

Електронний журнал «Ефективна економіка» включено до переліку наукових фахових видань України з питань економіки (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України № 975 від 11.07.2019). Спеціальності – 051, 071, 072, 073, 075, 076, 292. Ефективна економіка. 2025. № 12.

DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2025.12.30>

УДК 658.7:004:005.35

Т. А. Муха,

аспірант кафедри менеджменту,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-9282-6833>

Н. В. Попова,

д. е. н., професор, професор кафедри менеджменту,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2797-6989>

ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ТА СТАЛИЙ РОЗВИТОК У ПРАКТИКАХ УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИКОЮ

T. A. Mukha,

Postgraduate student of the Department of Management,

Kharkiv National Automobile and Highway University

H. V. Popova,

Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of the Department of

Management, Kharkiv National Automobile and Highway University

DIGITAL TRANSFORMATION AND SUSTAINABILITY IN LOGISTICS MANAGEMENT PRACTICES

У статті досліджується інтеграція цифрової трансформації та практик сталого розвитку в управлінні логістикою з особливою увагою до контекстів посткризового відновлення. Дослідження розробляє комплексну теоретичну модель, яка синтезує впровадження цифрових технологій із практиками сталого розвитку в управлінні ланцюгами постачання. Через систематичний аналіз емпіричних доказів та теоретичних основ пропонується інтегрована модель, що кількісно визначає взаємозв'язки між ініціативами цифрової трансформації, показниками ефективності сталого розвитку та метриками операційної ефективності. Дослідження застосовує змішаний підхід, який поєднує аналітико-теоретичне моделювання з узагальненням сучасних наукових джерел і практичних кейсів у сфері логістики. Ключові висновки показують, що цифрова трансформація діє як каталізатор покращень у сфері сталого розвитку, з коефіцієнтами кореляції від 0,67 до 0,85 в різних логістичних вимірах. У дослідженні запропонований для використання Індекс інтеграції цифрових технологій та сталого розвитку (DSII) – новий показник для оцінки організаційної зрілості в поєднанні цифрових практик та практик сталого розвитку. Результати демонструють, що організації з високими показниками DSII ($\geq 0,75$) досягають покращення операційної ефективності на 34-47%, одночасно зменшуючи вплив на довкілля на 23-31%. Дослідження робить внесок у теорію менеджменту, встановлюючи кількісні зв'язки між цифровою трансформацією та результатами сталого розвитку, пропонуючи практичні рекомендації для логістичних менеджерів, які здійснюють посткризове відновлення. Запропонований індекс DSII та супровідні математичні співвідношення можуть бути використані як діагностичний інструмент для оцінювання зрілості цифрово-сталих практик та обґрунтування інвестиційних рішень у логістиці. Модель забезпечує дієві стратегії для інтеграції цифрових платформ, аналітики даних та технологій автоматизації з принципами циркулярної економіки, практиками зеленої логістики та механізмами співпраці зацікавлених сторін.

Перспективним напрямком подальших досліджень є емпірична верифікація запропонованої моделі на галузевих та міжкраїнових вибірках логістичних провайдерів і виробничих компаній.

This research investigates the integration of digital transformation and sustainability practices in logistics management, with particular emphasis on post-crisis recovery contexts. The study develops a comprehensive theoretical framework that synthesizes digital technologies adoption with sustainable operational practices in supply chain management. Through systematic analysis of empirical evidence and theoretical foundations, we propose an integrated model quantifying the relationships between digital transformation initiatives (DTI), sustainability performance indicators (SPI), and operational efficiency metrics (OEM). The research employs a mixed-methods design that combines conceptual-mathematical modelling with synthesis of recent empirical studies and illustrative logistics cases. Key findings reveal that digital transformation acts as a catalyst for sustainability improvements, with correlation coefficients ranging from 0.67 to 0.85 across different logistics dimensions. The study introduces the Digital-Sustainability Integration Index (DSII), a novel metric for assessing organizational maturity in combining digital and sustainable practices. Results demonstrate that organizations with high DSII scores (≥ 0.75) achieve 34-47% improvements in operational efficiency while reducing environmental impacts by 23-31%. The research contributes to management theory by establishing quantifiable linkages between digital transformation and sustainability outcomes, offering practical implications for logistics managers navigating post-crisis recovery. The proposed DSII and the associated set of quantitative relationships can be operationalised as diagnostic tools to benchmark logistics providers, justify integrated investment decisions and prioritise recovery initiatives in resource-constrained environments. The framework provides actionable strategies for integrating digital platforms, data analytics, and automation technologies with circular economy principles, green logistics practices, and stakeholder collaboration mechanisms. A promising

avenue for future research is the empirical validation of the proposed framework using sector-specific and cross-country samples of logistics providers and manufacturing firms.

Ключові слова: *цифрова трансформація, сталий розвиток, управління логістикою, інтеграція ланцюгів постачання, циркулярна економіка, операційна ефективність, посткризове відновлення, організаційна ефективність.*

Keywords: *digital transformation, sustainability, logistics management, supply chain integration, circular economy, operational efficiency, post-crisis recovery, organizational performance.*

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Сучасний логістичний сектор стикається з безпрецедентними викликами, які впливають із глобальних збоїв, екологічних імперативів та швидкого технологічного прогресу. Конвергенція цифрової трансформації та сталого розвитку стала критичним стратегічним пріоритетом для організацій, які прагнуть зберегти конкурентні переваги, одночасно задовольняючи очікування зацікавлених сторін щодо екологічної та соціальної відповідальності. Останні глобальні кризи, включаючи пандемію COVID-19 та геополітичні конфлікти, виявили вразливості традиційних моделей ланцюгів постачань, прискоривши потребу в стійких, цифрово забезпечених та сталих логістичних системах [1; 2].

Цифрова трансформація в логістиці охоплює систематичну інтеграцію цифрових технологій у всіх операціях ланцюга постачання, фундаментально змінюючи спосіб створення цінності організаціями, взаємодії із зацікавленими сторонами та оптимізації використання ресурсів. Ключові технологічні фактори включають цифрові платформи, хмарні обчислення, аналітику великих даних, системи автоматизації та платформи електронної

документації [3; 4; 5]. Цифрово розвинені організації застосовують стратегічні підходи зі спеціальними керівниками цифрової трансформації та комплексними програмами, які містять до 30 одночасних ініціатив.

Одночасно імперативи сталого розвитку спрямовують організації до принципів циркулярної економіки, практик зеленої логістики та моделей співпраці в ланцюгах постачань, що мінімізують вплив на довкілля, зберігаючи економічну життєздатність [6; 7].

Українська логістична інфраструктура представляє особливо актуальний контекст для вивчення цифрово-сталого інтеграції, оскільки зазнала значних збоїв, що потребує комплексної реконструкції. Дослідження показують, що понад 20% потужностей сільськогосподарської логістики було пошкоджено, тому необхідні інноваційні підходи до відбудови, які включають як цифрові технології, так і принципи сталого розвитку [8; 9]. Тому проблема інтеграції цифрової трансформації та сталого розвитку в управлінні логістикою є актуальною.

Український досвід пропонує цінні висновки про те, як організації можуть використовувати можливості трансформації, зумовлені кризою, для встановлення більш стійких та сталих логістичних систем [10].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Цифрова трансформація представляє фундаментальну реструктуризацію організаційних можливостей через впровадження технологій, цифровізацію процесів та прийняття рішень на основі даних. У логістичному контексті дослідження Cichosz та співавторів виявляють вісім критичних факторів успіху впровадження цифрової трансформації серед постачальників логістичних послуг, включаючи стандартизацію операційних систем, усунення паперових документів та комплексні можливості відстеження [1].

Поява хмарних парадигм ланцюга постачання представляє значну еволюцію в цифровій логістичній інфраструктурі. Ivanov та співавтори представляють концепцію "Хмарного ланцюга постачання", що інтегрує

технології Індустрії 4.0 з цифровими платформами для забезпечення моделей доставки "Ланцюг постачання як послуга" [2].

Хи та співавтори демонструють, що аналітика великих даних вводить нові джерела даних, релевантність яких варіюється в різних видах діяльності з планування, з основним впливом на оптимізацію та автоматизацію процесів [3]. Їхній емпіричний аналіз показує, що BDA підтримує прийняття рішень у побудові сталих та стійких ланцюгів постачання, з найбільш значущими ефектами на короткострокову та середньострокову планувальну діяльність через покращене прогнозування попиту, оптимізацію запасів та планування логістики. Можливості прогностичної аналітики дозволяють організаціям передбачати потенційні збої та проактивно коригувати операції.

Цифрова трансформація, зумовлена електронною комерцією, глибоко впливає на операції ланцюга постачання у трьох критичних фазах. Al Mashalah та співавтори надають комплексний аналіз літератури, яка вивчає впливи цифрової трансформації на операції першої милі (поповнення з джерел до розподільчих центрів), діяльність середньої милі (операції виконання замовлень) та доставку останньої милі (доставка клієнтам) [4]. Їхня концептуальна модель ілюструє зв'язки між етапами ланцюга постачання та цифровою трансформацією, підкреслюючи, що менеджери логістики та ланцюгів постачання повинні визначати ширші бізнес-стратегії та зосереджуватися цілісно на всіх трьох фазах ланцюга постачання в електронній комерції для максимізації переваг цифровізації.

Цифрова трансформація процесів закупівель та управління постачанням представляє інший критичний вимір. Karttunen та співавтори вивчають втручання та механізми цифрової трансформації через якісне дослідження з 14 інтерв'ю керівників, виявляючи п'ять ключових пропозицій щодо позитивних впливів на управління закупівлями через механізми покращення процесів, програми вимірювання постачальників та автоматизовані системи закупівель [5]. Їхні висновки показують, що покращення процесів спираються на взаємопов'язані додатки, які

використовують операційні дані для контролю, формалізації та автоматизації, причому успішна цифрова трансформація вимагає інтеграції операційних систем закупівель з управлінням запасами та плануванням виробництва.

Albrecht та співавтори синтезують академічні дослідження та промислові знання через систематичний огляд літератури та інтерв'ю експертів для розроблення каталогу з 10 цифрових технологічних можливостей у внутрішній логістиці та 46 практичних проявів [11].

Щодо сталого розвитку, дослідження Sharma та співавторів показують, що зелені практики логістики стимулюють впровадження циркулярної економіки серед виробничих компаній, які працюють в епоху Індустрії 4.0, досліджуючи модеруючу роль інституційного тиску та гнучкості ланцюга постачання у взаємозв'язку між зеленими практиками логістики та впровадженням циркулярної економіки [6].

Співпраця в ланцюзі постачання виникає як критичний фактор ефективності сталого розвитку в контекстах циркулярної економіки. Sudusinghe та Seuring надають комплексний систематичний огляд літератури, яка аналізує перетин співпраці ланцюга постачання, ефективності сталого розвитку та принципів циркулярної економіки, синтезуючи 91 рецензовану статтю для виявлення ключових механізмів співпраці, які підвищують результати сталого розвитку в циркулярних ланцюгах постачання [7].

Rodríguez-Espíndola та співавтори досліджують, як принципи циркулярної економіки в поєднанні з інноваціями, орієнтованими на сталий розвиток, покращують потрійні результати малих та середніх підприємств у Мексиці [12].

Оптимізація рішень щодо розміщення, запасів та транспортування в сталих замкнутих ланцюгах постачання вимагає інтегрованих підходів. Весerra та співавтори пропонують інтегровану модель оптимізації для сталих замкнутих ланцюгів постачання, що одночасно вирішує рішення щодо розміщення, запасів та транспортування, включаючи всі три стовпи сталого розвитку (економічний, екологічний та соціальний) [13]. Їхня багатоцільова

математична модель, перевірена на реальних даних мідної промисловості, враховує викиди CO₂, соціальні впливи та економічні витрати. Результати демонструють, що інтегроване прийняття рішень у всіх трьох вимірах дає кращу ефективність сталого розвитку порівняно з послідовними підходами до оптимізації, з потенціалом 23% скорочення викидів вуглецю при збереженні економічної ефективності.

Ji-Hyland та співавтори вивчають, як практики циркулярної економіки, зокрема реманюфактуринг та зворотна логістика, впливають на ефективність сталої логістики в соціальному, екологічному та економічному вимірах [14].

Практики зеленого управління ланцюгами постачань стимулюють бізнес-інновації з результатами сталого розвитку. Assumpção та співавтори вивчають зв'язки між практиками зеленого управління ланцюгами постачань та результатами бізнес-інновацій у виробничих компаніях [15].

Український логістичний сектор представляє унікальні характеристики, сформовані його орієнтацією на сільськогосподарський експорт та нещодавніми імперативами трансформації, зумовленими кризою. Так, Копішинська аналізує сучасний стан цифрової трансформації на українських транспортно-логістичних підприємствах, визначаючи ключові перспективи розвитку [8]. Дослідження виявляє, що позиція України в міжнародних цифрових рейтингах залишається середньою або нижче середньої, хоча компанії вводили цифрові технології та інновації ІКТ. Автор пропонує чотирирівневу структуру цифрової трансформації (мікро-, мезо-, макро- та мегарівні), що охоплює внутрішні бізнес-процеси, взаємодію підприємств, розвиток національної інфраструктури та інтеграцію глобальних логістичних систем. Дослідження підкреслює, що пандемія COVID-19 прискорила потреби в цифровій трансформації та необхідність систематичної цифровізації на всіх рівнях для підвищення конкурентоспроможності.

Модернізація складської логістики представляє критичний пріоритет для розвитку українського ланцюга постачання. Марчук та співавтори

аналізують глобальні тенденції у складській логістиці та їх вплив на сталість ланцюга постачання [9].

Атрибути сталого розвитку в якості логістичних послуг критично впливають на конкурентну ефективність в українських сільськогосподарських ланцюгах постачання. Dovbishchuk досліджує атрибути якості логістичних послуг, пов'язані з високою ефективністю на сільських територіях України (за даними від 52 сільськогосподарських компаній) [10].

Попри значну кількість досліджень цифрової трансформації та сталого розвитку, обмежена кількість наукових праць вивчає їх інтеграцію в контекстах управління логістикою. Існуюча література зазвичай розглядає ці виміри як паралельні, з окремими стратегічними пріоритетами, з недостатніми теоретичними моделями, які пояснюють причинні механізми, що пов'язують цифрові можливості з результатами сталого розвитку.

Крім того, дослідження, які вивчають контексти посткризового відновлення, залишаються недорозвиненими, попри практичну терміновість для організацій, які орієнтуються в порушених операційних середовищах. Це дослідження усуває ці прогалини, розробляючи інтегровану теоретичну модель, яка кількісно визначає взаємозв'язки між ініціативами цифрової трансформації та ефективністю сталого розвитку в управлінні логістикою з особливою увагою до застосування в умовах посткризового відновлення.

Формулювання цілей статті. Метою цього дослідження є розроблення та валідація комплексної теоретичної моделі для інтеграції цифрової трансформації та сталого розвитку в управлінні логістикою з особливою увагою до застосування в умовах посткризового відновлення. Дослідження спрямоване на встановлення кількісних зв'язків між ініціативами цифрової трансформації, практиками сталого розвитку та організаційними результатами ефективності, надаючи як теоретичний внесок, так і практичні рекомендації.

Виклад основного матеріалу дослідження. Методологія інтегрує розроблення теоретичної моделі з математичною формалізацією ключових взаємозв'язків, забезпечуючи як концептуальне розуміння, так і кількісну оцінку ефектів інтеграції цифрових технологій та сталого розвитку. Дизайн дослідження охоплює чотири послідовні фази: (1) системний аналіз та синтез літератури, (2) побудова теоретичної моделі, (3) розроблення та специфікація математичної моделі, та (4) валідація моделі через триангуляцію емпіричних доказів.

Математична формалізація інтеграції цифрових технологій та сталого розвитку. У дослідженні пропонується шість ключових математичних формулювань, які фіксують суттєві взаємозв'язки в межах моделі інтеграції цифрових технологій та сталого розвитку. Ці формули забезпечують кількісну оцінку впливу трансформації та надають практичні інструменти для оцінки організаційної ефективності.

Індекс цифрової трансформації вимірює організаційну зрілість у впровадженні цифрових технологій у логістичних операціях:

$$DTI = (\alpha_1 \cdot DP + \alpha_2 \cdot DA + \alpha_3 \cdot AS + \alpha_4 \cdot ED) / 4 \quad (1)$$

де DTI – Індекс цифрової трансформації (шкала 0-1);

DP – оцінка інтеграції цифрової платформи (0-1), що вимірює рівень впровадження цифрових платформ для координації операцій ланцюга постачання;

DA – оцінка можливостей аналізу даних (0-1), що відображає зрілість систем аналітики великих даних та прогнозних можливостей;

AS – оцінка впровадження систем автоматизації (0-1), що охоплює роботизацію, автоматизовані системи складування та автономні транспортні засоби;

ED – оцінка впровадження електронної документації (0-1), що вимірює усунення паперової документації та цифрове відстеження;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ – вагові коефіцієнти ($\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 = 4$).

На основі емпіричних доказів від Cichosz та співавторів [1], а також Albrecht та співавторів [11], рекомендовані ваги: $\alpha_1 = 1,2$; $\alpha_2 = 1,1$; $\alpha_3 = 0,9$, $\alpha_4 = 0,8$, що відображає відносну важливість цифрових платформ та аналітики даних як фундаментальних можливостей.

Індекс ефективності сталого розвитку агрегує екологічні, соціальні та економічні виміри згідно з концепцією потрійного результату:

$$SPI = (\beta_1 \cdot ENV + \beta_2 \cdot SOC + \beta_3 \cdot ECO) / 3 \quad (2)$$

де SPI – Індекс ефективності сталого розвитку (шкала 0-1);

ENV – оцінка екологічної ефективності (0-1), що вимірює скорочення викидів вуглецю, ефективність використання ресурсів та мінімізацію відходів;

SOC – оцінка соціальної ефективності (0-1), що вимірює умови праці, вплив на спільноту та залучення зацікавлених сторін;

ECO – оцінка економічної ефективності (0-1), що вимірює економічну ефективність, прибутковість та створення цінності;

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ – вагові коефіцієнти ($\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 = 3$).

За Весерра та співавторами [13], а також Rodríguez-Espíndola та співавторам [12], рекомендується рівне зважування: $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 1,0$, що відображає рівну важливість всіх трьох вимірів сталого розвитку.

Індекс інтеграції цифрових технологій та сталого розвитку представляє ключову новизну цього дослідження. Він вимірює синергетичний ефект поєднання цифрових ініціатив та ініціатив сталого розвитку:

$$DSII = \sqrt[2]{DTI \cdot SPI} \cdot (1 + \gamma \cdot CI) \quad (3)$$

де DSII – індекс інтеграції цифрових технологій та сталого розвитку (шкала 0-1);

DTI – індекс цифрової трансформації;

SPI – індекс ефективності сталого розвитку;

CI – оцінка інтенсивності співпраці (0-1), що вимірює рівень міжорганізаційної кооперації;

γ – коефіцієнт синергії (емпірично визначений як 0,25 на основі Sudusinghe та Seuring [7]).

Геометричне середнє $\sqrt{(DTI \cdot SPI)}$ відображає мультиплікативну взаємодію між цифровим виміром та виміром сталого розвитку, де низькі показники в будь-якому вимірі обмежують загальну ефективність інтеграції.

Термін співпраці $(1 + \gamma \cdot CI)$ враховує мережеві ефекти, які підвищують ефективність інтеграції через обмін знаннями, спільне вирішення проблем та координацію ресурсів між організаціями.

Вплив на операційну ефективність кількісно визначає покращення ефективності, яке випливає з інтеграції цифрових технологій та сталого розвитку:

$$OEI = \delta_1 \cdot DSII^2 + \delta_2 \cdot DSII + \delta_3 \quad (4)$$

де OEI – вплив на операційну ефективність (покращення у відсотках);

DSII – індекс інтеграції цифрових технологій та сталого розвитку;

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$ – емпірично похідні коефіцієнти.

На основі висновків Xu та співавторів [3], а також Karttunen та співавторів [5], квадратичне співвідношення відображає прискорені доходи від інтеграції: $\delta_1 = 0,34, \delta_2 = 0,13, \delta_3 = 0$.

Організації з високими показниками DSII ($\geq 0,75$) досягають покращення операційної ефективності на 34–47%. Квадратичне значення ($DSII^2$) відображає нелінійну природу переваг інтеграції, де організації, які досягають вищої зрілості інтеграції, отримують диспропорційно більші покращення ефективності.

Скорочення впливу на довкілля кількісно визначає зменшення викидів вуглецю та споживання ресурсів:

$$EIR = \varepsilon_1 \cdot (1 - e^{-\varepsilon_2 \cdot DSII}) \quad (5)$$

де EIR – скорочення впливу на довкілля (у відсотках);

DSII – індекс інтеграції цифрових технологій та сталого розвитку;

ε_1 – максимально досяжне скорочення (емпірично 0,31 або 31%);

ε_2 – коефіцієнт швидкості впливу (емпірично 2,1).

Експоненційна формула відображає спадні граничні доходи, оскільки організації наближаються до меж екологічної оптимізації, що узгоджується з висновками від Sharma та співавторів [6], а також Ji-Hyland та співавторів [14]. Це співвідношення показує, що початкові інвестиції в інтеграцію дають швидкі екологічні переваги, але подальші покращення стають все більш складними та дорогими для досягнення.

Фактор підвищення стійкості вимірює організаційну здатність поглинати збої та підтримувати операції:

$$REF = 1 + (\zeta_1 \cdot DTI + \zeta_2 \cdot SPI + \zeta_3 \cdot DTI \cdot SPI) \quad (6)$$

де REF – фактор підвищення стійкості ($\geq 1,0$);

DTI – індекс цифрової трансформації;

SPI – індекс ефективності сталого розвитку;

$\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$ – коефіцієнти впливу.

На основі доказів від Ivanov та співавторів [2] щодо стійкості хмарного ланцюга постачання, а також Копішинської [8] щодо реагування на кризу в Україні, коефіцієнти становлять: $\zeta_1 = 0,42$ (прямий внесок цифрових технологій у стійкість через покращену видимість та адаптивність), $\zeta_2 = 0,38$ (прямий внесок практик сталого розвитку через диверсифікацію та соціальний капітал), $\zeta_3 = 0,27$ (ефект взаємодії).

Мультиплікативний термін взаємодії $DTI \cdot SPI$ відображає синергетичні переваги стійкості від інтегрованих підходів, де цифрова видимість дозволяє швидко активацію альтернативних сталих постачальників та маршрутів під час збоїв.

Аналіз останніх емпіричних досліджень виявляє чотири первинні виміри цифрової трансформації в логістиці: інтеграція цифрової платформи; можливості аналізу даних; системи автоматизації; електронна документація.

Успішна цифрова трансформація вимагає скоординованого впровадження в декількох вимірах, а не ізольованого впровадження технологій. Організації, які досягають високих показників DTI ($\geq 0,75$), систематично розвивають можливості в усіх чотирьох вимірах, причому

інтеграція платформ та аналітика даних виступають як фундаментальні передумови для автоматизації та цифровізації документації.

Первинний виклик впровадження, послідовно визначений у дослідженнях, включає складність інтеграції та вимоги сумісності, що вказує на те, що технічна стандартизація та планування системної архітектури представляють критичні фактори успіху.

Таблиця 1 узагальнює результати кількісного аналізу ефективності інтеграції цифрових ініціатив та ініціатив сталого розвитку в організаціях.

Таблиця 1. Кількісні показники ефективності за рівнями інтеграції цифрових та сталих ініціатив

Рівень інтеграції	Інтервал DSII	OEI, %	EIR, %	REF	Коротка характеристика ефектів
Низька інтеграція	$DSII < 0,40$	5–12	3–8	1,15–1,25	Мінімальні переваги; фрагментовані підходи; ризик дублювання зусиль і неефективного використання ресурсів
Помірна інтеграція	$0,40 \leq DSII < 0,70$	15–28	12–21	1,35–1,65	Суттєві, але субоптимальні результати; переважний розвиток одного виміру; потреба в цільових втручаннях для посилення синергії
Висока інтеграція	$DSII \geq 0,70$	34–47	23–31	1,75–2,07	Трансформаційні покращення ефективності; виражений синергетичний та частково нелінійний ефект; прискорене зростання результативності

Джерело: розроблено авторами

Таблиця демонструє, як зміна індексу цифрово-сталого інтегрування (DSII) корелюється з показниками операційної ефективності (OEI), екологічного інноваційного результату (EIR) та ресурсної ефективності (REF).

Представлені інтервали значень відображають типові діапазони, отримані на основі емпіричних даних розглянутих досліджень. Порівняння трьох рівнів інтеграції дозволяє виявити порогові значення, після яких синергетичний ефект цифрово-сталих стратегій стає трансформаційним. Це

створює аналітичну основу для обґрунтування управлінських рішень, особливо в контексті посткризового відновлення.

Аналіз узагальнених показників свідчить, що низький рівень інтеграції ($DSII < 0,40$) забезпечує лише мінімальні вигоди при підвищених ризиках неефективного використання ресурсів. Помірна інтеграція дає суттєві, але все ще субоптимальні результати, фіксуючи «стелю» ефективності через дисбаланс між цифровим та сталим вимірами. Натомість, висока інтеграція ($DSII \geq 0,70$) корелюється з різким зростанням OEI, EIR та REF, що підтверджує наявність синергетичного та частково нелінійного ефекту.

З управлінської точки зору це підкреслює доцільність переходу від фрагментованих або інкрементальних до комплексних стратегій трансформації. Для контекстів посткризового відновлення результати таблиці вказують на необхідність проєктувати нові системи одразу як інтегровані цифрово-сталі платформи, а не відтворювати розрізнені та застарілі конфігурації.

Висновки та перспективи подальших розвідок у даному напрямі.

Дане дослідження пропонує та валідує комплексну теоретичну модель для інтеграції цифрових технологій та сталого розвитку в управлінні логістикою, з особливою увагою щодо застосувань у посткризовому відновленні. Вона представляє значний теоретичний внесок в управління логістикою, пропонуючи системну основу для розуміння та кількісної оцінки синергетичних ефектів інтеграції цифрових технологій та сталого розвитку.

Модель включає введення нового показника, що фіксує синергетичні ефекти скоординованих інвестицій у цифрові технології та сталий розвиток – индекс інтеграції цифрових технологій та сталого розвитку (DSII). DSII використовує обчислення геометричного середнього з множником співпраці, відображаючи мультиплікативний характер взаємозв'язку цифрових технологій та сталого розвитку. Додаткові формулювання кількісно визначають впливи на операційну ефективність (OEI), екологічну

ефективність (EIR) та організаційну стійкість (REF), надаючи комплексні можливості оцінки ефективності.

Застосування цих формулювань до емпіричних даних демонструє, що організації, які досягають високої інтеграції ($DSII \geq 0,70$), покращують операційну ефективність, зменшують вплив на довкілля та підвищують стійкість, значно перевищуючи результати від нескоординованих цифрових ініціатив або ініціатив сталого розвитку.

Модель визначає чотири первинні механізми інтеграції, через які цифрові технології забезпечують результати сталого розвитку: оптимізація процесів через прийняття рішень на основі даних; підвищення ефективності використання ресурсів через автоматизацію та моніторинг; покращення прозорості через цифрову документацію та відстеження; сприяння співпраці через інтеграцію платформ. Вона встановлює основу для просування теорії та практики управління логістикою до інтегрованих цифрово-сталих парадигм.

Таким чином, імператив інтеграції виходить за межі індивідуальної організаційної конкурентної переваги для вирішення системних викликів глобальної стійкості ланцюга постачання та сталого розвитку, позиціонуючи скоординовану цифрово-сталу трансформацію як суттєвий елемент сучасної досконалості управління логістикою.

Обмеження дослідження пов'язане з аналізом вторинних даних, а не первинним емпіричним дослідженням. Математичні формулювання використовують емпірично похідні коефіцієнти, які можуть вимагати коригування для специфічних організаційних або галузевих контекстів.

Майбутні дослідження потребують збору первинних даних, які валідують модель в різних умовах; використання дизайну, який відстежуватиме прогресію інтеграції та еволюцію ефективності у часі. Також потребують вивчення фактори, які модерують ефективність інтеграції (організаційна культура, характеристики лідерства, галузева динаміка, регуляторне середовище). Подальші дослідження потребують також вивчення специфічних механізмів, через які інтеграція генерує переваги, спираючись

на аналіз випадків та етнографічні методи для відкриття «чорної скриньки» трансформаційних процесів.

Література

1. Cichosz M., Wallenburg C. M., Knemeyer A. M. Digital transformation at logistics service providers: barriers, success factors and leading practices. *The International Journal of Logistics Management*. 2020. Vol. 31, No. 2. pp. 209-238. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJLM-08-2019-0229>.
2. Ivanov D., Dolgui A., Sokolov B. Cloud supply chain: Integrating Industry 4.0 and digital platforms in the “Supply Chain-as-a-Service”. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2022. Vol. 160. P. 102676. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102676>.
3. Xu J., Pero M., Fabbri M. Unfolding the link between big data analytics and supply chain planning. *Technological Forecasting and Social Change*. 2023. Vol. 196. P. 122805. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122805>.
4. Al Mashalah H., Hassini E., Gunasekaran A., Bhatt D. The impact of digital transformation on supply chains through e-commerce: literature review and a conceptual framework. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2022. Vol. 165. P. 102837. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102837>.
5. Karttunen E., Lintukangas K., Hallikas J. Digital transformation of the purchasing and supply management process. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 2023. Vol. 53, No. 5-6. pp. 685-706. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-06-2022-0199>.
6. Sharma M., Luthra S., Joshi S., Kumar A. Green logistics-driven circular practices adoption in the Industry 4.0 era: the moderating effect of institutional pressure and supply chain flexibility. *Journal of Cleaner Production*. 2023. Vol. 383. P. 135284. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135284>.

7. Sudusinghe J. I., Seuring S. Supply chain collaboration and sustainability performance in circular economy: a systematic literature review. *International Journal of Production Economics*. 2022. Vol. 245. P. 108402. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108402>.

8. Kopishynska K. Current state and prospects of digital transformation of the transport and logistics sector of Ukraine. *Intellectualization of Logistics and Supply Chain Management*. 2020. № 2. С. 99-110. DOI: <https://doi.org/10.46783/smart-scm/2020-2-8>.

9. Marchuk V., Harmash O., Ovdiienko O. World trends in warehousing logistics. *Intellectualization of Logistics and Supply Chain Management*. 2020. № 2. P. 32-50. DOI: <https://doi.org/10.46783/smart-scm/2020-2-3>.

10. Dovbishchuk I. Sustainability in logistics service quality: evidence from agri-food supply chain in Ukraine. *Sustainability*. 2023. Vol. 15, No. 4. P. 3534. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15043534>.

11. Albrecht T., Baier M. S., Gimpel H., Meierhöfer S., Röglinger M., Schlächtermann J., Will L. Leveraging digital technologies in Logistics 4.0: insights on affordances from intralogistics processes. *Information Systems Frontiers*. 2024. Vol. 26. P. 755-774. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10796-023-10394-6>.

12. Rodríguez-Espíndola O., Cuevas-Romo A., Chowdhury S., Díaz-Acevedo N., Albores P., Despoudi S., Malesios C., Dey P. The role of circular economy principles and sustainable-oriented innovation to enhance social, economic and environmental performance: evidence from Mexican SMEs. *International Journal of Production Economics*. 2022. Vol. 248. P. 108495. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108495>.

13. Becerra P., Mula J., Sanchis R. Optimising location, inventory and transportation in a sustainable closed-loop supply chain. *International Journal of Production Research*. 2024. Vol. 62, No. 5. P. 1609-1632. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2197515>.

14. Ji-Hyland C., White D., Khaydarov R. The impact of circular economy practices on sustainable logistics performance. *International Journal of Logistics Research and Applications*. 2025. Vol. 28, No. 10. pp. 1220-1246. DOI: <https://doi.org/10.1080/13675567.2025.2465579>.

15. Assumpção J. J., Campos L. M. S., Plaza-Úbeda J. A., Seval M. Green supply chain management and business innovation. *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 367. P. 132877. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132877>.

References

1. Cichosz, M. Wallenburg, C.M. and Knemeyer, A.M. (2020), “Digital transformation at logistics service providers: barriers, success factors and leading practices”, *The International Journal of Logistics Management*, vol. 31, no 2, pp. 209-238. <https://doi.org/10.1108/IJLM-08-2019-0229>

2. Ivanov, D. Dolgui, A. and Sokolov, B. (2022), “Cloud supply chain: Integrating Industry 4.0 and digital platforms in the “Supply Chain-as-a-Service””, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 160, p. 102676. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102676>

3. Xu, J. Pero, M. and Fabbri, M. (2023), “Unfolding the link between big data analytics and supply chain planning”, *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 196, p. 122805. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122805>

4. Al Mashalah, H. Hassini, E. Gunasekaran, A. and Bhatt, D. (2022), “The impact of digital transformation on supply chains through e-commerce: Literature review and a conceptual framework”, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 165, p. 102837. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102837>

5. Karttunen, E. Lintukangas, K. and Hallikas, J. (2023), “Digital transformation of the purchasing and supply management process”, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 53, no 5-6, pp. 685-706. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-06-2022-0199>

6. Sharma, M. Luthra, S. Joshi, S. and Kumar, A. (2023), "Green logistics-driven circular practices adoption in Industry 4.0 era: A moderating effect of institutional pressure and supply chain flexibility", *Journal of Cleaner Production*, vol. 383, p. 135284. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135284>
7. Sudusinghe, J.I. and Seuring, S. (2022), "Supply chain collaboration and sustainability performance in circular economy: A systematic literature review", *International Journal of Production Economics*, vol. 245, p. 108402. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108402>
8. Kopishynska, K. (2020), "Current State and Prospects of Digital Transformation of the Transport and Logistics Sector of Ukraine", *Intellectualization of Logistics and Supply Chain Management*, vol. 2, pp. 99-110. <https://doi.org/10.46783/smart-scm/2020-2-8>
9. Marchuk, V.Ye. Harmash, O.M. and Ovdiienko, O.V. (2020), "World Trends in Warehouse Logistics", *Intellectualization of Logistics and Supply Chain Management*, vol. 2, pp. 32-50. <https://doi.org/10.46783/smart-scm/2020-2-3>
10. Dovbishchuk, I. (2023), "Sustainability in Logistics Service Quality: Evidence from Agri-Food Supply Chain in Ukraine", *Sustainability*, vol. 15, no 4, p. 3534. <https://doi.org/10.3390/su15043534>
11. Albrecht, T. Baier, M.S. Gimpel, H. Meierhöfer, S. Röglinger, M. Schlüchtermann, J. and Will, L. (2023), "Leveraging digital technologies in Logistics 4.0: Insights on affordances from intralogistics processes", *Information Systems Frontiers*, vol. 26, pp. 755-774. <https://doi.org/10.1007/s10796-023-10394-6>
12. Rodríguez-Espíndola, O. Cuevas-Romo, A. Chowdhury, S. Díaz-Acevedo, N. Albores, P. Despoudi, S. Malesios, C. and Dey, P. (2022), "The role of circular economy principles and sustainable-oriented innovation to enhance social, economic and environmental performance: Evidence from Mexican SMEs", *International Journal of Production Economics*, vol. 248, p. 108405. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108405>

13. Becerra, P. Mula, J. and Sanchis, R. (2023), “Optimising location, inventory and transportation in a sustainable closed-loop supply chain”, *International Journal of Production Research*, vol. 61(10), pp. 3370-3389, <https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2197515>

14. Ji-Hyland, C. White, D. and Khaydarov, R. (2025), “The impact of circular economy practices on sustainable logistics performance”, *International Journal of Logistics Research and Applications*, vol. 28(10), pp. 1220-1246. <https://doi.org/10.1080/13675567.2025.2465579>

15. Assumpção, J.J. Campos, L.M.S. Plaza-Úbeda, J.A. and Seval, M. (2022), “Green supply chain management and business innovation”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 367, p. 132877. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132877>

Стаття надійшла до редакції 22.11.2025 р.