

## КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ БАЗИС ОЦІНКИ Й АНАЛІЗУ СТАНУ ЦИФРОВІЗАЦІЇ УКРАЇНИ

*Liubov Chagovets*

*Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine*

*liubov.chahovets@hneu.net*

**Abstract.** The aim of the article is to develop a conceptual basis for assessing and analyzing the digital development of the country, which, unlike others, is based on methods of intellectual analysis of multidimensional objects, which improves the quality of formation and decision-making. The essence of digitalization is considered in the thesis and the analysis of a modern condition of digital transformation of the country is executed; the advantages and disadvantages of modern methods and models of digital development assessment is carried out; system analysis and mathematical modeling methods to assess the digitalization state of Ukraine are analyzed. The results can be used in the practice of the state's digital development management and regional management.

**Key words:** model, mathematical modeling, digitalization of economy, digitalization, digital development, development management

**Анотація.** Метою роботи є розробка концептуального базису оцінки й аналізу цифрового розвитку країни, який, на відміну від інших побудованих на базі методів інтелектуального аналізу багатовимірних об'єктів, що дозволяє підвищити якість формування та ухвалення управлінських рішень із діджиталізації найважливіших напрямків розвитку економіки України. У роботі розглянуто сутність цифровізації та виконано аналіз сучасного стану цифрової трансформації країни; проаналізовано особливості використання комплексу методів системного аналізу та математичного моделювання для оцінки стану цифровізації України. Результати може бути використано в практиці управління цифровим розвитком у державних та регіональних органах.

**Ключові слова:** модель, математичне моделювання, цифровізація економіки, діджиталізація, цифровий розвиток, управління розвитком

Швидкий розвиток світових процесів діджиталізації та цифрового розвитку, який торкається як окремих господарюючих суб'єктів, територіальних громад, країн та глобального простору в цілому відбуваються під дією великої кількості чинників, яким притаманні дуже високий рівень невизначеності та значна динамічність. Перед господарюючими суб'єктами внаслідок нестабільності умов зовнішнього середовища та виникнення екстремальних умов функціонування постає необхідність вироблення здатності до опору негативним впливам шляхом впровадження новітніх технологій.

Актуальність теми цифрового розвитку України обумовлено тим, що без забезпечення існуючої системи національних інтересів стає складним не тільки процес сталого розвитку економіки, а й виникає загроза втрати безпеки на національному рівні. Несвоєчасне усунення проблем цифровізації здатне спричинити негативні наслідки в масштабах усієї економіки країни. Тому за сучасних умов господарювання забезпечення достатнього рівня цифрового розвитку країни є найпершою передумовою для забезпечення стійкого економічного розвитку держави та закріплення її позицій у світовому масштабі. У свою чергу, обґрунтування управлінських рішень з цифровізації на рівні державних органів управління та окремих територіальних громад стає можливим лише за умови дії ефективної системи управління цифровим розвитком. Побудову такої системи управління має бути засновано на комплексі економіко-математичних моделей із застосуванням сучасного математичного інструментарію, що дозволить сформулювати ефективні рішення із забезпечення діджиталізації та підвищення її рівня.

Метою роботи є розробка концептуального базису оцінки й аналізу стану цифровізації країни, який, на відміну від інших, побудований на базі методів інтелектуального аналізу

багатовимірних об'єктів, що дозволяє підвищити якість формування та ухвалення управлінських рішень із діджиталізації за найважливішими напрямками розвитку економіки України.

Питання цифровізації у контексті розвитку країни піднімались у роботах закордонних вчених: Değerli A. та Aytekin Ç.<sup>1</sup>, Appiah-Otoo I. та Na Song<sup>2</sup>, Kallal R., Ftiti Z. та Haddaji A.<sup>3</sup>, Osman I. H. та Zablith F.<sup>4</sup>, Ravanos P. та Karagiannis G.<sup>5</sup>, Rorissa A. та Demissie D., Pardo T.<sup>6</sup> та інших. Серед вітчизняних вчених, працюючих над проблемами оцінки стану цифрового та телекомунікаційного розвитку України, слід виокремити таких, як Апалькова В. В.<sup>7</sup>, Гавкалова Н. Л.<sup>8</sup>, Дем'янчук М.<sup>9</sup>, Подольчак Н. Ю., Левицька Я. В. та Білик О. І.<sup>10</sup>, Пищуліна О.<sup>11</sup>, Ночвай В.<sup>12</sup>, Сенкевич О. Ф.<sup>13</sup>, Ткалич Т. А.<sup>14</sup>, Тутова О. В.<sup>15</sup>, Варламова М.<sup>16</sup> та інші. Існуючі дослідження і публікації в галузі оцінювання рівня телекомунікаційного прогресу в контексті сучасних процесів цифровізації країн [7 – 31] допомогли виявити низку підходів, спрямованих на дослідження питань ефективності цифровізації країн та побудови їх ІКТ-рейтингу (The Information and Communication Technology Development Ranking).

Так, у роботах (Кривошеєва, С.В., Клименко, І.С. & Тарануха (2015)<sup>17</sup>, Квітка, С.,

<sup>1</sup> Değerli, A. (2015). Analyzing Information Technology Status and Networked Readiness Index in Context of Diffusion of Innovations Theory In A. Değerli, Ç. Aytekin, B. Değerli. World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship. (Pp.1553–1562). İstanbul, Turkey.

<sup>2</sup> Appiah-Otoo, I. & Na Song (2021). The impact of ICT on economic growth-Comparing rich and poor countries. Telecommunications Policy, 45(2). <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308596120301725>.

<sup>3</sup> Kallal, R., Haddaji, A. & Ftiti, Z. (2021). ICT diffusion and economic growth: Evidence from the sectorial analysis of a periphery country. Technological Forecasting and Social Change, 162. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162520312294>.

<sup>4</sup> Osman, I. H. & Zablith, F. (2020). Re-evaluating electronic government development index to monitor the transformation toward achieving sustainable development goals. Journal of Business Research. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0148296320306858>.

<sup>5</sup> Ravanos, P. & Karagiannis, G. (2020). Tricks with the BoD model and an application to the e-Government Development Index. Socio-Economic Planning Sciences. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038012120307928>

<sup>6</sup> Rorissa, A., Demissie, D. & Pardo, T. (2012). Benchmarking e-Government: A comparison of frameworks for computing e-Government index and ranking. Government Information Quarterly, Vol. 28(33), 354–362. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0740624X11000359>

<sup>7</sup> Апалькова, В. В. (2015). Концепція розвитку цифрової економіки в Євросоюзі та перспективи України. Вісник Дніпропетровського університету. Серія «Менеджмент інновацій», 4, 9–18

<sup>8</sup> Gavkalova, N. (2019). Influence of the Country's Information Level on Its Economic Development In N. Gavkalova, Y. Lola, S. Prokopovych & D. Mykhailenko, Proceedings of the 2019 7th International Conference on Modeling, Development and Strategic Management of Economic System (MDSMES 2019). <https://www.atlantispress.com/article/125919217.pdf>

<sup>9</sup> Дем'янчук, М. А. (2020). Система показників збалансованого розвитку телекомунікаційного підприємства в умовах цифрових трансформацій. Науковий вісник Ужгородського національного університету, 30, 64–69

<sup>10</sup> Подольчак, Н. Ю., Білик, О. І. & Левицька, Я. В. (2019). Сучасний стан цифровізації в Україні. Ефективна економіка. № 10. <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=7300>

<sup>11</sup> Пищуліна, О. (2020). Цифрова економіка: тренди, ризики та соціальні детермінанти. Центр Разумкова, Вид-во «Заповіт»

<sup>12</sup> Ночвай, В., Корявцев, М., Кульчицький, І., Олексюк, Л., Приходько, О., Гороховський, К. & Грига В. Проблеми та перспективи гармонізації цифрового ринку України з ринками ЄС та країн СхП. Інформаційно-аналітичний звіт. <https://www.civic-synergy.org.ua/analytics/problemu-ta-perspektyvy-garmonizatsiyi-tyfrovogo-rynku-ukrayiny-z-rynkamy-yes-ta-krayin-shp>

<sup>13</sup> Сенкевич, О. Ф. (2020). Трансформація територіально-економічних систем в умовах розвитку цифрової економіки та суспільства [Дис. канд. екон. наук: 08.00.05, Одеська національна академія харчових технологій]. Репозитарій Одеської національної академії харчових технологій

<sup>14</sup> Ткалич, Т. А. (2017). Оценка и прогнозирование показателей результативности цифровой экономики методом ABC-анализа. Економіка та держава, 3. [http://www.economy.in.ua/pdf/3\\_2017/4.pdf](http://www.economy.in.ua/pdf/3_2017/4.pdf)

<sup>15</sup> Tutova, O. V. & Savchenko, Ye. A. (2019). Ukraine in The Information and Communication Technology Development Ranking. Control systems and computers, 3, 70–78. <http://usim.org.ua/arch/2019/3/9.pdf>

<sup>16</sup> Варламова, М. & Дем'янова, Ю. (2020). Основні тенденції діджиталізації у глобальному вимірі. Галицький економічний вісник, 2(63), 251–260. <https://galicianvisnyk.tntu.edu.ua/pdf/63/829.pdf>

<sup>17</sup> Кривошеєва, С.В., Клименко, І.С. & Тарануха, О.М. (2015). Сучасний стан інформаційної економіки в Україні. Економіка та управління на транспорті, Вип. 2, 90–97

Титаренко, О. & Мазур, О. (2019)<sup>18</sup> Сенкевич, О. Ф. (2020)<sup>19</sup>) доведено, що існуючі моделі оцінки рівня цифровізації країни, які базуються на звичайних індикаторах економічного добробуту на основі ВВП, не враховують інші важливі соціальні чинники. Це зумовило створення низки спеціальних узагальнюючих індикаторів цифрового розвитку: глобальний індекс розвитку електронного уряду, індекс мережної готовності та індекс розвитку інформаційних і комунікаційних технологій. У дослідженні<sup>20</sup> в контексті поширення інновацій доведено необхідність покращання існуючих інструментів порівняльного аналізу і рейтингу електронного уряду, представлено сильні та слабкі сторони шести напрямів оцінки індексу електронного уряду, показано, що напрями, які містять розширення функцій та можливостей сайтів електронного уряду, мають прерогативу над іншими.

За методологією<sup>21</sup> оцінку глобального індексу розвитку електронного уряду (Global E-Government Development Index – GEDI) можна подати, розраховуючи комплексний показник, який оцінює готовність й можливості національних державних структур у використанні інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) для надання громадянам державних послуг. Існує також альтернативний показник – індекс мережної готовності (Networked Readiness Index). Це – комплексний показник, що характеризує рівень розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та мережної економіки в країнах світу. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**<sup>22</sup> Як зазначає багато авторів, найбільш повним з точки зору оцінки темпів розвитку інформаційних технологій, моніторингу та порівняння розвитку інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) між країнами у часі доцільно використовувати індекс розвитку ІКТ (The ICT Development Index)<sup>23</sup>. Цей індекс інтегрує в собі 11 підіндексів та використовується для вимірювання:

- рівня розвитку ІКТ країн відносно інших;
- прогресу розвитку ІКТ як у розвинутих країнах, так і в країнах, що розвиваються;
- цифрового розриву, тобто відмінностей між країнами відносно рівня розвитку ІКТ;
- потенціалу розвитку ІКТ та ступінь використання їх для посилення розвитку в контексті наявних можливостей та навичок.

Високі темпи поглиблення сучасних процесів діджиталізації та цифрового розвитку глобального суспільства, окремих територій, регіональних систем та країн відбуваються під впливом значної кількості внутрішніх та зовнішніх чинників, які характеризуються високим рівнем невизначеності та значною динамічністю. У свою чергу глобалізаційні процеси посилюють інтенсивність їх дії та високу швидкість усіх процесів цифрової трансформації.

Для ґрунтовної оцінки стану цифровізації країни слід провести детальний аналіз методологічних засад та визначити сутність цифрової економіки. Як зазначено у роботі<sup>24</sup>, світова наукова спільнота намагається розкрити головні теоретичні засади нинішнього економічного укладу і сформулювати основні його категорії, що розкриватимуть особливості використання інформаційно-комунікаційних технологій як чинника економічного розвитку

<sup>18</sup> Квітка, С., Титаренко, О. & Мазур, О. (2019). Оцінка стану цифрового розвитку адміністративно-територіальних одиниць Дніпропетровської області. Аспекти публічного управління, т. 7, № 11, 15–25

<sup>19</sup> Сенкевич, О. Ф. (2020). Трансформація територіально-економічних систем в умовах розвитку цифрової економіки та суспільства [Дис. канд. екон. наук: 08.00.05, Одеська національна академія харчових технологій]. Репозитарій Одеської національної академії харчових технологій

<sup>20</sup> Degerli, A. (2015). Analyzing Information Technology Status and Networked Readiness Index in Context of Diffusion of Innovations Theory In A. Degerli, Ç. Aytakin, B. Değerli. World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship. (Pp.1553–1562). İstanbul, Turkey

<sup>21</sup> Rorissa, A., Demissie, D. & Pardo, T. (2012). Benchmarking e-Government: A comparison of frameworks for computing e-Government index and ranking. Government Information Quarterly, Vol. 28(33), 354–362. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0740624X11000359>

<sup>22</sup> Network Readiness Index. <https://networkreadinessindex.org>

<sup>23</sup> The ICT Development Index (IDI): conceptual framework and methodology. <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/publications/mis/methodology.aspx>

<sup>24</sup> Ковтонюк, К. В. (2017). Цифровізація світової економіки як фактор економічного зростання. Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія Економічні науки, Вип. 27, Ч. 1, 29–33. [http://www.ej.kherson.ua/journal/economic\\_27/1/9.pdf](http://www.ej.kherson.ua/journal/economic_27/1/9.pdf)

країни. Цифрова економіка як сучасний економічний устрій міцно пов'язана зі швидким розвитком інформаційно-комунікаційних технологій, процесом інформатизації другого покоління – основою VI технологічного укладу «Нанотехнологій», що сприяє збільшенню темпів економічного розвитку та створенню принципово нової системи управління<sup>17</sup>.

На даний час науковці акцентують увагу на двох основних підходах до пояснення ролі та місця цифровізації у світовому промисловому виробництві: за першим підходом сучасний період упровадження інформаційно-комунікаційних досягнень визначається як еволюційний, за другим – як революційний. Відповідно до другого, цифрова економіка розглядається як підґрунтя «Четвертої промислової революції», тому що має місце і зміна базової технології, і є ознаки зміни техніко-економічної парадигми<sup>25</sup>. Одночасно інтеграція, зростання та вдосконалення в галузі інформаційних технологій та комунікацій призводять до зміни нашої економіки та суспільства. Традиційні економічні процеси набувають сучасних способів взаємозв'язку у цифрових системах, тобто економіка ХХІ ст. суттєво змінюється, переходячи в статус цифрової<sup>26</sup>.

Цифрова економіка є самостійним сектором економіки, в якому діяльність господарюючих суб'єктів здійснюється із застосуванням цифрових та інформаційно-комунікаційних технологій, а головними чинниками та засобами виробництва стають цифрові, електронні та віртуальні дані. «Цифрова економіка», «digital-економіка», «економіка на вимогу» (on-demand economy), «GAFA-економіка» – ось терміни, якими описують нові тренди розвитку економіко-інформаційних відносин. У загальному виді усі ці терміни описують один і той же вид економіки, де основними засобами виробництва виступають цифрові дані<sup>27</sup>.

Цифрова економіка розвивається за трьома основними напрямками:

- у напрямку взаємодії виробників та споживачів;
- у напрямку інновацій та технологічного розвитку, коли виникають та розвиваються нові сектори економіки;
- у напрямку розробки нового цифрового середовища, яке забезпечує необхідні умови для успішного розвитку перших двох напрямів.

Звичні формулювання цифрової економіки пов'язані із виробництвом, продажами та постачанням товарів і послуг через інтернет. Проте, сучасні науковці намагаються розширити межі цього поняття<sup>28</sup>. Так, Данніков О. В. та Січкаренко К. О. вводять поняття «інформаційно-мережена економіка» та характеризують її через такі категорії, як «нова якість економічної науки та обробки інформації», «сектори економіки, які повністю спираються на цифрові технології», «сучасні соціально-інформаційні трансформації та парадигма розвитку країни, економіки та суспільства»<sup>29</sup>. Гудзь О. Є. визначає, що в основному науковці під цифровою економікою розуміють «виробництво, продаж і постачання продуктів за допомогою інформаційно-комунікаційних мереж»<sup>30</sup>. Коляденко С. В. у своїй роботі надав визначення категорії «цифрова економіка» різними науковцями, як «окремий вид економіки» (Horpestone Kayiska Chavula, Abebe Cheko), «мережа господарюючих суб'єктів, економічна форма» (Alexandru Tugu), «всі економічні процеси» (Войнаренко М. П., Скоробогата Л. В.)<sup>31</sup>.

Сьогодні існують кілька синонімів до цифрової економіки, а саме: інтернет-економіка,

<sup>25</sup> Пищуліна, О. (2020). Цифрова економіка: тренди, ризики та соціальні детермінанти. Центр Разумкова, Вид-во «Заповіт»

<sup>26</sup> Панасюк, В. М. (2020). Інформатизація та цифровізація: тенденції та напрями розвитку в Україні. Інтелект ХХІ, 1, 160–165

<sup>27</sup> Жекало, Г. І. (2019). Цифрова економіка України: проблеми та перспективи розвитку. Науковий вісник Ужгородського національного університету, Вип. 26, ч. 1, 56–60

<sup>28</sup> Подольчак, Н. Ю., Білик, О. І. & Левицька, Я. В. (2019). Сучасний стан цифровізації в Україні. Ефективна економіка. № 10. <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=7300>

<sup>29</sup> Данніков, О.В & Січкаренко, К. О. (2018). Концептуальні засади цифровізації економіки України. Інфраструктура ринку, 17, 73–80

<sup>30</sup> Гудзь, О. Є. (2018). Цифрова економіка: зміна цінностей та орієнтирів управління підприємствами. «Економіка. Менеджмент. Бізнес», 2(24).

<sup>31</sup> Коляденко, С.В. (2016). Цифрова економіка: передумови та етапи становлення в Україні і у світі. Економіка. Фінанси. Менеджмент, № 6, 106–107.

нова економіка, веб-економіка. Загалом під цифровою економікою розуміють «виробництво, продаж та постачання товарів та послуг за допомогою комп'ютерних мереж». Можна стверджувати також, що «цифрова економіка – це різновид ринку суб'єктів економічної системи на якому один, декілька або всі етапи господарських процесів здійснюються через комп'ютерні мережі; один із проявів економічної свободи, інноваційності та рівня розвитку економіки».

Якщо науковці почали виокремлювати в самостійну категорію «цифрову економіку» ще в 90-х роках ХХ століття, то важливості на європейському рівні ця категорія здобула в 2010 р. під час обговорення Європейською Комісією «Цифрового порядку денного для Європи» (Digital Single Market Strategy) в межах стратегії «Європа 2020». Вагомою складовою Цифрового порядку ЄС є створення Єдиного цифрового ринку (Digital Single Market). Україна, економічна політика якої спрямована на створення усіх умов для інтеграції до Європейського Союзу, так само має враховувати чітко окреслену стратегію Європи<sup>32</sup>.

Першим поступом на державному рівні до розвитку цифрової економіки було розроблення у 2016 р. концептуальних засад цифровізації, що знайшли відображення у спільному проекті «Цифрова адженда України – 2020»<sup>33</sup>. Зачинателем цього проекту виступило Міністерство економічного розвитку та торгівлі України, а до його розроблення було залучено представників державних органів влади, головних компаній у галузі використання цифрових технологій, науковців, незалежних експертів, громадські організації, асоціації, консалтингові групи тощо.

Спираючись на наявний проект реалізації цифрової економіки в Україні у 2018 р., Кабінет Міністрів України схвалив «Концепцію розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 роки»<sup>34</sup>. У цьому документі акцентовано на основні цілі цифрового розвитку країни: прискорення економічного зростання та залучення інвестицій; трансформацію секторів економіки в конкурентоспроможні та ефективні; технологічну та цифрову модернізацію промисловості; розвиток цифрових індустрій та цифрового підприємництва.

У подальшому Український інститут майбутнього розробив економічну стратегію України до 2030 року, у якій наведено напрями реформ та проектів для досягнення КРІ-стратегій. Серед них – проект «Україна 2030Е – країна з розвинутою цифровою економікою». Проект уточнює термінологію («цифрова економіка», «цифрова трансформація», «цифрові технології»); пояснює 8 принципів цифровізації (рівний доступ до послуг, інформації та знань; створення переваг у різних сферах щоденного життя; зростання ефективності, продуктивності та конкурентоздатності; інформатизація суспільства та розвиток засобів масової інформації; інтеграція держави до ЄС; стандартизація; підвищення рівня довіри та безпеки; спрямування державного управління на цифровізацію як головний об'єкт); розкриває ключові цифрові тренди, серед яких вказується цифровізація й цифрові трансформації бізнесу та галузей економіки; наводить сценарії розвитку цифрової економіки України; розкриває роль держави, низку ініціатив та проектів для досягнення КРІ; роз'яснює проекти цифрової трансформації; наводить шляхи подолання безробіття як ризику цифровізації; уточнює напрями забезпечення національної кібербезпеки; розкриває дорожню карту реалізації стратегії розвитку цифрової економіки та наводить ефекти від впровадження цифровізації.

Під час оцінки обсягів цифрової економіки, вартості, що в ній створюється, й прибутків, що отримуються, виникає безліч труднощів через те, що немає загальноприйнятого визначення цифрової економіки та не вистачає достовірних статистичних даних про її складові частини, над усе в країнах, що розвиваються. Хоча вже реалізується низка ініціатив,

<sup>32</sup> Проблеми та перспективи гармонізації цифрового ринку України з ринками ЄС та країн СхП. Аналітичний звіт. <https://cid.center/wp-content/uploads/2019>

<sup>33</sup> Цифрова адженда України – 2020 («Цифровий порядок денний» – 2020). Концептуальні засади. <https://uccr.org.ua/uploads/files/58e78ee3c3922.pdf>

<sup>34</sup> Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 роки та затвердження плану заходів щодо її реалізації» від 17 січня 2018 р. № 67-р. [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/67\\_2018-p/ed20180117#n23](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/67_2018-p/ed20180117#n23)

покликаних виправити такий стан справ, проте їх все одно недостатньо, і вони слабо встигають за швидким розвитком цифрової економіки<sup>35</sup>.

Світовий банк вважає, що відсутня адекватна макроекономічна статистика, яка надає можливість найточніше оцінити переваги використання як самих цифрових продуктів, так і продуктів, створених на базі цифрових технологій, або транскордонних операцій. Тому Міжнародний валютний фонд ініціював обговорення у широких колах методів оцінювання цифрової економіки. Складними лишаються питання, як оцінити внесок спільного використання платформ і гіг-економіки у ВВП і зростання продуктивності праці<sup>28</sup>.

Через це стає ясным, що цифрова економіка – це не окремі галузі або ІТ-компанії. А, перш за все, існуюча економіка, традиційні галузі (обробна промисловість, сільське господарство, будівництво, транспорт тощо), які під впливом цифрової трансформації змінюють свої виробничі та бізнес-процеси й отримують нові можливості для зростання продуктивності та ефективності бізнесу.

Події останнього часу, викликані пандемією SARS2 COVID, торкнулися усіх країн світу. За даними Міністерства фінансів України на січень 2022 року в усьому світі кількість людей, що заразилося, перевищила 374 млн. Значні наслідки цього явища вимагають виявлення можливого перебігу цифровізації виробничих та технологічних процесів у кожному регіоні, кожній державі. Це підтверджують нові хай-тек сегменти, які активно формуються у переважній більшості розвинутих країн<sup>36,37</sup>. Поява укрain необхідних цифрових рішень з використанням телекомунікацій вивільняють країну від серйозних проблем у галузі житлово-комунального господарства, соціального забезпечення, ліквідації надзвичайних ситуацій та інших важливих галузей державного управління. У цих умовах напрями розвитку ІКТ-сектору та відповідні моделі їх оцінки й аналізу, як базису цифрового розвитку країни, потребують особливого дослідження, бо надають можливість виявити шляхи цифрового зростання та кроки подолання кризи ділової активності державних органів та підприємств<sup>38</sup>. Крім того, обґрунтування з точки зору системного підходу оцінку цифровізації країни із застосуванням найсучасніших методів системного та багатовимірного аналізу як одних з найбільш ефективних у вирішенні завдань математичного моделювання станів та оцінки досліджуваних процесів недостатньо висвітлено в наукових роботах і потребує подальшого вдосконалення.

Необхідність розробки радикальних заходів щодо покращення сучасного стану економіки України відмічається багатьма експертами, політологами і провідними фахівцями. Це обґрунтовується суттєвим зниженням показників розвитку України<sup>39</sup>. Так, значення головного індикатора розвитку країни – валового внутрішнього продукту (ВВП), який є фактично результатом агрегування виробничої діяльності резидентів у межах країни та свідчить про річні зміни у її розвитку, з 2019 року почали різко знижуватися. На рисунку 1 наведено зміну реального ВВП у процентах до відповідного кварталу попереднього року за період 2016-2021 роки. З нього бачимо, що у другому кварталі 2020 року порівняно з таким же кварталом 2019 року реальний валовий внутрішній продукт досяг сильного зменшення (-11,2%). Далі до другого кварталу 2021 року спостерігається підвищення реального ВВП, але все ж таки мають місце його від'ємні значення. Незважаючи на зростання у другому кварталі 2021 році, значення ВВП у третьому кварталі знов зменшилося на 2,7%, порівняно з таким же кварталом 2020 року.

<sup>35</sup> Пищуліна, О. (2020). Цифрова економіка: тренди, ризики та соціальні детермінанти. Центр Разумкова, Вид-во «Заповіт».

<sup>36</sup> Головенчик, Г. Г. (2018). Рейтинговий аналіз рівня цифрової трансформації економік стран ЕАЭС и ЕС. Цифровая трансформация, 2(3), 5–18

<sup>37</sup> Овчаренко, Д. ІТ в Україні: куди ми рухаємося. <https://dou.ua/lenta/columns/future-of-it-ukraine>

<sup>38</sup> Пищуліна, О. (2020). Цифрова економіка: тренди, ризики та соціальні детермінанти. Центр Разумкова, Вид-во «Заповіт»

<sup>39</sup> Макроекономічні показники. <http://www.ukrstat.gov.ua>

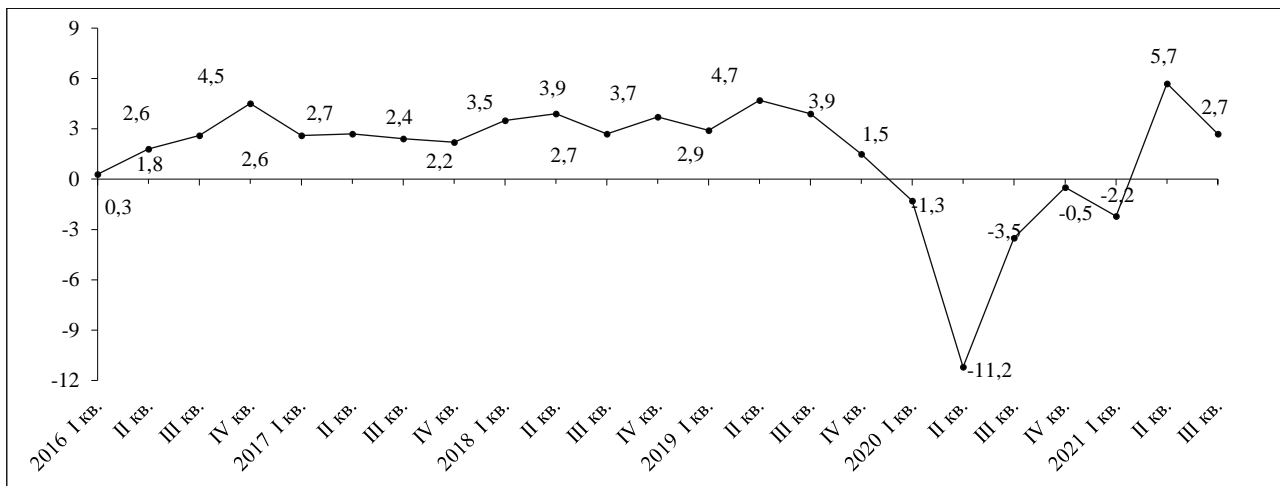


Рисунок 1 – Зміна реального ВВП (у % до відповідного кварталу попереднього року)

Зміна економічних зв'язків, викликана пандемією, значно вплинула на зовнішню торгівлю: у січні-листопаді 2021р. було експортовано товарів на суму 61 266,9 млн.дол. США, імпортовано на суму 64 874,2 млн.дол. Сальдо – від'ємне і склало 3607,3 млн.дол. Коефіцієнт покриття експортом імпорту становив 0,94<sup>32</sup>. Тобто реальний сектор економіки зазнав певних збитків.

Спостерігалось також зростання цін. Інфляція на споживчому ринку в грудні 2021 року порівняно з листопадом становила 0,6% (рисунок 2). В цілому за 2021 рік вона склала 10,0 %. На споживчому ринку в грудні 2021 року порівняно з груднем 2020 року ціни на продукти харчування та безалкогольні напої зросли на 12,7 %. Найбільше подорожчали олія соняшникова (на 38,8 %), цукор (на 28,3 %), яйця (на 19 %). Зросли ціни на овочі (12,7 %), молоко (11,3 %), хліб (18,7 %), макаронні вироби (10,9 %), м'ясо та м'ясопродукти (12,9 %), масло (13,6 %). Ціни на алкогольні напої та тютюнові вироби підвищилися на 9,4%. Відбулося зростання цін (тарифів) на житло, воду, електроенергію, газ та інші види палива на 9,8 %. Ціни на транспорт зросли на 11,1%, в першу чергу, за рахунок подорожчання палива та мастил на 26,5 %<sup>32</sup>.

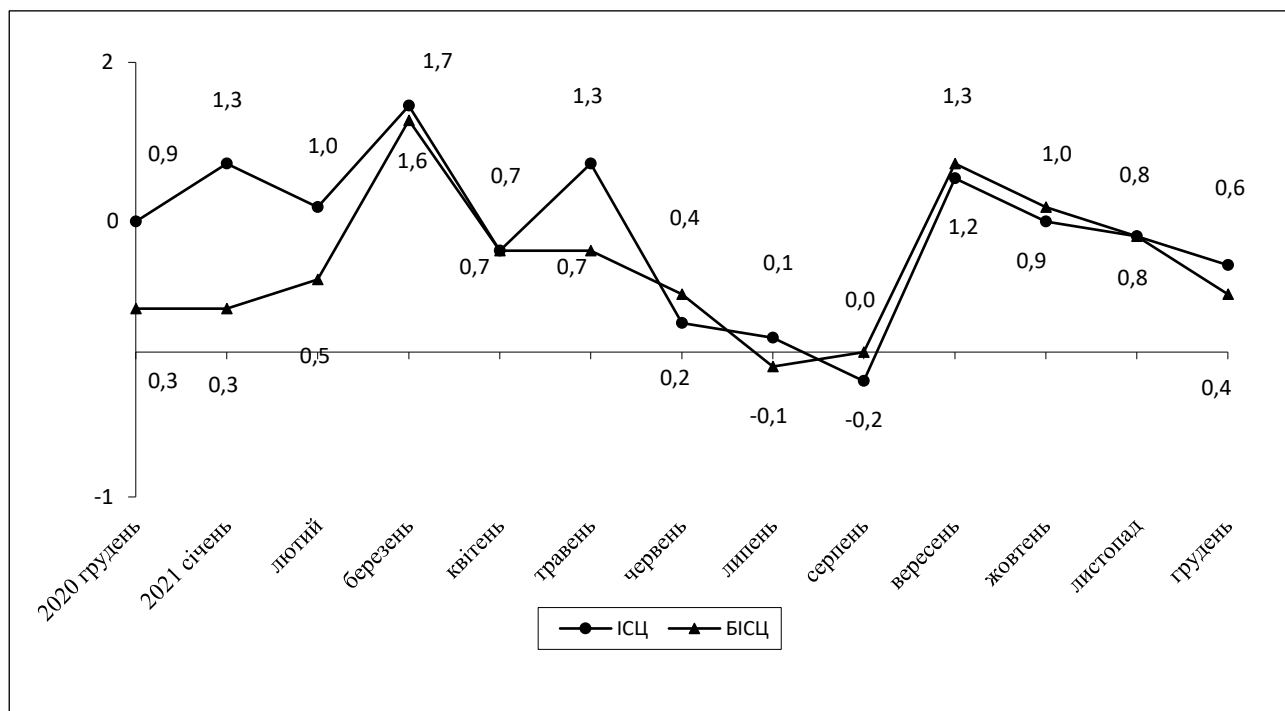


Рисунок 2 – Зміни цін (у % до попереднього місяця) наростаючим підсумком

Важливим макроекономічним показником, що характеризує стан виробництва, а саме динаміку обсягу промислового виробництва, є індекс промислової продукції в цілому, за видами діяльності, основними промисловими групами та за регіонами. У 2021 році порівняно з 2020 роком індекс промислової продукції в цілому становив 101,1 %, а в 2020 році порівняно з 2019 роком – 94,8 %. Тобто є де-яка позитивна тенденція, але вона дуже нестабільна. Для України залишається гострою проблемою її технологічне відставання, втрата досягнутих позицій серед інших держав.

У цих умовах для підтримки належного рівня розвитку країни необхідно стрімко нарощувати темпи саме в галузях, що є ключовими у цифровій економіці, робити акцент на телекомунікаційні трансформації країни. Упровадження в промисловість цифровізації має охоплювати цифровізацію як технологічних процесів, так і способів організації виробництва і засобів праці. Це призведе до покращення кількісних та якісних показників суб'єктів господарювання.

Проведений аналіз свідчить, що зараз українська промисловість вже демонструє тенденцію до впровадження цифровізації і тим самим покращення темпів свого розвитку. Так, кількість діючих підприємств у галузі виробництва комп'ютерів, електронної та оптичної продукції з 2016 року почала збільшуватися і майже досягла рівня 2014 року: 766 підприємств у 2020 році, 792 – у 2014 році. У 2016 році була найменша кількість – 644 підприємства (рис. 3).

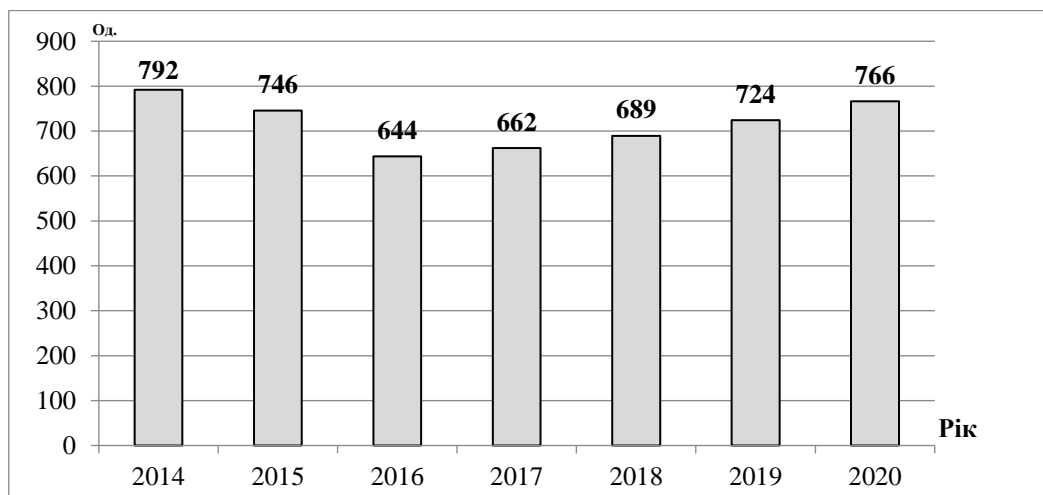


Рисунок 3 – Кількість діючих підприємств у виробництві комп'ютерів, електронної та оптичної продукції за 2014–2020 рр.

Кількість зайнятих працівників у цій же галузі також зросла з 2014 року, особливо у виробництві обладнання зв'язку, і досягла 6144 осіб у 2020 році проти 3349 у 2014 році. На рисунку 4 наведено загальну кількість працівників, зайнятих у виробництві комп'ютерів, електронної та оптичної продукції за видами економічної діяльності (виробництво електронних компонентів і плат, виробництво комп'ютерів і периферійного устаткування, виробництво обладнання зв'язку) та з них у фізичних осіб-підприємців.

Якщо проаналізувати обсяг виробленої ними за цей період продукції, то можна дійти такого – обсяги у 2020 році зросли і за видами економічної діяльності склали:

- діяльність із надання телекомунікаційних та інших супутніх послуг – 13125149,2 тис. грн.;
- комп'ютерне програмування, консультування та пов'язана з ними діяльність – 177849280,4 тис. грн.;
- надання інформаційних послуг – 34320164,8 тис. грн.;
- оброблення даних, розміщення інформації на веб-вузлах і пов'язана з ними діяльність – 13928723 тис. грн.;
- надання інших інформаційних послуг – 9942066,6 тис. грн.



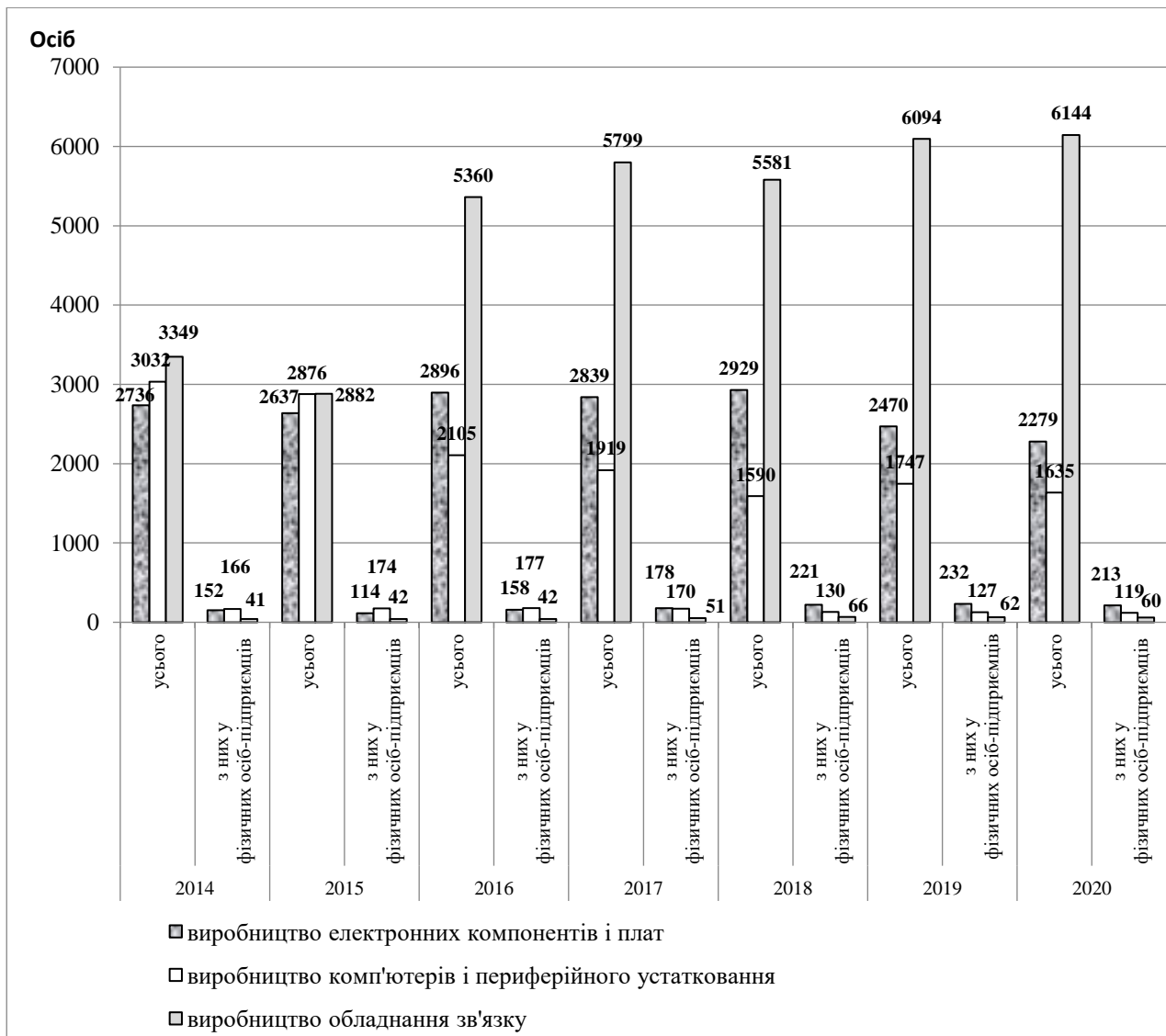


Рисунок 4 – Кількість зайнятих працівників у виробництві комп'ютерів, електронної та оптичної продукції

До того ж, перший вид діяльності виконувався суб'єктами великого підприємництва, а інші – малого підприємництва. У 2020 році 127 підприємств здійснювали зовнішньоекономічну діяльність, завдяки якій експорт товарів склав 13,3 млрд. дол. США.

Аналіз суб'єктів господарювання в ІТ-галузі показав, що на сьогодні існує декілька потужних ІТ-компаній, серед яких за даними порталу DOU у ТОП-10 входять: Intellias, N-iX, Genesis, Sigma Software, ELEKS, DataArt, ZONE3000, Grid Dynamics, SoftServe, Ciklum, що свідчить про швидкі темпи зростання ІТ-галузі в Україні. ІТ-сектор в Україні за темпами залучення трудових ресурсів та експортом інформаційних продуктів і послуг є конкурентом на міжнародному ринку. Про що свідчать останні рейтинги ІТ-компаній та аналіз ринку високо інноваційної продукції. Витрати на інновації ІТ-компаній наведено на рисунку 5. Звісно вони невеликі порівняно зі світовими ІТ-лідерами і мусять мати тенденцію до зростання.

Рентабельність операційної діяльності промислових підприємств України в наслідок кризових явищ в економіці, зумовлених пандемічним процесом, мала тенденцію до зниження протягом останніх двох років. Натомість рентабельність підприємств ІКТ-сектору не мала суттєвого зниження, навіть за деякими видами діяльності зростала (таблиця 1). Це свідчить про нерівномірність економічного розвитку окремих галузей економіки України, її регіонів та асиметричність розподілу економічних зон країни. Результатом цих процесів стало формування потужних ІТ-кластерів з осередками у містах Київ, Харків, Львів, Одеса.

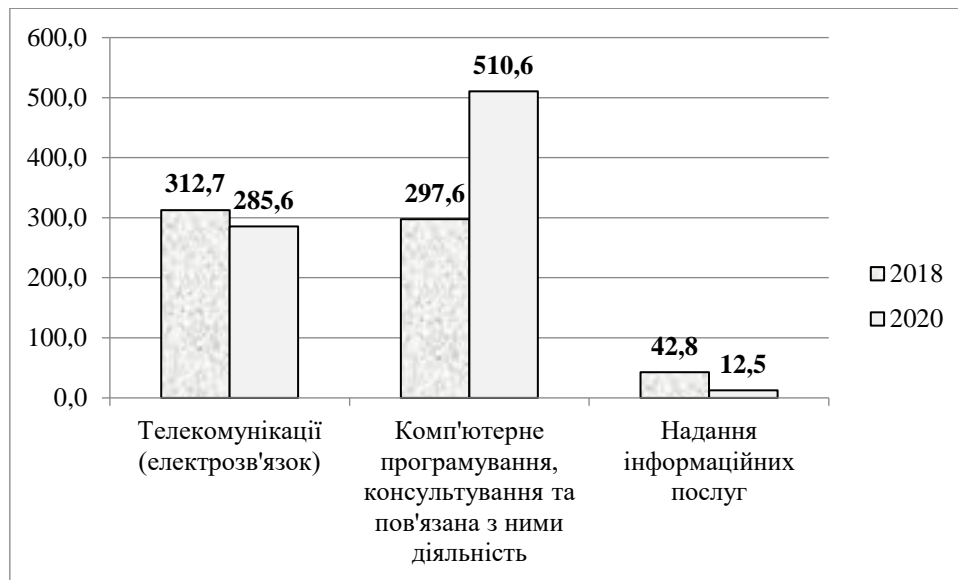


Рисунок 5 – Витрати на інновації за видами економічної діяльності, млн грн

Проте упровадження цифровізації в промисловість, сільське господарство, транспорт, організації державної влади та місцевого самоврядування є все ж таки недостатнім для конкурування на рівні світових спільнот.

Таблиця 1 – Рівень рентабельності операційної діяльності підприємств

Роки	Рівень рентабельності операційної діяльності підприємств						
	діяльність із надання телекомунікаційних послуг	Комп'ютерне програмування, консультування та пов'язана з ними діяльність	надання інформаційних послуг	оброблення даних, розміщення інформації на веб-вузлах і пов'язана з ними діяльність	керування веб-сайтами	оптова торгівля інформаційним і комунікаційним устаткуванням	Роздрібна торгівля інформаційним і комунікаційним устаткуванням у спеціалізованих магазинах
2010	15,3	3,9	2,2	4,9	-22,8	19,0	-21,4
2011	16,6	3,9	4,0	5,4	-24,0	23,6	21,7
2012	22,7	4,3	0,7	4,0	-27,3	15,8	0,2
2013	23,5	4,8	5,5	6,4	-23,5	12,4	1,0
2014	12,5	7,2	0,6	1,4	-30,4	-9,9	15,3
2015	13,0	1,8	0,2	0,3	-10,5	-1,5	17,1
2016	15,4	7,9	2,8	3,2	14,1	12,1	12,5
2017	23,1	7,7	5,7	5,0	4,5	15,0	7,1
2018	24,9	7,7	4,0	5,4	-9,4	28,9	5,8
2019	32,1	6,4	8,1	7,0	6,3	30,5	6,6
2020	36,7	8,3	7,2	6,3	7,3	3,6	5,9

Таким чином, у теперішніх умовах господарювання, які характеризуються

нестабільністю та диспропорціями в розвитку галузей економіки, а ще й напруженням політичної ситуації та коливанням курсу валют, упровадженню цифровізації слід приділити особливу увагу, дослідити напрями розвитку ІТ-індустрії, будуючи комплекс економіко-математичних моделей оцінки й прогнозування стану цифрового розвитку України. Це дозволить збільшити ефективність прийняття управлінських рішень з управління цифровізацією галузей з метою збільшення їх внеску у ВВП і закріпити свою нішу у світовому ІТ-ринку.

Відповідно до наведених особливостей аналізу розвитку України, у даній роботі пропонується комплекс моделей оцінки й аналізу стану цифровізації України на базі методів системного аналізу та математичного моделювання, зокрема методів багатовимірного статистичного аналізу, Data Science та економетричних методів.

Побудова концептуального базису дозволяє структурувати та деталізувати головні етапи дослідження, виділити характерні його особливості. Сам термін «концептуальний» використовується в означенні характеру процесу дослідження цифрового розвитку країни (опису, подання), поданні комплексу запропонованих моделей та структурованому описі тих математичних моделей, які системно дозволяють дослідити стан цифровізації країни. Розглянемо концептуальну схему взаємодії моделей запропонованого комплексу детальніше (рис. 6). Процеси, що описують ці моделі, можна об'єднати у два блоки, які поділено на декілька модулів. Однієї із необхідних умов ефективного процесу управління ЦРК є формування системи показників. Це є запорукою успішності виконання загальних цілей управління діджиталізацією.

Відповідно до запропонованої концептуальної схеми побудова інформаційного простору індикаторів цифрового розвитку (ЦР) є першим етапом дослідження. На цьому етапі виконується огляд теоретичних особливостей розвитку цифровізації країни (ЦРК). Особливу увагу приділяється аналізу систем індикаторів оцінки стану цифрового розвитку макроекономічного та глобального рівня, використання яких, на думку низки дослідників та світових організацій є найголовнішими.

Для вирішення завдань першого блоку необхідно діяти згідно етапів формування системи показників, що відбиває як стан цифрового розвитку країни, так і її галузей та регіонів (рис. 7). Слід зазначити, що дослідження має проводитись із урахуванням повноти та доступності статистичних баз відкритих джерел для оцінки цифрового розвитку.

Розглянемо детальніше логічну послідовність виконання кожного етапу блоку 1. На першому етапі проводимо формування множини показників, які найбільш повно відбивають ЦРК із множини показників, що характеризують економіки країн. Аналіз наукових та статистичних джерел є найбільш простим методом вибору і формування системи показників, що дає загальне уявлення про розробки й напрями досліджень з даної проблематики. Так як вихідні показники подано в різних одиницях виміру, до них застосовують процедуру зведення до єдиної шкали вимірювання. На підставі структурно-логічного та монографічного аналізу проводиться аналіз систем індикаторів оцінки ЦРК, визначається їх ієрархічність. Суттєвим кроком є оцінка статистичної достатності вибірки, тому також проводять аналіз доступності статистичних баз та визначають можливість формування вибірки із відкритих джерел Європейського комітету статистики, державного комітету, рейтинги світових агенцій із оцінки цифрового розвитку країн та аналітичні портали із аналізу вітчизняних процесів діджиталізації та розвитку українського ІТ.

Так, початкову вхідну множину показників оцінки стану цифровізації країни формалізуємо в вигляді матриці:

$$P\{p_{ij}\} = n; i = [1, n] j = [1, r],$$

де  $p_{ij}$  – значення  $i$ -го показника, що описує стан цифровізації  $j$ -ї країни,

$n$  – загальна кількість показників, що визначають стан ЦРК,

$r$  – кількість країн, які беруть участь в дослідженні.

## Блок 1. Формування інформаційного простору для оцінки й аналізу стану цифровізації

1.1. Аналіз індикаторів цифрового розвитку країни глобального, регіонального та галузевого рівнів

1.2. Визначення простору ознак оцінки рівня цифрового розвитку країни

1.3. Інформаційна модель вибору простору ознак ЦР галузі



## Блок 2. Комплексна оцінка й аналіз стану цифровізації країни

2.1. Аналіз цифрового розвитку глобального та макrorівня

2.1.1. Модель ідентифікації стану ЦРК у глобальному просторі

2.1.3. Модель оцінки взаємного впливу факторів ЦРК

2.1.2. Модель прогнозування стану ЦР країни

2.1.4. Модель оцінки загального рівня ЦР країни

2.2. Аналіз цифрового розвитку у галузевому розрізі

2.2.1. Модель оцінки стану ЦР галузей економіки

2.2.2. Модель виокремлення головних компонент галузевого ЦР

2.2.3. Модель оцінки рівня ЦР галузей економіки

2.3. Аналіз цифрового розвитку регіонів

2.3.1. Модель групування регіонів за рівнем телекомунікаційної активності

Рисунок 6 – Схема концептуального базису оцінки й аналізу стану цифровізації України

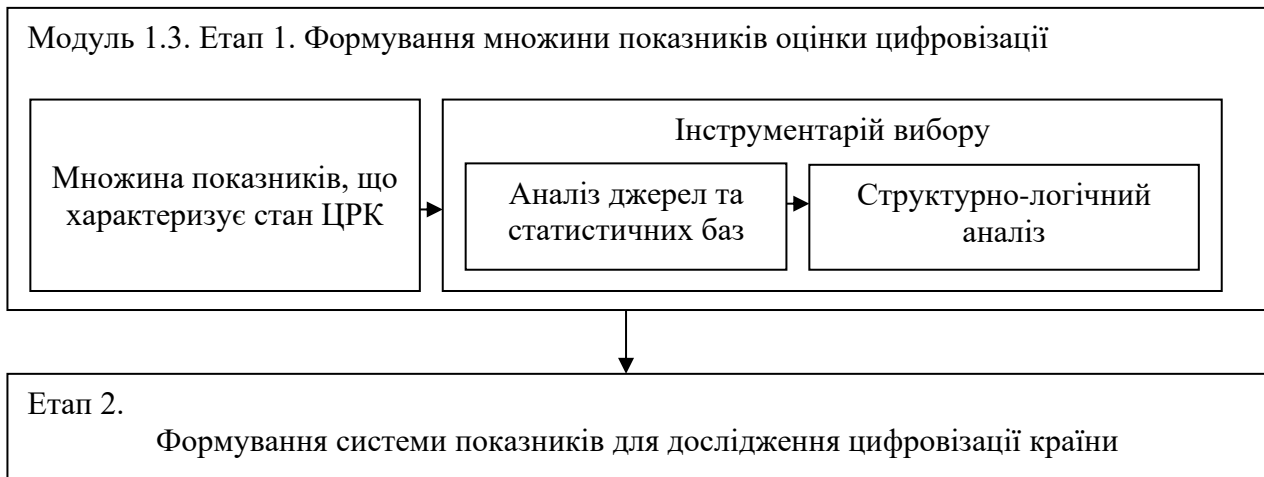


Рисунок 7 – Етапи побудови системи показників оцінки цифровізації

Другий та третій модулі першого блоку (рис. 6) спрямовано на формування загальної системи показників за результатами первісної обробки та виокремлення індикаторів цифрового розвитку об'єктів на інших рівнях управлінської ієрархії – індикаторів розвитку регіонів за станом впровадження цифрових технологій та індикатори діджиталізації галузей. Для  $k$ -ої групи вхідних показників у регіональному та галузевому розрізі структуру матриці вхідних даних слід визначити таким чином:

$$x_n = (x_{ij})_n, \quad i = [1; m], \quad j = [1; n],$$

де  $x_{ij}$  – значення  $i$ -го показника оцінки цифрового розвитку регіону або галузі в  $j$ -ому періоді;  
 $m$  – кількість показників, що входять до  $k$ -ої складової;  
 $n$  – кількість періодів.

Оскільки показники можуть мати різні одиниці виміру, то виконують їх стандартизацію за такою формулою:

$$S_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_x},$$

де  $S_{ij}$  – стандартизоване значення елемента матриці;  
 $\bar{x}_j$  – середнє значення  $j$ -го показника;  
 $\sigma_x$  – середнє квадратичне відхилення величини  $x_{ij}$ .

Для побудови остаточної системи оціночних індикаторів цифровізації галузей країни пропонується окрема інформаційна модель скорочення загального простору ознак, яка фактично реалізується у модулі 2.2.2. Також цей модуль дає можливість детально проаналізувати, яким чином відбувається прямий та опосередкований вплив діджиталізації на соціально-економічний розвиток України. Для реалізації моделі використано алгоритми згортки. На підставі методів неповної згортки формується система головних компонент:

$$d'_k = f(x_{1k}, x_{2k} \dots x_{m_k}), \quad k = \overline{1, K},$$

де  $d'_k$  – головна компонента  $k$ -ї складової цифрового розвитку галузі;  
 $m_k$  – кількість ознак  $k$ -ї складової.  
 $K$  – кількість складових;  
 $x_{mk}$  –  $m$ -ова ознака  $k$ -ї складової.

У результаті цієї моделі одержують набір показників (індикаторів), кожний з яких представляє виділену складову цифрового розвитку галузі. Вибрані елементи дають можливість виокремити головні компоненти, які обумовлені тими показниками розвитку, що мають найбільші інформаційні навантаження на них і тому задовольняють основним вимогам, які висуваються до систем вхідних індикаторів оцінки цифрового розвитку: ці ознаки не корелюють або мають найменший зв'язок один з одним та одночасно сильно корелюють з ознаками поза виділеною складовою.

Тобто, використання запропонованої моделі вибору головних компонент цифровізації дозволяє ефективно використовувати запроповану систему показників під час побудови моделей оцінки загального рівня цифровізації галузі.

Відмінності оцінки ЦРК останнім часом досить часто обговорюються в науковій літературі, як вітчизняних, так і закордонних авторів<sup>40,41,42</sup>. Різниця в рівнях цифровізації регіонів негативно впливає на економічний рівень розвитку країни в цілому та має втримуватися в стійких межах. Тому, відповідно до концептуальної схеми дослідження у 2 блоці в модулі 2.1. моделі 2.1.1 рис. 3.1 здійснюють побудову моделей ідентифікації стану ЦРК у глобальному просторі шляхом групування країн за станом цифрового розвитку. На цьому етапі визначають безпосередньо стан цифрового розвитку України та з'ясовують її положення серед країн Європейського союзу.

Це дозволяє оцінити перспективи подальшого розвитку в цілому на макорівні. Інструментальний базис, що використовується в під час розробки цих моделей побудованих на використанні багатовимірних статистичних методів, які належать до методів інтелектуального аналізу даних, Data Science та машинного навчання. здійснюється за допомогою методів кластерного аналізу. Так, пропонується використання методів кластерного аналізу до позиціонування країн за станом ЦРК. Алгоритмічні кроки розробки моделі подано на рис. 8.

Для виконання прогнозової оцінки стану цифровізації країни виконується побудова наступної моделі 2.1.2. Вона реалізована методами навчання із учителем та дозволяє побудувати вирішальні правила розпізнавання стану ЦРК за прогнозними комплексними глобальними індикаторами ЦРК та індексами соціально-економічного спрямування. Для розробки цієї моделі використовується CART-алгоритм Бреймана<sup>43</sup>, який базовано на алгоритмі рекурсивного сегментування. Головними етапами розробки моделі є:

Крок 1. Вибір параметру відсікання гілок дерева та визначення листків (термінальних вершин) дерева.

Крок 2. Навчання дерева за вибраним рекурсивним алгоритмом розбиття.

Крок 3. Тестування конфігурації дерева та крос-перевірка. Вибір найкращої конфігурації.

У якості вибору параметру відсікання вибирається атрибут на підставі відстаней між розподілами класів та індексу неоднорідності Джині ( $G_i(Y)$ ):

$$G_i(Y) = 1 - \sum_{i=1}^m p_i^2,$$

де  $p_i^2$  – ймовірність (відносна частота)  $i$ -го класу цифрового розвитку в  $Y$ -му наборі даних.

<sup>40</sup> Варламова, М. & Дем'янова, Ю. (2020). Основні тенденції діджиталізації у глобальному вимірі. Галицький економічний вісник, 2(63), 251–260. <https://galicianvisnyk.tntu.edu.ua/pdf/63/829.pdf>

<sup>41</sup> Головенчик, Г. Г. & Ковальов, М.М. (2018). Цифрова трансформація і економічне зростання, Журн. Білорус. держ. ун-ту. Економіка, 1, 102–121

<sup>42</sup> Rorissa, A., Demissie, D. & Pardo, T. (2012). Benchmarking e-Government: A comparison of frameworks for computing e-Government index and ranking. Government Information Quarterly, Vol. 28(33), 354–362. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0740624X11000359>

<sup>43</sup> CART-analysis. <https://basegroup.ru/community/articles/math-cart-part1>

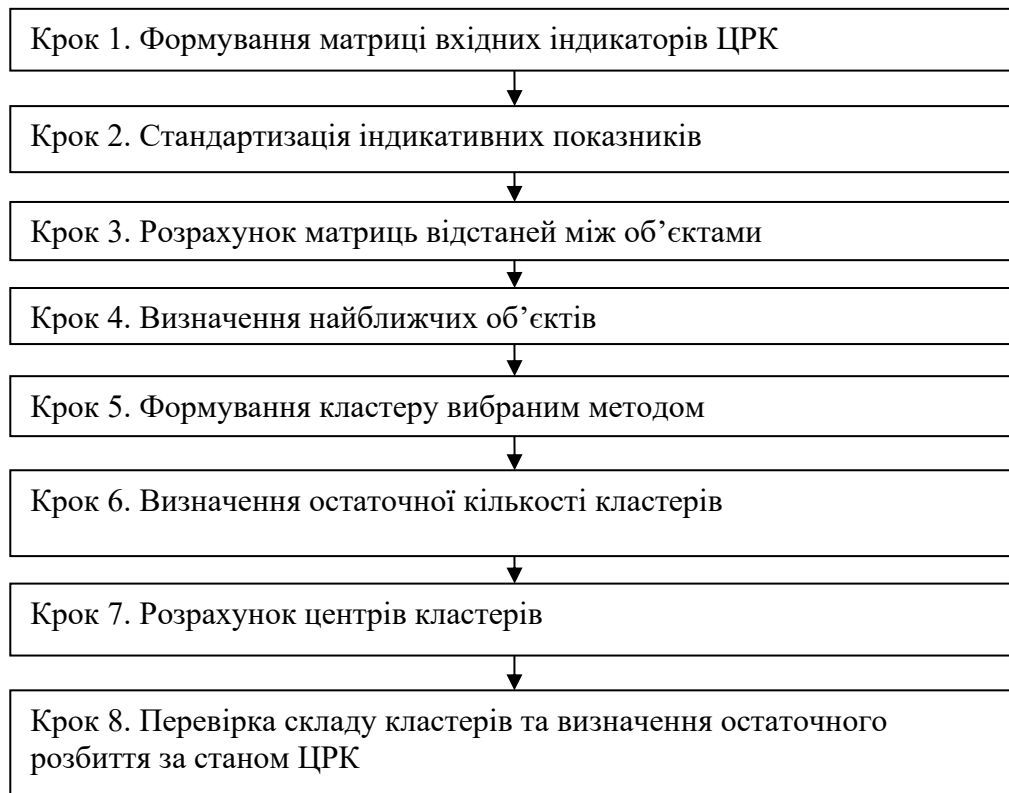


Рисунок 8 – Етапи розробки моделі оцінки стану цифровізації країни

Тоді якість розбиття можна оцінити як:

$$G_{is} = \frac{Lt}{n} \cdot \left( 1 - \sum_{i=1}^m \left( \frac{lt_i}{Lt} \right)^2 \right) + \frac{Rt}{n} \cdot \left( 1 - \sum_{i=1}^m \left( \frac{rt_i}{Rt} \right)^2 \right) \rightarrow \min,$$

де  $n$  – кількість навчальних спостережень у вузлі–предку,  
 $Lt$  – кількість навчальних спостережень у лівому «нащадку»;  
 $Rt$  – кількість навчальних спостережень у правому «нащадку»;  
 $lt_i$  – кількість екземплярів  $i$ -го класу у лівого «нащадка».  
 $rt_i$  – кількість екземплярів  $i$ -го класу у правого «нащадка».

Функцію розбиття за алгоритмом в остаточному вигляді можна записати як:

$$\tilde{G}_{is} = \frac{1}{Lt} \cdot \sum_{i=1}^m (lt_i)^2 + \frac{1}{Rt} \cdot \sum_{i=1}^m (rt_i)^2 \rightarrow \max.$$

Тобто, у підсумку, найкращим вважають таке розбиття, для якого величина є максимальною. Далі опишемо рекурсивну частину алгоритму, яка полягає в такому:

а) Ініціалізується повний набір даних  $A$ , який відбиває множину значень станів цифрового розвитку та значень індикаторів за цими станами.

б) Виконується алгоритм основної частини сегментації, щоб розбити набір на два підсегменти,  $A1$  і  $A2$ .

в) Повторюють крок 2 на підсегментах  $A1$  і  $A2$ .

г) Алгоритм завершується, коли неможливо створити ніякий подальший сегмент, який покращує однорідність сегментів.

Основна частина сегментації складеться з кроків:

а) Для кожної предикторної змінної – індексу цифрового та соціально-економічного розвитку  $X_j$  у наборі даних цифрового розвитку:

1) для кожного спліт-значення змінної  $s_j$  за показником цифрового розвитку  $X_j$ :  
відносять записи зі значеннями  $X_j < s_j$  в один сегмент (сегмент стану цифрового розвитку країни) і записи, де  $X_j \geq s_j$  – в інший сегмент;

вимірюють однорідність класів в кожному підсегменті;

2) вибирають таке спліт-значення  $s_j$ , яке дає максимальну внутрішньосегментну однорідність класу.

б). Вибирають наступну змінну  $X_j$  і значення розбиття  $s_j$ , яке дає максимальну внутрішньосегментну однорідність класу цифрового розвитку.

Таким чином, створюється найкраща конфігурація дерева рішень, яка дозволяє виконати побудову розпізнавальних правил для прогнозування стану ЦРК.

Наступна модель 2.1.3 на рис. 3.1 спрямована на оцінку взаємного впливу наборів індикаторів цифровізації та соціально-економічного розвитку країни. Реалізація цієї моделі дозволяє оцінити ступінь впливу узагальнених індикаторів соціально-економічного розвитку на цифровий розвиток та обумовленість його через коінтеграційні процеси. Результатом моделі є оцінка латентного комплексного фактора, який геометрично оцінює сукупний стан розвитку економіки країни через взаємозалежні пояснюючі два набори змінних.

Методи канонічного аналізу як одні з найважливіших в оцінці цифровізації мають також власні особливості застосування. Припустимо, що  $X = \begin{pmatrix} X^{(1)} \\ X^{(2)} \end{pmatrix}$ , де вектор індикаторів соціально-економічного розвитку  $X^{(1)}$   $p_1$ -мірний; вектор цифрового розвитку  $X^{(2)}$   $p_2$ -мірний;  $p_2 = p - p_1 \geq p_1$ . Тоді парою канонічних величин є пара лінійних комбінацій  $U_r = \alpha^{(r)T} X^{(1)}$  та  $V_r = \beta^{(r)T} X^{(2)}$ , кожна з яких має одиничну дисперсію та не корельованою з  $(r - 1)$  парою канонічних величин. Коефіцієнти в лінійних комбінаціях  $\alpha^{(r)T} X^{(1)}$  та  $\beta^{(r)T} X^{(2)}$  визначають  $r$ -у пару канонічних коренів. Вектор  $x$  розбивається на два підвектори розмірності  $p_1$  і  $p_2$ , тобто  $x = \begin{pmatrix} X^{(1)} \\ X^{(2)} \end{pmatrix}$ , де  $p_1 \leq p_2$ , а коваріаційна матриця на підматриці:

$$\sum \begin{pmatrix} \Sigma_{11} & \Sigma_{12} \\ \Sigma_{21} & \Sigma_{22} \end{pmatrix}$$

де  $\Sigma_{11}$  – коваріаційна матриця, яка характеризує взаємозв'язок результативних показників, елементами якої є коефіцієнти коваріації:

$$\sigma_{ij}^{(1)} = M(x_i^{(1)} - Mx_i^{(1)})(x_j^{(1)} - Mx_j^{(1)}), i, j = 1, 2, \dots, p_1,$$

де  $\Sigma_{22}$  – коваріаційна матриця, яка характеризує взаємозв'язок визначальних показників (аргументів);

$\Sigma_{12}$  – коваріаційна матриця розміром  $(p_1 \times p_2)$ , яка характеризує взаємозв'язок показників першої та другої груп ( $\Sigma_{21} = \Sigma_{12}^T$ ).

Розглянемо лінійні комбінації вигляду:

$$U = \alpha^T X^{(1)} \text{ компонент вектору } X^{(1)}$$

та

$$V = \beta^T X^{(2)} \text{ компонент вектору } X^{(2)},$$

де  $\alpha$  та  $\beta$  – вектори розмірності відповідно  $p_1$  та  $p_2$ .

Математичне очікування  $U$  та  $V$  дорівнює нулю:

$$MU = M\alpha^T X^{(1)} = \alpha^T MX^{(1)} = 0;$$

$$MV = M\beta^T X^{(2)} = \beta^T MX^{(2)} = 0.$$



Виберемо вектори  $\alpha$  та  $\beta$  так, щоб дисперсії величин  $U$  та  $V$  дорівнювали одиниці:

$$\begin{cases} 1 = MU^2 = M\alpha^T X^{(1)} X^{(1)T} \alpha = \alpha^T \Sigma_{11} \alpha; \\ 1 = MV^2 = M\beta^T X^{(2)} X^{(2)T} \beta = \beta^T \Sigma_{22} \beta. \end{cases}$$

Таким чином,  $U$  та  $V$  – нормовані випадкові величини. Отже,  $U_1$  та  $V_1$  є нормованими лінійними комбінаціями компонент векторів  $X^{(1)}$  та  $X^{(2)}$  відповідно, а коефіцієнт кореляції між ними є максимальним. Знайдемо другу лінійну комбінацію векторів  $X^{(1)}$  та  $X^{(2)}$  та  $r$ -у лінійну комбінацію. Припустимо, це буде

$$\begin{aligned} U_2 &= \alpha^{(2)T} X^{(1)}; \\ V_2 &= \beta^{(2)T} X^{(2)}; \\ &\dots \\ U_r &= \alpha^{(r)T} X^{(1)}; \\ V_r &= \beta^{(r)T} X^{(2)}. \end{aligned}$$

Отримано  $r$  лінійних комбінацій для  $U$  та  $V$ , для яких існує  $r$  коефіцієнтів кореляції, які є коренями  $\lambda^{(1)} = \lambda_1, \lambda^{(2)} = \lambda_2, \dots, \lambda^{(r)} = \lambda_r$  рівняння:

$$\begin{vmatrix} -\lambda \Sigma_{11} & \Sigma_{12} \\ \Sigma_{21} & -\lambda \Sigma_{22} \end{vmatrix} = 0.$$

Лінійні комбінації  $U_r$  та  $V_r$  не корельовано з  $U_1, V_1, \dots, U_{r-1}, V_{r-1}$  та їх коефіцієнт кореляції більше коефіцієнта кореляції між двома лінійними комбінаціями, некорельованими з  $U_1, V_1, \dots, U_{r-1}, V_{r-1}, U_r, V_r$ .

Розглянемо інтерпретацію канонічних кореляцій. Дано дві випадкові величини  $U$  та  $V$  з середніми значеннями, рівними нулю  $MU = 0; MV = 0$ ; дисперсіями  $\sigma_U^2$  та  $\sigma_V^2$  та коефіцієнтом кореляції  $\rho$ . За допомогою  $bV$ , де  $b$  – множник, знайдемо наближення величини. Розрахуємо середню квадратичну помилку наближення:

$$M(U - bV)^2 = \sigma_U^2 - 2b\sigma_U\sigma_V\rho + b^2\sigma_V^2 = \sigma_U^2(1 - \rho^2) + (b\sigma_V - \sigma_U)^2.$$

Вона має мінімум при  $b = \frac{\sigma_U\rho}{\sigma_V}$ . Величина  $bV$  являє собою лінійну оцінку величини  $U$  за значеннями величини  $V$ , тоді  $\sigma_U^2(1 - \rho^2)$  дорівнює дисперсії оцінки. Відношення дисперсії помилки прогнозування до дисперсії величини  $U$  дорівнює:

$$\frac{\sigma_U^2(1 - \rho^2)}{\sigma_U^2} = 1 - \rho^2.$$

Ця величина є мірою відносного впливу  $V$  на  $U$  або мірою відносної ефективності величини  $V$  при прогнозуванні  $U$ . Отже, чим більше  $\rho^2$  або  $|\rho|$ , тим точніше можна за величиною  $V$  оцінити величину  $U$ . Розглянемо тепер вектор

$$X = \begin{pmatrix} X^{(1)} \\ X^{(2)} \end{pmatrix}.$$

Нехай лінійна комбінація  $V = \beta^T X^{(2)}$  використовується для прогнозування лінійної комбінації  $U = \alpha^T X^{(1)}$ . Величина  $V$  буде найкращим чином прогнозувати величину  $U$ , якщо коефіцієнт кореляції між  $U$  та  $V$  є максимальним. Тоді можемо стверджувати, що  $\alpha^{(1)T} X^{(1)}$  являє собою лінійну комбінацію компонент  $X^{(1)}$ , яку можна найкращим чином спрогнозувати. Таке найкраще прогнозування здійснює комбінація  $\beta^{(1)T} X^{(2)}$ . Тобто, реалізується у формі

задачі обчислення власних значень і власних величин від деякої функції кореляційної матриці вхідних ознак  $B = R_{11}^{-1}R_{12}R_{22}^{-1}R_{21}$ , де  $R_{11}$  та  $R_{22}$  – кореляційні матриці груп результативних ознак  $X^{(1)}$  та показників-аргументів  $X^{(2)}$  (їх розмірність відповідно дорівнює  $p_1 \times p_1$  та  $p_2 \times p_2$ );  $R_{12}$  – матриця взаємних кореляцій першої та другої груп ( $R_{21} = R_{12}^T$ ). Значущість канонічних змінних (або, що теж саме, відмінність від нуля канонічних кореляцій) перевіряється за допомогою критерію  $\chi^2$ . Якщо обчислено  $p_1$  канонічних кореляцій, то для кожного  $m$  ( $m = \overline{1, p_1}$ ) слід перевірити гіпотези:

$$H_0^m: \rho_m = \rho_{m+1} = \dots = \rho_{p_1} = 0,$$

тобто всі канонічні кореляції, починаючи з  $\rho_m$ , дорівнюють нулю.

$H_0^m: \rho_m \neq 0$  (принаймні  $\rho_m$  відрізняється від нуля). При цьому враховується, що  $\rho_m > \rho_{m+1} > \dots > \rho_{p_1}$ . Обчислення  $\chi^2$ -статистики для кожної з канонічних кореляцій передбачено алгоритмом канонічного аналізу та розраховується за формулою:

$$\chi_{\text{спост}}^2 = - \left\{ N - m - \frac{1}{2}(p_1 + p_2 + 1) + \sum_{k=1}^{m-1} r_k^2 \right\} \ln \prod_{k=m}^{p_1} (1 - r_k^2),$$

де  $N$  – обсяг вибірки,

$r_k^2$  – оцінка канонічного коефіцієнта детермінації.

Якщо значення  $\chi_{\text{табл}}^2$  більше критичного за вибраного рівня значущості  $\alpha = 0,05$  і кількості ступенів свободи  $\nu = [(p_2 - m + 1)(p_1 - m + 1)]$ , то приймається гіпотеза  $H_1^m$ . Якщо обчислене значення статистики менше табличного, то залежність між групами вже є описаною канонічними змінними.

Саме комплекс моделей, реалізований такими методами багатовимірною статистичного аналізу може дати системну оцінку та якісні управлінські рішення щодо вирівнювання нерівномірності цифрового розвитку регіонів та галузей економіки країни.

Відповідно до концептуальної схеми базису у модулі 2.1 блоку 2 здійснюється розробка моделі 2.1.4 – комплексної оцінки впливу макропоказників економіки на рівень цифровізації країни, де в якості модельного апарату використано кореляційно-регресійні економетричні методи. Фактично, проведення аналізу впливу факторів на рівень ЦРК в цілому дозволить оцінити вплив найбільш значущих факторів на загальний рівень цифровізації. Формальний вигляд моделі можна подати таким чином:

$$Y_t = f(x_{1t}, x_{2t}, x_{3t}, x_{4t}, u) + \varepsilon_t,$$

де  $Y_t$  – значення загального рівня ЦРК у момент часу  $t$ ;

$x_{it}$  – значення  $i$ -х макроіндикаторів ЦРК у момент часу  $t$ ;

$\varepsilon_t$  – випадкова величина, що характеризує відхилення реального значення результативної ознаки від теоретичної.

Побудова моделі передбачає виконання низки етапів, що наведено на рис. 9. У модулі 2.2. блоку 2 виконують аналіз цифрового розвитку на галузевому рівні. Розробку моделі 2.2.1 оцінки стану цифровізації галузей, яка фактично відбувається за алгоритмом, наведеним на рис. 3.3. Вона дозволяє оцінити стан ЦРК галузей України та визначити особливості їх розвитку з точки зору темпів цифровізації.

Однією із задач комплексу оцінки стану ЦРК є модель оцінки навантажень індикаторів ЦРК (модуль 2.2.2), яку будують за допомогою методів неповної редукції, а саме: головних компонент та факторного аналізу.

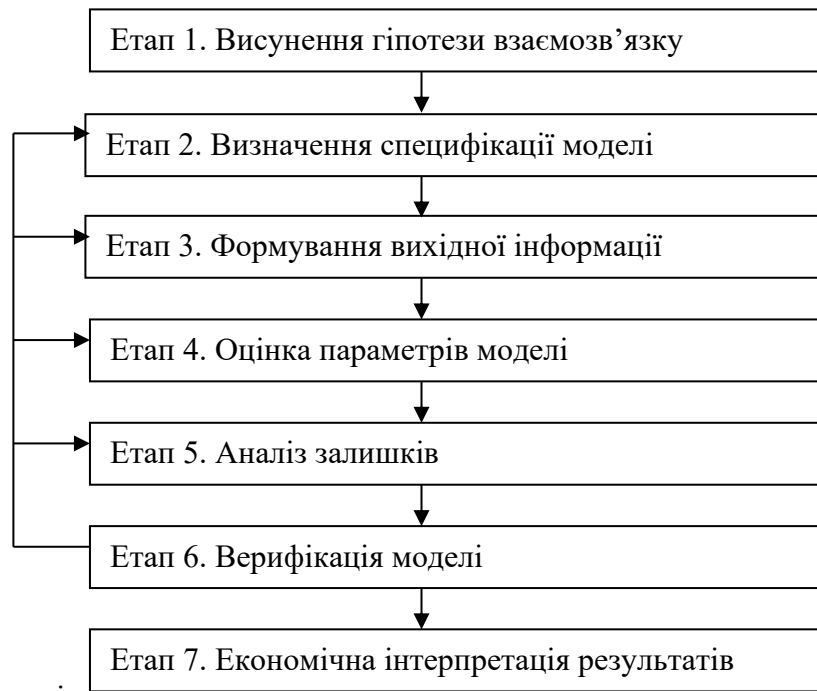


Рисунок 9 – Головні етапи побудови моделі оцінки впливу макроекономічних індикаторів на рівень цифровізації країни

У моделі 2.2.2. здійснюють розробку моделі виокремлення головних компонент та латентних факторів впливу на цифровий розвиток галузей на підставі наступного алгоритму, в основу якого покладено алгоритм неповної редукції інформаційного простору. Його етапи полягають у такому:

- 1) Формування матриці індикаторів оцінки цифрового розвитку галузі.
- 2) Проведення процедури стандартизації вихідних даних та обчислення стандартизованих значень ознак.
- 3) Розрахунок матриці парних коефіцієнтів кореляції індикаторів ЦР галузі.
- 4) Обчислення матриці власних чисел на підставі кореляційної матриці індикаторів ЦР галузі.
- 5) Обчислення матриці власних векторів та матриці нормованих власних векторів.
- 6) Обчислення матриці факторного відображення, елементи якої є частинними коефіцієнтами кореляції між вихідними змінними і головними компонентами.
- 7) Обчислення матриці значень головних компонент ЦР галузі.

Із використанням сформованої системи індикаторів здійснюють ключові взаємозалежності між показниками, що впливають на цифровий розвиток галузей України.

Розглянемо детальніше за цією моделлю обчислювальні процедури:

$$X \rightarrow X^* \rightarrow R \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} W \\ I \rightarrow Y \end{array} \right\} \rightarrow Q \rightarrow C$$

- де  $X$  – матриця вхідних значень ознак ЦРК, яка має розмір  $n \times m$ ;
- $n$  – кількість спостережень вибірки;
- $m$  – кількість ознак (показників) ЦРК;
- $X^*$  – матриця нормалізованих показників;
- $Y$  – діагональна матриця власних (характеристичних) чисел;
- $R$  – матриця парних кореляцій;
- $Q$  – матриця факторного відображення;
- $W$  – матриця нормованих власних (характеристичних) векторів.
- $C$  – матриця значень головних компонент.

Крок 1. Формують матрицю вхідних даних  $X$ .

Крок 2. Проводять нормалізацію даних.

Крок 3. Розраховують матрицю парних кореляцій.

Крок 4. Будують редуковану матрицю факторного відображення через низку операцій.

Спочатку обчислюють вектор  $Y_j$  через перетворення<sup>44,45</sup>:

$$Y_j = \frac{I_j}{|I_j|},$$

де  $|I_j|$  – норма вектора  $I$ ;

$I$  – власний вектор.

Далі обчислюють значення власних векторів  $U_j$  або кореляцій ( $h R$ ), на головній діагоналі якої розташовані спільноти:

$$(R - \lambda E)U = 0.$$

Розв'язок систем лінійних рівнянь для кожного власного числа  $\lambda_j$ ,  $j = \overline{1, m}$  дає можливість сконструювати матрицю факторного відображення  $Q$ , елементи якої складаються із вагових коефіцієнтів  $q_{rj}$ . Матриця  $Q$  розмірністю  $m \times m$  – за кількістю показників  $X_j$ , дає можливість далі вибрати  $r$  найзначущих компонент,  $r \leq m$ . Матрицю  $Q$  обчислюють через елементи матриці власних чисел  $Y$ , а також нормованих власних векторів  $W$  за формулою:

$$Q = YW^{1/2}.$$

Крок 5. Обертання простору загальних факторів з метою інтерпретації результатів аналізу. Підсумкова матриця головних компонент  $C$  розраховується як:

$$C = Q^{-1}X^*$$

Таким чином, отримують редуковану систему індикаторів оцінки ЦРК та головних компонент, які за своєю структурою містять латентні фактори ЦРК.

Для оцінки загального рівня цифровізації галузей у модулі 2.2 другого блоку пропонується модель 2.2.3. оцінки рівня розвитку галузі, в основі якої лежить розрахунок інтегрального показника. Його значення обчислюється методом побудови таксономічного показника рівня розвитку, що є одним з методів багатомірного аналізу<sup>46</sup>. Загальний алгоритм побудови узагальнюючого показника ЦРК галузі містить такі етапи:

- формування матриці вихідних даних;
- стандартизація значень показників;
- формування «еталона розвитку»;
- розрахунок значень інтегрального показника.

Розглянемо детальніше етапи алгоритму:

Етап 1. Формується матриця  $X$  значень показників груп ЦР галузі.

---

<sup>44</sup> Клебанова, Т.С., Гур'янова, Л.С., Чаговець, Л.О., Панасенко, О.В. & Сергієнко, О.А. (2018). Бізнес-аналітика багатовимірних процесів: Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця

<sup>45</sup> Клебанова, Т.С., Курзенев, В.А., Наумов, В. М., Гур'янова, Л.С., Черняк, О.І., Захарченко, П.В., & Сергієнко, О.А. (2015). Прогнозування соціально-економічних процесів. Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця

<sup>46</sup> Клебанова, Т.С., Гур'янова, Л.С., Чаговець, Л.О., Панасенко, О.В. & Сергієнко, О.А. (2018). Бізнес-аналітика багатовимірних процесів: Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

де  $x_{id}$  — значення  $j$ -го показника в  $i$ -й період часу.

Етап 2. Виконується стандартизація елементів матриці  $x_{ij}$  з метою усунення їх несумірності.

Етап 3. Будують еталонний набір значень показників ЦРК, що дозволяє зіставити однойменні показники за різні періоди часу. В еталон включають найбільші значення показників стимуляторів і найменші – дестимуляторів.

Етап 3. Визначається евклідова відстань від значень показників у  $i$ -й період часу до еталона:

$$r_{io} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (S_{ij} - S_{0j})^2},$$

де  $S_{0j}$  — стандартизоване значення  $j$ -го показника еталона.

Етап 4. Отримані значення  $r_{io}$  будуть характеризувати рівень цифровізації та телекомунікаційної активності галузі в  $i$ -й період часу. Однак їх важко інтерпретувати, унаслідок того, що область значень  $r_{io}$  необмежена. Тому для визначення узагальнюючого показника запропоновано використовувати такі формули за алгоритмом<sup>47</sup>:

$$y = 1 - \frac{r_{io}}{r_o},$$

$$r_o = \bar{r}_o + 2 \cdot \sigma_r, \bar{r}_o = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m r_{io},$$

$$\sigma_r = \sqrt{\frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m (r_{io} - \bar{r}_o)^2},$$

де  $y$  – показник загального рівня цифрового розвитку галузі;

$\sigma_r$  – середнє квадратичне відхилення величини  $r_{io}$ .

Результати аналізу цифрового стану галузей країни є основою для державної політики зі стратегічного розвитку регіонів. Тому на подальших кроках пропонується виокремити проблемні регіони за рівнем телекомунікаційної активності на підставі моделі групування регіонів та надати коментарі з напрямків покращення рівня їх ЦР.

Результатом реалізації другого етапу дослідження мезорівня у регіональному розрізі є побудова у 3 блоці моделей оцінки стану цифровізації регіону. Реалізація комплексних проєктів з управління цифровим розвитком адаптується відповідно до особливостей економічного розвитку кожного регіону. Так, можна розглядати у якості прикладу адаптації робіт проєкту такий тип роботи як розробка моделі оцінки стану цифровізації регіону, формування та оцінка альтернатив цифрового розвитку.

Таким чином, запропонований комплекс моделей оцінки й аналізу цифровізації країни, на відміну від інших, побудовано на базі методів багатовимірного та інтелектуального аналізу даних. Він дозволяє підвищити якість формування та ухвалення управлінських рішень з управління цифровим розвитком на різних рівнях ієрархії та стратах та запобігти загрозам втрати достатнього рівня національної безпеки країни. Практичне значення розробленого комплексу моделей полягає у тому, що розрахункові параметри побудованих моделей може бути використано під час формування заходів та розробки стратегії стійкого цифрового розвитку як окремих регіонів, так і країни в цілому.

<sup>47</sup> Клебанова, Т.С., Гур'янова, Л.С., Чаговець, Л.О., Панасенко, О.В. & Сергієнко, О.А. (2018). Бізнес-аналітика багатовимірних процесів: Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця

## Перелік джерел:

1. Закон України «Про Концепцію Національної програми інформатизації» № 75/98 від 11.08.2013. <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/75/98-%D0%B2%D1%80>.
2. Закон «Про стимулювання розвитку цифрової економіки в Україні» № 1667-ІХ, який парламент ухвалив 15 липня 2021 року. Офіційний вісник України від 25.09.2020–2021 р., № 65, стор. 13, ст. 4103, код акта 106631/2021. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1667-20#Text>.
3. Постанова Кабінету Міністрів України «Деякі питання цифрового розвитку» від 30 січня 2019 р. № 56. Офіційний вісник України від 15.02.2019. 2019 р., № 13, стор. 102, ст. 473. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/56-2019-%D0%BF#Text>.
4. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про концепцію розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018–2020 роки» № 67-р від 17.01.2018. <https://www.kmu.gov.ua/ua/npras/pro-shvalennya-konceptsiyi-rozvitku-cifrovoyi-ekonomiki-ta-suspilstva-ukrayini-na-20182020-roki-ta-zatverdzhennya-planu-zahodiv-shodo-yiyi-realizaciyi>.
5. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 роки та затвердження плану заходів щодо її реалізації» від 17 січня 2018 р. № 67-р. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/67-2018-p/ed20180117#n23>.
6. Апалькова, В. В. (2015). Концепція розвитку цифрової економіки в Євросоюзі та перспективи України. Вісник Дніпропетровського університету. Серія «Менеджмент інновацій», 4, 9–18.
7. Appiah-Otoo, I. & Na Song (2021). The impact of ICT on economic growth-Comparing rich and poor countries. *Telecommunications Policy*, 45(2). <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308596120301725>.
8. Клебанова, Т.С., Гур'янова, Л.С., Чаговець, Л.О., Панасенко, О.В. & Сергієнко, О.А. (2018). Бізнес-аналітика багатовимірних процесів: навчальний посібник: Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця.
9. Варламова, М. & Дем'янова, Ю. (2020). Основні тенденції діджиталізації у глобальному вимірі. Галицький економічний вісник, 2(63), 251–260. <https://galicianvisnyk.tntu.edu.ua/pdf/63/829.pdf>.
10. Gavkalova, N. (2019). Influence of the Country's Information Level on Its Economic Development In N. Gavkalova, Y. Lola, S. Prokopovych & D. Mykhailenko, *Proceedings of the 2019 7th International Conference on Modeling, Development and Strategic Management of Economic System (MDSMES 2019)*. <https://www.atlantis-press.com/article/125919217.pdf>.
11. Головенчик, Г. Г. & Ковальов, М.М. (2018). Цифрова трансформація і економічне зростання, *Журн. Білорус. держ. ун-ту. Економіка*, 1, 102–121.
12. Головенчик, Г. Г. (2018). Рейтинговий аналіз рівня цифрової трансформації економік стран ЕАЭС и ЕС. *Цифровая трансформация*, 2(3), 5–18
13. Гудзь, О. Є. (2018). Цифрова економіка: зміна цінностей та орієнтирів управління підприємствами. «Економіка. Менеджмент. Бізнес», 2(24).
14. Данніков, О.В & Січкаренко, К. О. (2018). Концептуальні засади цифровізації економіки України. *Інфраструктура ринку*, 17, 73–80.
15. Дем'янчук, М. А. (2020). Система показників збалансованого розвитку телекомунікаційного підприємства в умовах цифрових трансформацій. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*, 30, 64–69.
16. Дмитрієв, І. & Дмитрієва, О. (2021). Особливості та тенденції цифрової економіки в Україні. *Проблеми і перспективи розвитку підприємництва*, 27, 60–74.
17. Degerli, A. (2015). Analyzing Information Technology Status and Networked Readiness Index in Context of Diffusion of Innovations Theory In A. Degerli, Ç. Aytekin, B. Değerli. *World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship*. (Pp.1553–1562).

Istanbul, Turkey.

18. Digital economy and society. Main Tables. <http://ec.europa.eu/eurostat/web/digital-economy-and-society/data/main-tables>.
19. Жекало, Г. І. (2019). Цифрова економіка України: проблеми та перспективи розвитку. Науковий вісник Ужгородського національного університету, Вип. 26, ч. 1, 56–60.
20. Global Index: Methodology. <https://www.socialprogress.org/index/global/methodology>.
21. ICT service exports (% of service exports, BoP). The World Bank Group. <https://data.worldbank.org/indicator/BX.GSR.CCIS.ZS>.
22. ICT development index. <https://www.itu.int/net4/ITU-D/idi/2017/index.html>.
23. Індекс Розвитку Інтернету в країнах світу – The Web and Rising Global Inequality. <http://thewebindex.org/report>.
24. Індекс цифрової трансформації від ЕВА – дослідження стану цифрової трансформації на підприємствах. <https://business.dii.gov.ua/cases/tehnologii/indeks-cifrovoi-transformacii-vid-eba-doslidzenna-stanu-cifrovoi-transformacii-na-pidpriemstvah>.
25. International Telecommunications Union ICT Development Index 2016-2017. <https://www.itu.int/net4/ITU-D/idi/2017/index.html>.
26. Kallal, R., Haddaji, A. & Ftiti, Z. (2021). ICT diffusion and economic growth: Evidence from the sectorial analysis of a periphery country. *Technological Forecasting and Social Change*, 162. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162520312294>.
27. Квітка, С., Титаренко, О. & Мазур, О. (2019). Оцінка стану цифрового розвитку адміністративно-територіальних одиниць Дніпропетровської області. *Аспекти публічного управління*, т. 7, № 11, 15–25.
28. Коляденко, С.В. (2016). Цифрова економіка: передумови та етапи становлення в Україні і у світі. *Економіка. Фінанси. Менеджмент*, № 6, 106–107.
29. Кривошеєва, С.В., Клименко, І.С. & Тарануха, О.М. (2015). Сучасний стан інформаційної економіки в Україні. *Економіка та управління на транспорті*, Вип. 2, 90–97.
30. Ковтонюк, К. В. (2017). Цифровізація світової економіки як фактор економічного зростання. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія Економічні науки*, Вип. 27, Ч. 1, 29–33. [http://www.ej.kherson.ua/journal/economic\\_27/1/9.pdf](http://www.ej.kherson.ua/journal/economic_27/1/9.pdf).
31. Коляденко, С. В. (2016). Цифрова економіка: передумови та етапи становлення в Україні та світі. *Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики*, 6, 105–112.
32. Чаговець, Л.О., Прокопович, Л.О., Вознюк, С.М., & Чаговець, В.В. (2021). Концептуальний базис моделювання телекомунікаційного розвитку регіонів методами системного аналізу. *Комунальне господарство міст*, т. 1, вип. 161, 230 – 240.
33. Кудрявець, Д. В. (2021). Моделі оцінки й аналізу рівня цифрового розвитку України У Д. В. Кудрявець & Л. О. Чаговець. *Сучасні проблеми моделювання соціально-економічних систем*. Матеріали XIII міжнародної науково-практичної конференції 8-9 квітня 2021 р. <https://mpsesm.org/book/2021/thesis04-kud.html#thesis04-kud>.
34. Макроекономічні показники. <http://www.ukrstat.gov.ua>.
35. Клебанова, Т.С. & Кизим, Н.А. (Ред.) (2012). *Неравномерность и цикличность динамики социально-экономического развития регионов: оценка, анализ, прогнозирование*. ФЛП Александрова К.М.; ИД «ИНЖЭК».
36. Network Readiness Index. <https://networkreadinessindex.org>.
37. Овчаренко, Д. ІТ в Україні: куди ми рухаємося. <https://dou.ua/lenta/columns/future-of-it-ukraine>.
38. Оdotюк, І. В. (2020). Розвиток цифрової економіки в Україні: підсумки імплементації прискореного сценарію та перспективні заходи розбудови інноваційної інфраструктури. *Ефективна економіка*, 11. <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=8332> (дата звернення: 28.01.2022). DOI: 10.32702/2307-2105-2020.11.10.

39. Osman, I. H. & Zablith, F. (2020). Re-evaluating electronic government development index to monitor the transformation toward achieving sustainable development goals. *Journal of Business Research*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0148296320306858>.
40. Панасюк, В. М. (2020). Інформатизація та цифровізація: тенденції та напрями розвитку в Україні. *Інтелект XXI*, 1, 160–165.
41. Подскребко, О.С., Іванченко, Н.О. & Слишинська, В.О. (2019). Становлення та перспективи розвитку цифрової економіки в Україні. *Причорноморські економічні студії*, Вип.46, Ч.1, 46–52.
42. Полоус, О. (2020). Системний аналіз показників цифровізації підприємств України. *Економічний аналіз*, Т. 30, № 1, Ч. 2, 118–124.
43. Про схвалення Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/386-2013-%D1%80#Text>.
44. Подольчак, Н. Ю., Білик, О. І. & Левицька, Я. В. (2019). Сучасний стан цифровізації в Україні. *Ефективна економіка*. № 10. <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=7300>.
45. Пишуліна, О. (2020). Цифрова економіка: тренди, ризики та соціальні детермінанти. Центр Разумкова, Вид-во «Заповіт».
46. Ночвай, В., Корявець, М., Кульчицький, І., Олексюк, Л., Приходько, О., Гороховський, К. & Грига В. Проблеми та перспективи гармонізації цифрового ринку України з ринками ЄС та країн СхП. Інформаційно-аналітичний звіт. <https://www.civic-synergy.org.ua/analytics/problemy-ta-perspektyvy-garmonizatsiyi-tsyfrovogo-rynku-ukrayiny-z-rynkamy-yes-ta-krayin-shp>.
47. Клебанова, Т.С., Курзенев, В.А., Наумов, В. М., Гур'янова, Л.С., Черняк, О.І., Захарченко, П.В., & Сергієнко, О.А. (2015). Прогнозування соціально-економічних процесів. Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця.
48. Проект Дія. Цифрова освіта. – Міністерство цифрової трансформації України, 17 лютого 2020р. <https://thedigital.gov.ua/news/mintsifra-zapuskae-sotsialnu-reklamuprojekt-diya-tsifrova-osvita>.
49. Проблеми та перспективи гармонізації цифрового ринку України з ринками ЄС та країн СхП. Аналітичний звіт. <https://cid.center/wp-content/uploads/2019>
50. Ravanos, P. & Karagiannis, G. (2020). Tricks with the BoD model and an application to the e-Government Development Index. *Socio-Economic Planning Sciences*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038012120307928>.
51. Rorissa, A., Demissie, D. & Pardo, T. (2012). Benchmarking e-Government: A comparison of frameworks for computing e-Government index and ranking. *Government Information Quarterly*, Vol. 28(33), 354–362. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0740624X11000359>.
52. Руденко, М. В. (2021). Аналіз позицій України в глобальних індексах цифрової економіки. *Економіка та держава*, 2, 11–18. DOI: 10.32702/2306-6806.2021.2.11.
53. The ICT Development Index (IDI): conceptual framework and methodology. <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/publications/mis/methodology.aspx>.
54. Joaquim Francisco de Carvalho (2011). Measuring economic performance, social progress and sustainability using an index. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 15(2), Pp. 1073–1079. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032110004090>.
55. Сенкевич, О. Ф. (2020). Трансформація територіально-економічних систем в умовах розвитку цифрової економіки та суспільства [Дис. канд. екон. наук: 08.00.05, Одеська національна академія харчових технологій]. Репозитарій Одеської національної академії харчових технологій.
56. Chagovets, L. (2020). Machine Learning Methods Applications for Estimating Unevenness Level of Regional Development In L. Chagovets, V. Chahovetsa & N. Chernova. *Data-Centric Business and Applications. Evolutions in Business Information Processing and Management (Volume 3)*. (Pp. 115–139). Springer. Cham.



57. Ткалич, Т. А. (2017). Оценка и прогнозирование показателей результативности цифровой экономики методом ABC-анализа. *Економіка та держава*, 3. [http://www.economy.in.ua/pdf/3\\_2017/4.pdf](http://www.economy.in.ua/pdf/3_2017/4.pdf).
58. The Global Competitiveness Report 2015–2016. <http://www.weforum.org/reports/global-competitiveness-report-2015-2016>.
59. The IMD World Digital Competitiveness Ranking 2019, 138. <https://www.imd.org/wcc/world-competitiveness-center-rankings/world-digital-competitiveness-rankings-2019>.
60. Tutova, O. V. & Savchenko, Ye. A. (2019). Ukraine in The Information and Communication Technology Development Ranking. *Control systems and computers*, 3, 70–78. <http://usim.org.ua/arch/2019/3/9.pdf>.
61. Україна 2030е — країна з розвинутою цифровою економікою. <https://strategy.uifuture.org/kraina-z-rozvinutoyu-cifrovoyu-ekonomikoyu.html>.
62. Цифрова адженда України – 2020 («Цифровий порядок денний» – 2020). Концептуальні засади. <https://ucsi.org.ua/uploads/files/58e78ee3c3922.pdf>.
63. Цифрові трансформації в Україні. [http://eap-csf.org.ua/wp-content/uploads/2021/04/Research\\_DT\\_PF\\_WG2\\_ua-1.pdf](http://eap-csf.org.ua/wp-content/uploads/2021/04/Research_DT_PF_WG2_ua-1.pdf).
64. CART-analysis. <https://basegroup.ru/community/articles/math-cart-part1>.