

Віталій Ігорович Островецький

канд. екон. наук

ORCID 0000-0003-3985-5236

e-mail: v.ostrovetsky@gmail.com,

м. Київ

ОЦІНКА СИНЕРГЕТИЧНИХ ЕФЕКТІВ ВЗАЄМОДІЇ ЛЮДСЬКИХ РЕСУРСІВ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ІННОВАЦІЙ У КОНТЕКСТІ РОЗВИТКУ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ РЕГІОНУ

Вступ. Синергія визначається як результат взаємодії між елементами системи, у якій спільний ефект перевищує суму індивідуальних результатів кожного з компонентів. Вона належить до базових принципів функціонування природних, соціальних та технічних систем. Тому, оцінка та кількісне визначення синергетичних результатів набуває особливого значення для забезпечення ефективного управління ресурсним потенціалом. Така оцінка ґрунтується на оптимізації складних систем і міждисциплінарних підходах, і застосовується у сферах біології, фізики, економіки та суміжних наукових галузях. Короткий Оксфордський словник визначає «синергію» як «взаємодію або співпрацю двох або більше організацій, речовин або інших агентів для отримання спільного ефекту, більшого, ніж сума їхніх індивідуальних ефектів». «Регіон» визначається як «частина світу, що має конкретні характеристики, але не завжди фіксовані кордони» [1-2].

Актуальність. Серед ключових синергетичних ефектів у сфері регіонального розвитку особливої уваги заслуговує ефективне управління ресурсним потенціалом, яке значною мірою впливає на рівень привабливості регіону для зовнішніх інвесторів. Нарощування інвестицій у розвиток інфраструктури, видобуток і переробку природних ресурсів, корисних копалин зокрема, сприяє зростанню економічної продуктивності, створенню нових робочих місць і підвищенню економічного потенціалу регіону (*Інвестиційний ефект*).

Поряд з цим, раціональне землекористування дозволяє знизити витрати на екологічне відновлення, що детермінує систему синергетичних результатів, спрямованих на покращення якості життя населення (*Екологічно-економічний ефект*). В свою чергу, раціональне використання відновлюваних природних ресурсів, зокрема, через реалізацію відновлюваних енергетичних проєктів, стимулює економічне зростання регіону (*Енергетичний ефект*). А впровадження сучасних технологічних інновацій, цифрових рішень, енергозберігаючих систем, технологій утилізації тощо, зменшує ресурсоемність виробництва і забезпечує більш ефективне та раціональне використання, особливо невідновлюваних ресурсів (*Технологічний ефект*).

Ці ефекти, що виникають в результаті взаємодії економічних, екологічних, технологічних і соціальних чинників, формують комплексний синергетичний вплив, що стимулює та прискорює сталий розвиток регіонів.

Синергія в умовах ресурсної обмеженості дозволяє досягати високих результатів у розвитку регіонів, підвищуючи їх конкурентоспроможність та сприяючи стійкому збалансованому економічному зростанню. Тому, дослідження синергії між окремими компонентами ресурсного потенціалу регіону, людськими ресурсами (ЛР) і технологічними інноваціями (ТІ) зокрема, є ключовим завданням для розробки ефективних політик, спрямованих на забезпечення сталого розвитку економіки України, підвищення її конкурентоспроможності та прискореної інтеграції в міжнародний економічний простір.

Мета дослідження. Актуальність обраної теми публікації визначає її мету, яка полягає у розвитку методичних підходів оцінки різних ефектів синергії між ЛР та ТІ, а також підвищення на цій основі ефективності використання ресурсного потенціалу регіону. Досягнення поставленої мети передбачає виконання взаємопов'язаних завдань, а саме:

- дослідити основні методичні підходи щодо оцінки синергетичних ефектів;

- виявити ключові детермінанти виникнення синергії між ЛР і ТІ в контексті сталого розвитку;

- надати рекомендації щодо вдосконалення методичних підходів оцінки синергії, що виникає в результаті взаємодії ЛР і ТІ.

Основні методичні підходи для оцінки синергії.

Оцінка синергії вимагає комплексного підходу, що поєднує якісні та кількісні методи дослідження. Методичні підходи для оцінки синергії базуються на різних аспектах її виявлення, вимірювання та аналізу. Метою оцінки синергії є визначення сукупної ефективності об'єднаних зусиль окремих елементів системи певного рівня, регіону зокрема, для досягнення спільних цілей. Відповідно, обчислення синергії ресурсного потенціалу регіону потребує врахування взаємодії між різними типами ресурсів (наприклад, природних, трудових, фінансових тощо) [3-5].

Для моделювання, аналізу та оцінки синергетичних ефектів у складних системах використовують матриці взаємодії для оцінки взаємозв'язків між компонентами (наприклад, методика SWOT або PEST-аналізу). Достатньо популярними вважаються методи зважування факторів, наприклад, аналітичний ієрархічний процес. Для виявлення ознак синергетичних ефектів залучають експертів, зокрема, для ідентифікації та оцінювання ймовірності настання небажаних подій та ступеню впливу негативних чинників [6].



Моделі синергії будують також на основі методу системної динаміки або математичних моделей, таких як теорія ігор чи багатофакторний аналіз. Синергетичні

ефекти часто обчислюються і враховуються при ідентифікації та оцінці ризиків інвестиційних проєктів [7-8]. Найбільш відомі моделі оцінки синергетичних ефектів в економіці наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Огляд відомих моделей оцінки синергії в різних сферах

Назва моделі	Сфера застосування	Суть моделі із прикладами розрахунків та інтерпретацій	Методи оцінки
1	2	3	4
SWOT + картування синергії (SWOT + Synergy Mapping) [9]	Стратегічне управління, інновації, регіональний розвиток	Виявлення точок синергії між сильними/слабкими сторонами та зовнішніми можливостями/загрозами. Наприклад, сильна ІТ-команда (Strength) та можливість державного фінансування (Opportunity) поєднуються для створення нових цифрових продуктів. Це дозволяє підприємству отримати конкурентну перевагу та збільшити ринкову частку	Картографування, TOWS-матриця
Моделі портфельної синергії (Portfolio Synergy Models) [10]	Економіка, інвестиції, ІКТ	Оцінка взаємозв'язку проєктів/активів у портфелі з урахуванням синергії. Розрахунок зваженої доходності: $(10\% \times 1.0 + 12\% \times 1.2 + 8\% \times 0.8 + 15\% \times 1.5) / (1.0 + 1.2 + 0.8 + 1.5) = 11.76\%$. Інтерпретація: портфель збалансований з урахуванням синергії, очікується підвищення ефективності інвестицій	Зважене оцінювання доходності, ризику, кореляційні матриці
Регіональні інноваційні системи (Regional Innovation Systems (RIS)) [11]	Регіональний розвиток, інноваційна політика	Аналіз взаємодії підприємств, науки та влади в межах регіону. У регіоні діє 5 спільних ініціатив між університетами, бізнесом та місцевою владою. Наприклад, індекс взаємодії складає 8.2 з 10, що свідчить про високий рівень інноваційної синергії та стабільну регіональну співпрацю	Індекси кооперації, мережевий аналіз, патентна активність
Оцінка синергії витрат і користі (Cost-Benefit Synergy Evaluation (CBA) [12]	Управління, транспорт, медицина, фармацевтика	Оцінка співвідношення витрат і вигод з урахуванням синергії. $NPV = \Sigma(\text{вигоди} - \text{витрати}) / (1 + r)^t$. Якщо вигоди = 1 000 000, витрати = 600 000, $r = 10\%$, $t = 1$: $NPV = 363\,636$. Інтерпретація: проєкт вигідний та синергія між ресурсами сприяє підвищенню прибутковості	Аналіз вартості-ефективності, ROI, NPV
Оцінка синергії на основі Дельфі (Delphi-based Synergy Assessment) [13]	Управління, інновації, державне управління	Використання експертного методу для виявлення синергетичних зв'язків і потенціалу. 10 експертів оцінили потенціал синергії проєкту. Середній бал — 8.7 з 10. Інтерпретація: висока узгодженість оцінок свідчить про наявність значного синергетичного ефекту	Метод Дельфі, опитування, групова експертна оцінка
Індекс синергії технологій (Technology Synergy Index (TSI)) [14]	ІКТ, фармацевтика, інженерія	Оцінка технологічної сумісності та кумулятивного ефекту при інтеграції технологій. Індекс технологічної синергії: $TSI = (\text{кількість сумісних патентів}) / (\text{загальна кількість патентів})$. $TSI = 0.75$ — означає високу взаємодію технологій і потенціал для їх ефективної інтеграції	Індекси сумісності, патентні пари, наукометрія
Графові моделі синергії (Graph-Based Synergy Models) [15]	Комплексні системи, логістика, ІКТ	Моделювання взаємодії між компонентами системи як графу з підрахунком синергії. Граф із 5 вузлами і 8 зв'язками. Вага синергії між вузлами розраховується як сума всіх зважених зв'язків. Інтерпретація: висока щільність графу вказує на ефективну координацію системних елементів	Метод графів, матриці суміжності, вагові коефіцієнти
Модель потрійної спіралі (Triple Helix Model (THM)) [16]	Інноваційна діяльність, регіони, освіта	Визначає синергію між університетами, бізнесом та державою. Взаємодія: 10 спільних проєктів між університетами, бізнесом та держструктурами. Інтерпретація: синергія трикутника дозволяє досягати інновацій, які б були неможливі в ізоляції	Потрійний індекс синергії, взаємодія патентів/публікацій
Модель створення вартості (Value Creation Model) [17]	Управління, інновації, державне управління	Застосовується при злиттях і поглинаннях. Визначає, чи створює об'єднання додаткову вартість. Формула: Синергія = Вартість об'єднаної компанії – (Вартість компанії А + Вартість компанії В) Приклад: Компанія А = \$100 млн, компанія В = \$80 млн. Після злиття компанія коштує \$200 млн. Синергія = $200 - (100 + 80) = \$20$ млн	Ресурси: капітал, персонал, технології Процеси: операційна діяльність, інновації Результати: грошові потоки, прибуток, зростання Додана вартість: перевищення вигод над витратами (наприклад, EVA, NPV)

1	2	3	4
Операційна модель синергії (Operational Synergy Model) [18]	Управління, інновації, державне управління	Оцінює економії від спільної діяльності — зниження витрат, зростання доходів. Розраховується як чиста приведена вартість (NPV) майбутніх вигід. Формула NPV: $NPV = \sum (CF / (1 + r)^t),$ де CF — грошовий потік у період t, r — ставка дисконту. Приклад: Очікуване щорічне зниження витрат = \$5 млн, r = 10%, строк = 10 років → NPV ≈ \$30,6 млн	Оцінка економії масштабу (Economies of Scale) Аналіз скорочення витрат (Cost Reduction Analysis) Зростання продуктивності (Productivity Gains) Time-to-Market скорочення: прискорення виведення продуктів на ринок завдяки спільним процесам чи R&D. Benchmarking / Best Practice Transfer
Фінансова синергія (Financial Synergy Model) [19]	Управління, інновації, державне управління	Оцінює переваги від здешевлення капіталу, кращих умов фінансування, зменшення ризиків. Застосовується при оцінці доступу до кредитів, диверсифікації ризиків. Приклад: Після злиття компанія отримує нижчу ставку кредитування, що зменшує вартість капіталу	Зниження вартості капіталу (WACC): Оцінка, наскільки знизилася середньозважена вартість капіталу після інтеграції
Модель стратегічної синергії (Strategic synergy model) [20]	Стратегічне управління, інновації, державне управління	Враховує нематеріальні переваги — ринкове охоплення, об'єднання брендів, інновації, технології. Часто використовується у SWOT-аналізі або стратегічному моделюванні. Приклад: Компанія з сильною IT-інфраструктурою об'єднується з компанією з клієнтською базою → зростання ринкової частки	Оцінка податкового щита (Tax Shield Analysis): переваги від збільшення боргового фінансування (вирахування процентів з оподаткування). Оцінка доступу до дешевого фінансування: порівняння ставок за кредитами/облігаціями до і після інтеграції. DCF з урахуванням синергії: аналіз впливу фінансової синергії на майбутні грошові потоки та вартість проекту. Оцінка доступу до дешевого фінансування: порівняння ставок за кредитами/облігаціями до і після інтеграції. Оцінка зміни кредитного рейтингу/ризиків: порівняння показників фінансової стійкості (Debt/Equity, Interest Coverage)
Модель синергії в рамках EVA (Economic Value Added) [21]	Управління, інновації, державне управління	Оцінює, чи створюється додаткова економічна вартість після злиття або змін у структурі компанії. Формула: $EVA = NOPAT - (WACC \times Capital)$ де NOPAT — чистий операційний прибуток після податків, WACC — середньозважена вартість капіталу. Модель демонструє, що синергія (внаслідок інновацій, об'єднання або реструктуризації) генерує додаткову економічну цінність, яку можна виміряти через EVA	Оцінка EVA за підрозділами: дозволяє виміряти ефект синергії між бізнес-одинацями через об'єднання прибутковості та зниження вартості капіталу

Складено автором за [9-21].

Методика вимірювання синергії компонентів ресурсного потенціалу регіону має ґрунтуватися на оцінці взаємодії окремих елементів ресурсного потенціалу (людських, фінансових, матеріально-технічних, інформаційних та інших ресурсів). Вимірювання синергії з урахуванням негативних чинників передбачає комплексний підхід, що враховує не тільки позитивну взаємодію між елементами системи, а й вплив перешкод або ризиків, які знижують загальний ефект. Такий підхід може застосовуватися в бізнесі, управлінні ресурсами, проектному управлінні та інших галузях [22].

Системний підхід, що передбачає розгляд синергії як ефекту від взаємодії компонентів системи, містить декілька основних етапів: ідентифікацію елементів системи; оцінку внеску кожного елемента у загальний результат; аналіз взаємозв'язків між елементами.

Популярністю серед дослідників також користуються SWOT-аналіз, а також аналіз причинно-наслідкових зв'язків, у т.ч. графічні способи дослідження причинно-наслідкових взаємозв'язків (метод діаграм Ішікави [23]).

Серед математичних методів найбільшого поширення набув метод коефіцієнтів. Для визначення впливу взаємодії компонентів на результат використовують також моделі регресії, а для оцінки стратегічної взаємодії між компонентами застосовують теорію ігор [24].

Оцінка економічної ефективності синергії здійснюється на основі виділення додаткових доходів або економії ресурсів, що досягається шляхом збільшення кількості випуску готової продукції, а також скорочення витрат на виробництво одиниці продукції, у

т.ч., за рахунок впровадження інновацій та інвестицій у людський капітал.

Із найбільш популярних методів економічної оцінки синергії виділяють оцінку впливу інтеграції на зниження витрат чи збільшення прибутків (Аналіз вартості-ефективності) та оцінку окупності інвестицій (ROI) [25]. Застосовують також експертний підхід (опитування експертів, метод Дельфі), порівняння синергетичних ефектів із досягненнями інших організацій або галузевих стандартів, а також матриці взаємозв'язків, діаграми Вена та метод графів. Вибір методики для оцінки синергетичного ефекту залежить від цілей аналізу, наявності достовірної статистичної інформації, а також специфіки системи, щодо якої оцінюється синергія [26].

Основною проблемою при обчисленні синергетичних ефектів є вибір релевантної метрики, яка враховує специфіку конкретної системи. Наприклад, у III синергія між алгоритмами забезпечує покращену точність і швидкість обчислень, у біологічних системах синергію, зазвичай, пов'язують із метаболізмом. В екосистемах синергія забезпечує стійкість до зовнішніх впливів завдяки взаємодії різних видів. В економіці синергія проявляється у синхронізації бізнес-процесів, наприклад, при злитті компаній, коли їхня спільна вартість перевищує сукупну вартість до об'єднання [27-29].

Виклад основного матеріалу. Синергетичні ефекти проявляються в результаті інтегрованого використання ресурсів, зусиль або процесів, що забезпечує досягнення більш вагомих результатів порівняно з їхнім ізольованим застосуванням. У контексті синергії виникають ефекти взаємодоповнюваності, характерна риса складних систем, за якої взаємодія окремих елементів призводить до якісно нових, вищих за ефективністю результатів. Синергія визнається ключовим фактором підвищення ефективності функціонування складних систем, оскільки ґрунтується на кооперації, інтеграції зусиль та скоординованій взаємодії для досягнення спільної мети.

Комплексне поєднання ресурсів, природних, трудових, інвестиційних та інфраструктурних, зокрема, дозволяє досягати значно більшої ефективності в їх використанні, ніж при ізольованому підході. Такий формат управління передбачає тісну взаємодію окремих елементів ресурсного потенціалу, що взаємно підсилюють один одного для досягнення спільних стратегічних результатів. Наприклад, продуктивне залучення кваліфікованої робочої сили може істотно підвищити економічну віддачу від використання природних ресурсів за рахунок застосування інноваційних технологій. А концентрація ресурсів у ключових секторах здатна трансформувати загальний розвиток регіону. Так, модернізація транспортної мережі здебільшого призводить до активізації економічних процесів у прилеглих районах. Наприклад, побудова додаткової зупинки громадського транспорту напроти населеного пункту, біля якого таких зупинок раніше не було, суттєво підвищує вартість землі та нерухомості у цьому населеному пункті.

Взаємодія різних ресурсів часто створює передумови для виникнення нових ідей, технологій і способів господарювання, що дає додатковий імпульс для розвитку регіону. Так, створення спеціалізованих індустріальних парків із низкою обґрунтованих та конт-

рольованих преференцій, податкових у тому числі, дозволяє поєднати інфраструктурні, трудові та інвестиційні ресурси. Розвиток агропромислових кластерів на основі концентрації та ефективної взаємодії природних, технологічних і людських ресурсів дозволяє ефективніше використовувати ресурсний потенціал та підвищувати продуктивність праці. А урбанізація на основі взаємоузгодження соціальних, економічних та екологічних аспектів, забезпечує комфортні умови життя і праці[30].

Вважається, що ЛР є основним драйвером змін та інновацій, адже людський капітал визнається базовим елементом будь-якої економічної системи. Людський капітал включає знання, навички, досвід та творчий потенціал, які можуть бути застосовані для створення інноваційних рішень [31].

Разом з цим, впровадження інновацій є ключовим фактором підвищення рівня життя окремих людей, установ, секторів економіки, регіонів та країни. Тому, ТІ займають центральне місце в підвищенні ефективності використання ресурсів регіону. Новітні розробки дозволяють раціоналізувати процеси видобутку та переробки ресурсів, зменшуючи негативний вплив на довкілля. Обґрунтоване вимірювання інновацій та використання інноваційних даних дозволяє розуміти економічні та соціальні зміни, оцінювати внесок (позитивний чи негативний) інновацій у досягнення соціальних та економічних цілей, а також контролювати та оцінювати ефективність політики щодо їх досягнення [32].

Глобальні виклики, як то пандемія COVID-19, збройні конфлікти, зміни клімату [33], розвиток інформаційно-комунікативних технологій [34] підкреслюють вирішальну роль ЛР в економіці, змінюючи акценти та ландшафт управління ЛР на основі трансформації потенціалу інновацій, керованих штучним інтелектом (ШІ). Результатами цих перетворень є зміни у моделі глобалізації внаслідок підвищення мобільності факторів виробництва, що визначає актуальність впровадження нових підходів в управлінні робочою силою. ЛР лишаються ключовим драйвером адаптації та впровадження ТІ в умовах циклічності розвитку економіки [35]. Тому, відсутність належно-підготовленого кадрового потенціалу може зменшити позитивний ефект від впровадження ТІ [36].

Сучасні трансформації в сфері управління ресурсним потенціалом в умовах переходу від 4.0 до 5.0 індустріальної революції (ІР), повне становлення якої очікується, за різними оцінками, впродовж наступних 10-20 років, вимагають глибокого переосмислення всіх ефектів та особливостей взаємодії між ЛР та ТІ [37].

Індустріальні революції розвиваються поступово. ІР 4.0 характеризується поширенням автоматизації виробничих та управлінських процесів, активним розвитком ШІ та інтернету речей (ІР, англ. Internet of Things, IoT), а також розвитком кіберфізичних систем. ІР 5.0 зосереджується на «людиноцентричному» підході, співпраці між ШІ та ЛР на основі персоналізації виробництва. У 2025–2030 рр. очікується активне впровадження технологій ІР 5.0 у окремих сферах (медицина, машинобудування, енергетика). А у 2030–2040 рр. — прогнозується поширення нових підходів на виробництві та в управлінні, а також поглиблення інтеграції людей і машин на основі розвитку колаборативних роботів (коботи), нейроінтерфейсів і біо- та

«зелених» технологій, а також ШІ, що розуміє людей та швидко адаптується до їх побажань [38-40].

Інтеграція ЛР та ТІ сприяє підвищенню організаційної ефективності виробничих процесів та активізації інноваційно-інвестиційної діяльності, прискорюючи перехід від 4.0 до 5.0 ІР [41]. Такі високотехнологічні компанії, як *ASML*, *BioNTech*, *CRISPR Therapeutics*, *Moderna*, *Pfizer*, *Tesla*, наочно демонструють, як поєднання кадрових стратегій з передовими технологіями сприяє впровадженню інновацій, наприклад, у сфері виробництва обладнання для виготовлення чипів (літографія), електромобілів, розвитку генно-редагуювальних технологій із залученням ШІ [42].

ЛР (знання, навички, управлінські здібності) і ТІ є основними чинниками, що сприяють підвищенню ефективності використання ресурсів регіону. Спільна дія цих компонентів дозволяє оптимізувати процеси добування, обробки та переробки природних ресурсів, зменшуючи їх витрати та шкоду для навколишнього середовища [43]. Зі свого боку, ЛР виступають каталізатором для впровадження ТІ і забезпечують адаптацію до мінливості ринків факторів виробництва. Відповідно, рівень кваліфікації і компетенції працівників визначають ефективність управління природними ресурсами та здатність реагувати на нові виклики [44].

ТІ спрямовуються, передусім, на зменшення втрат природних ресурсів, а також витрат часу та інших ресурсів (гроші, енергія, ЛР тощо) через використання більш ефективних методів добування, обробки

та повторного використання ресурсів. При цьому, «зелені» технології, відновлювані джерела енергії та енергоефективні виробничі процеси зокрема, значно знижують споживання ресурсів і зменшують екологічне навантаження. Це забезпечує більшу стійкість виробництва та зменшує екологічний вплив на довкілля [45].

У наукових дослідженнях, присвячених оцінкам ефективності взаємодії ЛР та ТІ доводиться, що їх успішна інтеграція є ключовою умовою для підвищення ефективності використання природних ресурсів і забезпечення сталого розвитку економіки. Тому, освітні програми, підтримка наукових досліджень і розвиток ТІ сприяють досягненню максимальної ефективності використання природних ресурсів, у тому числі, через зменшення їх виснаження [46].

Нові можливості для збереження природних ресурсів дозволяє створювати синергія між ЛР та ТІ. Наприклад, поєднання висококваліфікованих кадрів з передовими технологіями сприяє не тільки підвищенню ефективності, але й максимізації економічної користі та екологічної стійкості ресурсного потенціалу у довгостроковій перспективі [47]. Тому, для забезпечення раціонального та ощадливого використання природних ресурсів необхідно інвестувати у розвиток ЛР і ТІ.

Основні характеристики взаємовпливу ЛР і ТІ на ефективність використання природних ресурсів, в результаті яких можуть проявлятися синергетичні ефекти, наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Основні характеристики взаємозв'язків між ЛР і ТІ

Людський капітал	Технологічні інновації
Освіта, професійна підготовка та кваліфікація працівників. Освічені й досвідчені фахівці сприяють впровадженню нових підходів до видобутку, переробки й збереження природних та інших ресурсів. Високий рівень кваліфікації працівників сприяє впровадженню новітніх технологій, що дозволяє оптимізувати використання ресурсів	Автоматизація процесів. Використання робототехніки та ШІ дозволяє підвищити точність і зменшити втрати при використанні ресурсів. Системи моніторингу й управління ресурсами допомагають зменшити вплив людського фактору і оптимізувати втрати
Культура сталого розвитку та інновацій. Стимулювання творчого мислення та відкритості до змін сприяє розробці нових способів раціонального управління ресурсами. Розвиток екологічної свідомості серед працівників і населення стимулює раціональне використання ресурсів	Підвищення ефективності виробничих процесів. Нові технології дозволяють скорочувати втрати під час видобутку і переробки ресурсів. Дані, отримані через інтернет речей (IoT), забезпечують поглиблений аналіз процесів і сприяють прийняттю більш обґрунтованих управлінських рішень
Здатність до адаптації. Людський капітал, здатний адаптуватися до нових умов та інновацій, стає ключовим фактором синергетичного ефекту. Високо-ефективні лідери здатні організувати робочі процеси таким чином, щоб максимально використовувати потенціал технологій для раціонального використання ресурсів	Освоєння інновацій. Розробка альтернативних джерел енергії. Інновації в галузі відновлюваних джерел енергії зменшують залежність від невідновлюваних ресурсів. Розробка альтернативних матеріалів, як то, біопластики чи заміники рідкоземельних металів, дозволяють зменшити тиск на природні ресурси

Складено автором за [48-55].

Для загальної оцінки синергетичного ефекту взаємодії окремих компонентів ресурсного потенціалу регіону автори зазвичай використовують декілька послідовних взаємопов'язаних кроків [56-58].

Крок 1. Ідентифікація компонентів ресурсного потенціалу, що здійснюється на основі декомпозиції системи, що досліджується. Визначаються та виокремлюються окремі компоненти та встановлюють їхні основні функції. Означене досягається шляхом:

виділення основних складових, які входять до ресурсного потенціалу регіону (наприклад, кваліфікація персоналу, обсяги інвестицій, рівень технологічної оснащеності, інформаційна інфраструктура);

виявлення ключових компонентів взаємодії (наприклад, людські ресурси, природні ресурси, технології, інфраструктура);

структуризація ресурсів за категоріями (людські, фінансові, матеріальні, інноваційні тощо) [59].

Крок 2. Оцінка та зважування окремих компонентів системи. Передбачає оцінку індивідуального внеску та ефективності кожного компонента системи окремо.

Позитивні чинники та показники інтеграції (наприклад, сумісність технологій) дозволяють оцінити синергетичний ефект, як то, економію ресурсів, підвищення продуктивності. Економічна ефективність, коли сумарна вигода перевищує суму окремих результатів, сигналізує про поліпшення якості процесів виробництва та реалізації продуктів або послуг в результаті інноваційної активності.

Ідентифікація та зважування негативних факторів, як то ймовірні небажані події, конфлікти, надлишкові витрати, бар'єри для впровадження, дозволяє оцінити ймовірні втрати від неефективної взаємодії. Сумарні витрати на усунення конфліктів або недоліків викликають зниження продуктивності через неузгодженість дій, зниження якості та розтягування термінів виконання проектів [60].

Після підготовчих процедур, тобто, збору повної та достовірної інформації, її верифікації та препарування, можна переходити до оцінки синергетичних ефектів, що виникають в результаті взаємодії окремих компонентів ресурсного потенціалу регіону.

Наступним кроком оцінки синергетичних результатів є встановлення кількісних характеристик синергетичних ефектів. Цей процес складається із декількох взаємопов'язаних етапів.

Етап 1. Визначення базових показників ресурсів.

Кожен вид ресурсу R_i оцінюється за певними критеріями. Наприклад, кількісні показники містять кількість працівників, обсяг фінансових вкладень, кількість одиниць обладнання та інше. Якісні показники містять рівень кваліфікації працівників наприклад, відповідність Національній рамці кваліфікацій [61], якість технологій, інноваційний потенціал тощо. Наприклад: *природні ресурси*: запаси корисних копалин, площа сільськогосподарських земель; *ЛР*: чисельність населення, рівень зайнятості, освіта; *фінансові ресурси*: обсяг інвестицій, регіональний бюджет; *інфраструктура*: кількість транспортних вузлів, рівень цифровізації.

Для кожного виду ресурсу важливою процедурою є нормалізація кількісних показників, значення яких приводять до інтервалу $[0; 1]$ або $[-1; 1]$, що дозволяє порівнювати змінні із різними одиницями виміру між собою. Для порівняння показників із різними одиницями виміру нормалізація може бути здійснена за формулою [62]:

$$I_i = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}, \quad (1.1)$$

де I_i – нормалізоване значення показника, X_i – значення показника, $X_{\min}$ та $X_{\max}$ – мінімальне та максимальне значення відповідно.

Етап 2. Оцінка взаємодій між ресурсами. Синергія проявляється в результаті взаємодії ресурсів R_i та R_j . Модель ілюструє, що **синергія зростає нелінійно**, залежно від величини ресурсів і сили їх взаємодії. Якщо $\gamma_{ij} > 1$, ефект взаємодії посилюється (позитивна синергія), якщо $\gamma_{ij} < 1$, взаємодія вважається слабкою або навіть негативною [63]. Цей процес формалізується наступним чином:

$$S_{ij} = \gamma_{ij} * R_i * R_j, \quad (1.2)$$

де S – загальна синергія в системі; n – кількість видів ресурсів; γ_{ij} – коефіцієнт взаємодії між ресурсами i та j ; R_i , R_j – величини ресурсів (наприклад, знання, капітал, персонал, технології).

Етап 3. Загальна синергія. Формалізована математична модель загальної синергії системи, яка обчислює сумарний синергетичний ефект від усіх парних взаємодій між ресурсами в складній системі (економічній, організаційній, інноваційній тощо) [64], виглядає наступним чином:

$$S = \sum_i^n \sum_{j=i+1}^n \gamma_{ij} * R_i * R_j, \quad (1.3)$$

де n – загальна кількість видів ресурсів.

Кумулятивна модель синергії враховує усі унікальні пари ресурсів в системі. У разі, якщо всі $\gamma_{ij} = 1$, тоді синергія – це просто добуток всіх пар ресурсів, якщо $\gamma_{ij} > 1$, це вказує на підсилення взаємодії тобто **позитивну синергію**, а якщо $\gamma_{ij} < 1$, це вказує на ослаблення або **негативну синергію**.

Коефіцієнти синергії (γ_{ij}) можуть бути обчислені із використанням таких методів, як: експертна оцінка із залученням експертів, які визначають ступінь взаємодії між ресурсами; кількісні методи оцінки, що включають аналіз даних; індекс інноваційної діяльності; **кореляційний аналіз**; якісні методи оцінки, в тому числі, оцінка культури інновацій; аналіз впливу на команду. Оцінка потенційних результатів від інтеграції інновацій і людських ресурсів в організаційні процеси здійснюється шляхом **моделювання та симуляції**.

Модель оцінки синергетичного ефекту взаємодії ЛР та ТІ передбачає оцінку взаємозв'язку між спроможністю організації використовувати свої ЛР та опановувати інноваційні процеси для досягнення максимального ефекту. Для створення такої моделі можна скористатися кількома підходами, включаючи підходи теорії синергетики, які припускають, що результат від взаємодії різних елементів системи може перевищувати суму їхніх індивідуальних внесків. Ключові компоненти моделі, їх взаємозв'язок та можливий синергетичний ефект представлені на рисунку.

Запропонована модель може використовуватися для оцінки взаємодії між групою інженерів, які мають високий рівень кваліфікації, та інноваційною технологією, яку вони розробляють. Синергетичний ефект може проявитися у швидкому та ефективному впровадженні нових технологій, що покращує продуктивність на рівні організації в цілому. Модель дозволяє створити комплексну картину того, як людські ресурси можуть сприяти або стримувати процес інновацій в організації, а також як інновації можуть покращувати ефективність роботи персоналу.

Формалізація моделі оцінки синергетичного ефекту взаємодії ЛР та ТІ може бути здійснена через створення математичних виразів і функцій, що описують взаємозв'язки між ключовими компонентами системи. Для цього можна використати підхід, заснований на мультифакторних моделях, де враховуються різні змінні, які взаємодіють між собою, створюють синергетичний ефект.

1. Визначення змінних

1.1. Людські ресурси (HR):

$$HR = f(S, M, C), \quad (2.1)$$

де функція f описує, як S – рівень кваліфікації (*skills*) працівників, M – мотивація працівників (*motivation*), C – колективна ефективність (*collaborative effectiveness*) впливають на людські ресурси.

1.2. Інновації (IN):

$$IN = g(T, O, P), \quad (2.2)$$

де функція g описує, як T – технологічні інновації (*technological innovations*), O – організаційні інновації

Людські ресурси 	X	Технологічні інновації 	=	Синергетичний ефект
Навички та знання: рівень освіти, кваліфікації, досвіду, а також здатність до постійного навчання X	X	Технологічні інновації: застосування нових технологій або удосконалення існуючих для підвищення продуктивності X	=	Комбінація ЛР та ТІ: взаємодія між кваліфікацією працівників, їхньою мотивацією, а також рівнем інноваційної культури в організації X
Мотивація та залученість: ступінь мотивації працівників до інновацій та їх готовність до змін X	X	Продуктові інновації: створення нових або вдосконалення існуючих продуктів чи послуг, які можуть задовольнити нові потреби клієнтів X	=	Міжфункціональна взаємодія: ефект, коли різні підрозділи та відділи працюють разом для досягнення інноваційних цілей X
Колективна ефективність: здатність команди до співпраці, що може сприяти виникненню нових ідей та рішень X	X	Організаційні інновації: нововведення в управлінські процеси, що сприяють більш ефективному використанню ресурсів X	=	Швидкість впровадження інновацій: синергетичний ефект може призводити до швидшого прийняття нових технологій або інновацій в організації X

Рисунок. Спрощена модель синергії взаємодії людських ресурсів та інновацій

Складено автором за [1-64].

(organizational innovations), P – продуктові інновації (product innovations) впливають на розвиток організації.

1.3. Синергетичний ефект (SE):

$$SE = h(HR, IN), \quad (2.3)$$

де функція h описує, як ЛР та ТІ взаємодіють, створюючи синергетичний ефект.

2. Формулювання функцій

2.1. Функція людських ресурсів:

$$HR = \alpha_1 \times S + \alpha_2 \times M + \alpha_3 \times C, \quad (3.1)$$

де $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – вагові коефіцієнти, що визначають важливість кожного з компонентів для результату.

2.2. Функція інновацій:

$$IN = \beta_1 \times T + \beta_2 \times O + \beta_3 \times P, \quad (3.2)$$

де $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ – вагові коефіцієнти для кожного виду інновацій.

2.3. Функція синергетичного ефекту:

Для оцінки синергетичного ефекту можна застосувати модель, яка показує, як взаємодіють ЛР та ТІ, створюючи ефект, більший за суму їх окремих компонентів:

$$SE = \gamma_1 \times HR + \gamma_2 \times IN + \gamma_3 \times HR \times IN, \quad (3.3)$$

де $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ – коефіцієнти, що визначають ваги кожного компоненту (відповідно для ЛР, інновацій та їх взаємодії); $HR \cdot IN$ – множник, що демонструє синергетичний ефект від взаємодії людських ресурсів і інновацій.

3. Підсумкова функція ефективності

3.1. Загальна ефективність організації (E):

$$E = \varphi_1 \times SE - \varphi_2 \times C_{costs}, \quad (4.1)$$

де φ_1, φ_2 – вагові коефіцієнти для синергетичного ефекту та витрат (C_{costs}), що враховують витрати на впровадження інновацій та розвиток людських ресурсів.

4. Оцінка та калібрування

Для практичної реалізації цієї моделі необхідно визначити вагові коефіцієнти ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \varphi_1, \varphi_2$) через аналіз історичних даних або експертні оцінки. Це може включати регресійний аналіз для ви-

значення вагових коефіцієнтів на основі реальних даних, а також багатокритеріальну оптимізацію для визначення найкращої стратегії взаємодії ЛР та ТІ.

Оцінка взаємодії компонентів системи дозволяє кількісно визначити ефективність спільного функціонування елементів. Основним критерієм оцінки є **коефіцієнт синергії** ($K_{син}$), що демонструє співвідношення між результатом від спільного використання ресурсів та результатами їх індивідуального застосування. Значення $K_{син} > 1$ свідчить про наявність позитивного синергетичного ефекту, тоді як $K_{син} < 1$ вказує на наявність конфліктів або втрат ефективності.

Для комплексного розрахунку ефективності взаємодії використовується **балансовий метод**, який передбачає визначення **загального синергетичного ефекту** (S_o) як різниці між сумою позитивних результатів (S_n) та негативних чинників (S_n). Додатне значення S_o підтверджує доцільність об'єднання ресурсів, тоді як від'ємне – сигналізує про втрати або неефективність взаємодії.

Застосування запропонованої моделі оцінки синергії створює можливості для:

- оптимізації розподілу ресурсів,
- покращення взаємодії між учасниками системи,
- зменшення негативного впливу окремих факторів,
- підвищення загальної ефективності управлінських рішень.

Отримані результати можуть бути використані для розробки стратегій управління ризиками, планування інвестицій, а також для створення ефективних моделей регіонального розвитку на інноваційній основі, корпоративної взаємодії.

Висновки. Синергія характеризується як явище, що проявляється в результаті взаємодії між різними елементами системи, коли спільний результат значно перевищує суму окремих результатів, що досягнуті кожним елементом системи окремо. Така характеристика показує, що взаємодія компонентів може ство-

рити додаткову цінність, яку не можна досягнути шляхом простого об'єднання індивідуальних ефектів кожного з них. Взаємодія між елементами системи дозволяє досягти результатів, які є більш ефективними та результативними, ніж той рівень результативності, який кожен компонент може забезпечити самостійно. Синергія, як результат оптимізації взаємодії ресурсів, може бути виражена через кількісні та якісні показники, а її ефект – обчислений на основі функціональних залежностей між компонентами системи, що виявлені в результаті аналізу інформаційних потоків та оцифрування.

Ключові детермінанти виникнення синергії між людськими ресурсами та технологічними інноваціями в контексті сталого розвитку регіону охоплюють інституційну взаємодію, економічну підтримку, технологічну готовність, соціальну активність, екологічну відповідальність і просторове планування. Взаємозв'язок між цими чинниками забезпечує раціональне та ефективне використання потенціалу людських ресурсів для впровадження технологічних рішень. Це сприяє модернізації інфраструктури, формуванню нових компетенцій, підвищенню зайнятості, екологізації мобільності та посиленню соціальної інклюзії. Таким чином, людський капітал у поєднанні з інноваціями стає основою сталого розвитку територій і джерелом мультиплікативного ефекту трансформаційних змін.

Модель оцінки синергії між такими компонентами ресурсного потенціалу регіону, як людські ресурси та технологічні інновації, дозволяє здійснювати прогнозування результатів їх взаємодії на основі заданих значень змінних, що дозволяє приймати більш обґрунтовані управлінські рішення. Синергетичний ефект може бути використаний для оцінки загальної ефективності розвитку регіону на основі взаємодії людських ресурсів та технологічних інновацій. Модель можна використовувати для прогнозування результатів впровадження інновацій, оцінки впливу людських ресурсів на ці результати, а також для пошуку оптимальних умов для максимізації синергетичного ефекту.

References

1. Concise Oxford Dictionary (Oxford English Dictionary). (n.d.). Oxford University Press. Retrieved from <https://www.oed.com>.
2. Regional synergy in the context of national adaptation programmes of action. (2005). UN. Retrieved from <https://unfccc.int/resource/docs/2005/tp/eng/04.pdf>.
3. Leydesdorff, L. (2021). The Evolutionary Dynamics of Discursive Knowledge: Communication-Theoretical Perspectives on an Empirical Philosophy of Science. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-59951-5>.
4. Jaber, J. O., Marahleh, G., Al-Lubani, S., & Khrisat, M. (2025). Energy efficiency retrofitting for old buildings in a low-income district of Amman, Jordan. *Academia Green Energy*, 2(1). DOI: <https://doi.org/10.20935/AcadEnergy7487>.
5. Zhang, H., Cao, Y., Zhang, Y., & Terzija, V. (2018). Quantitative synergy assessment of regional wind-solar energy resources based on MERRA reanalysis data. *Applied Energy*, 216, pp. 172–182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.02.094>.
6. Srdjevic, Z., Bajcetic, R., & Srdjevic, B. (2012). Identifying the criteria set for multicriteria decision making based on SWOT/PESTLE analysis: A case study of reconstructing a water intake structure. *Water Resources Management*, 26, pp. 3379–3393. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0077-2>.
7. Lin, S., & Zhao, G. (2023). System dynamics modeling and applied to international PPP project risk evaluation. In *Fuzzy Quantitative Management*. (pp. 1–12). Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-7688-6_6.
8. Liu, X., & Zeng, M. (2017). Renewable energy investment risk evaluation model based on system dynamics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, pp. 782–788. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.019>.
9. Wehrich, H. (1982). The TOWS Matrix—A Tool for Situational Analysis. *Long range planning*, 15(2), pp. 54–66. DOI: [https://doi.org/10.1016/0024-6301\(82\)90120-0](https://doi.org/10.1016/0024-6301(82)90120-0).
10. Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, 7(1), pp. 77–91. DOI: <https://doi.org/10.2307/2975974>.
11. Cooke, P. (2001). Regional innovation systems, clusters and the knowledge economy. *Industrial and Corporate Change*, 10(4), pp. 945–974. DOI: <https://doi.org/10.1093/icc/10.4.945>.
12. Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R., & Weimer, D. L. (2018). *Cost-Benefit Analysis*. Cambridge University Press.
13. Okoli, C., & Pawlowski, S. D. (2004). The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. *Information & Management*, 42(1), pp. 15–29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.im.2003.11.002>.
14. Hagedoorn, J., & Duysters, G. (2002). External sources of innovative capabilities: the preferences for strategic alliances or mergers and acquisitions. *Journal of Management Studies*, 39(2), pp. 167–188. DOI: <https://doi.org/10.1111/1467-6486.00287>.
15. Newman, M. E. J. (2010). *Networks: An Introduction*. Oxford University Press.
16. Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: from National Systems and "Mode 2" to a Triple Helix of university-industry-government relations. *Research Policy*, 29(2), pp. 109–123. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00055-4](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00055-4).
17. Damodaran, A. (2005). *The value of synergy*. New York University, Stern School of Business.
18. Sirower, M. L. (1997). *The Synergy Trap: How Companies Lose the Acquisition Game*. Free Press.
19. Ross, S. A., Westerfield, R. W., & Jaffe, J. (2013). *Corporate Finance*. (10th ed.). McGraw-Hill Education.
20. Porter, M. E. (1985). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. Free Press.
21. Stewart, G. B. (1991). *The Quest for Value: A Guide for Senior Managers*. Harper Business.
22. Schrettle, S., Hinz, A., Scherrer-Rathje, M., & Friedli, T. (2014). Turning sustainability into action: Explaining firms' sustainability efforts and their impact on firm performance. *International Journal of Production Economics*, 147, pp. 73–84. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.02.030>.
23. Ishikawa, K. (1985). *What is Total Quality Control? The Japanese Way*. Prentice-Hall.
24. Wardhana, A. N., Rachmawati, F., & Widodo, E. (2022). Game theory approach for risk allocation in public-private partnership. In H. A. Lie, M. Sutrisna, J. Prasetyo, B. H. Hadikusumo, & L. S. Putranto (Eds.), *Proceedings of the Second International Conference of Construction*,

- Infrastructure, and Materials* (pp. 667–679). Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-16-7949-0_42.
25. Meparishvili, K. (2013). ROI (Return on Investment) on human capital. *Caucasus Journal of Social Sciences*, 6(1), pp. 107–121. DOI: <https://doi.org/10.62343/cjss.2013>.
26. Scandizzo, P. L. (2021). Impact and cost–benefit analysis: A unifying approach. *Economic Structures*, 10, 10. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40008-021-00240-w>.
27. Kosmol, L., Maiwald, M., Pieper, C., Plutz, J., Schmidt, T. (2021). An indicator-based method supporting assessment and decision-making of potential by-product exchanges in industrial symbiosis. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125593. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125593>.
28. Hatton, L., & Warr, G. (2025). The architecture of the genome integrates scale independence with inverse symmetry. *Academia Molecular Biology and Genomics*, 2(2). DOI: <https://doi.org/10.20935/AcadMolBioGen7650>.
29. Song, J., He, Z., Jiang, L., Liu, Z., & Leng, X. (2023). Synergy management of a complex industrial production system from the perspective of flow structure. *Systems*, 11(9), 453. DOI: <https://doi.org/10.3390/systems11090453>.
30. Ullah, A., Nobanee, H., Ullah, S., Iftikhar, H. (2024). Renewable energy transition and regional integration: Energizing the pathway to sustainable development. *Energy Policy*, 193. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114270>.
31. *Guide to Measuring Human Capital*. (2016). *United Nations*. Retrieved from https://unece.org/DAM/stats/publications/2016/ECECESSTAT20166_R.pdf.
32. *Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting, and Using Data on Innovation* (4th ed.). (2018). OECD Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>.
33. Global Risks Report 2024. (2024). *World Economic Forum*. Retrieved from <https://www.weforum.org/publications/global-risks-report-2024/>.
34. Partnership on Measuring Information and Communication Technologies for Development. (2023). *UN Secretary-General*. Retrieved from <https://digital.library.un.org/record/4033022?v=pdf&ln=ru>.
35. Fernández-Villaverde, J., Yu, Y., & Zanetti, F. (2025). Technological synergies, heterogeneous firms, and uncertainty shocks. Retrieved from https://www.sas.upenn.edu/~jesusfv/Technological_Synergies.pdf.
36. Human Development Report 2023–2024. (2024). *United Nations Development Programme*. Retrieved from <https://hdr.undp.org/system/files/documents/global-report-document/hdr2023-24snapshotru.pdf>.
37. Elangovan, U. (2022). *Industry 5.0: The Future of the Industrial Economy* (1st ed.). CRC Press.
38. Rijwani, T., Kumari, S., Srinivas, R. et al. (2025). Industry 5.0: A review of emerging trends and transformative technologies in the next industrial revolution. *International Journal of Interactive Design and Manufacturing*, 19, pp. 667–679. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12008-024-01943-7>.
39. Tyth, A., Nagy, L., Kennedy, R., Bohuľ, B., Abonyi, J., Ruppert, T. (2023). The human-centric Industry 5.0 collaboration architecture. *MethodsX*, 11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102260>.
40. Dhanda, M., Rogers, B. A., Hall, S., Dekoninck, E., Dhokia, V. (2025). Reviewing human-robot collaboration in manufacturing: Opportunities and challenges in the context of industry 5.0. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 93. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2024.102937>.
41. Kumar, P., Agrawal, A., & Budhwar, P. (2020). Human & Technological Resource Management (HTRM): New insights into Revolution 4.0. Retrieved from <https://www.emerald.com/insight/publication/doi/10.1108/9781838672232>.
42. Punthung, J., & Krivart, K. (2022). Innovation and challenges in human resource management in the 21st century. *Journal of Management Information and Decision Sciences*, 25(S4), pp. 1–8.
43. Aladejare, S., & Bobbo, S. (n.d.). Brown vs Green energy sources and resource productivity: The role of human capital and technology transfer in developing economies. *SSRN*. Retrieved from <https://ssrn.com/abstract=4645411>.
44. Zervas, I., & Stiakakis, E. (2024). Economic sustainable development through digital skills acquisition: The role of human resource leadership. *Sustainability*, 16(17), 7664. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16177664>.
45. Liu, G., & Liang, K. (2024). The role of technological innovation in enhancing resource sustainability to achieve green recovery. *Resources Policy*, 89. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104659>.
46. Strategy on Technological Innovation in Education (2022–2025). (2022). *UNESCO*. Retrieved from <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000378847>.
47. Okolo, C.V., Wen, J., & Susaeta, A. (2024). Maximizing natural resource rent economics: The role of human capital development, financial sector development, and open-trade economies in driving technological innovation. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, pp. 4453–4477. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31373-z>.
48. Human capital and educational policies. *OECD*. Retrieved from <https://www.oecd.org/en/topics/human-capital-and-educational-policies.html>.
49. What role does human capital play in innovation? (2022, October 18). *Asian Development Bank*. Retrieved from <https://blogs.adb.org/blog/what-role-does-human-capital-play-innovation>.
50. Stephan, P., & Levin, S. G. (2019). Driving innovation: Public policy and human capital. *Research Policy*, 48(10), 103811. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2019.05.004>.
51. AI in robotics and automation: The future of efficiency. (2024). *TechResearchs*. Retrieved from <https://techresearchs.com/artificial-intelligence/ai-powered-robots-a-new-era-in-automation-and-efficiency/>.
52. Yuan, L., Wang, T., & Liu, Y. (2024). Optimizing supply chain operations using IoT devices and data analytics. *Magna Scientia Advanced Research & Reviews*, 8(1), pp. 60–70. Retrieved from <https://magnascientiapub.com/journals/msarr/sites/default/files/MSARR-2024-0107.pdf>.
53. Chen, Y., Li, J., & Zhang, M. (2023). Industrial robotics, resource efficiency, energy transition, and circular economy. *Sustainability*, 17(5), 1960. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17051960>.
54. Culture: The bedrock of sustainable development. (2023). *UNESCO*. Retrieved from <https://www.unesco.org/en/articles/cutting-edge-culture-bedrock-sustainable-development>.
55. Hunt, A. (2025, January 24). The challenge of recycling rare earth metals—and the scientists making it

- happen. *The Guardian*. Retrieved from <https://www.theguardian.com/research-to-reality/2025/jan/24/the-challenge-of-recycling-rare-earth-metals-and-the-scientists-making-it-happen>.
56. Zhou, L., Li, B., Li, S., Lei, N. L., & Cheong, K. (2023). Theoretical and practical research in the context of regional synergistic development. In *Urban and Regional Cooperation and Development*. Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-19-8061-9_2.
57. Zheng, K., Hu, F., & Yang, Y. (2023). Data-driven evaluation and recommendations for regional synergy innovation capability. *Sustainability*, 15(14), 11143. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151411143>.
58. Behzad, M., Abello-Passteni, V., Videla Labayru, J. T., & Martınez Ramırez, P. (2024). Developing an assessment model for uncovering potential synergies of regional industrial symbiosis: A case study of Valparaiso region, Chile. *Journal of Cleaner Production*, 385, 131577. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.131577>.
59. Korhonen, J., & Sırdıkin, J.-P. (2005). Analysing regional sustainability through input-output analysis. *Journal of Cleaner Production*, 13(10), pp. 979–990. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.05.007>.
60. Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill. Retrieved from <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4615-1665-1>.
61. Pro zatverdzhennia Natsionalnoi ramky kvalifikatsii: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 23 lystopada 2011 r. № 1341 [About the approval of the National Qualification Framework: Resolution to the Cabinet of Ministers of Ukraine dated November 23, 2011. No. 1341]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1341-2011-%D0%BF#Text> [in Ukrainian].
62. Han, J., Pei, J., & Kamber, M. (2011). *Data Mining: Concepts and Techniques* (3rd ed.). Morgan Kaufmann. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2009-0-61819-5>.
63. Sirower, M. L. (1997). *The Synergy Trap: How Companies Lose the Acquisition Game*. Free Press. Retrieved from <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2666524>.
64. Mesarovic, M. D., Macko, D., & Takahara, Y. (1970). *Theory of hierarchical, multilevel systems*. Academic Press.

Стаття надійшла до редакції 15.04.2025

Рецензовано: 07.05.2025

Формат цитування:

Островецький В. І. Оцінка синергетичних ефектів взаємодії людських ресурсів і технологічних інновацій у контексті розвитку ресурсного потенціалу регіону. *Вісник економічної науки України*. 2025. № 1 (48). С. 104–113. DOI: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2025.1\(48\).104-113](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2025.1(48).104-113)

Ostrovetsky, V. I. (2025). Assessment of Synergistic Effects of Human Resource and Technological Innovation Interaction in the Context of Regional Resource Potential Development. *Visnyk ekonomichnoi nauky Ukrainy*, 1 (48), pp. 104–113. DOI: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2025.1\(48\).104-113](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2025.1(48).104-113)