}$
22	Індонезія	35,07	0,00	1800,1	7,30	$2,16 \cdot 10^{-3}$
31	Нова Зеландія	20,92	0,00	973,6	9,79	$6,33 \cdot 10^{-5}$

Таблиця 4

**ЗНАЧЕННЯ ІНДЕКСА ТЕЙЛА ТА ІТ ФАКТОРІВ  
ДЛЯ КРАЇН СЬОМОГО КЛАСТЕРА**

№ п/п	Країни	$x_1$ , % від ВВП	$x_2$ , % від ВВП	$x_3$ , млн дол. США	$x_4$ , % від промис- лового експорту	y
14	Естонія	29,09	2,12	61,3	10,75	$9,35 \cdot 10^{-6}$
41	Іспанія	19,99	1,29	0,0	6,99	$5,25 \cdot 10^{-4}$
35	Португалія	15,72	1,38	505,4	4,14	$2,01 \cdot 10^{-4}$
2	Австрія	23,98	2,91	1955,9	12,84	$1,39 \cdot 10^{-4}$
12	Данія	19,47	2,98	1392,5	14,22	$3,49 \cdot 10^{-5}$
3	Бельгія	23,20	2,27	2823,6	11,36	$2,54 \cdot 10^{-4}$
17	Німеччина	19,31	2,87	6399,2	15,98	$2,10 \cdot 10^{-3}$
24	Ізраїль	21,24	4,16	1111,7	15,85	$2,59 \cdot 10^{-4}$
15	Фінляндія	22,53	3,42	1775,1	8,55	$4,94 \cdot 10^{-5}$
5	Бразилія	21,42	1,13	4198,2	10,49	$3,81 \cdot 10^{-3}$
34	Польща	20,99	0,88	2332,0	6,95	$3,64 \cdot 10^{-4}$
40	Південна Африка	19,97	0,73	2017,1	5,38	$6,41 \cdot 10^{-4}$
25	Італія	17,86	1,27	5588,0	7,07	$5,49 \cdot 10^{-4}$
37	Росія	24,54	1,03	7629,3	8,38	$2,09 \cdot 10^{-3}$
7	Канада	24,93	1,78	10903,9	13,78	$3,67 \cdot 10^{-4}$

На основі даних з табл. 3 та 4 побудуємо регресійні моделі оцінки індекса Тейла (індикатора економічної нерівності) для країн кластера 4 (10) і кластера 7 (11), відповідно:

$$y = -0,00041 + 4,83 \cdot 10^{-6} \cdot x_1 + 9,14 \cdot 10^{-6} \cdot x_2 + 3,65 \cdot 10^{-13} \cdot x_3 - 6,35 \cdot 10^{-5} \cdot x_4, \quad (10)$$

$$y = -0,00158 - 5,94 \cdot 10^{-5} \cdot x_1 - 7,62 \cdot 10^{-4} \cdot x_2 + 3,79 \cdot 10^{-14} \cdot x_3 + 1,84 \cdot 10^{-4} \cdot x_4. \quad (11)$$

Як можна бачити з функції (10), зростання валового накопичення капіталу ( $x_1$ ), витрат на наукові дослідження і розробки ( $x_2$ ) підвищує економічну нерівність, тобто дивергенцію показників нерівності, для країн із кластера 4. Разом із цим, для кластера 7,

що видно з функції (11), збільшення  $x_1$  і  $x_2$  знижує індекс Тейла (обумовлює конвергенцію показників нерівності країн). Тобто, зростання на 1 % від ВВП валового накопичення капіталу веде до підвищення (дивергенції) економічної нерівності на  $4,83 \cdot 10^{-6}$  для кластера 4 і скорочення економічної нерівності (конвергенції) для кластера 7 на  $5,94 \cdot 10^{-5}$ . Зростання витрат на наукові дослідження і розробки на 1 % від ВВП призводить до збільшення економічної нерівності (дивергенції) на  $9,14 \cdot 10^{-6}$  для кластера 4 і зменшує економічну нерівність (конвергенції) для кластера 7 на  $7,62 \cdot 10^{-4}$ . Збільшення виплат по інтелектуальній власності ( $x_3$ ) на 1 дол. США призводить до посилення економічної нерівності на  $3,65 \cdot 10^{-13}$  для кластера 4 і на  $3,79 \cdot 10^{-14}$  для кластера 7. Розширення частки високотехнологічного експорту ( $x_4$ ) на 1 % від промислового експорту приводить до зниження економічної нерівності на  $6,35 \cdot 10^{-5}$  і збільшення на  $1,84 \cdot 10^{-4}$  для кластерів 4 і 7, відповідно.

## Висновки

Індустрія 4.0 створює нові можливості для переходу на цифрові технології, розвитку робототехніки, автоматизації всіх бізнес-процесів, створення новітніх продуктів і послуг. Це дає конкурентні переваги для збільшення експорту країн, підвищення глобального рівня конкурентоспроможності, але розширює рівень фрикційного та структурного безробіття, що знижує рівень доходу для окремих осіб і збільшує розрив нерівності між різними верствами населення.

Таким чином, передові наукові дослідження та розробки поглибили нерівність між різними країнами. Інтелектуальна власність та експорт високих технологій змінили свій вплив на рівень нерівності. Близько 44 % усіх країн мали нерівність через інші причини, що не пов'язані з розвитком ІТ та розповсюдженням Індустрії 4.0, яка має різну швидкість поширення для різних країн.

Для сімнадцяти країн одного з кластерів (Чеська Республіка, Норвегія, Греція, Гонконг, Угорщина, Литва, Кипр, Словачія, Хорватія, Болгарія, Латвія, Україна, Турція, Румунія, Колумбія, Індонезія, Нова Зеландія) переважна більшість ІТ факторів мають прямий вплив на нерівність, у той час як для іншого кластера із п'ятнадцяти країн (Естонія, Іспанія, Португалія, Австрія, Данія, Бельгія, Німеччина, Ізраїль, Фінляндія, Бразилія, Польща, Пів-

денна Африка, Італія, Росія, Канада) — обернений. Зростання валового накопичення капіталу, витрат на наукові дослідження і розробки підвищує економічну нерівність (тобто призводить до конвергенції розвитку) 17 країн першого зазначеного кластера та скорочує нерівність (тобто сприяє дивергенції розвитку країн) другого вказаного кластера. Збільшення показника інтелектуальної власності приводить до посилення економічної нерівності для країн з обох визначених кластерів. Розширення високотехнологічного експорту, навпаки, приводить до дивергенції країн за ознакою нерівності для першого виділеного кластера та зумовлює конвергенцію розвитку країн за ознакою нерівності для другого зазначеного кластера.

### Список літератури

1. Vacek J. On The Road: From Industry 4.0 to Society 4.0. *Trendy v Podnikání*. 2017. Vol. 7(4). P. 43–49.
2. Kobets V., Yatsenko V., Mazur A., Zubrii M. Data analysis of private investment decision making using tools of Robo-advisers in long-run period. *Proceedings of the 14th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer (Kyiv, Ukraine, 14–17 May), CEUR-WP*, 2018. Vol. 2104. P. 144–159. URL: [http://ceur-ws.org/Vol-2104/paper\\_162.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-2104/paper_162.pdf).
3. Kuzmenko O., Roienko V. Nowcasting Income Inequality in the Context of the Fourth Industrial Revolution. *SocioEconomic Challenges*. 2017. Vol. 1. P. 5–12. URL: [http://armgpublishing.sumdu.edu.ua/wp-content/uploads/2016/12/files/sec/issue1/SEC\\_1\\_2017\\_Kuzmenko.pdf](http://armgpublishing.sumdu.edu.ua/wp-content/uploads/2016/12/files/sec/issue1/SEC_1_2017_Kuzmenko.pdf).
4. Birdsall N. The World Is Not Flat: Inequality and Injustice in Our Global Economy. WIDER Annual Lecture 9. *UNU World Institute for Development Economics Research* : website. 2005. 55 p. URL: <https://www.wider.unu.edu/sites/default/files/AL09-2005.pdf>.
5. Sbardella A, Pugliese E, Pietronero L. Economic development and wage inequality: A complex system analysis. *PLoS ONE*. 2017. No. 12(9). P. 1–26. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182774>.
6. Projected GDP Ranking (2019–2024). *Statistics Times* : website. URL: <http://statisticstimes.com/economy/projected-world-gdp-ranking.php> (Last accessed: 17.06.2019).
7. Snihovyi O., Kobets V., Ivanov O. Implementation of Robo-Advisor Services for Different Risk Attitude Investment Decisions Using Machine Learning Techniques. *Communications in Computer and Information Science*. 2019. Vol. 1007. P. 298–321.

8. Everitt B.S., Landau S., Leese M. Cluster Analysis. Fourth edition. London: Taylor & Francis, 2001. 237 p.
9. Manly B.F.J. Multivariate Statistical Methods: A primer. Third edition. Boca Raton: Chapman and Hall, 2005. 208 p.
10. Rencher A.C. Methods of Multivariate Analysis. Second edition. New York: John Wiley & Sons, 2002. 738 p.
11. Data set for gross capital formation (% of GDP). *Worldbank* : website. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NE.GDI.TOTL.ZS> (Last accessed: 17.06.2019).
12. Data set for research and development expenditure (% of GDP). *Worldbank* : website. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/GB.XPD.RSDV.GD.ZS> (Last accessed: 17.06.2019).
13. Data set for charges for the use of intellectual property, payments (BoP, current US\$). *Worldbank* : website. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/BM.GSR.ROYL.CD?view=chart> (Last accessed: 17.06.2019).
14. Data set for high-technology exports (% of manufactured exports). *Worldbank* : website. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/TX.VAL.TECH.MF.ZS?view=chart> (Last accessed: 17.06.2019).
15. Data set for Theil index analysis. *Google Drive* : website. URL: <https://drive.google.com/open?id=1SSb26seUYM2Vj1AjovUN6jnWG3Sx8zMB> (Last accessed: 17.06.2019).
16. Kobets V., Poltoratskiy M. Using an evolutionary algorithm to improve investment strategies for industries in an economic system. *Proceedings of the 12th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer (Kyiv, Ukraine, 21–24 June), CEUR-WP*, 2016. Vol. 1614. P. 485–501. URL: [http://ceur-ws.org/Vol-1614/paper\\_102.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-1614/paper_102.pdf).

## References

1. Vacek, J. (2017). On The Road: From Industry 4.0 to Society 4.0. *Trendy v Podnikání*, 7(4), 43–49.
2. Kobets, V., Yatsenko, V., Mazur, A., & Zubrii, M. (2018, May 14–17). Data analysis of private investment decision making using tools of Robo-advisers in long-run period. In V. Ermolayev, M. C. Suárez-Figueroa et al. (Eds.), *Proceedings of the 14th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer (Kyiv, Ukraine), CEUR-WP*, 2104, 144–159. Retrieved from [http://ceur-ws.org/Vol-2104/paper\\_162.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-2104/paper_162.pdf).
3. Kuzmenko, O., & Roienko, V. (2017). Nowcasting Income Inequality in the Context of the Fourth Industrial Revolution. *SocioEconomic Challenges*, 1, 5–12. Retrieved from [http://armgpublishing.sumdu.edu.ua/wp-content/uploads/2016/12/files/sec/issue1/SEC\\_1\\_2017\\_Kuzmenko.pdf](http://armgpublishing.sumdu.edu.ua/wp-content/uploads/2016/12/files/sec/issue1/SEC_1_2017_Kuzmenko.pdf).

4. Birdsall, N. (2005). *The World Is Not Flat: Inequality and Injustice in Our Global Economy*. WIDER Annual Lecture 9. Retrieved from <https://www.wider.unu.edu/sites/default/files/AL09-2005.pdf>.
5. Sbardella, A., Pugliese, E., & Pietronero, L. (2017, September 19). Economic development and wage inequality: A complex system analysis. *PLoS ONE*, 12(9), 1–26. DOI: 10.1371/journal.pone.0182774.
6. Statistics Times. (2019). *Projected GDP Ranking (2019-2024)*. Retrieved from <http://statisticstimes.com/economy/projected-world-gdp-ranking.php>.
7. Snihovyi, O., Kobets, V., & Ivanov, O. (2019). Implementation of Robo-Advisor Services for Different Risk Attitude Investment Decisions Using Machine Learning Techniques. *Communications in Computer and Information Science*, 1007, 298–321.
8. Everitt, B.S., Landau, S., & Leese, M. (2001). *Cluster Analysis. Fourth edition*. London, UK: Taylor & Francis.
9. Manly, B.F.J. (2005). *Multivariate Statistical Methods: A primer. Third edition*. Boca Raton, FL: Chapman and Hall.
10. Rencher, A.C. (2002). *Methods of Multivariate Analysis. Second edition*. New York, NY: John Wiley & Sons.
11. Worldbank. (2019, June 17). *Data set for gross capital formation (% of GDP)*. Retrieved from <https://data.worldbank.org/indicator/NE.GDI.TOTL.ZS>.
12. Worldbank. (2019, June 17). *Data set for research and development expenditure (% of GDP)*. Retrieved from <https://data.worldbank.org/indicator/GB.XPD.RSDV.GD.ZS>.
13. Worldbank. (2019, June 17). *Data set for charges for the use of intellectual property, payments (BoP, current US\$)*. Retrieved from <https://data.worldbank.org/indicator/BM.GSR.ROYL.CD?view=chart>.
14. Worldbank. (2019, June 17). *Data set for high-technology exports (% of manufactured exports)*. Retrieved from <https://data.worldbank.org/indicator/TX.VAL.TECH.MF.ZS?view=chart>.
15. Google Drive. (2019, June 17). *Data set for Theil index analysis*. Retrieved from <https://drive.google.com/open?id=1SSb26seUYM2Vj1AjovUN6jnWG3Sx8zMB>.
16. Kobets, V., & Poltoratskiy, M. (2016, June 21–24). Using an evolutionary algorithm to improve investment strategies for industries in an economic system. In V. Ermolayev, A. Spivakovsky et al. (Eds.), *Proceedings of the 12th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer (Kyiv, Ukraine), CEUR-WP, 1614*, 485–501. Retrieved from [http://ceur-ws.org/Vol-1614/paper\\_102.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-1614/paper_102.pdf).

Стаття надійшла до редакції 18.07.2019