

	ECONOMIES' HORIZONS Економічні горизонти DOI: doi.org/10.31499/2616-5236 Homepage: http://eh.udpu.edu.ua		ISSN 2522-9273 (print) 2616-5236 (online)
---	--	---	--

UDC: 339.9:504:004

DOI: [10.31499/2616-5236.3\(28\).2024.310264](https://doi.org/10.31499/2616-5236.3(28).2024.310264)

*Iryna Maksymova, State University of Economics and Technology
PhD in Economics, Associate Professor, Head of the Department of International Relations, doctoral student at the Department of International Economics, West Ukrainian National University*

КОНЦЕПТ СТАЛОЇ ДИДЖИТАЛІЗАЦІЇ ЯК БАЗИС ЗЕЛЕНОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕХОДУ ДО КЛІМАТИЧНО-НЕЙТРАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ
THE CONCEPT OF SUSTAINABLE DIGITALISATION AS A BASIS FOR A GREEN-DIGITAL TRANSITION TO A CLIMATE-NEUTRAL ECONOMY

Анотація: У статті запропоновано концептуальний підхід до сталої диджиталізації як основної рушійної сили зеленого-цифрового переходу на шляху до кліматичної нейтральності світової економіки. Проаналізовано перспективи такої взаємодії, а також визначено можливі бар'єри та ризики. Запропоновано тріступеневу модель гармонізації цифрового та зеленого переходу, що базується на концепті сталої диджиталізації та спрямована на досягнення кліматичної нейтральності. Визначено складові інноваційного стрибка, який потрібен для досягнення кліматичної нейтральності у короткостроковій та довгостроковій перспективі.

Abstract: The article presents a conceptual framework for understanding sustainable digitalisation as a primary driver of the green-digital transition towards climate neutrality of the global economy. This article analyses the interaction between digital technologies and decarbonisation goals, focusing on the opportunities and risks that arise in the process of digital transformation. The author presents a summary of the barriers to the green-digital transition on the global path to zero emissions, including the digital divide, uneven access to technology and innovation, carbon intensity of ICT, unclear regulation and imbalance of international policies. The author proposes a three-stage model of harmonisation of digital and green transitions, which contributes to the achievement of climate neutrality of the global economy. The model comprises the following components: international consensus and synchronisation; sustainable digitalisation in bridging

the gaps; systematic and targeted innovation. The author underscores the necessity of incorporating sustainable tenets into the digitalisation process, considering both the technical and social, economic and environmental facets. The author identifies the following principles of sustainable digitalisation: the reduction of ICT energy consumption and related carbon emissions; the optimisation of the material and technical base for the functioning of digital infrastructure; the reduction of e-waste through the introduction of circular practices; the integration of sustainable digital technologies into business models; the combating of disinformation; the protection of human rights and the ensuring of environmental justice. Furthermore, the article identifies the key innovations needed to achieve climate neutrality in the short and long term.

Keywords: *global economy, climate neutrality, digital transformation, innovation, digital-green transition, twin transition, sustainable digitalisation, climate change, green economy, digital divide*

Ключові слова: *світова економіка, кліматична нейтральність, цифрова трансформація, інновації, цифровий-зелений перехід, подвійний перехід, стала диджиталізація, зміни клімату, зелена економіка, цифровий розрив*

Постановка проблеми.

У сучасних умовах світова економіка стикається з безпрецедентними викликами, пов'язаними з необхідністю досягнення кліматичної нейтральності та забезпечення сталого розвитку. Під впливом глобальних ініціатив щодо зменшення викидів парникових газів та боротьби зі змінами клімату, держави, корпорації та суспільства в цілому починають впроваджувати різноманітні стратегії, спрямовані на зменшення екологічного навантаження. Водночас, розвиток цифрових технологій відкриває нові можливості для досягнення цих цілей, зокрема через оптимізацію процесів, підвищення ефективності використання ресурсів та скорочення енергоспоживання.

Актуальність питання сталої диджиталізації зростає у зв'язку зі швидкими темпами цифрового розвитку світу, що суттєво впливає на характер енергоспоживання. З

одного боку, цифрові технології можуть сприяти значному зниженню викидів і підвищенню енергоефективності, з іншого боку, вони створюють додаткове навантаження на екосистеми через зростаючу потребу в енергії та матеріалах для виробництва власне цифрових пристроїв і інфраструктури. Більш того, існує суттєвий ризик, що без всевітньо запроваджених нормативних рамок та інтеграції сталих принципів у процеси диджиталізації, цифровий перехід може призвести до зростання негативних екологічних наслідків, таких як збільшення викидів вуглецю через енергомістке обслуговування ІКТ та зростання обсягів електронних відходів.

Важливо також врахувати соціальні аспекти подвійного переходу, адже різниця в доступі до цифрових технологій між розвиненими країнами та країнами, що розвиваються, може загострити глобальну нерівність і перешкодити

спільним зусиллям щодо досягнення кліматичної нейтральності.

Відтак, стала диджиталізація стає критично важливою для забезпечення гармонізації зеленого-цифрового переходу, який враховує як економічні, так і екологічні аспекти розвитку сучасної системи господарювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Сучасний науковий дискурс представлений низкою міжнародних досліджень, які розглядають цифровий та зелений перехід, як окремо, так і в симбіотичному поєднанні. Однак умови, механізми і, головне, наслідки такого взаємного узгодження не достатньо представлені в контексті довгострокової перспективи забезпечення кліматичної нейтральності світової економіки.

Питанню, як цифрові технології можуть сприяти скороченню викидів парникових газів у контексті сучасних економічних систем, присвячено низку прикладних та фундаментальних досліджень.

У своїй науковій роботі Ланге С. та Сантаріус Т. досліджують вплив цифровізації на сталий розвиток. Вони зазначають, що диджиталізація може значно скоротити викиди завдяки автоматизації та оптимізації виробничих процесів, зменшенню споживання енергії та покращенню управління ресурсами за допомогою "розумних мереж" та Інтернету речей [1]. Автори Rolnick D., Donti P., Kaack L., Lacoste A. підкреслюють, що цифрові технології машинного навчання

можуть відігравати вирішальну роль у боротьбі зі зміною клімату, якщо вони будуть спрямовані на оптимізацію використання енергії та підвищення ефективності відновлюваних джерел енергії [2]. У своїх статтях Hedberg A., Pietrón D., Staab P., Hofmann F. підкреслюють важливість цифровізації для розвитку циркулярної економіки, яка сприяє скороченню викидів за рахунок оптимізації ланцюгів постачання, сприяння повторному використанню матеріалів та створення стійких ринків [3, 4]. Інші дослідники, серед яких Santarius T., Pohl J., Lange S., Frick V., Matthies E., Thogersen J. та Matthies E., наголошують на необхідності зміни способу життя суспільства в бік більш дружньої до довкілля і свідомої поведінки. Цей зсув все частіше визнається вирішальним для сталого розвитку [5-7].

З іншого боку, аналітичні дослідження, проведені міжнародними організаціями, такими як ESC SRIA, EFFRA та Європейська Комісія, а також окремими вченими, такими як Василеску М., Діміан Г., Градінару Г., Міетуле І. та ін., зосереджуються на сфері зелених технологічних інновацій. Ці інновації розглядаються як необхідні для забезпечення довгострокової конкурентоспроможності та кліматичної сталості [8-11].

Варто зазначити, що більшість наукових розробок у сфері зеленої та цифрової трансформації наразі зосереджені на технічних аспектах окремих секторів економіки або на окремих аспектах зеленого чи цифрового переходу. Питання їх

синергії та гармонізації залишається відкритим питанням для наукової дискусії.

Формулювання мети статті.

Метою статті є комплексне дослідження напрямків гармонізації зеленого-цифрового переходу задля досягнення кліматичної нейтральності світової економіки, формування теоретичної моделі та концептуалізація сталої диджиталізації як базису цього процесу.

Дане дослідження також має на меті закласти основу для подальшої розробки ефективних політик і стратегій, що сприятимуть досягненню глобальних кліматичних цілей у рамках стійкої диджиталізації світової економіки.

Методика дослідження.

У процесі дослідження було застосовано комплексний підхід, який поєднує якісні та кількісні методи аналізу. Основним методом дослідження виступив системний аналіз, що дозволив розглянути взаємодію цифрових технологій та екологічних ініціатив у контексті досягнення кліматичної нейтральності. Системний аналіз застосовувався для вивчення різних аспектів взаємодії між цифровими технологіями та стратегіями скорочення викидів, а також для ідентифікації ключових викликів і можливостей, що виникають у цьому контексті.

Для забезпечення широкого експертного дискурсу було зібрано

напряцювання різних наукових шкіл у напрямку цифрово-зеленого переходу. Важливою частиною методики було використання результатів форсайт-аналізу ЄС для оцінки перспектив розвитку кліматично-нейтральної економіки за умов активного впровадження цифрових технологій. Це допомогло ідентифікувати перспективні напрями інновацій і визначити потенційні загрози та ризики, що можуть виникнути на шляху до кліматичної нейтральності, а також місце сталої диджиталізації у цьому важливому процесі.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Подвійний зелений-цифровий перехід передбачає узгоджене впровадження цифрових та зелених технологій у широкому дискурсі досягнення сталості в промислових, соціальних та економічних системах. Ці обидва потужні мейнстріми взаємодоповнюються задля досягнення спільних цілей, таких як зменшення викидів парникових газів, підвищення енергоефективності та впровадження інноваційних технологій.

Однак, такий подвійний перехід потребує певної гармонізації у напрямку досягнення глобальної кліматичної нейтральності світової економіки з огляду на виявлені групи негативних факторів впливу (рис. 1).



Рис. 1. Сектори загроз цифрового-зеленого переходу на шляху до кліматичної нейтральності світової економіки

Джерело: авторська розробка

Зазначені чинники негативно впливають на ефективність зеленого-цифрового переходу у напрямку забезпечення кліматичної нейтральності світової економіки. Незадовільний рівень цифрової інфраструктури може стати серйозною перешкодою для цифрового переходу, особливо у регіонах з поганим покриттям інтернету та низькою якістю зв'язку [12]. З іншого боку, хоча цифрові технології мають значний потенціал для підтримки зеленого розвитку, вони також створюють значне енергетичне навантаження, що може суперечити принципам декарбонізації, особливо стосовно використання AI, блокчейну та ін. [13]. Критично важливим негативним фактором є невизначеність політик, неналежне регулювання та відсутність

конкретних стратегічних цілей стосовно досягнення кліматичної нейтральності з урахуванням ролі диджиталізації у цьому процесі. Це створює невизначеність для бізнесів та інвесторів, уповільнюючи процес переходу [14].

Відтак, гармонізація зеленого-цифрового переходу передбачає у першу чергу посилення узгодженості між зеленим і цифровим переходами задля забезпечення їх кращої синергії у напрямку досягнення повсюдного зниження викидів та забезпечення кліматично-нейтрального розвитку світової економіки.

З цією метою пропонується наступна трирівнева модель гармонізації цифрового-зеленого переходу у напрямку забезпечення кліматичної нейтральності світової економіки (рис. 2).



Рис. 2. Три-ступенева модель гармонізації зеленого-цифрового переходу світової економіки на засадах сталої диджиталізації

Джерело: авторська розробка

Перший вимір гармонізації зеленого-цифрового переходу спрямовано на формування міжнародного консенсусу стосовно візії кліматичної нейтральності світової економіки та бачення прогресивної ролі диджиталізації у цьому процесі. Цей вимір передбачає кілька принципово важливих складових, що визначені за результатами аналізу низки наукових досліджень [5, 12, 15-18]:

1. Конвергенція країн на шляху до "нульових" викидів
2. Глобальний розвиток цифрових компетенцій та сталої диджиталізації
3. Наука та дослідження (глобальний рівень R&D)
4. Сприяння міжсекторальним інноваційним екосистемам
5. Повсюдність та наскрізність норм та стандартів на глобальному рівні
6. Узгодженість світових політик та національних інтересів

Ключовою умовою є узгодження візії, цінностей та цілей досягнення кліматичної нейтральності світової економіки у контексті цифрової ери та сталого розвитку. Гармонізація подвійного переходу у напрямку кліматичної нейтральності світової економіки потребує конвергенції між усіма

ключовими міжнародними акторами у напрямку забезпечення «нульових» викидів. З іншого боку, важливим аспектом такої конвергенції є використання синергії диджиталізації, як драйвера прискорення екологічно стійкого, соціально справедливого та економічно відповідального розвитку. Це потребує переосмислення мети диджиталізації, з огляду на розробку спільних бачень, цінностей та оновлених цілей для зеленого переходу в епоху цифрових технологій.

Відтак, мета диджиталізації в контексті кліматично нейтральної економіки має полягати у створенні стійкої та інноваційної інфраструктури, яка сприяє мінімізації викидів парникових газів і ефективному використанню ресурсів. Це включає розвиток цифрових технологій, що дозволяють автоматизувати і оптимізувати виробничі процеси, підвищувати енергоефективність, забезпечувати прозорість та контроль над ланцюгами постачання, а також підтримувати прийняття рішень на основі даних, що веде до зменшення екологічного впливу. Основною метою має бути забезпечення сталого економічного

зростання за рахунок інтеграції екологічних і цифрових рішень, які гармонізують економічний розвиток з цілями кліматичного управління.

Реалізація цієї мети вимагає формування міцних коаліцій між державними і приватними організаціями, включаючи академічні кола та представників громадянського суспільства, які об'єднуються в реалізації подвійного зеленого-цифрового переходу та розуміють важливість забезпечення тим самим кліматичної нейтральності. Гармонізація зеленого-цифрового переходу передбачає, що локальне та глобальне усвідомлення екологічних та соціальних цінностей має бути систематично інтегровано суб'єктами, які займають провідні позиції у сфері існуючих і нових цифрових технологій, інновацій та управлінських структур. Водночас, зобов'язання щодо зеленого розвитку та багатосторонні кліматичні домовленості мають періодично переглядатися з точки зору їх виконання крізь призму диджиталізації.

Водночас, необхідність розвитку цифрових компетенцій є критичною для подвійного переходу, адже цифровий розрив безпосередньо впливає на траєкторію диджиталізації та розкриття усіх її можливостей для задоволення потреб зеленої трансформації. Дослідження показують, що нині багатьом суб'єктам господарювання бракує важливих цифрових компетенцій, необхідних для ефективної каталізації переходу до кліматично-нейтральної економіки [19]. З одного

боку, державний сектор та політичні лідери повинні розуміти можливості та ризики цифрової трансформації у напрямку підтримки декарбонізації, нарощуючи власні цифрові можливості для ефективного регулювання, стимулювання та впровадження сталих політик.

Гармонізація зеленого-цифрового переходу економіки на глобальному рівні передбачає спільний розвиток наукової думки та підтримку R&D у цій сфері. У своїй книзі Еспіноза О. та Уолкер Дж. [20] наголошують, що одним з вагомих викликів сучасної науки є розуміння внутрішньої складності та компромісів, що стосуються досягнення планетарної стійкості, що охоплює складність і динаміку процесів на Землі, економічних та соціальних систем.

Незважаючи на досить широкий дискурс міжнародних домовленостей та угод у сфері зміни клімату, залишається значний пробіл у нормативних та етичних рамках зеленого-цифрового переходу та цілепокладання у напрямку кліматичної нейтральності світової економіки. Це передусім стосується розробки стандартів, які б керували напрямком диджиталізації з урахуванням соціальної стійкості та кліматичної нейтральності. Також критично важливо встановити глобальну стандартну методологію для оцінки та вимірювання власного впливу цифрових технологій на зміну клімату. Ці зусилля повинні включати управління даними, які стають новим фактором виробництва, поряд із землею, працею та капіталом, і сприяти

розробці політик, які підтримують цифрову трансформацію у відповідності до цілей зеленого переходу.

Наступним рівнем моделі гармонізації є подолання основних

розривів та нерівностей цифрово-зеленого переходу, які вповільнюють декарбонізацію світової економіки (рис. 3).



Рис. 3. Розриви та нерівності зелено-цифрового переходу в досягненні кліматичної нейтральності

Джерело: авторська розробка

Наведені розриви вимагають особливої уваги в контексті досягнення кліматичної нейтральності світової економіки. Першим із них безумовно є цифровий розрив, який вказує на нерівний горизонтальний доступ до цифрових технологій серед різних регіонів та, водночас, неоднакову доступність використання ІКТ по вертикалі різних соціальних груп. Це питання є важливим для забезпечення справедливого розподілу переваг зеленої трансформації. За останні 20 років цифровий розрив у світі у цілому значним чином зменшився до 38,4%, однак його розмах значно варіює залежно від рівня економічного розвитку країн [21].

Інший вагомий розрив обумовлено наявним дисонансом у правах та зобов'язаннях, який

відображає невідповідність між тим, що вимагається від країн, компаній та громадян у контексті екологічних ініціатив, і тими ресурсами та можливостями, які вони мають. Цей розрив часто веде до конфліктів інтересів та затримок у реалізації зелених політик. Інформаційні викривлення стосуються спотвореної або недостатньої інформації про екологічні виклики та можливості, що знижує ефективність ухвалення рішень, як на рівні споживачів, так і на рівні політик.

З іншого боку, важливим аспектом глобальної нерівності у рамках досягнення кліматичної нейтральності світової економіки є спроможність до споживання товарів та послуг із «зеленими націнками». Це вказує на економічну здатність населення

нести вищі витрати, пов'язані із зеленими продуктами та технологіями. Розрив у цьому питанні спостерігається не тільки між окремими країнами з різним рівнем економічного розвитку, але й між різними соціальними групами, що порушує інклюзивність цифрового-зеленого переходу і, як наслідок, його результативність у досягненні «нульових» викидів світової економіки.

Загалом, розриви у динаміці зниження викидів у різних країнах та індустріях провокують певний дисбаланс адаптації та мітигації, що відображає неоднаковий розподіл зусиль та ресурсів між заходами, спрямованими на пом'якшення наслідків зміни клімату та адаптацію до них.

Наведені вище міркування нашою хуюють на необхідність забезпечення сталої диджиталізації як аспекту гармонізації зеленого-

цифрового переходу світової економіки та мінімізації критичних розривів.

Стала диджиталізація має на меті пом'якшення негативних екологічних та соціальних впливів цифрових технологій. Ці впливи охоплюють значне споживання енергії та матеріалів, що обумовлює збільшення вуглецевого сліду цифрових технологій, а також соціальні виклики, пов'язані з дестабілізацією моделей споживання, дезінформацією, нерівним доступом до цифрових технологій, дискримінацією у наданні цифрових навичок та можливостей.

Відтак, стала диджиталізація передбачає відповідальне, етичне, і довгостроково стійке використання цифрових технологій, що базується на сукупності певних принципів (рис. 4).



Рис. 4. Принципи сталої диджиталізації для гармонізації зеленого-цифрового переходу

Джерело: авторська розробка

Перший принцип пов'язаний зі зменшенням споживання енергії та пов'язаних з цим викидів CO₂. За

даними Міжнародного енергетичної агенції прогнозується, що частка ІКТ у світовому споживанні

електроенергії може становити від 3,2% до 7%, формуючи водночас від 1,8% до 3,9% вуглецевого сліду світової економіки [22]. Особливо зростання сектору криптовалют також призводить до збільшення споживання енергії та вуглецевого сліду. Тільки вуглецевий слід мережі Bitcoin за п'ятирічний період з 2017 по 2022 рік було оцінено у 114 мегатонн вуглецю [там само], що за обсягом співмірно з вуглецевим слідом, які генерують деякі країни за рік (Бельгія, Чехія, Україна). Як зазначає дослідження [23] на початку світової пандемії було вироблено рекордні 53,6 мільйона метричних тонн електронних відходів, 17,4% цих відходів було офіційно зібрано та перероблено, враховуючи той факт, що нині лише 78 країн світу мають законодавство щодо управління електронними відходами. Таке швидке зростання електронних відходів вимагає врахування принципів циркулярності концепції сталої диджиталізації.

Другим принципом сталої диджиталізації є оптимізація матеріально-технічної бази, яка необхідна для функціонування цифрової інфраструктури. Швидке розширення цифрової економіки суттєво збільшує попит на критичні матеріали, необхідні для виробництва пристроїв ІКТ, таких як комп'ютери, мобільні телефони, акумулятори та інші компоненти. З огляду на зростаючу потребу в екологічно чистих технологіях, які підтримують енергетичні переходи, прогнозується, що видобуток таких елементів, як графіт, літій і кобальт, може збільшитися вп'ятеро до 2050

року [24]. Експлуатація цих ресурсів має різні екологічні, соціальні та політичні наслідки, які часто залежать від здатності національних та місцевих урядів моніторити та мінімізувати такі впливи.

Варто зазначити, що стала диджиталізація сприяє боротьбі з дезінформацією, яка може значно ускладнити зусилля з просування екологічної обізнаності та дій, спрямованих на пом'якшення наслідків зміни клімату. Дослідження Массачусетського технологічного інституту виявило, що неправдиві новини поширюються на 70 відсотків швидше, ніж правдиві, і правдивій інформації потрібно в шість разів більше часу, щоб досягти аналогічної аудиторії порівняно з неправдивою [25]. Поширення дезінформації на теми, пов'язані із сталим розвитком, такі як зміна клімату, втрата біорізноманіття та забруднення, підриває колективні зусилля, довіру до інституцій, а також спричиняє зростання поляризації та недовіри серед різних груп населення. Створення ефективних механізмів для боротьби з дезінформацією в контексті кліматично-нейтральної економіки вимагає використання цифрових технологій для розширення доступу до точної та науково підтвердженої інформації.

З іншого боку, в контексті переходу до кліматично-нейтральної економіки, важливим аспектом сталої диджиталізації стає захист прав людини та забезпечення екологічної справедливості. Зі зростанням кількості людей, організацій та штучного інтелекту,

що взаємодіють у цифровому просторі, забезпечення прав людини в онлайн-середовищах стає ключовим елементом сталих систем управління. Згідно досліджень особлива увага повинна бути приділена трьом ключовим аспектам [26]:

- порушення прав людини, пов'язані з конфліктами землекористування при видобутку мінералів, необхідних для розвитку зеленої цифрової інфраструктури;
- порушення прав людини у вигляді цифрового нагляду та репресій проти екоактивістів, правозахисників, журналістів і політичних опонентів;
- порушення приватності в інтернеті з боку приватних компаній та державних органів.

Таким чином, окреслені вище міркування формують своєрідний сутнісний місток у розумінні сталої диджиталізації як фактора мінімізації розривів та нерівностей подвійного зеленого-цифрового переходу на шляху до кліматичної нейтральності світової економіки.

Втім, надважливим аспектом гармонізації зеленого-цифрового переходу є задоволення потреб і запитів кліматично-нейтральної економіки в частині технологій та цифрових рішень. У багатьох сферах це потребує потужного «інноваційного стрибка», адже низьковуглецеві рішення, яких потребує світова економіка, нерідко знаходяться в ембріональній стадії розробки або ж не пройшли достатню апробацію для масового вжитку.

Таке інноваційне «прискорення» зеленого-цифрового переходу є важливою передумовою гармонійного та синхронного руху до «нульових» викидів. Втім, воно потребує значної стратегічної підтримки.

Аналіз форсайтів Європейського Союзу за останні роки [15, 27] у сфері подвійного переходу, кліматичної нейтральності та сталого майбутнього дозволив узагальнити такі критично важливі напрямки інновацій у коротко- і довгостроковій перспективі (табл. 1).

Окреслені напрямки фактично ілюструють сектори інновацій, які потребують фокусу уваги та посилення для досягнення кліматичної нейтральності світової економіки, особливо у довгостроковій перспективі. З іншого боку, вони показують, як диджиталізація може задовольнити потреби зеленого переходу, еволюціонуючи від сучасних рішень до майбутніх передових практик.

Одним з бар'єрів інноваційного розвитку у сфері зеленого-цифрового переходу є те, що диджиталізація ще не закладається на державному рівні як наскрізний та повсюдний пріоритет у багатьох країнах світу. Попри існування великої кількості програмних ініціатив, угод та документів на посилення зеленого переходу, їх лівова більшість не закладає отримання прямої вигоди від цифрових технологій, платформ, програм і систем SMART [28].

Таблиця 1

Важливі напрямки інновацій, які потрібні для зеленого-цифрового переходу

Часовий період	Сільське господарство	Енергетика	Будівництво	Важка промисловість	Транспорт
Хвиля 1. Сьогодення і короткострокова перспектива (до 2030 року)	Розумне фермерство, агроекологічні практики, системи інтегрованих датчиків в ґрунті	Відновлювані джерела енергії, розумні електричні мережі, літій-іонні батареї	Пасивні будівлі, цифрові журнали будівель, інтегровані проектні інструменти	Електричні дугові печі, вода з рециркуляції систем, рециклінг газу у ГМК	Електрифікація транспорту, автономні транспортні засоби, 3D-друк у виробництві автокомпонентів
Хвиля 2. Стратегічна довгострокова перспектива (до 2050 року)	Цифрові двійники для моніторингу земельних ділянок, Генетичне редагування рослин, селекція за дизайном, використання передових біотехнологій	Хвильова енергія, системи тривалого зберігання енергії, виробництво водню за допомогою піролізу, ядерний синтез	Будівельні інформаційні моделі (BIM), високоефективні будинки з автоматизованими системами управління	Покращені методи рециклінгу, мікробіальний рециклінг пластикових відходів	Модульність і віртуальне зчеплення у залізничному транспорті, координований автоматизований дорожній транспорт, водневі літаки, повністю автономні транспортні засоби,

Джерело: складено автором на основі звітів [15, 27]

Багато національних законодавчих рамок все ще використовують традиційні підходи до регулювання «фізичного» світу, нехтуючи можливостями використання цифрових інструментів для досягнення результатів сталого розвитку та дотримання нормативних вимог. Це стосується і недостатньої адаптації та гнучкості законодавства в питаннях подвійного переходу. Подолання зазначеного бар'єру потребує розвитку щонайменше 3-х напрямків:

- диджиталізація національних економічних систем з урахуванням критеріїв кліматичної сталості.
- прозорий моніторинг та звітування щодо виконання законодавства та досягнення кліматичних цілей.
- субсидіарність та децентралізоване управління для стимулювання колективних дій та визначення чітких потреб.

Загалом, розвиток кліматично-нейтральної економіки потребує надання пріоритету інноваціям, які

каталізують зелений-цифровий перехід. Зазначимо, що в сучасних умовах цифрової глобалізації країни можуть отримати численні переваги від «стрибка» до розумних міст, будівель, транспорту, сільського господарства, розумної енергетики тощо. Цей ефект є кумулятивним для економіки, адже стимулює прогрес у різних галузях, розвиток нових ринків та появу нових можливостей для глобального лідерства.

Висновки і перспективи досліджень.

Проведене дослідження показало, що стала диджиталізація є ключовим чинником у розвитку кліматично-нейтральної економіки на глобальному рівні. Інтеграція сталих цифрових технологій може значно підвищити ефективність виробничих процесів, оптимізувати використання енергії та сприяти зниженню викидів парникових газів. Водночас, максимальний ефект від сталої диджиталізації можливий лише за умови тісної координації між міжнародними акторами,

соціальними процесами та технологічними інноваціями.

Запропонована трирівнева модель гармонізації сталого цифрового переходу в контексті кліматично-нейтральної економіки пропонує системний підхід до досягнення цієї мети. Важливу роль відіграє міжнародне співробітництво та розвиток глобальних стандартів щодо застосування цифрових технологій. Критично важливими напрямками також є забезпечення рівного доступу до технологій, подолання цифрового розриву та стимулювання інноваційного стрибка у ключових індустріях.

Нові підходи повинні охоплювати не лише технічні аспекти, але й соціальні, економічні та етичні питання, що виникають під час зеленого-цифрового переходу. Прозорість використання ресурсів, ефективне управління даними та

мінімізація ризиків, пов'язаних із дезінформацією та порушенням прав людини, також є важливими елементами цього процесу.

Таким чином, дослідження наголошує на необхідності подальшої розробки політик і стратегій, які підтримуватимуть сталу диджиталізацію як концептуальний базис кліматично-нейтральної економіки. Цей підхід не лише прискорить процес декарбонізації, але й забезпечить стале економічне зростання у довгостроковій перспективі.

Майбутні дослідження автора будуть зосереджуватися на подальшому вивченні впливу сталих цифрових технологій на кліматично-нейтральну економіку та розробці практичних рекомендацій для урядів, бізнесу та громадянського суспільства для досягнення цих цілей.

References

- Lange, S., Santarius, T. (2021). *Digitalization and Sustainability*. London: Routledge. 198 p.
- Rolnick, D., Donti, P., Kaack, L., Kochanski, K. et al. (2022). *Tackling Climate Change with Machine Learning*. *ACM Computing Surveys*. Vol. 55, Issue 2. P. 21-96. DOI <https://doi.org/10.1145/3485128>
- Hedberg, A., Sipka S. (2021). *Building a circular economy the role of information transfer*. URL: <https://www.epc.eu/en/publications/Building-a-circular-economy-The-role-of-informationtransfer~43d53c>.
- Pietrón, D., Staab, P., Hofmann, F. (2022). *Sustainable Digital Market Design: A Data-Based Approach to the Circular Economy*. *ECDF Working Paper Series*. #001. pp. 1-25. DOI <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-15014>
- IIASA (2020). *The Digital Revolution and Sustainable Development: Opportunities and Challenges*. *The World in 2050*. 150 p. URL: <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/15913/>.
- Santarius, T., Pohl, J., Lange, S. (2020). *Digitalization and the Decoupling Debate: Can ICT Help to Reduce Environmental Impacts While the Economy Keeps Growing?* *Sustainability*. Vol.12(18). P. 74-96. DOI <https://doi.org/10.3390/su12187496>
- Frick, V., Matthies, E., Thøgersen, J., Santarius T. (2021). *Do online environments promote sufficiency or overconsumption? Online advertisement and social media effects on clothing, digital devices, and air travel consumption*. *Journal of Consumer Behavior*. Vol. 20(2), P. 288-308. DOI <https://doi.org/10.1002/cb.1855>
- ECS SRIA (2023). *Strategic Research and Innovation Agenda*. URL: <https://ecssria.eu/download>.

- EFFRA & European Commission (2021). *MADE IN EUROPE. The manufacturing partnership in Horizon Europe*. 98 p. URL: https://www.effra.eu/sites/default/files/made_in_europe-sria.pdf.
- Vasilescu, M., Dimian, G., Gradinaru, G. (2023). *Green entrepreneurship in challenging times: a quantitative approach for European countries*. *Economic research-Ekonomska istraživanja*. vol. 36, no. 1. P. 1828-1847.
- Maksymova, I., Mietule, I., Kulishov, V. (2023). *Digital Solutions for a Climate Neutral Economy: International Framework of Eco-Digital Projects*. ENVIRONMENT. TECHNOLOGIES. RESOURCES. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Vol. 1. pp. 123-127.
- Diodato, D., Huergo, E., Moncada-Paternò-Castello, et al. (2023). *Introduction to the special issue on “the twin (digital and green) transition: handling the economic and social challenges”*. *Industry and Innovation*. 30(7).
- EIT Digital. (2022). *Makers & Shapers: Digital Technologies and the Green Economy*. URL: <https://www.eitdigital.eu/our-messages/makersshapers/reports/>.
- Petmesidou, M., Guillén, A. M. (2022). *Europe’s green, digital and demographic transition: A social policy research perspective*. *Transfer: European Review of Labour and Research*, 28(3), 317-332.
- European Commission. (2023). *Strategic Foresight*. URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/strategic-planning/strategic-foresight_en.
- Freeman, R. (2018). *A theory on the future of the rebound effect in a resource-constrained world*. *Frontiers in energy research*. #6. 369526.
- Krysovaty, A., Maksymova, I., Kurilyak, V. et al. (2024). *International convergence towards a climate-neutral economy: modeling the agricultural sector*. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*. 10(2). pp. 52-79.
- Joint Research Centre. (2020). *Destination Earth: Survey on “Digital Twins” technologies and activities, in the Green Deal area*. URL: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/430025>.
- Đorić, Ž. (2022). *Digital divide in European Union: State and perspectives*. *Ekonomski pogledi*. URL: https://consensus.app/papers/digital-european-union-state-perspectives-doric/55a05f91e3355fd7a59a282fd91ff09e/?utm_source=chatgpt.
- Espinosa, A., & Walker, J. (2017). *A Complexity Approach to Sustainability: Theory and Application*. London: World Scientific.
- Barik, N. (2023). *Global research on digital divide during the past two decades: a bibliometric study of Web of Science indexed literature*. *Global Knowledge, Memory and Communication*. <https://doi.org/10.1108/gkmc-08-2022-0207>
- International Energy Agency (2023). *World Energy Outlook 2023*. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>.
- Forti V., Baldé C.P., Kuehr, P. et al. (2020). *The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential*. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR). Bonn/Geneva/ Rotterdam.
- World Bank (2020). *Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition*. <http://pubdocs.worldbank.org/en/961711588875536384/Minerals-for-Climat-ActionThe-Mineral-Intensity-of-the-Clean-Energy-Transition.pdf>.
- Vosoughi, S., Roy, D., Aral S. (2018). *The spread of true and false news online*. *Science* 359(6380). pp. 1146–1151
- Church, C., Crawford, A. (2018). *Green Conflict Minerals: The fuels of conflict in the transition to a low-carbon economy*. International Institute for Sustainable Development.
- EU publication office (2023). *Strategic foresight report 2023*. 58 p. DOI 10.2792/32296
- Coroama, V., Mattern, F. (2019). *Digital Rebound - Why Digitalization Will not Redeem us our Environmental Sins*. In *Proceedings of the 6th International Conference on ICT for Sustainability (ICT4S 2019)*. CEUR Workshop Proceedings Volume 2382. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2382/>.