

О. Є. Джур,

к. т. н., доцент, доцент кафедри міжнародного менеджменту,

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3307-9985>

Ю. Г. Данильченко,

бакалавр, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-5019-8641>

DOI: 10.32702/2306-6814.2026.8.444

ВПРОВАДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ ЦИКЛІЧНОЇ ЕКОНОМІКИ В ОПЕРАЦІЙНУ ДІЯЛЬНІСТЬ "ДТЕК": МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ

O. Dzhur,

PhD in Technical Sciences, Associate Professor,

Associate Professor of the Department of International Management, Oles Honchar Dnipro National University

Y. Danylchenko,

Bachelor, Oles Honchar Dnipro National University

IMPLEMENTATION OF CYCLIC ECONOMY PRINCIPLES INTO DTEK
OPERATIONAL ACTIVITIES: INTERNATIONAL EXPERIENCE
IN DECARBONIZATION AND WASTE MANAGEMENT

У статті здійснено комплексний аналіз операційної системи енергетичних підприємств (на прикладі регіонального кластера компанії "ДТЕК") в умовах переходу до циркулярної економіки та імплементації стратегій декарбонізації. Розглянуто ключові напрями операційної діяльності компанії, які потребують негайної екологічної модернізації через зростаючий податковий тиск та жорсткі вимоги European Green Deal. Особливу увагу приділено адаптації передового міжнародного досвіду, зокрема циркулярних ініціатив глобальних енергетичних корпорацій Enel (ревіталізація промислових майданчиків) та Iberdrola (стратегії Zero Waste), до вітчизняних індустріальних реалій. Проаналізовано підходи до проектування технологічних процесів управління відходами з акцентом на міжгалузевий симбіоз. Обґрунтовано доцільність комерційної утилізації золошлакових матеріалів у будівельній галузі та застосування концепції нульового скидання рідин (Zero Liquid Discharge) для очищення мінералізованих шахтних вод. Висвітлено специфіку оптимізації ланцюгів постачання на засадах безвідходності із застосуванням математичної моделі EOQ для мінімізації ризиків деградації екологічних матеріалів на складах та запровадження зворотної логістики (Reverse Logistics). Розроблено оптимізований сітьовий графік реконструкції вузлової підстанції з інтеграцією Smart Grid, визначено критичний шлях та доведено ймовірність її успішної реалізації в умовах логістичної невизначеності. Доведено, що перехід до циклічної моделі перетворює екологічні центри витрат на центри прибутку. Обґрунтований мультиплікативний соціально-екологічний ефект для Дніпровського регіону.

A comprehensive analysis of the operating system of energy enterprises, in particular, the regional cluster of DTEK, was conducted in the context of the transition to a circular economy and the strategic implementation of a decarbonization policy. The main goal of the work is to conduct an in-depth study of the transformation of traditional linear operating models ("take-produce-dispose") into highly resilient closed systems capable of ensuring national energy security in the face of serious challenges of martial law and European integration processes. The key areas of the company's operational activities that require immediate environmental modernization due to high tax pressure and strict requirements of the European Green Deal are considered. Particular attention is paid to the successful adaptation of advanced international benchmarking, namely the circular economy initiatives of global energy giants such as Enel (rehabilitation of closed thermal power plants) and Iberdrola (zero waste strategies), to the specific realities of the Ukrainian energy sector. Modern approaches to the design of technological processes for industrial waste management are deeply analyzed, focusing primarily on cross-sectoral industrial symbiosis. The economic and environmental feasibility of using coal ash and slag materials in the regional construction industry is substantiated, as well as the application of the "zero liquid discharge" concept for deep treatment of highly mineralized mine waters for feeding cooling systems of generating units. Critical issues of supply chain optimization based on the "zero waste" principles are highlighted. Using CPM and PERT methods, a detailed network diagram for the reconstruction of a 35/10 kV distribution substation with Smart Grid integration is systematically developed. A thorough economic assessment of the proposed changes is presented using the "cost-volume-profit" (CVP) methodology and sensitivity analysis to fluctuations in CO₂ emission allowance prices. It is mathematically proven that the transition to a cyclical operating model transforms former environmental cost centers directly into profit centers. The study highlights the multiplicative socio-ecological effect for the Dnipropetrovsk region, demonstrating that cyclical operations contribute to a clean environment, create numerous green jobs, and provide the necessary raw materials for the post-war reconstruction of the national infrastructure.

Ключові слова: операційний менеджмент, європейський енергетичний простір, енергетична безпека, циркулярна економіка, декарбонізація, управління відходами, міжнародний досвід.

Key words: operational management, European energy space, energy security, circular economy, decarbonization, waste management, international experience.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Функціонування енергетичної інфраструктури України в умовах перманентних безпекових загроз, руйнувань та макроекономічної нестабільності вимагає від операторів систем розподілу (ОСР) та генеруючих компаній докорінного перегляду своїх операційних стратегій. Безальтернативний курс держави на синхронізацію з європейським енергетичним простором (ENTSO-E) накладає на вітчизняний бізнес жорсткі зобов'язання в межах ініціативи European Green Deal. Традиційна лінійна парадигма операційного менеджменту в енергетиці, що базується на принципі "видобув-спалив-викинув", призвела до накопичення колосальних обсягів промислових відходів (зокрема золошлакових матеріалів та мінералізованих шахтних вод). Впровадження європейського механізму трансграничного вуглецевого коригування (СВАМ) та імплементація норм вітчизняного законодавства у сфері управління відходами [1] створюють ситуацію, за якої екологічні платежі перетворюються на критичну статтю собівартості. За таких умов перехід до принципів циркулярної економіки

(Circular Economy) стає не просто імідажевою чи природоохоронною ініціативою, а фундаментальною передумовою виживання підприємств, оптимізації їх операційних витрат та забезпечення національної енергобезпеки в період повоєнного відновлення.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Теоретико-методологічне підґрунтя організаційно-економічного забезпечення енергетичної безпеки та управління підприємствами в кризових умовах закладено у працях М. Боданова [2], В. Омельченка [3], О. Цапко-Піддубної [4]. Економічні аспекти впровадження принципів циркулярної економіки як виклику сучасності ґрунтовно досліджували В. Артемов [5] та А. Холодницька [6]. Європейські практики управління відходами, їх інноваційний потенціал та інструменти імплементації у вітчизняні реалії аналізували Н. Метеленко [7] та А. Войціховська [8]. Специфіку децентралізації систем електропостачання та адаптації логістичних ланцюгів до викликів воєнного стану розкрито в роботах С. Левченка [9] і Р. Суценка [10]. Стратегічне управління технологіями декарбонізації стало предметом ґрунтовних розвідок В. Швеця [13 11] та наукового колективу під

керівництвом М. Кизима [12]. Водночас, незважаючи на значний масив наукових напрацювань, проблематика інтеграції принципів циклічної економіки безпосередньо в математичний апарат операційного менеджменту (через інструменти сітьового планування та маржинального CVP-аналізу) на рівні вітчизняних енергетичних кластерів залишається недостатньо розкритою і потребує подальшої деталізації.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ (ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ)

Метою даної статті є комплексне дослідження ефективності трансформації операційної системи енергетичних підприємств (на прикладі регіонального кластера компанії "ДТЕК") при переході від лінійної до циркулярної моделі управління. У процесі досягнення мети передбачено виконання таких завдань: 1) здійснити бенчмаркінг міжнародного досвіду управління відходами в енергетиці; 2) дослідити можливості оптимізації ланцюгів постачання екологічних матеріалів; 3) спроектувати сітьовий графік інфраструктурної екологічної модернізації із визначенням ймовірності його успішної реалізації; 4) провести економічний аналіз чутливості прибутку компанії до зміни екологічного податкового навантаження.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Процес проектування інноваційних операційних систем вітчизняних енергетичних підприємств доцільно розпочинати з аналізу передового досвіду світових лідерів. Флагманами енергетичного переходу, чиї операційні моделі вже сьогодні базуються на замкнутих циклах, виступають європейські транснаціональні корпорації Enel (Італія) та Iberdrola (Іспанія) [13]. Досвід корпорації Enel є хрестоматійним прикладом ревіталізації закритих ТЕС (проект "Futur-e"), де замість класичного демонтажу та генерації будівельного сміття промислові території трансформуються в інноваційні хаби та парки відновлюваної енергетики. Своєю чергою, операційна діяльність Iberdrola тісно пов'язана зі стратегією "Zero Waste", що реалізується через створення підприємств (на кшталт EnergyLOOP) для комерційної переробки композитних лопатей вітряків на сировину для суміжних промислових галузей [7].

Екстраполюючи цей європейський бенчмаркінг на діяльність енергетичного кластера "ДТЕК" (який об'єднує вугледобувні підприємства, теплову генерацію та енергетичну систему розподілу у Дніпровському регіоні), стає очевидним, що відходи безперервного виробництва необхідно вбудувати у нові ланцюги створення цінності [14]. Проектування циркулярного процесу управління відходами передбачає відмову від традиційного мокрого шлаковидалення на ТЕС на користь сухого відбору золошлакових матеріалів (ЗШМ). Завдяки збереженню в'язучих властивостей, суха зола стає цінною пуцолановою добавкою для виробництва цементу або міцною стабілізованою основою для будівництва регіональних автошляхів [6]. Іншим критичним вектором є імплементація концепції "Zero Liquid Discharge" (нульове скидання рідин), що передбачає глибоку демінералізацію шахтних вод Західного Донбасу методами зворотного осмосу. Очищена вода повертається в операційний цикл електростанцій для підживлення градирень, що суттєво змен-

шує утворення накипу на турбінному обладнанні та продовжує життєвий цикл основних фондів.

Поглиблення інтеграційних процесів у сфері сталого розвитку безапеляційно доводить, що впровадження засад концепції "Zero Waste" (нульового утворення відходів) не може обмежуватися виключно виробничим або генеруючим сегментом. Для операторів систем розподілу (ОСР), функціональна специфіка яких не передбачає прямого спалювання палива, екологічна трансформація неминує екстраполюється на сферу управління ланцюгами постачання та матеріально-виробничими запасами. Сучасний етап розвитку енергетичної інфраструктури диктує нові правила гри: екологічно безпечні матеріали, як-от інноваційні ізоляційні рідини чи біорозкладні трансформаторні мастила, характеризуються не лише високою ринковою вартістю, але й специфічними, часто жорсткими умовами зберігання. Відповідно, безконтрольне накопичення надлишкових резервів таких ресурсів на складських потужностях підприємства створює пряму загрозу їхньої фізико-хімічної деградації. Згодом це призводить до втрати діелектричних властивостей матеріалів, що перетворює дорогий інноваційний актив на неліквідні, а подекуди й токсичні відходи, які потребують додаткових витрат на утилізацію.

Для дієвого запобігання подібним деструктивним сценаріям та оптимізації оборотного капіталу в арсеналі операційного менеджменту компанії доцільно використовувати перевірений математичний інструментарій, зокрема модель визначення оптимального розміру замовлення (Economic Order Quantity — EOQ). Практична цінність формули Вільсона в контексті циркулярної економіки полягає в тому, що вона дозволяє знайти ідеальний баланс між двома антагоністичними групами витрат підприємства. З одного боку, розглядаються постійні транзакційні витрати, пов'язані з обслуговуванням кожного окремого замовлення. Це комплекс фінансових витрат на пошук постачальника, проведення тендерних процедур, логістичний супровід та митне оформлення. З іншого боку — змінні витрати на утримання запасів, які для специфічних екологічних матеріалів включають не лише пряму орендну плату за складські площі, але й витрати на страхування екологічних ризиків, підтримку температурних режимів, а також неявну альтернативну вартість замороженого капіталу підприємства.

Спираючись на внутрішні нормативні дані ОСР, у межах дослідження було проведено відповідне економікоматематичне моделювання. Враховуючи, що консолідовані витрати на обслуговування однієї логістичної транзакції щодо імпорту інноваційних матеріалів становлять 2800 грн, а сукупне утримання 1 т. біорозкладного мастила обходиться підприємству у 2700 грн на рік, за умови прогнозованої річної потреби у 150 т., було визначено точку математичного оптимуму. Розрахунок за класичною моделлю доводить, що раціональним та оптимальним розміром однієї партії постачання є обсяг у 18 т. [10]. Будь-які відхилення від цього показника у бік збільшення партії неминує призведуть до експоненціального зростання витрат на зберігання та підвищення ризику псування мастила до моменту його заливки в трансформатори. Водночас штучне зменшення партії спричинить непропорційне зростання транспортно-заготівельних витрат, що негативно вплине на фінансовий результат компанії.

Жорстке дотримання визначеного нормативу закупівлі є лише першим кроком на шляху до формування замкнутого, екологічно безпечного логістичного циклу. Максимальний синергетичний ефект для енергетичної компанії досягається за умови поєднання математичної оптимізації із сучасними механізмами зворотної логістики (Reverse Logistics). В умовах імплементації принципів циркулярності це означає докорінну реорганізацію алгоритмів транспортування. Вантажний автотранспорт, що здійснює доставку нових барабанів із самонесучим ізольованим проводом (СІП) або нових трансформаторів на віддалені об'єкти Дніпровського регіону, більше не повинен повертатися до логістичного хабу порожнім. Натомість його зворотні рейси жорстко регламентуються для організованого вивезення демонтованого залізобетонного бруксту, відпрацьованих ізоляторів, порожньої тари та залишків старого токсичного мастила. Такий системний підхід не тільки радикально скорочує транспортні витрати в розрахунку на одиницю вантажу, але й робить ланцюг постачання повністю "струнким", позбавленим неліквідних залишків та узгодженим із європейськими директивами щодо поводження з промисловими відходами.

Слід окремо наголосити, що системна синхронізація поточних технологічних процесів компанії із глобальними принципами сталого розвитку вимагає не лише оптимізації запасів, але й реалізації масштабних, технологічно складних інфраструктурних проєктів. Управління такими багатокомпонентними ініціативами неможливе без залучення спеціалізованих інструментів мережевого планування. Як показує передова практика операційного менеджменту, саме глибока декомпозиція складних завдань на елементарні, логічно взаємопов'язані макро-операції дозволяє нівелювати інвестиційні ризики та раціоналізувати використання обмежених ресурсів.

В якості об'єкта такого мережевого планування в межах нашого дослідження було обрано репрезентативний інфраструктурний проєкт: "Реконструкція вузлової розподільчої підстанції 35/10 кВ з інтеграцією елементів Smart Grid та встановленням трансформаторів на основі біорозкладного мастила". Вибір саме цього об'єкта не є випадковим, адже він органічно поєднує в собі два стратегічні вектори розвитку вітчизняної енергетики: тотальну цифровізацію мереж (яка є критично необхідною для забезпечення балансування системи в умовах активного розвитку розподіленої "зеленої" генерації) та екологізацію матеріальної бази (заміна застарілих нафтових мастил на безпечні природні аналоги).

Для забезпечення ефективної оптимізації часових і фінансових ресурсів, а також для упередження загрозливих касових розривів на етапі фінансування екологічної ініціативи, було застосовано інтегровану методологію CPM (Critical Path Method — метод критичного шляху) та PERT (Program Evaluation and Review Technique — метод оцінки і перегляду планів) (див. табл. 1). Вибір саме цих ймовірнісних методів зумов-

лений надзвичайно високим ступенем турбулентності зовнішнього середовища, в якому сьогодні функціонує вітчизняний бізнес. Враховуючи безпрецедентні фактори воєнного стану, постійні загрози енергетичній інфраструктурі та регулярні порушення глобальних ланцюгів постачання обладнання, використання класичних детермінованих (жорстких) моделей планування є науково та практично необґрунтованим кроком.

Саме тому, спираючись на математичний апарат методології PERT, очікуваний час виконання кожної окремої технологічної, будівельної чи логістичної роботи визначався не як статична константа, а як ймовірнісна величина. Вона розраховувалася на основі трьох ключових показників: оптимістичної оцінки (мінімально можливий час за умов ідеального перебігу подій без жодних перешкод), найбільш ймовірної оцінки (за умов нормального перебігу робочого процесу) та песимістичної оцінки. Остання обов'язково враховує можливі форс-мажорні обставини, логістичні зриви на кордоні, затримки під час повітряних тривог або тимчасові перебої у фінансуванні з боку донорських організацій. Такий стохастичний підхід дозволяє вищому керівництву ОСР не просто сформулювати жорсткий директивний графік, але й математично оцінити дисперсію та ризик зриву строків для кожного окремого етапу. В кінцевому підсумку це створює надійний, науково обґрунтований фундамент для прийняття превентивних та адаптивних управлінських рішень у процесі комплексної модернізації енергетичних мереж регіону.

На основі проведених розрахунків параметрів сітьового графіка було доведено, що критичним шляхом аналізованого проєкту (тобто тим ланцюгом взаємопов'язаних операцій, який характеризується нульовим резервом часу) виступає послідовність макро-операцій A-C-F-G-H-I. Згідно з методологією мережевого планування, саме цей шлях визначає абсолютний мінімум часу, необхідного для повної реалізації екологічної модернізації, і загальна очікувана тривалість за цим сценарієм становить 71 робочий день. Водночас, детальний аналіз розрахованих дисперсій виявив, що головним чинником операційної невизначеності та потенційним генератором зат-

Таблиця 1. Параметри сітьового графіка проєкту екологічної модернізації підстанції (метод PERT)

Код	Найменування макро-операції (роботи)	Попередні роботи	Очікуваний час (TE), дні	Дисперсія (σ^2)
A	Проектування та затвердження техніко-екологічної документації	-	15	5,44
B	Демонтаж обладнання та передача відпрацьованого мастила на утилізацію	A	8	2,78
C	Закупівля та логістика нових екологічних трансформаторів (імпорт)	A	31	18,78
D	Закупівля інтелектуальних систем обліку (Smart Grid)	A	21	7,11
E	Загальнобудівельні роботи на території підстанції	B	13	2,78
F	Встановлення нових трансформаторів на підготовлені платформи	C, E	6	0,44
G	Монтаж систем телеметрії та інтеграція Smart Grid	D, F	11	4,00
H	Пусконаладжувальні роботи та екологічний аудит	G	5	0,44
I	Введення в експлуатацію та інструктаж персоналу	H	3	0,11

римок виступає робота "С" — закупівля та логістика імпортованих екологічних трансформаторів. Цей етап демонструє безпрецедентно високу дисперсію ($\sigma^2 = 18,78$), що є цілком закономірним наслідком функціонування ланцюгів міжнародного постачання в умовах воєнного стану, ускладненої митної логістики та загальної геополітичної нестабільності.

Для об'єктивної оцінки ризиків зриву строків було застосовано математичний апарат нормального розподілу. Обчислення аргументу функції Лапласа ($Z = 0,74$) для заданого директивного терміну у 75 днів дозволило встановити, що ймовірність успішної реалізації інвестиційного проєкту без порушення дедлайнів становить 77%. У практиці сучасного операційного менеджменту такий показник вважається прийнятним, проте він залишає майже чверть ймовірності на виникнення непередбачуваних обставин. З управлінської точки зору це означає, що фокус уваги менеджменту компанії "ДТЕК" має бути сконцентрований виключно на оптимізації та хеджуванні ризиків міжнародного постачання (зокрема, через інструменти попереднього контрагування або пошук альтернативних логістичних коридорів). Натомість будь-які спроби штучно прискорити локальні загальнобудівельні роботи (як-от роботу Е), які лежать поза межами критичного шляху і мають вільний резерв часу, є економічно недоцільними. Залучення додаткових ресурсів на ці ділянки призведе до невиправданих перевитрат бюджету, але не дасть жодного математичного ефекту для скорочення кінцевого строку реалізації проєкту в цілому.

Поряд із часовою оптимізацією інфраструктурних ініціатив, невід'ємною складовою комплексної оцінки ефективності запропонованих трансформацій є ґрунтовне доведення їхньої фінансово-економічної доцільності. Будь-які заходи з декарбонізації повинні мати чітке математичне обґрунтування своєї рентабельності. З цією метою, спираючись на класичний методологічний апарат CVP-аналізу (Cost-Volume-Profit, або аналіз "витрати-обсяг-прибуток"), у межах дослідження було здійснено порівняльне багатокритеріальне моделювання фінансових результатів генеруючого підприємства.

З методологічної точки зору, для отримання максимально об'єктивних та математично обґрунтованих результатів, безпосередня оцінка фінансово-економічної доцільності здійснювалася із застосуванням інструментарію сценарного моделювання. Такий підхід дозволив розкласти потенційний розвиток генеруючого підприємства на два поляри, концептуально альтернативні стратегічні вектори, що дає змогу наочно продемонструвати ціну управлінської бездіяльності ("opportunity cost") на фоні активної екологічної модернізації.

Перший вектор, який у межах нашого дослідження формалізовано як Сценарій А (базовий, або інерційний), моделює поточний стан речей, тобто абсолютне збереження традиційної лінійної парадигми функціонування станції за принципом "видобув-спалив-захоронив". Для цього сценарію характерною та невід'ємною ознакою є збереження застарілих технологій мокрого шлаковидалення, що автоматично тягне за собою

сплату повного обсягу екологічного податку за розміщення мільйонів тонн відходів на золошлакових відвалах. З огляду на імплементацію норм європейського законодавства та посилення фіскального тиску на "брудні" виробництва, ця модель прирікає підприємство на перманентно зростаюче податкове навантаження. У довгостроковій перспективі такий інерційний сценарій веде до "вимивання" оборотних коштів та стагнації операційної системи.

На противагу цьому, другий стратегічний вектор — Сценарій Б (проєктний, або інноваційний) — передбачає докорінну реструктуризацію операційних процесів та повноцінний перехід до моделі циркулярної економіки (Circular Economy). Фундаментом цього сценарію є впровадження технології сухого відбору золи безпосередньо з електрофільтрів. З точки зору фінансового менеджменту, реалізація такого підходу генерує потужний подвійний, або синергетичний, ефект. По-перше, компанія повністю виходить з-під дії "податкового преса", уникаючи багатомільйонних екологічних штрафів та зборів за захоронення відходів. По-друге, підприємство формує абсолютно нове, незалежне від тарифів на електроенергію джерело грошових надходжень (cash flow). Це досягається за рахунок глибокого індустріального симбіозу: суха зола перестає бути відходом і набуває статусу цінної вторинної сировини (високоякісної пуцоланової добавки), яка на комерційній основі реалізується будівельним компаніям регіону для виробництва цементу та прокладання автошляхів.

Задля забезпечення бездоганної репрезентативності, математичної достовірності та максимальної зіставності порівнюваних даних, під час моделювання було застосовано класичний економічний принцип *ceteris paribus* (за інших рівних умов). Відповідно, розрахунки всіх ключових індикаторів операційного аналізу здійснювалися за умови фіксованого, стабільного умовного обсягу генерації на рівні 1000000 МВт-год. Таке методологічне обмеження дозволило нівелювати вплив сезонних чи системних коливань попиту на електроенергію і виокремити в чистому вигляді виключно той фінансовий ефект, який генерується зміною структури витрат при переході до циркулярної моделі.

Відповідні результати проведеного фінансового моделювання, які ілюструють вплив кожного зі сценаріїв на показники маржинального доходу та операційного прибутку, систематизовано та зведено у табл. 2.

Таблиця 2. Операційний (маржинальний) аналіз результативності енергетичного підприємства при переході до циркулярної моделі

Показник	Сценарій А (Лінійна модель)	Сценарій Б (Циркулярна модель)	Відхилення (+/-)
Обсяг реалізації електроенергії, тис. МВт-год	1000	1000	0
Сукупний дохід підприємства (з урахуванням продажу ЗШМ), млн грн	3000,0	3045,0	+ 45,0
Загальні змінні витрати (вкл. екологічні платежі), млн грн	2450,0	2200,0	- 250,0
Маржинальний дохід, млн грн	550,0	845,0	+ 295,0
Постійні витрати (вкл. амортизацію нових ліній), млн грн	400,0	480,0	+ 80,0
Операційний прибуток, млн грн	150,0	365,0	+ 215,0
Точка беззбитковості (поріг рентабельності), тис. МВт-год	727,2	568,0	- 159,2
Коефіцієнт запасу міцності (КЗМ), %	27,27	43,20	+ 15,93
Операційний важіль (ОВ)	3,67	2,32	- 1,35

Детальний аналіз змодельованих масивів даних, отриманих у процесі оцінки фінансово-економічної доцільності, яскраво демонструє фундаментальний економічний феномен циклічної парадигми. У практиці вітчизняного корпоративного управління історично склався певний психологічний бар'єр: традиційний енергетичний менеджмент зазвичай з пересторогою ставиться до масштабних екологічних проєктів, розглядаючи їх виключно через призму високої капіталомісткості та тривалих термінів окупності. Дійсно, на початковому етапі впровадження інноваційних технологій (як-от будівництво сучасних ліній сепарації, зневоднення та відвантаження сухої золи) підприємство неминуче стикається зі збільшенням фіксованих витрат. У нашому моделюванні це відображено як зростання постійних витрат на 80 млн грн, що генерується переважно за рахунок амортизаційних відрахувань на новозбудовані основні фонди та витрат на їх спеціалізоване технічне обслуговування.

Проте математичний апарат CVP-аналізу доводить, що це зростання повністю та з надлишком нівелюється стрімким, майже експоненціальним скороченням змінної частини собівартості. Завдяки кардинальній зміні моделі поводження з відходами підприємство легально уникає колосальних податкових санкцій, передбачених за розміщення та довгострокове захоронення небезпечних речовин на золовідвалах. У грошовому еквіваленті лише ця пряма економія на екологічних зборах склала 250 млн грн. Більше того, цей ефект не є статичним: він діє у потужній синергії з формуванням абсолютно нового джерела грошових надходжень — додатковим доходом від комерційного продажу вторинної сировини будівельному сектору. У комплексі ці чинники призвели до радикального зміщення точки беззбитковості (порогу рентабельності) вліво по графіку. Якщо в лінійній моделі компанія мусила згенерувати та реалізувати щонайменше 727 тис. МВт-год. електроенергії лише для того, щоб вийти "в нуль", то за умов циркулярної економіки цей критичний рубіж долається вже при виробітку 568 тис. МВт-год. У реаліях сучасного енергетичного ринку таке зниження критичного обсягу майже на 22% є колосальною конкурентною перевагою, що гарантує фінансове виживання станції навіть у періоди сезонного падіння попиту на базову генерацію. У контексті дослідження операційного ризику особливої, прискіпливої уваги заслуговує специфічна динаміка операційного важеля (Operating Leverage). Згідно з класичною економічною теорією, нарощування постійних витрат (яке ми спостерігаємо через капітальні інвестиції в еко-обладнання) неминуче має призводити до посилення дії операційного важеля, роблячи компанію більш ризиковою. Однак у нашому випадку спрацює парадоксальний компенсаторний механізм: завдяки випереджальному, стрибкоподібному зростанню маржинального доходу (спровокованому одночасним падінням змінних витрат і появою побічної виручки), сила операційного важеля не лише не зросла, а навпаки - математично знизилася з 3,67 до 2,32.

З позицій стратегічного ризик-менеджменту такий індикатор є надзвичайно позитивним сигналом. Зниження сили важеля вказує на те, що кінцевий фінансовий результат (чистий операційний прибуток) компанії стає значно менш чутливим та вразливим до системних коли-

вань обсягів виробництва. Для вітчизняних підприємств теплової генерації, і зокрема для активів компанії "ДТЕК", функціонування яких сьогодні критично ускладнене регулярними інфраструктурними руйнуваннями, непередбачуваними диспетчерськими обмеженнями в енергомережі та ризиками блекаутів, формування низького операційного важеля виступає не просто бажаним показником, а жорсткою стратегічною необхідністю [4]. Це дозволяє компанії зберігати прибутковість навіть тоді, коли енергоблоки змушені працювати на зниженій потужності.

Для поглиблення дослідження та верифікації отриманих результатів в умовах довгострокової перспективи було проведено багатокритеріальний аналіз чутливості прибутку до зміни вартості квот на викиди CO₂. Цей аспект є критично важливим з огляду на невідворотну євроінтеграцію України та потенційне приєднання вітчизняного енергетичного ринку до європейської системи торгівлі викидами (EU ETS), де ціна на вуглець перманентно зростає. Аналітичне моделювання встановило, що в умовах збереження лінійної (традиційної) моделі виробництва, гіпотетичне зростання екологічного податкового навантаження хоча б на 50% здатне призвести до катастрофічної руйнації операційного прибутку вугільної генерації — розрахункове падіння становить понад 10%, що фактично ставить підприємство на межу банкрутства у середньостроковій перспективі.

Натомість глибока комерційна переробка відходів, імplementована в межах циркулярної моделі, формує для енергокомпанії своєрідний, вкрай надійний фінансовий "імунітет". Диверсифікація діяльності та перетворення відходів на ліквідний товар дозволяють ефективно хеджувати екологічні ризики: фінансові втрати від неминучого подорожчання вуглецевих квот повністю або частково компенсуються за рахунок розширення ринків збуту будівельної сировини та отримання валютної виручки від суміжних індустрій.

Втім, фокусування виключно на мікроекономічних показниках підприємства звузило б розуміння справжнього масштабу аналізованих трансформацій. Окрім суто економічних корпоративних дивідендів, послідовне впровадження моделі "Zero Waste" генерує потужний, глибоко інтегрований соціально-екологічний мультиплікатор просторового розвитку, значення якого для старопромислового індустріального Дніпровського регіону важко переоцінити. Десятиліття екстенсивного видобутку та спалювання вугілля залишили по собі важкий екологічний спадок. Відповідно, повна відмова від варварського скидання висококонцентрованих шахтних вод у відкриті водойми та поступове зменшення велетенських площ діючих золовідвалів виступають головним запобіжником проти незворотної деградації прісноводних екосистем басейну річки Дніпро.

Цей макроекологічний ефект має абсолютно пряму, вимірювану соціальну проєкцію у сфері громадського здоров'я. Радикальне покращення якості атмосферного повітря (через ліквідацію пиління сухих золовідвалів) прямо пропорційно знижує загальний рівень респіраторної, алергічної та онкологічної захворюваності серед населення щільно забудованих промислових агломерацій. З макроекономічної точки зору це суттєво зменшує фінансове навантаження на регіональну медичну інфраструктуру та мінімізує втрати регіонального ВВП через дні тимчасової непрацездатності робітників.

Більше того, розбудова повноцінного індустріального симбіозу, де генерація виступає постачальником, а будівельна сфера — реципієнтом, докорінно перетворює небезпечні енергетичні відходи на високоякісну та критично здешевлену сировинну базу. За оцінками фахівців, використання стабілізованих золошлаків замість традиційного природного щебеню та клінкеру дозволяє досягти до 40% прямої економії на компонентах [10–12]. У контексті стратегічних планів держави це відкриває колосальні перспективи для забезпечення вітчизняними матеріалами масштабних національних проєктів повоєнної відбудови критичної інфраструктури, і насамперед — швидкісного дорожнього будівництва.

Нарешті, не варто відкидати і соціально-трудоий вимір цієї трансформації. Перехід до циркулярної парадигми вимагає проєктування, зведення та подальшого обслуговування високотехнологічних переробних комплексів, ліній зворотного осмосу та систем сухої сепарації. Це об'єктивно стимулює створення на базі підприємств "ДТЕК" пулу нових, високооплачуваних робочих місць принципово іншого гатунку (так званих "green-collar jobs" — "зелених комірців"). У перспективі неминучого скорочення вуглевидобутку саме ці нові робочі місця здатні абсорбувати вивільнену робочу силу, забезпечуючи тим самим плавний, безконфліктний та соціально справедливий процес трансформації традиційних вугільних регіонів України.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Узагальнюючи результати проведеного багатоаспектного дослідження, можна обґрунтовано констатувати, що парадигма екологізації операційної діяльності вітчизняних підприємств енергетичного сектору зазнала докорінної трансформації. Сьогодні впровадження "зелених" ініціатив остаточно вийшло за вузькі межі суто корпоративної соціальної відповідальності (CSR) чи формального природоохоронного комплаєнсу. В умовах невідворотної євроінтеграції України та наближення до повноцінного запуску механізму транскордонного вуглецевого коригування (СВАМ), збереження традиційної лінійної економіки перетворилося на екзистенційну загрозу для бізнесу. Лінійна модель, з її екстенсивним споживанням ресурсів та критичним, перманентно зростаючим тягарем екологічних платежів за викиди й утилізацію відходів, гарантовано веде генеруючі компанії до глибокої фінансової деградації та втрати конкурентоспроможності на об'єднаному європейському ринку.

Застосований у межах наукової розвідки комплексний математичний інструментарій операційного менеджменту емпірично підтверджує безальтернативність нового курсу. Зокрема, використання оптимізаційних моделей управління матеріально-виробничими запасами (формалізація за EOQ) дозволяє компаніям усунути проблему накопичення дороговартісних неліквідів та деградації інноваційних матеріалів на складах. Своєю чергою, впровадження ймовірнісних методів мережевого планування (СРМ/PERT) довело свою високу ефективність як інструмент жорсткого управління ризиками

при реалізації складних інфраструктурних проєктів (наприклад, інтеграції елементів Smart Grid) в умовах логістичної невизначеності та воєнного стану.

Проте найбільш показовими є результати маржинального CVP-аналізу, які доводять, що інтеграція принципів Circular Economy (циркулярної економіки) здатна докорінно змінити саму природу та структуру витрат енергетичного підприємства. Математично підтверджено економічний феномен, за якого традиційно збиткові екологічні центри (золовідвали, системи скидання шахтних вод) за рахунок глибокої переробки перетворюються на потужні центри генерації стабільного прибутку.

Комплексна раціоналізація ланцюгів постачання, запровадження механізмів зворотної логістики та розбудова повноцінного міжгалузевого індустріального симбіозу (де відходи генерації стають цінною сировиною для будівельного сектору регіону) дозволяють компаніям досягти видатних фінансових результатів. Як показало моделювання, такий підхід суттєво знижує поріг рентабельності, дозволяючи підприємству долати точку беззбитковості на значно менших обсягах виробітку. Водночас формується безпрецедентний запас фінансової міцності (на рівні понад 43%), що нівелює силу операційного важеля та робить компанію максимально стійкою до системних ринкових шоків, раптових падінь попиту чи диспетчерських обмежень.

З огляду на зазначене, циклічна економіка виступає як фундаментальний організаційно-економічний базис для управління енергетичною безпекою підприємств, забезпечуючи їх виживання та розвиток у надзвичайно складний період післявоєнного відновлення національного господарства за принципом "Build Back Better" (відбудувати краще, ніж було).

Подальшого дослідження потребує розробка гнучких, адаптивних механізмів повної інтеграції вітчизняних енергетичних кластерів у європейську систему торгівлі квотами на викиди парникових газів (EU ETS), моделювання циркулярних процесів з урахуванням стрімкого розвитку розподіленої генерації, мікромереж (microgrids) та зростаючої ролі активних споживачів (просьюмерів), що вимагатиме створення нових цифрових платформ для децентралізованого управління енергетичними та ресурсними потоками.

Література:

1. Про управління відходами: Закон України від 20.06.2022 р. № 2320-ІХ. Відомості Верховної Ради України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text> (дата звернення: 28.03.2026).
2. Буданов М. Теоретичне підґрунтя організаційно-економічного забезпечення управління енергетичною безпекою підприємств. Development Service Industry Management. 2023. № 3. С. 218—225. DOI: [https://doi.org/10.31891/dsim-2023-3\(33\)](https://doi.org/10.31891/dsim-2023-3(33)).
3. Омельченко В., Чекунова С., Білявський М. [та ін.]. Декарбонізація української енергетики (економіка): вплив російської агресії, амбітні цілі та потенційні можливості для України в післявоєнні роки. Київ: Центр Разумкова, 2022. 186 с.
4. Цапко-Піддубна О. Енергетичний перехід в часи геополітичної нестабільності. Економіка та суспільство.

2022. № 43. С. 69—75. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-43-34>

5. Артемов В., Бахчеван Е., Бочко О. Циркулярна економіка — виклик сучасності. Економіка та суспільство. 2023. № 58. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-58-17>.

6. Холодницька А., Кичко І., Дерій Ж. Впровадження принципів циркулярної економіки в контексті розвитку України на засадах сталості. Problems and Prospects of Economics and Management. 2024. № 3 (39). С. 29—38. DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5215-2024-3\(39\)-29-38](https://doi.org/10.25140/2411-5215-2024-3(39)-29-38)

7. Метеленко Н., Воронкова В., Оглобліна В., Андриякайтене Р. Європейські практики управління відходами: інновації та сталий розвиток. Філософія економіки та управління. 2025. № 25 (102). DOI: <https://doi.org/10.32782/hst-2025-25-102-25>.

8. Войціховська А., Кравченко О., Мелень-Забрамна О., Панькевич М. Кращі європейські практики управління відходами: посібник / за заг. ред. О. Кравченко. Львів, 2019. 64 с.

9. Левченко С.А. Децентралізація системи електропостачання та її вплив на економічну безпеку енергетичних компаній. Сталый розвиток економіки. 2023. № 1 (46). DOI: <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2023-46-11>.

10. Сущенко Р., Ільченко Н. Адаптація ланцюгів постачання до викликів воєнного стану. Commodities and Markets. 2023. Vol. 45, No. 1. С. 4—16. DOI: [https://doi.org/10.31617/2.2023\(45\)01](https://doi.org/10.31617/2.2023(45)01)

11. Швець В., Харін С., Папіж Ю. Стратегічне управління технологіями декарбонізації: міжнародна економічна інтеграція та інноваційний розвиток. Економіка та суспільство. 2025. № 76. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-76-35>.

12. Теоретико-прикладні аспекти декарбонізації та розвитку розподіленої електроенергетики України: монографія / за ред. М.О. Кизима. Харків: ФОП Лібуркіна Л.М., 2020. 344 с.

13. Circular economy strategies and roadmaps in Europe: identifying synergies and potential for cooperation and alliance building. European Circular Economy Stakeholder Platform: website. URL: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/knowledge/circular-economy-strategies-and-roadmaps-europe-identifying-synergies-and-potential-cooperation-and-alliance-building> (дата звернення: 28.03.2026).

14. Офіційний сайт ДТЕК: вебсайт. URL: <https://dtek.com> (дата звернення: 28.03.2026).

References:

1. Verkhovna Rada of Ukraine (2022), Law of Ukraine "On waste management", Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy, available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text>, (Accessed 28 March 2026).

2. Budanov, M. (2023), "Theoretical basis of organizational and economic support for managing the energy security of enterprises", Development Service Industry Management, vol. 3, available at: <https://dsim.khmn.edu.ua/index.php/dsim/article/view/267/271> (Accessed 29 March 2026).

3. Omelchenko, V., Chekunova, S. and Biliavskiy, M. (2022), Dekarbonizatsiia ukrainskoi enerhetyky (ekonomika): vplyv rosiiskoi ahresii, ambitni tsili ta potentsiini mozhlyvosti dlia Ukrainy v pislavoienni roky [Decarbonization of Ukrainian energy (economy): the impact of Russian aggression, ambitious goals and potential opportunities for Ukraine in the post-war years], Razumkov centre, Kyiv, Ukraine.

4. Tsapko-Piddubna, O. (2022), "Energy transition in times of geopolitical instability", Ekonomika ta suspilstvo, vol. 43. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-43-34>.

5. Artemov, V. Bakhchevan, E. and Bochko, O. (2023), "Circular economy — a challenge of modernity", Ekonomika ta suspilstvo, vol. 58. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-58-17>.

6. Kholodnytska, A. Kychko, I. and Derii, Zh. (2024), "Implementation of the principles of circular economy in the context of Ukraine's development on the basis of sustainability", Problems and Prospects of Economics and Management, vol. 3 (39). [https://doi.org/10.25140/2411-5215-2024-3\(39\)-29-38](https://doi.org/10.25140/2411-5215-2024-3(39)-29-38).

7. Metelenko, N., Voronkova, V., Ohloblina, V. and Andriukaitiene, R. (2025), "European waste management practices: innovations and sustainable development", Filosofiia ekonomiky ta upravlinnia, vol. 25 (102). <https://doi.org/10.32782/hst-2025-25-102-25>.

8. Voitsikhovska, A., Kravchenko, O., Melen-Zabramna, O. and Pankevych, M. (2019), Krashchi yevropeiski praktyky upravlinnia vidkhodamy [Best European waste management practices], Lviv, Ukraine.

9. Levchenko, S.A. (2023), "Decentralization of the electricity supply system and its impact on the economic security of energy companies", Stalyi rozvytok ekonomiky, vol. 1 (46). <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2023-46-11>.

10. Sushchenko, R. and Ilchenko, N. (2023), "Adaptation of supply chains to the challenges of martial law", Commodities and Markets, vol. 45, vol. 1. [https://doi.org/10.31617/2.2023\(45\)01](https://doi.org/10.31617/2.2023(45)01).

11. Shvets, V., Kharin, S. and Papizh, Yu. (2025), "Strategic management of decarbonization technologies: international economic integration and innovative development", Ekonomika ta suspilstvo, vol. 76. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-76-35>.

12. Kyzym, M.O. (Ed.) (2020), Teoretyko-prykladni aspekty dekarbonizatsii ta rozvytku rozpodilenoї elektroenerhetyky Ukrainy [Theoretical and applied aspects of decarbonization and development of distributed electricity generation in Ukraine], FOP Liburkina L.M., Kharkiv, Ukraine.

13. European Circular Economy Stakeholder Platform (2024), "Circular economy strategies and roadmaps in Europe: identifying synergies and potential for cooperation and alliance building", available at: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/knowledge/circular-economy-strategies-and-roadmaps-europe-identifying-synergies-and-potential-cooperation-and-alliance-building>, (Accessed 28 March 2026).

14. DTEK (2026), "DTEK official website", available at: <https://dtek.com>, (Accessed 28 March 2026).

Отримано редакцією журналу / Received: 04.04.26

Професійно рецензовано / Revised: 14.04.26

Схвалено до друку / Accepted: 21.04.26