

## МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ЦИФРОВІЗАЦІЇ НА СКЛАДОВІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ: КРИТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТА НАПРЯМКИ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ

## METHODS AND MODELS FOR ASSESSING THE IMPACT OF DIGITALIZATION ON THE COMPONENTS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT: CRITICAL ANALYSIS AND AREAS FOR IMPROVEMENT

У статті проаналізовано сучасні кількісні, якісні та гібридні методи й моделі оцінювання впливу цифровізації на складові сталого розвитку. Встановлено, що існуючі підходи надають цінну інформацію про прямі результати впровадження цифрових технологій, проте значною мірою ігнорують непрямі, довгострокові наслідки, а також складні взаємозв'язки між економічними, соціальними та екологічними аспектами. Визначено основні обмеження: обмежена доступність і стандартизація даних, ізольованість аналізу складових сталого розвитку та орієнтація моделей на короткострокові результати. Запропоновано напрями удосконалення моделей оцінювання: інтеграція динамічних даних у режимі реального часу, застосування міждисциплінарного підходу, розробка прозорих систем звітності та створення моделей, орієнтованих на прийняття політичних рішень. Результати дослідження сприяють підвищенню ефективності використання цифровізації для досягнення цілей сталого розвитку.

**Ключові слова:** сталий розвиток, цифровізація, методи оцінювання, цифрова трансформація, гібридні моделі, дані в реальному часі, прийняття рішень.

The article provides a comprehensive analysis of contemporary quantitative, qualitative, and hybrid methods and models for assessing the impact of digitalization on the economic, social, and environmental dimensions of sustainable development. It emphasizes that while current quantitative approaches, such as indicator-based frameworks and data-driven models, allow for standardized comparisons and measurable tracking of progress, they often fail to fully capture the complex, context-dependent dynamics and long-term implications of digital transformation. Case studies, expert evaluations, and stakeholder consultations give depth and contextual understanding but cannot be generalized. Qualitative methods can be combined in a hybrid model which would be increasingly advocated in order to bridge this very gap between statistical rigor and contextual insight towards balanced multidimensional assessment. The main limitations of the models that were used previously have been scoped as limited data availability and comparability, insufficient integration of the three pillars of sustainability, mostly short-term and direct effects focused, and standardized reporting frameworks. It therefore draws some special challenges in modeling the indirect and cascading effects of digitalization on employment new social normative shifts increased energy demand and e-waste generation which will be long term but very evident. The article has therefore proposed that real-time dynamic data streams be integrated from IoT and smart infrastructure into hybrid interdisciplinary economic environmental and social accounting systems with transparent simplified reporting templates that are developed for the policies to choose the best practice to act upon. The findings move forward with methodological basics toward the assessment of digital transformation within sustainable development and at the same time share hands-on details with policymakers, researchers, and practitioners who may want to take care of digitalization as a promoter of inclusive, resilient, and environmentally responsible growth.

**Key words:** sustainable development, digitalization, assessment methods, hybrid models, digital transformation, real-time data, decision-making.

УДК [502.131.1:004]:303.732.4

DOI: <https://doi.org/10.32782/dees.19-15>

Ляшко С.Ю.<sup>1</sup>

аспірант,

Сумський державний університет

**Liashko Serhii**

Sumy State University

**Постановка завдання.** Стрімкий розвиток цифрових технологій докорінно змінює принципи функціонування економік, суспільств і екосистем. Цифровізація відкриває нові можливості для досягнення цілей сталого розвитку, водночас створюючи нові ризики, пов'язані з нерівністю доступу, екологічними загрозами та трансформацією ринку праці. Враховуючи складність впливу цифрових інструментів на економічні, соціальні та екологічні виміри сталого розвитку, виникає нагальна потреба у формуванні адекватних, науково обґрунтованих методів оцінювання цього впливу. На сьогодні спостерігається фрагментарність існуючих підходів, недостатня інтеграція кількісних та якісних моделей, а також обмежена адаптивність оцінок до динамічних змін цифрового середовища. Актуальність теми зумовлена

необхідністю удосконалення моделей оцінювання для підтримки обґрунтованої політики та прийняття рішень у сфері цифрової трансформації в контексті сталого розвитку.

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій.**

Протягом останніх років дослідження акцентують увагу на зростаючій ролі цифровізації у досягненні цілей сталого розвитку. В своєму дослідженні Гупта С. та Райнер Дж. [1] підкреслюють важливість інтеграції цифрових технологій у процеси моніторингу та оцінювання результатів політики. Дослідження у сфері охорони здоров'я Стумпоса А., Кітсіоса Ф. та Таліаса М. [2] показує, як цифрові рішення впливають на доступність і якість медичних послуг. Аналітики ОЕСР [3] вказують на ефективність гібридних моделей оцінювання, що поєднують кількісні та якісні показники. Водночас

<sup>1</sup> ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4585-9192>

в дослідженнях вчених ООН [4], Босеана С. [5], Гоеля А. [6] та Гаркушенко О. [8] підкреслюються суттєві обмеження: фрагментація даних, нестача загальних стандартів, неврахування непрямих наслідків та відсутність довгострокових сценаріїв. Ці дослідження підтверджують актуальність формування більш динамічних, адаптивних та цілісних моделей оцінювання, що інтегрують різні джерела даних і орієнтовані на підтримку ефективної цифрової трансформації.

**Постановка проблеми.** Метою статті є здійснення критичного аналізу сучасних методів і моделей оцінювання впливу цифровізації на економічні, соціальні та екологічні складові сталого розвитку, а також формування напрямів їх удосконалення з урахуванням реалій динамічного цифрового середовища та потреб прийняття ефективних управлінських рішень.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Кількісні підходи складають основу багатьох оцінок впливу цифровізації на сталий розвиток, зокрема, за допомогою оцінок на основі показників та моделей, керованих даними. Ці методи використовують великі набори даних та статистичні методи для кількісної оцінки взаємозв'язку між цифровими технологіями та різними цілями сталого розвитку, надаючи вимірне розуміння прогресу та прогалів. Наприклад, такі рамки, як Структура оцінки цифровізації, дозволяють проводити контекстно-залежні оцінки шляхом систематичного вивчення технічних, соціальних та економічних показників для фіксації багатогранного впливу цифровізації на результати сталого розвитку [1]. Сила кількісних моделей полягає в їхній здатності обробляти величезні обсяги інформації, стандартизувати порівняння та пропонувати відтворювані результати. Однак проблеми залишаються, включаючи доступність даних, проблеми з якістю та складність фіксації складної, контекстно-залежної динаміки в жорстких числових рамках. Незважаючи на ці обмеження, підходи, засновані на показниках та даних, залишаються вирішальними для політиків, які шукають стратегії, засновані на доказах, для стимулювання сталої цифрової трансформації.

Якісні підходи доповнюють кількісні моделі, надаючи глибину та контекст оцінці впливу цифровізації на сталий розвиток. Наприклад, тематичні дослідження та експертні оцінки заглиблюються в конкретні сценарії, фіксуючи нюанси впливу цифрових рішень на соціальні, економічні та екологічні аспекти. Ці методи часто включають глибинні інтерв'ю, семінари із зацікавленими сторонами та нарративний аналіз, який розкриває основні механізми, бар'єри та фактори, що сприяють цифровій трансформації. Багатство якісних даних особливо цінне для розуміння складних умов, де самі лише цифри можуть не передати системних змін або непередбачуваних наслідків.

Прикладом є оцінка того, як цифрові інновації в охороні здоров'я змінюють надання медичної допомоги та доступ до неї, пропонуючи розуміння проблем та успіхів, які кількісні показники можуть не враховувати [2]. Хоча якісним підходам може бракувати узагальнюваності, їхня здатність виявляти контекстно-залежні висновки робить їх незамінними для розробки та вдосконалення ініціатив щодо сталої цифровізації.

Гібридні та змішані методи оцінки все частіше використовуються для подолання розриву між кількісною точністю та якісною глибиною оцінки впливу цифровізації на сталий розвиток. Ці інтегративні моделі поєднують статистичний аналіз з нарративними доказами, що сприяє всебічному розумінню як вимірюваних результатів, так і контекстуальних факторів. Наприклад, для досягнення ефективних результатів сталого розвитку, відображених у фінансових внесках на конкретні ініціативи, використовуються як кількісні показники, так і якісний зворотний зв'язок для керівництва процесом прийняття рішень та коригування політики [3]. Перевага таких гібридних моделей полягає в їхній здатності вирішувати складні, багаторівневі проблеми сталого розвитку, які ні кількісні, ні якісні підходи не можуть повністю охопити окремо. Поєднуючи сильні сторони обох методологій, оцінки змішаних методів пропонують зацікавленим сторонам надійні, практичні висновки, які прагнуть максимізувати позитивний вплив цифровізації на цілі сталого розвитку.

Поточні моделі оцінки впливу цифровізації на сталий розвиток демонструють як сильні сторони, так і обмеження, особливо під час вимірювання екологічних, соціальних та економічних компонентів. Кількісні моделі, такі як оцінки на основі показників, пропонують перевагу в наданні об'єктивних та послідовних показників, що полегшують порівняння між різними секторами та регіонами [4]. Однак ці моделі часто не можуть охопити весь спектр результатів сталого розвитку, особливо в тих сферах, де якісні фактори, такі як соціальне благополуччя або нюансований вплив на місцеву економіку, відіграють значну роль. Крім того, хоча економічні показники часто можна відносно легко виміряти за допомогою встановлених показників, екологічний та соціальний вплив може бути недостатньо представлений або надмірно спрощений через брак комплексних даних або стандартизованих методологій [5]. Як результат, критичний аналіз існуючих моделей виявляє необхідність більш цілісних структур, які інтегрують як кількісні, так і якісні висновки, забезпечуючи збалансований підхід до вимірювання багатогранних вимірів сталого розвитку.

Постійною проблемою в оцінці впливу цифровізації на сталий розвиток є питання доступності, порівнянності та стандартизації даних. Багато

моделей спираються на різні джерела даних, які можуть суттєво відрізнятися за якістю, обсягом та частотою оновлень [4]. Ця невідповідність перешкоджає зусиллям щодо отримання надійних, порівнянних результатів у різних країнах та галузях. Наприклад, хоча деякі регіони можуть похвалитися комплексними наборами даних щодо цифровізації та сталого розвитку, інші стикаються зі значними прогалинами в даних, що призводить до перекошеного аналізу. Крім того, відсутність загальноприйнятих показників та стандартизованої звітності ще більше ускладнює процес, ускладнюючи порівняння або відстеження прогресу з часом. До основних перешкод можна віднести:

- неповні або застарілі набори даних щодо показників цифровізації та сталого розвитку;
- різні методології збору та звітності даних;
- обмежений доступ до власної або конфіденційної корпоративної інформації.

Ці проблеми підкреслюють нагальну потребу в скоординованих зусиллях щодо вдосконалення інфраструктури даних та розробки гармонізованих стандартів, що підтримують надійні оцінки.

Ще одним помітним обмеженням сучасних моделей оцінки є їхня складність у відображенні непрямого та довгострокового впливу цифровізації на сталий розвиток. Багато існуючих структур зосереджені переважно на негайних або прямих результатах, таких як скорочення споживання ресурсів або короткострокові економічні вигоди. Однак цифровізація часто викликає складні, каскадні ефекти, які розгортаються протягом тривалих періодів та охоплюють різні виміри сталого розвитку. Наприклад, хоча впровадження цифрових технологій може спочатку покращити операційну ефективність, воно також може призвести до збільшення попиту на енергію або утворення електронних відходів – ефектів, які можуть стати очевидними лише через роки [6]. Крім того, непрямі соціальні наслідки, такі як зміни в моделях зайнятості або розвиток суспільних норм, рідко можна відстежити в короткострокових оцінках. Ці обмеження підкреслюють важливість розробки більш динамічних та перспективних моделей оцінки, здатних відстежувати як негайний, так і прихований вплив цифрової трансформації на сталий розвиток.

Ключовою сферою для покращення оцінки впливу цифровізації на сталий розвиток є інтеграція динамічних даних у моделі оцінювання. Традиційні системи оцінювання часто спираються на статичні або періодично оновлювані набори даних, які можуть не враховувати швидкі зміни, спричинені цифровими технологіями. Використовуючи потоки даних у режимі реального часу, наприклад дані від інтелектуальних датчиків у будівлях або на виробничих об'єктах, аналітики можуть точніше відстежувати зміни в споживанні

енергії, ефективності використання ресурсів та операційній діяльності в міру їх виникнення. Такий підхід не тільки підвищує точність оцінок впливу на навколишнє середовище, але й сприяє своєчасному втручанням для оптимізації результатів сталого розвитку. Крім того, включення динамічних даних дозволить зробити процес оцінювання більш чутливим та адаптивним, усуваючи деякі обмеження, пов'язані з порівняльністю та своєчасністю даних, що зустрічаються в традиційних моделях.

Ще одним важливим напрямком майбутніх досліджень є розробка цілісних моделей, які будуть чітко враховувати складні взаємозалежності між екологічним, соціальним та економічним стовпами сталого розвитку. Сучасні методи оцінки часто розглядають ці компоненти ізольовано, не враховуючи, як цифровізація може генерувати хвильовий ефект у різних сферах. Наприклад, впровадження цифрових платформ у ланцюгах поставок не тільки підвищує економічну ефективність, але й може впливати на умови праці та на навколишнє середовище [7]. Цілісні моделі повинні враховувати такий взаємопов'язаний вплив, інтегруючи багатокритеріальний аналіз та системне мислення. Ключові особливості цих передових моделей мають включати:

- міждисциплінарну інтеграцію даних для охоплення широкого спектру показників сталого розвитку;
- механізми оцінки як прямих, так і непрямих наслідків цифровізації;
- аналіз на основі сценаріїв для дослідження довгострокових та непередбачених результатів.

Такі комплексні рамки дозволять зацікавленим сторонам краще зрозуміти компроміси та синергію, що зрештою сприятиме більш обґрунтованому прийняттю рішень [8].

Окрім методологічного прогресу, існує нагальна потреба в орієнтованих на політику та практичних рішеннях системах оцінювання, які перетворюють складні аналізи сталого розвитку на практичні рекомендації для осіб, що приймають рішення. Існуючі моделі часто не забезпечують чітких вказівок щодо розробки політичної або організаційної стратегії, частково через їхню технічну складність та відсутність зручних для користувача результатів. Щоб усунути цю прогалину, майбутні системи повинні надавати пріоритет прозорості, доступності та актуальності для реальних політичних викликів [9]. Роблячи результати оцінювання більш практичними, вдосконалені системи зможуть краще підтримувати розробку та впровадження заходів, що використовують цифровізацію для сталого розвитку [4].

**Висновки.** Хоча сучасні методи оцінки впливу цифровізації на сталий розвиток пропонують цінні знання отримані за допомогою різних кількісних,

якісних та гібридних підходів, вони також стикаються зі значними обмеженнями. До них належать проблеми, пов'язані з якістю даних, стандартизацією та здатністю фіксувати складні, довгострокові та непрямі наслідки. Для усунення цих проблем майбутні дослідження мають зосередитися на інтеграції даних у режимі реального часу, розробці комплексних моделей, які враховують взаємозв'язок екологічних, соціальних та економічних вимірів, та створенні більш дієвих порад щодо практичних рішень для політиків. Такі вдосконалення дозволять проводити більш точніші та цілісніші оцінки, що зрештою підтримає ефективніші стратегії використання цифровізації для досягнення цілей сталого розвитку.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Gupta S., Rhyner J. Mindful application of digitalization for sustainable development: the digitainability assessment framework. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. No. 5. P. 3114. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14053114>
2. Stoumpos A. I., Kitsios F., Talias M. A. Digital transformation in healthcare: technology acceptance and its applications. *International journal of environmental research and public health*. 2023. Vol. 20, no. 4. P. 3407. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph20043407>
3. OECD (2024), Effective Results Frameworks for Sustainable Development: Achieving Impact by Design, OECD Publishing, Paris, DOI: <https://doi.org/10.1787/aaa4bb52-en>
4. Measuring and monitoring progress towards the sustainable development goals. United Nations, 2021. DOI: <https://doi.org/10.18356/9789210051866>
5. Bocean C. G., Vărzaru A. A. EU countries' digital transformation, economic performance, and sustainability analysis. *Humanities and social sciences communications*. 2023. Vol. 10. No. 1. DOI: <https://doi.org/10.1057/s41599-023-02415-1>
6. Goel A., Masurkar S., Pathade G. R. An overview of digital transformation and environmental sustainability: threats, opportunities, and solutions. *Sustainability*. 2024. Vol. 16. No. 24. P. 11079. DOI: <https://doi.org/10.3390/su162411079>
7. Öztürk C. Digitalization as a catalyst for social sustainability in supply chains: an ISM-fuzzy MICMAC and DEMATEL approach. *Environment, development and sustainability*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-025-06011-y>
8. Garkushenko O. System-dynamic model for assessing the digitalization impact on sustainable development. *Economy of industry*. 2021. Vol. 1. No. 93. P. 20–45. DOI: <https://doi.org/10.15407/econindustry2021.01.020>
9. High-quality health systems in the Sustainable Development Goals era: time for a revolution / M. E. Kruk et al. *The lancet global health*. 2018. Vol. 6. No. 11. P. e1196-e1252. DOI: [https://doi.org/10.1016/s2214-109x\(18\)30386-3](https://doi.org/10.1016/s2214-109x(18)30386-3)