

DOI: 10.15276/ETR.01.2025.12
DOI: 10.5281/zenodo.15678168
UDC: 330.15:502.131.1:658.5
JEL: Q01, Q57, O33, L16

ПАРАДИГМА СТАЛОГО РОЗВИТКУ В ЛАНДШАФТІ НАЦІОНАЛЬНИХ ЗЕЛЕНИХ ЕКОНОМІК ТА РИНКІВ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ В ЕПОХУ ІНДУСТРІЇ 5.0

SUSTAINABLE DEVELOPMENT PARADIGM IN THE LANDSCAPE OF NATIONAL GREEN ECONOMIES AND ECOSYSTEM SERVICES MARKETS IN THE ERA OF INDUSTRY 5.0

Ion A. Dubovich, PhD in Geographical Sciences,
Specialist in International Law, Professor
Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine
ORCID: 0000-0002-3719-7957

Ihor P. Soloviy, Doctor of Economic Sciences, Professor
Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine
ORCID: 0000-0001-5885-6264

Ihor M. Korol
Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine
ORCID: 0009-0004-0790-7139

Received 20.01.2025

Дубовіч І.А., Соловій І.П., Король І.М. Парадигма сталого розвитку в ландшафті національних зелених економік та ринків екосистемних послуг в епоху Індустрії 5.0. Оглядова стаття.

Перехід до епохи Індустрії 5.0 зумовлює значний зсув у системах промислового виробництва, інтегруючи людське пізнання з передовими можливостями робототехніки та штучного інтелекту. Завдяки цій синергетичній співпраці оптимізуються виробничі процеси, де як універсальні роботи, так і люди-оператори підвищують виробничу продуктивність. У нашому дослідженні ми спробували окреслити та систематизувати ці проблеми, що творить повнішу «картину» сталого розвитку в рамках зелених економік національних держав в епоху Індустрії 5.0. Конвергенція ринків екосистемних послуг, зеленої економіки та Індустрії 5.0 свідчить про можливість обрання траєкторії руху до розумнішого, справедливішого та сталішого майбутнього. Це майбутнє, де цінність процвітаючої планети більше не є зовнішнім фактором, а основним компонентом економічних обґрунтувань, і де технологічний прогрес вимірюється не лише його ефективністю, але й його внеском у процвітання світу для всіх.

Ключові слова: сталий розвиток, зелена економіка, циркулярна економіка, національна економіка, стратегія розвитку, управління змінами, Індустрія 5.0

Dubovich I.A., Soloviy I.P., Korol I.M. Sustainable Development Paradigm in the Landscape of National Green Economies and Ecosystem Services Markets in the Era of Industry 5.0. Review article.

With the integration of human cognition with the sophisticated capabilities of robotics and artificial intelligence, Industry 5.0 represents a dramatic change in industrial production processes. Manufacturing processes are maximized by this cooperative effort, where manufacturing productivity is driven by both human workers and universal robots. In our research, we attempted to outline and systematize these concerns, which contributes to more complete "picture" of sustainable development within nation-states" green economies in the era of Industry 5.0. The convergence of ecosystem services markets, the green economy, and Industry 5.0 signals a move towards a more intelligent, equitable, and sustainable economic future. It is a future where the value of a thriving planet is no longer an externality but a core component of our economic calculus, and where technological progress is measured not just by its efficiency, but by its contribution to a flourishing world for all.

Keywords: sustainable development, green economy, circular economy, national economy, development strategy, change management, Industry 5.0

З початку 21-го століття людство переживає складні інноваційні трансформації, які забезпечують Еру фазового переходу до нового соціально-економічного процесу. Зелена економіка, за визначенням Програми ООН з навколишнього середовища (ЮНЕП), – це економіка, яка призводить до «покращення добробуту людини та соціальної справедливості, водночас значно зменшуючи екологічні ризики та дефіцит ресурсів». Це модель з низьким рівнем викидів вуглецю, ресурсоефективна та соціально інклюзивна. Центральним принципом зеленої економіки є відокремлення економічного зростання від деградації навколишнього середовища. Це передбачає повну трансформацію способів виробництва, споживання та інвестування, надаючи пріоритет відновлюваній енергетиці, принципам циркулярної економіки, а також захисту та примноженню природного капіталу.

Екосистемні послуги – це безліч благ, які люди безкоштовно отримують від природного середовища та правильно керованих екосистем. До них належать чисте повітря і вода, запилення сільськогосподарських культур, регулювання клімату та контроль повеней. Історично ці послуги вважалися «безкоштовними», що призводило до їх надмірної експлуатації та деградації. Ринки екосистемних послуг є новим підходом до виправлення цього провалу ринку. Створюючи основу для кількісної оцінки, вартісного вираження та торгівлі цими послугами, вони надають відчутні економічні стимули для збереження та відновлення природи. Зв'язок між ринками екосистемних послуг та

зеленою економікою є фундаментальним. Надаючи грошову вартість природному капіталу, ці ринки інтегрують навколишнє середовище в процес прийняття економічних рішень. Це узгоджується з основними принципами зеленої економіки, сприяючи ефективному використанню ресурсів та сталому управлінню природними активами.

Розвиток людської цивілізації пов'язаний з постійно мінливими економічними формаціями, а сучасна соціально-економічна ситуація визначається такими концепціями, як Суспільство 5.0 та четверта та п'ята промислові революції. Для цього технології та інновації необхідно використовувати,

щоб допомогти людям у їхньому повсякденному житті та розвинути суспільство, а не замінювати роль людей [1]. Таким чином, Ера 5.0 стосується не лише того, як інструменти, методи та ідеї уможливають досягнення кращих результатів бізнесом, але й того, як ці фактори можуть впливати на все, що оточує організації, установи та суспільства, додаючи більш гуманітарне та сталі бачення до відповідних процесів у суспільстві. Загальна перспектива Індустрії 5.0 щодо виробничих ліній зображена на рисунку 1 нижче, як запропоновано Chivilò та Meneghetti [2].

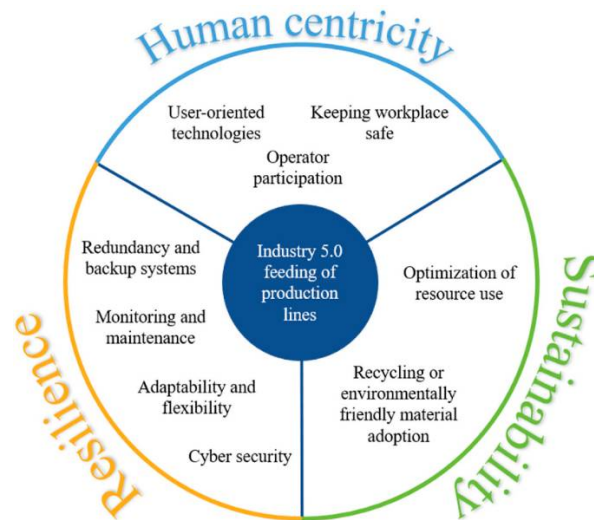


Рисунок 1. Структура для живлення виробничих ліній з точки зору Індустрії 5.0

Джерело: складено авторами за матеріалами [2]

Індустрія 5.0, також відома як П'ята промислова революція, – це абсолютно новий етап індустріалізації, який зараз перебуває у фазі інтенсивного розвитку. На цьому етапі вдосконалені робочі операції виконуються з використанням штучного інтелекту та нових промислових технологій. Це поєднується з більшим акцентом на сталий розвиток та гнучкість а також інтегрує стратегію, яка приділяє більше уваги людям. На початковому етапі Промислової революції 5.0 людська сила поступово замінювалася автоматизованими процесами, що працювали на парі та гідроенергії. На другому етапі масове виробництво стало можливим завдяки впровадженню електроенергії. На третьому етапі виникли програмовані комп'ютери та сильна цифрова екосистема [3].

Стійкість індустріальних систем, сталий розвиток та орієнтованість на людину слугують наріжними каменями, навколо яких побудована Індустрія 5.0. Вона здатна досягти своїх цілей саме завдяки цим основам. План дій щодо екологічної відповідальності, зумовленої Індустрією 5.0, який запропоновано в рамках цього дослідження, має забезпечити розширене розуміння того, як найновіша версія Індустрії 5.0 може сприяти екологічно безпечному зростанню.

Сталий розвиток та Індустрія 5.0 мають взаємовигідний зв'язок. Індустрія 5.0 включає у

виробничі операції практики сталого розвитку, такі як застосування сталих джерел енергії, скорочення відходів та надання пріоритету етичному ланцюгу постачань. Проте, з іншого боку, зростання Індустрії 5.0 керується принципами сталого розвитку, які заохочують використання технологій, що мінімізують вплив на навколишнє середовище та підвищують ефективність використання ресурсів. У поєднанні вони прагнуть максимізувати позитивні вигоди для суспільства та навколишнього середовища, а також сприяти економічному зростанню. Заходи сталого розвитку Індустрії 5.0 можуть зменшити ризики, спричинені соціальними заворушеннями, дефіцитом ресурсів та зміною клімату. Підприємства, які передбачають ці труднощі, зможуть краще адаптуватися до майбутніх невизначеностей. Це підтримує ширші цілі соціальної та екологічної відповідальності, які є важливішими для ефективності бізнесу у двадцять першому столітті. Індустрія 5.0 та покращене майбутнє пов'язані їхньою взаємною відданістю екологічно чистому та сталому виробництву. Майбутні екологічні проблеми можна зменшити, використовуючи практики та технології Індустрії 5.0 для створення кращого екологічно чистого промислового середовища.

Індустрія 5.0 – це не лише про ефективність, це – ідеальна платформа для посилення зеленого

виробництва. Це зміна парадигми, яка має бути об'єктом ретельного вивчення та аналізу, враховуючи не лише потенціал, а й виклики, ризики та проблеми.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Sharma та Gupta (2024) [4] у своїх дослідницьких роботах дійшли висновку, що значні трансформації різних секторів економіки впливають на шлях сталого промислового прогресу до Індустрії 5.0 та відповідають світовим цілям сталого розвитку, що сприятиме зростанню сталості у виробничому процесі. Van Eyr та ін. (2024) [5] визначили, що найпереводіші знання в дисципліні дослідження розробки та впровадження стратегій пропонують основу для прийняття рішень, яка підтримує виробництво сталої та орієнтованої на людину цінності, що сприяє сталому управлінню.

Yin та ін. (2023) [6] визначили, що об'єднання інновацій сфері технологій інтернету, зеленої та креативної економіки стимулює новітні розробки у сфері сталого зростання. Цифровізація, зелені технології, креативне мислення, принципи циркулярної економіки, етичний банкінг та взаємовигідні відносини – все це стимулює перехід до екологічно чистого та інклюзивного майбутнього. Впровадження цих тенденцій забезпечить сталий розвиток та прискорить економічне зростання та соціальне благополуччя.

Adel (2022) у статті [7] визначив, що основною метою ідеї Індустрії 5.0 є оптимізація продуктивності машин та продуктивності людей. У статті наведено визначення Індустрії 5.0 з погляду як академічної, так і промислової спільноти.

Дослідження Ghobakhloo та ін. (2024) [8] має на меті виявлення можливостей, які може запропонувати Індустрія 5.0 для різних аспектів інклюзивної сталості. Удослідженні узагальнено перспективи класифікації технологій Індустрії 5.0 та їхню основну роль у втіленні цінностей сталого розвитку цього порядку денного. Автори стверджують, що розвиток Індустрії 5.0 триває, і помітні початкові внески збагачують її базу знань. Хоча одностайного визначення все ще немає, виникають різні погляди щодо визнання фундаментальних технологій та потенціалу для досягнення сталих результатів. Очікуваний внесок Індустрії 5.0 у сталий розвиток значно варіює залежно від контексту та характеру базових технологій. Індустрія 5.0 має потенціал для просування сталого розвитку як на рівні фірми, так і на рівні ланцюга постачань. Передбачається, що вона пропорційно сприятиме трьом вимірам сталого розвитку. Однак поточний дискурс переважно зосереджується на теоретичній та концептуальній сферах, не маючи емпіричного дослідження її практичних наслідків.

У дослідженні Hsu et al. (2024) [9] на основі мета-аналізу літературних джерел визначено 11 рушійних сил Індустрії 5.0. На цій основі побудовано нечітку пояснювальну структурну модель цих рушійних сил, що сприяють циркулярній економіці. А на завершальній стадії побудовано

стратегічну дорожню карту для Індустрії 5.0 для просування циркулярної економіки. Результати показують, що 11 ключових факторів, що сприяють циркулярній економіці, є взаємодоповнюючими, серед яких кількісні критерії та показники є найважливішими. Інтеграція ланцюга створення вартості та перетворення на сталку бізнес-модель є найскладнішими рушійними силами. Стратегічна дорожня карта може пояснити вплив різних рушійних сил на перехід до циркулярної економіки та порядок, необхідний для просування цієї трансформації. Очікується, що отриманий управлінський підхід допоможе виробникам, промисловцям, науковцям та урядам у наданні послуг, таким чином формуючи стратегічний орієнтир, керований факторами Індустрії 5.0, для просування циркулярної економіки.

Tavares та ін. [10], на основі систематичного огляду літератури аналізують виклики ери Індустрії 5.0 та її вплив на промисловість, суспільство та освіту як рушій та промоутери шляху до сталого розвитку. Результати їхньої роботи показують, що виклики для промисловості та освіти на шляху до «нового» суспільства є величезними, що створює передумови для гуманістичнішого суспільства, зосередженого на людині, якості життя та сталому розвитку.

В українському науковому полі стаття Глушенко та ін. (2023) [11] розглядає проблему формування та розвитку зеленої економіки в контексті сталого розвитку: погляди на технології Індустрії 3.0, 4.0 та 5.0. Це дослідження зосереджено на темі зеленої економіки, її еволюції, законодавчих змін у європейських країнах та порядку денному міжнародних організацій стосовно Європейського зеленого курсу. Автори наголошують на можливостях та викликах з технологічної точки зору для країн Європейського Союзу під час переходу до зеленої економіки відповідно до Європейського зеленого курсу.

Л. Нечипорук та О. Кочергіна [12] розглядають вплив індустрії 5.0 на сталий розвиток економіки. Дослідники зазначають, що Індустрія 5.0 характеризується інтеграцією передових технологій, таких як штучний інтелект, 3D-друк, робототехніка, та інтернет речей, має суттєвий потенціал для зменшення екологічного впливу, оптимізації використання ресурсів і покращення соціально-економічних показників. Вчені також стверджують, що завдяки впровадженню циркулярної економіки та інноваційних виробничих процесів підприємства мають можливість зменшення витрат та підвищення своєї конкурентоспроможності на глобальному ринку.

К. Дригола та ін. [13] досліджують інтелектуальний контент зеленого зростання в умовах сталого розвитку. Вчені зазначають, що інтелектуальна економіка являє собою фундамент зеленого зростання і підкреслюють важливість знань, навичок, теоретичних та практичних компетенцій, креативності, що виступають драйвером розвитку зелених секторів економіки. На думку цих вчених, в умовах розбудови зеленої

економіки капітал «набуває зелених особливостей», що проявляється через зелений інтелектуальний капітал, в якому основними складовими є зелений людський капітал, зелений організаційний капітал та зелений реляційний капітал.

І. Соловій та І. Король [24] дослідили теоретичні основи Індустрії 4.0, як етапу переходу до Індустрії 5.0 та її ключові складові, такі як: інтернет речей, штучний інтелект, хмарні обчислення, блокчейн на прикладі процесів переходу лісового сектору економіки на засади сталого розвитку.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Розвиток таких технологій, як штучний інтелект (ШІ), коботи (колаборативні роботи) та доповнена реальність, зумовлює переосмислення промислових процесів. Недостатньо просто опанувати ці інструменти; фахівці повинні розуміти, як ефективно інтегрувати їх у виробничі процеси, зберігаючи при цьому зосередженість на співпраці та інноваціях. Це вимагає кращої культурної візуалізації в організаціях, де технології розглядаються не лише як засіб підвищення ефективності, а й як платформа для творчості та постійного вдосконалення.

Індустрія 5.0 вимагає балансу між передовими технічними навичками та людськими компетенціями, визнаючи, що самі лише технології не можуть вирішити всі проблеми. Фахівці повинні опанувати такі галузі, як творчість, критичне мислення та навички співпраці, оскільки ці навички будуть необхідними для максимізації взаємодії людини та машини у все більш автоматизованих виробничих середовищах. Такий підхід дозволяє компаніям не лише оптимізувати свої процеси, але й генерувати інноваційні рішення складних проблем.

Синергія між цифровими та людськими навичками буде ключем до успіху в Індустрії 5.0. У середовищі, де машини виконують повторювані та аналітичні завдання, людські можливості повинні зосереджуватися на сферах, що стимулюють інновації. Здатність інтерпретувати дані, приймати критичні рішення та співпрацювати з інтелектуальними системами дозволить фахівцям не лише адаптуватися, але й очолити перехід до ефективнішої моделі виробництва. Цей баланс також сприятиме сталішому та етичнішому розвитку у взаємодії з технологіями.

Однак ці проблеми здебільшого ігноруються, а висока оцінка потенціалу Індустрії 5.0 часто супроводжується браком уваги до можливих викликів та ризиків.

Метою статті є систематизація існуючого і потенційного ландшафту викликів потенціалів та можливостей розвитку, пов'язаних з становленням Індустрії 5.0, ринків екосистемних послуг та паттернів зеленої економіки.

Виклад основного матеріалу дослідження

Індустрія 5.0 розглядається як стала та орієнтована на людину еволюція промислової практики, побудована на цифрових досягненнях

Індустрії 4.0. Однак досягнення цього бачення в Європі пов'язане з певними труднощами. Однією з головних проблем, з якими стикаються світові економіки у впровадженні Індустрії 5.0, є потреба в надійній технологічній інфраструктурі. Взаємозв'язок заводів, передова автоматизація та інтенсивне використання даних вимагають високопродуктивної цифрової інфраструктури, що може бути суттєвою перешкодою для країн, що розвиваються, або тих, хто має менш розвинену технологічну інфраструктуру. У цьому сенсі розвиненіші економіки можуть мати початкову конкурентну перевагу, що може посилити технологічний розрив між країнами.

Крім того, процес адаптації робочої сили буде вирішальним викликом. Оскільки виробничі процеси стають більш автоматизованими, ключовим є баланс між технологіями та людськими навичками. Це означає не лише необхідність постійного навчання працівників передовим технічним навичкам, але й зосередження на перепідготовці та підвищенні кваліфікації, щоб уникнути значного скорочення робочих місць, особливо в традиційно ручних секторах.

З іншого боку, існує значний потенціал Індустрії 5.0 як круїшої сили світової економіки. Однією з найочевидніших переваг є здатність підвищити ефективність та продуктивність промисловості, що, своєю чергою, може підвищити конкурентоспроможність компаній у всьому світі. Використовуючи співпрацю людини та машини, компанії можуть оптимізувати виробничі процеси, скоротити час простою та покращити якість продукції, що безпосередньо впливає на зниження витрат та підвищення прибутковості.

Ключовим аспектом є здатність Індустрії 5.0 підтримувати перехід до зеленої економіки. Зосереджуючись на сталому розвитку та циркулярній економіці, компанії зможуть впроваджувати більш ресурсоефективні процеси, зменшуючи свій вуглецевий слід та мінімізуючи відходи. Це не лише принесе покращити стан навколишнього середовища, але й відкриє нові ринкові можливості для зелених продуктів та послуг, підвищуючи конкурентоспроможність економік, які застосовують ці принципи.

Що стосується міжнародної торгівлі, впровадження передових технологій та автоматизації в Індустрії 5.0 дозволить компаніям знизити транспортні витрати та оптимізувати ланцюги поставок. Завдяки цифровізації логістичних процесів та інтеграції таких технологій, як блокчейн, для покращення відстеження та прозорості, світові економіки можуть стати гнучкішими та базуватись на моделях сталого бізнесу.

Цифрова трансформація відкриває безпрецедентні можливості, але вимагає значних інвестицій в інфраструктуру, кібербезпеку та підвищення кваліфікації робочої сили для управління передовими технологіями, такими як штучний інтелект та робототехніка. Крім того, цифровізація державних послуг у багатьох країнах Європи гальмується несумісними програмними системами,

які часто постачаються неєвропейськими компаніями, що ускладнює цілісну цифрову інтеграцію.

Варто згадати також аспект взаємопов'язаності цілей сталого розвитку та необхідності подолання проблеми дефіциту ресурсів. Перехід до циркулярної економіки та сталого виробництва гальмується дефіцитом ресурсів та попитом на нові, сталі технологічні процеси та матеріали. Цей перехід вимагає не лише інновацій, але й фундаментального переосмислення методологій виробництва.

Стійкість ланцюгів поставок, спричинена нещодавніми глобальними потрясіннями, такими як пандемія COVID-19 та геополітична напруженість, чітко виявила вразливість глобальних ланцюгів постачань. Побудова сталих ланцюгів постачань зі зменшенням залежності від імпорту є критичним, але водночас складним завданням для країн Європи.

Нормативно-правова база має вирішальне значення для створення стабільного середовища, яке сприяє інноваціям, захищаючи працівників та споживачів. Нормативно-правова база повинна бути достатньо гнучкою, щоб враховувати швидкий технологічний прогрес, забезпечуючи при цьому етичні стандарти та захист.

Економічна та соціальна стабільність вимагає цілісного підходу, який виходить за рамки традиційних промислових практик. Індустрія 5.0 – це не лише технологічний прогрес; вона також повинна вирішувати ширші суспільні проблеми, такі як зміна клімату, втрата біорізноманіття та соціальна стабільність [14].

Майбутнє Індустрії 5.0 залежить від залучення найкращих талантів, особливо молодих фахівців, які прагнуть цілеспрямованої кар'єри. Створення привабливих умов праці та перспективних кар'єрних перспектив є важливим для залучення та утримання найкращих умів у галузі. Вирішення цих викликів життєво важливе для Європи, щоб досягти своїх цілей Індустрії 5.0. Бачення більш сталого, стійкого та орієнтованого на людину промислового ландшафту є досяжним, але воно вимагає узгоджених зусиль та стратегічного планування. Шлях Європи до Індустрії 5.0 – це складне, але вкрай важливе завдання, яке має вирішальне значення для збереження конкурентної переваги у світовій економіці та сприяння сталому майбутньому.

Зближення Індустрії 5.0 (I5.0) та Цілі сталого розвитку 9 (ЦСР9) означає трансформаційний зсув у світових галузях промисловості, що стимулюється новим потрійним підходом до кінцевого результату – людиноцентричним, сталим та стійким. Відходячи від традиційних моделей, I5.0, еволюція від Індустрії 4.0, стратегічно узгоджується з ЦСР9, щоб змінити промисловий ландшафт та сприяти глобальному сталому, стійкому та інклюзивному розвитку.

Акцент I5.0 на оптимізації ресурсів та співпраці між людьми та машинами знаменує собою відхід від технологічно орієнтованого виробництва (I4.0), впроваджуючи модель сталого виробництва. Пере-

дові технології, включаючи штучний інтелект (ШІ), машинне навчання (МН) та автоматизацію, оптимізують використання ресурсів, підвищуючи операційну ефективність для підтримки цілей сталого розвитку. Однак такі проблеми, як початкові витрати на впровадження та відсутність глобальних стандартів сталого розвитку, створюють перешкоди.

Людиноцентрична інтеграція в I5.0 надає пріоритет потребам людини протягом усього виробничого процесу. Співпраця з роботами та технологіями штучного інтелекту та машинного навчання оптимізує робочі процеси, сприяє налаштуванню та відповідає баченню Цілі сталого розвитку 9, що вимагає надійних навчальних програм та стратегічних міркувань щодо адаптації робочої сили та фінансових інвестицій.

Дослідження стійкості I5.0 в рамках Цілі сталого розвитку 9 розкриває її ключову роль під час криз, таких як пандемія COVID-19. Обговорення охоплюють виклики, пов'язані з переборами в ланцюгах поставок, економічними наслідками та геополітичними факторами, підкреслюючи необхідність стратегічної стійкості, сталого розвитку та людиноцентричних підходів. Сталість I5.0, керована роботами, відповідає зосередженню Цілі сталого розвитку 9 на сталій інфраструктурі.

Інновації в моделі сталого розвитку (Sustainable Business Model Innovations – SBMI) стають центральним предметом суперечок у взаємодії I5.0 та Цілі сталого розвитку 9. Прихильники розхвалюють її трансформаційний потенціал для досягнення цілей сталого розвитку, тоді як скептики ставлять під сумнів масштабованість та адаптивність, що відображає складність факторів у досягненні сталого та стійкого промислового розвитку.

Таким чином, стратегічний імператив I5.0 та Цілі сталого розвитку 9 розгортається як трансформаційна сила для позитивних змін, вбудована в SBMI. Ця спільна подорож виходить за межі виробничої системи, відкриваючи майбутнє, де управління технологіями, підтримуване SBMI, проактивно зміцнює стійкість, добробут суспільства та екологічну охорону. Майбутнє I5.0 ставить під сумнів інноваційні екосистеми, практики співпраці, геополітичний вплив, моделі циркулярного виробництва та розширення I5.0 за межі поточних географічних обмежень.

Вплив I5.0 глибоко поширюється на промислове середовище, що вимагає комплексної політичної бази. Ці політики є життєво важливими для забезпечення (1) регульованого середовища, що враховує етичні міркування щодо використання передових технологій, (2) надійного управління даними, що охоплює такі аспекти, як володіння, спільне використання та захист від несанкціонованого доступу, (3) стандартизації для сприяння розробці та впровадженню галузевих стандартів, (4) ініціатив, що підтримують освіту та розвиток робочої сили, щоб надати людям навички, необхідні в умовах мінливого середовища I5.0, (5) стимулів для досліджень та розробок (R&D), (f)

політики кібербезпеки, що стосується проблем, пов'язаних зі збільшенням зв'язку, (6) сприятливого для інновацій середовища, що сприяє міжнародній співпраці, (7) політики захисту прав споживачів, що стосується безпеки продукції, якості та прозорості інформації, та (8) сталого розвитку, що зосереджується на мінімізації відходів, ефективному управлінні ресурсами та трансформаційних змінах у бізнес-моделях [15, 16].

Для підвищення сталості І5.0 використовує передові технології, зокрема штучний інтелект, для оптимізації використання ресурсів. Інтеграція розумних та підключених машин, машинного навчання (ML) та промислової автоматизації сприяє прогнозуванню ефективності виробництва в режимі реального часу [17]. Це прогнозування, що ґрунтується на поточній діяльності, дає галузі змогу динамічно коригувати процеси, запобігаючи втратам та підвищуючи загальну операційну ефективність. Наприклад, зобов'язання BMW щодо сталого виробництва в рамках iFACTORY виходить за рамки технічного впровадження та включає екологічно чисті матеріали, відновлювані джерела енергії та сильний акцент на переробці. Інтеграція інтелектуальних машин та машинного навчання відіграла важливу роль у зміцненні зусиль BMW у сфері сталого розвитку, підтримуючи суворі стандарти якості та ефективності у виробничих процесах [18].

Однак шлях до сталого розвитку в І5.0 створює значні труднощі. Початкові витрати на впровадження, особливо обтяжливі для малих підприємств, створюють фінансові перешкоди [19]. Крім того, відсутність глобального стандарту для практик сталого розвитку та залучення є ключовою для забезпечення всебічного та послідовного впровадження в різних галузях та регіонах [20].

Постійне балансування між економічним зростанням та Цілями сталого розвитку займає центральне місце, що вимагає ретельної оцінки пов'язаних з цим витрат і вигод. Ця оцінка має вирішальне значення для досягнення гармонійної інтеграції сталих практик у промисловий ландшафт, особливо враховуючи невизначеність, що виникає через високі витрати на енергоносії через збройні конфлікти та геополітичні проблеми. Наприклад, світове споживання вугілля досягло нового історичного максимуму у 2022 році, що призвело до волатильних та високих цін на електроенергію. Крім того, геополітичне суперництво може блокувати постачання сировини, необхідної для розширення відновлюваних джерел, зокрема сонячної та вітрової енергії. З точки зору ЄС, більшість сировини, що використовується в чистих технологіях, походить з регіонів за межами його територіальних кордонів: 98% рідкоземельних елементів надходить з Китаю; 98% борату надходить з Туреччини; 93% рутенію, 92% іридію, 80% родію та 71% платини наразі надходять з Південної Африки, а 85% ніобію, який вона споживає, – з Бразилії [21]. Застосовуючи критичний підхід, це дослідження сприяє повнішому розумінню динамічного зв'язку між І5.0

та Ціллю сталого розвитку 9, сприяючи збалансованому та обґрунтованому підходу до сталого розвитку в промисловому середовищі.

Крім того, інтеграція технологій І5.0 з добре підготовленими фахівцями діє як каталізатор оптимізації виробництва та інновацій. Ця співпраця вирішує не лише проблеми ефективності, але й скорочує розрив між виробництвом та споживанням. Вона дає співробітникам можливість оперативно надавати додаткову цінність клієнтам [22]. Як приклад, впровадження таких технологій, як ШІ-МО, відповідає баченню Цілі сталого розвитку 9, скорочуючи цикл виробництва та споживання. Це сприяє підвищенню ефективності бізнесу та підтримує сталий розвиток.

Однак ця інтеграція не позбавлена труднощів. Оскільки робоча сила адаптується до суперроботів, інтелектуального обладнання та взаємопов'язаних технологій, потреба в надійних навчальних програмах стає вкрай важливою для забезпечення безперервної співпраці між людьми та машинами. Освітні ініціативи повинні зосереджуватися не лише на технічних навичках, а й охоплювати етичні міркування та суспільний вплив цих досягнень.

Більше того, І5.0 вимагає значних фінансових інвестицій, що охоплюють не лише технології, а й людино-орієнтовані навчальні ініціативи – важливий виклик для І5.0. Цей виклик особливо виражений для ЄС, де, за прогнозами, кількість працездатного населення зменшиться з 64 до 44% від загальної чисельності населення до 2060 року [23].

Таким чином, людино-орієнтована перспектива в рамках І5.0, що розглядається в динамічному зв'язку з Ціллю сталого розвитку 9, постає як потужна сила змін. Стратегічне узгодження технологічних інновацій з потребами людини сприяє стійкості промислових процесів та активно сприяє досягненню глобальних цілей сталого та інклюзивного розвитку.

Більше того, дебати розгортаються навколо дослідження потенціалу І5.0 у зміцненні стійкості до зміни клімату за допомогою технологій, що узгоджується з акцентом Цілі сталого розвитку 9 на сталій та стійкій інфраструктурі. Прогнозна інформація в режимі реального часу, що забезпечується інтелектуальними датчиками та спеціалізованим програмним забезпеченням, стає проактивним заходом проти змін, пов'язаних зі зміною клімату. Хоча прихильники аплодують цим технологічним досягненням за їхню роль у запобіганні ризикам, критики ставлять під сумнів масштабованість та доступність таких рішень.

Розглядаючи динаміку реагування І5.0 на виклики – охоплення гнучкості, технологічного потенціалу та його взаємодії з Ціллю сталого розвитку 9 – на перший план виходять проблеми, пов'язані з екологічними викликами та геополітичними загрозами. Необхідність виваженого балансу між стратегічною стійкістю, сталим розвитком та людиноцентричними підходами постає як квінтесенція для досягнення тріумфу І5.0 у непередбачуваному глобальному сценарії.

Висновки

Між тим, як ми оцінюємо природу, структуруємо економіку та впроваджуємо інновації в промисловості, виникає потужна синергія. Ринки екосистемних послуг, зелена економіка та Індустрія 5.0 – це не ізольовані поняття, а взаємопов'язані фундаментальні опори глобального переходу до сталого майбутнього. Разом вони пропонують основу для економічної діяльності, яка поважає планетарні межі, покращує добробут людини та використовує технологічний прогрес для загального блага. Така конвергенція усуває фундаментальний недолік традиційної економічної моделі: неспроможність врахувати величезну цінність природи. «Зелена економіка» забезпечує всеосяжне бачення системи, яка процвітає, діючи в межах екологічних обмежень. «Ринки екосистемних послуг» пропонують практичний механізм для оцінки та торгівлі природними благами, які традиційно сприймаються як належне, тоді як Індустрія 5.0 представляє технологічну та людиноцентричну промислову парадигму, здатну реалізувати це бачення. Зв'язок між Індустрією 5.0 та екосистемними послугами замикає критично важливий цикл у цій новій економічній бізнес-моделі. Передові технології, характерні для Індустрії 5.0, – такі як штучний інтелект, аналітика великих даних та Інтернет речей (IoT) – можуть бути потужними інструментами для моніторингу, управління та відновлення екосистемних послуг.

У мінливому ландшафті І5.0 перехід від акценту на ефективності до сталості стає ключовим. Цей зсув не лише зміцнює сталість, але й узгоджується з основними принципами Цілі

сталого розвитку 9 – промисловість, інновації та інфраструктура. Це дослідження зфокусоване на багатогранній динаміці сталості І5.0, підкреслюючи її складний зв'язок з Ціллю сталого розвитку 9 та розглядаючи синергію та компроміси в постійно мінливому глобальному середовищі.

Для комплексного вирішення цих викликів вкрай важливо враховувати ризики перебоїв у виробництві через війни та збройні конфлікти, катастрофи, спричинені зміною клімату, та геополітичне суперництво. Це врахування узгоджується з імперативом Цілі сталого розвитку 9 щодо стійкої інфраструктури. Такі події, як катастрофа на Фукусімі, ураган Катріна та геополітичні конфлікти у Східній Європі та Західній Азії, підкреслюють вразливість, властиву глобальним ланцюгам поставок. Зростаюча загроза домінування Китаю в рідкісноземельних металах ще більше підкреслює необхідність диверсифікованих стратегій.

Критичні фактори, такі як перебої в ланцюгах постачань та економічний вплив, вимагають ретельного розгляду. Подальші обговорення повинні заглибитися в наслідки цих викликів для ланцюгів постачань, волатильності цін та виробничих витрат. Комерційна напруженість та геополітичні конфлікти стають потенційними деструктивними факторами, перенаправляючи ресурси з інновацій на військові цілі, створюючи ризик для світової промисловості. Слід планувати та реалізовувати термінові заходи, з акцентом на стратегічній стійкості та різноманітних підходах для забезпечення сталості І5.0 у постійно мінливому середовищі.

Abstract

In addition to being a technological advancement, Industry 5.0 is also a social and philosophical shift that calls for a reconsideration of how intelligent machines and people interact. The nature of employment, human potential, and how technology might complement rather than replace human needs are among issues raised by this new century. Professionals need to handle cybersecurity, build human and digital skills, and cultivate a sustainable and moral culture in order to adjust to Industry 5.0. Integrating these competencies will improve a leader's ability to guide an increasingly globalized and complicated environment while fostering inclusive progress. Industry 5.0 has enormous potential to boost productivity and encourage fair and sustainable economic growth, despite obstacles like reskilling workers and developing digital infrastructure. If they can get over these challenges, global economies might gain a great deal and create long-term prosperity.

This study examines how Industry 5.0 technologies are likely to be adopted in different economies, how practitioners and scholars perceive these technologies, and how these solutions will lessen the difficulties in a sustainable manufacturing system. This study will serve as a standard for companies creating human-centered manufacturing strategies that link their competitive factors with Industry 5.0.

Results indicate that important issues, like supply chain interruptions and economic effects, need to be carefully taken into account. Future talks ought to focus on how these issues affect production costs, pricing volatility, and supply networks. Geopolitical disputes and commercial tensions are possible disruptors that could shift resources away from innovation and toward military endeavors, endangering international industries. To guarantee the robustness of І5.0 in a constantly changing environment, urgent steps that prioritize strategic resilience and a variety of techniques should be promoted.

Список літератури:

1. Ellitan, L., & Anatan, L. (2020). Achieving business continuity in Industrial 4.0 and Society 5.0. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD)*, 4(2), 235-239. Retrieved from: <https://www.ijtsrd.com/management/business-policies-and-strategies/29954/achieving-business-continuity-in-industrial-40-and-society-50/lena-ellitan>.
2. Chivilò, M., & Meneghetti, A. (2023). An Industry 5.0 Perspective on Feeding Production Lines. *Sustainability*, 15(22), 16088. DOI: 10.3390/su152216088.
3. Yadav S., Jaiswal P. (2024). Transition to a Greener Era with Industry 5.0 and Sustainability. *SMS Journal of Entrepreneurship & Innovation*, 10(2), 60-70.
4. Sharma, R., & Gupta, H. (2024). Harmonizing sustainability in industry 5.0 era: Transformative strategies for cleaner production and sustainable competitive advantage. *Journal of Cleaner Production*, 141118.
5. Van Erp, T., Carvalho, N. G. P., Gerolamo, M. C., Gonçalves, R., Rytter, N. G. M., & Gladysz, B. (2024). Industry 5.0: A new strategy framework for sustainability management and beyond. *Journal of Cleaner Production*, 461(3), 142271. DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.142271.
6. Yin, S., Liu, L., & Mahmood, T. (2023). New Trends in Sustainable Development for Industry 5.0: Digital Green Innovation Economy. *Green and Low-Carbon Economy*, 2(4). DOI: 10.47852/bonviewGLCE32021584.
7. Adel, A. (2022). Future of industry 5.0 in society: Humancentric solutions, challenges and prospective research areas. *Journal of Cloud Computing*, 11(1), 1-15.
8. Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Fathi, M., Rejeb, A., Foroughi, B. and Nikbin, D. (2024). Beyond Industry 4.0: a systematic review of Industry 5.0 technologies and implications for social, environmental and economic sustainability. *Asia-Pacific Journal of Business Administration*, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. DOI: 10.1108/APJBA-08-2023-0384.
9. Hsu, C.-H., Li, Z.-H., Zhuo, H.-J., & Zhang, T.-Y. (2024). Enabling Industry 5.0-Driven Circular Economy Transformation: A Strategic Roadmap. *Sustainability*, 16(22), 9954. DOI: 10.3390/su16229954.
10. Tavares, M.C., Azevedo, G., & Marques, R.P. (2022). The Challenges and Opportunities of Era 5.0 for a More Humanistic and Sustainable Society A Literature Review. *Societies*, 12(6), 149. DOI: 10.3390/soc12060149.
11. Глущенко Я.І., Корогодова О.О., Черненко Н.О., Моїсеєнко Т.Є. (2023). Шлях до Індустрії 5.0: Еволюція зеленої економіки та енергетичні інновації для сталого розвитку. *Економічний вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут»*, 26, 18-24.
12. Нечипорук, Л., & Кочергіна, О. (2024). Вплив Індустрії 5.0 на сталий розвиток економіки. *Цифрова економіка та економічна безпека*, 5(14), 27-32. DOI: 10.32782/dees.14-4.
13. Дригола, К.В., Хлівіцька, А.В., Видай, Д.В. (2021). Інтелектуальний контент зеленого зростання в умовах сталого розвитку. *Економічний Простір*, 173, 59-64. DOI: 10.32782/2224-6282/173-14.
14. Costa, E. (2024). Industry 5.0 and SDG 9: a symbiotic dance towards sustainable transformation. *Sustainable Earth Reviews*, 7(1), 4. DOI: 10.1186/s42055-024-00073-y.
15. Maddikunta, P. K. R., Pham, Q. V., Prabadevi, B., Deepa, N., Dev, K., Gadekallu, T. R., ... & Liyanage, M. (2022). Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. *Journal of Industrial Information Integration*, 26, 100257. DOI: 10.1016/j.jii.2021.100257.
16. Carayannis, E.G., & Morawska-Jancelewicz, J. (2022). The futures of Europe: Society 5.0 and Industry 5.0 as driving forces of future universities. *Journal of the Knowledge Economy*, 13(4), 3445-3471. DOI: 10.1007/s13132-021-00854-2.
17. Costa, E., Fontes, M., & Bento, N. (2023). Transformative Business models for Decarbonization: insights from Prize-winning start-ups at the web Summit. *Sustainability*, 15(18), 14007. DOI: 10.3390/su151814007.
18. Scarlett, E. (2023). BMW Outlines New Sustainable-Focused Production Strategy. *IOT World Today*. Retrieved from: <https://www.iotworldtoday.com/smart-cities/bmw-outlines-new-sustainable-focused-production-strategy>.
19. Álvarez Jaramillo, J., Zartha Sossa, J.W., & Orozco Mendoza, G.L. (2019). Barriers to sustainability for small and medium enterprises in the framework of sustainable development Literature review. *Business Strategy and the Environment*, 28(4), 512-524. DOI: 10.1002/bse.2261.
20. Adams, C.A., & Abhayawansa, S. (2022). Connecting the COVID-19 pandemic, environmental, social and governance (ESG) investing and calls for 'harmonisation' of sustainability reporting. *Critical Perspectives on Accounting*, 82, 102309. DOI: 10.1016/j.cpa.2021.102309.
21. Grohol, M., & Veeh, C. (2023). Study on the Critical Raw Materials for the EU2023 Final Report. Publications Office of the European Union, Luxembourg. Retrieved from: <https://www.eunews.it/wp-content/uploads/2023/10/study-on-the-critical-raw-materials-for-the-eu-2023-ET0723116ENN.pdf>. DOI: 10.2873/725585.

22. Battini, D., Berti, N., Finco, S., Zennaro, I., & Das, A. (2022). Towards industry 5.0: A multi-objective job rotation model for an inclusive workforce. *International Journal of Production Economics*, 250, 108619. DOI: 10.1016/j.ijpe.2022.108619.
23. European Commission. (2023). EU's population projected to drop by 6% by 2100, Eurostat, European Commission, Luxembourg. Retrieved from: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/DDN-20230330-1>.
24. Соловій, І.П., Король М. (2024). Сталий розвиток лісового сектора економіки з урахуванням технологій Індустрії 4.0. *Scientific Bulletin of UNFU*, 34(1), 42-47. DOI: 10.36930/40340106.

References:

1. Ellitan, L., & Anatan, L. (2020). Achieving business continuity in Industrial 4.0 and Society 5.0. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD)*, 4(2), 235-239. Retrieved from: <https://www.ijtsrd.com/management/business-policies-and-strategies/29954/achieving-business-continuity-in-industrial-40-and-society-50/lena-ellitan> [in English].
2. Chivilò, M., & Meneghetti, A. (2023). An Industry 5.0 Perspective on Feeding Production Lines. *Sustainability*, 15(22), 16088. DOI: 10.3390/su152216088 [in English].
3. Yadav S., Jaiswal P. (2024). Transition to a Greener Era with Industry 5.0 and Sustainability. *SMS Journal of Entrepreneurship & Innovation*, 10(2), 60-70 [in English].
4. Sharma, R., & Gupta, H. (2024). Harmonizing sustainability in industry 5.0 era: Transformative strategies for cleaner production and sustainable competitive advantage. *Journal of Cleaner Production*, 141118 [in English].
5. Van Erp, T., Carvalho, N.G.P., Gerolamo, M.C., Gonçalves, R., Rytter, N.G.M., & Gladysz, B. (2024). Industry 5.0: A new strategy framework for sustainability management and beyond. *Journal of Cleaner Production*, 461(3), 142271. DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.142271 [in English].
6. Yin, S., Liu, L., & Mahmood, T. (2023). New Trends in Sustainable Development for Industry 5.0: Digital Green Innovation Economy. *Green and Low-Carbon Economy*, 2(4). DOI: 10.47852/bonview GLCE32021584 [in English].
7. Adel, A. (2022). Future of industry 5.0 in society: Humancentric solutions, challenges and prospective research areas. *Journal of Cloud Computing*, 11(1), 1-15 [in English].
8. Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Fathi, M., Rejeb, A., Foroughi, B. and Nikbin, D. (2024). Beyond Industry 4.0: a systematic review of Industry 5.0 technologies and implications for social, environmental and economic sustainability. *Asia-Pacific Journal of Business Administration*, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. DOI: 10.1108/APJBA-08-2023-0384 [in English].
9. Hsu, C.-H., Li, Z.-H., Zhuo, H.-J., & Zhang, T.-Y. (2024). Enabling Industry 5.0-Driven Circular Economy Transformation: A Strategic Roadmap. *Sustainability*, 16(22), 9954. DOI: 10.3390/su16229954 [in English].
10. Tavares, M.C., Azevedo, G., & Marques, R.P. (2022). The Challenges and Opportunities of Era 5.0 for a More Humanistic and Sustainable Society A Literature Review. *Societies*, 12(6), 149. DOI: 10.3390/soc12060149 [in English].
11. Hlushchenko, Y., Korohodova, O., Chernenko, N., Moiseienko, T. (2023). The path to industry 5.0: a green economy evolution and energy innovations for sustainable development. *Economic Bulletin of NTUU KPI*, 26, 18-24 [in Ukrainian].
12. Nechyporuk, L., & Kochergina, O. (2024). Impact of Industry 5.0 on sustainable economic development. *Digital Economy and Economic Security*, 5(14), 27-32. DOI: 10.32782/dees.14-4 [in Ukrainian].
13. Drygola, K. V., Khlivitska, A. V., & Vyday, D. V. (2021). Intellectual content of green growth in the conditions of sustainable development. *Economic Space*, 173, 59-64. DOI: 10.32782/2224-6282/173-14 [in Ukrainian].
14. Costa, E. (2024). Industry 5.0 and SDG 9: a symbiotic dance towards sustainable transformation. *Sustainable Earth Reviews*, 7(1), 4. DOI: 10.1186/s42055-024-00073-y [in English].
15. Maddikunta, P.K.R., Pham, Q. V., Prabadevi, B., Deepa, N., Dev, K., Gadekallu, T.R., ... & Liyanage, M. (2022). Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. *Journal of Industrial Information Integration*, 26, 100257. DOI: 10.1016/j.jii.2021.100257 [in English].
16. Carayannis, E.G., & Morawska-Jancelewicz, J. (2022). The futures of Europe: Society 5.0 and Industry 5.0 as driving forces of future universities. *Journal of the Knowledge Economy*, 13(4), 3445-3471. DOI: 10.1007/s13132-021-00854-2 [in English].
17. Costa, E., Fontes, M., & Bento, N. (2023). Transformative Business models for Decarbonization: insights from Prize-winning start-ups at the web Summit. *Sustainability*, 15(18), 14007. DOI: 10.3390/su151814007 [in English].

18. Scarlett, E. (2023). BMW Outlines New Sustainable-Focused Production Strategy. IOT World Today. Retrieved from: <https://www.iotworldtoday.com/smart-cities/bmw-outlines-new-sustainable-focused-production-strategy> [in English].
19. Álvarez Jaramillo, J., Zartha Sossa, J. W., & Orozco Mendoza, G. L. (2019). Barriers to sustainability for small and medium enterprises in the framework of sustainable development Literature review. *Business Strategy and the Environment*, 28(4), 512-524. DOI: 10.1002/bse.2261 [in English].
20. Adams, C.A., & Abhayawansa, S. (2022). Connecting the COVID-19 pandemic, environmental, social and governance (ESG) investing and calls for 'harmonisation' of sustainability reporting. *Critical Perspectives on Accounting*, 82, 102309. DOI: 10.1016/j.cpa.2021.102309 [in English].
21. Grohol, M., & Veeh, C. (2023). Study on the Critical Raw Materials for the EU2023 Final Report. Publications Office of the European Union, Luxembourg. Retrieved from: <https://www.eunews.it/wp-content/uploads/2023/10/study-on-the-critical-raw-materials-for-the-eu-2023-ET0723116ENN.pdf>. DOI: 10.2873/725585 [in English].
22. Battini, D., Berti, N., Finco, S., Zennaro, I., & Das, A. (2022). Towards industry 5.0: A multi-objective job rotation model for an inclusive workforce. *International Journal of Production Economics*, 250, 108619. DOI: 10.1016/j.ijpe.2022.108619 [in English].
23. European Commission. (2023). EU's population projected to drop by 6% by 2100, Eurostat, European Commission, Luxembourg. Retrieved from: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/DDN-20230330-1> [in English].
24. Soloviy, I.P., & Korol, I.M. (2024). The contribution of Industry 4.0 technologies to sustainable development of the forest sector. *Scientific Bulletin of UNFU*, 34(1), 42-47. DOI: 10.36930/40340106 [in Ukrainian].

Посилання на статтю:

Дубовіч І.А. Парадигма сталого розвитку в ландшафті національних зелених економік та ринків екосистемних послуг в епоху Індустрії 5.0 / І.А. Дубовіч, І.П. Соловій, І.М. Король // *Економіка: реалії часу. Науковий журнал*. – 2025. – № 1 (77). – С. 100-109. – Режим доступу: <https://economics.net.ua/files/archive/2025/No1/100.pdf>. DOI: 10.15276/ETR.01.2025.12. DOI: 10.5281/zenodo.15678168.

Reference a Journal Article:

Dubovich I.A. Sustainable Development Paradigm in the Landscape of National Green Economies and Ecosystem Services Markets in the Era of Industry 5.0 / I.A. Dubovich, I.P. Soloviy, I.M. Korol // *Economics: time realities. Scientific journal*. – 2025. – № 1 (77). – P. 100-109. – Retrieved from: <https://economics.net.ua/files/archive/2025/No1/100.pdf>. DOI: 10.15276/ETR.01.2025.12. DOI: 10.5281/zenodo.15678168.

