УДК 658.155:502.131.1
JEL D24, M41, Q53, Q56
DOI https://doi.org/10.32782/2786-765X/2026-15-4

Вініченко І.І.
доктор економічних наук, професор,
професор кафедри економіки,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9527-1625
Павленко О.С.
кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри економіки,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3557-3338
Сипченко Д.С.
здобувач другого рівня вищої освіти,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-0807-7376

АНАЛІЗ БЕЗЗБИТКОВОСТІ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЕКОНОМІЧНОЇ ОЦІНКИ ПЕРЕХОДУ ПІДПРИЄМСТВА ДО ЗАМКНЕНОГО ВИРОБНИЧО-ПЕРЕРОБНОГО ЦИКЛУ В КОНТЕКСТІ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ

Метою статті є обґрунтування можливості використання аналізу беззбитковості для економічної оцінки переходу підприємства від лінійної моделі виробництва до замкненого виробничо-переробного циклу. Застосовано аналіз і синтез, балансовий метод, математичне моделювання на основі CVP-аналізу та сценарний аналіз на модельному прикладі. Приріст питомого маржинального доходу формалізовано як $\Delta m = e_c + e_в + d - c_п$ і пов'язано з матеріальним балансом відходів. Класичну формулу точки беззбитковості адаптовано до вигляду $Q_{бз.зц} = (FC + \Delta FC) / [P + d - (AVC - e_c - e_в + c_п)]$, а для вибору між технологіями використано точку байдужості $Q^* = \Delta FC / (МД_{зц} - МД)$. Як аналітичні наслідки моделі показано, що точка беззбитковості знижується тоді й лише тоді, коли $\Delta FC/FC < \Delta m/МД$, і що за $МД > 0$, $\Delta m > 0$ і $\Delta FC > 0$ точка беззбитковості замкненої моделі є зваженим середнім Q^* і точки беззбитковості лінійної моделі, тобто лежить між ними. Показано, що за однакової граничної похибки складових і несприятливого напряму всіх відхилень відносна похибка Δm може до $к = 1 + 2c_п/\Delta m$ разів перевищувати похибку складових (верхня оцінка). Як прикладне застосування моделі сформульовано послідовність критеріїв доцільності переходу, проілюстровану модельним прикладом; публічні дані агропромислових компаній України наведено як описові приклади, а не як емпіричну апробацію. Модель статична, не враховує фінансових витрат і передує інвестиційному аналізу, а не замінює його.

Ключові слова: аналіз беззбитковості, CVP-аналіз, замкнений виробничо-переробний цикл, циркулярна економіка, маржинальний дохід, точка байдужості, побічна продукція.

Постановка проблеми. Замкнений виробничо-переробний цикл є проявом циркулярної економіки на рівні підприємства. Стандарт ISO 59004:2024 визначає циркулярну економіку як економічну систему, що застосовує системний підхід для підтримання циркулярного потоку ресурсів [1]; серед її стратегій Н. Бокен із співавторами розрізняють сповільнення, звуження та замикання ресурсних петель [2]. Предметом статті є замикання петлі в межах підприємства: власні технологічні відходи повертаються у виробництво або реалізуються як побічна продукція, а не передаються на вивезення чи подальше розміщення.

Перехід до замкненого циклу зменшує закупівлю первинної сировини і платежі за поводження з відходами, інколи створює ринковий продукт, але породжує витрати на сортування, перероблення й контроль якості, а також на обладнання й персонал, які в короткому періоді від обсягу випуску не залежать. Економія накопичується пропорційно обсягу, тоді як додаткові витрати значною мірою постійні. Тому однакове технічне рішення може бути вигідним для підприємства з великим і стабільним випуском і збитковим для того, яке працює близько до межі беззбитковості.

Індикатори циркулярності цієї залежності від обсягу не відображають, а методи NPV та IRR потребують прогнозу грошових потоків, якого на етапі попереднього відбору варіантів зазвичай немає. Для агропромислових

© Вініченко І.І., Павленко О.С., Сипченко Д.С., 2026
Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

підприємств із масовими потоками посліду, гною, бурякового жому й лушпиння це практична прогалина: у відкритих повідомленнях про проєкти замикання циклу ефект подається через потужність, інвестиції чи IRR [3; 4], а не через обсяг виробництва, за якого перехід себе виправдовує. Аналіз беззбитковості (cost-volume-profit, CVP) явно пов'язує обсяг, структуру витрат і прибуток, але в класичному вигляді не виокремлює ні доходу від побічної продукції, ні економії на поводженні з відходами, ні витрат на перероблення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дж. Кірхгерр із співавторами, проаналізувавши 114 визначень циркулярної економіки, показали, що її найчастіше зводять до скорочення, повторного використання та рециклінгу, а головною метою називають економічне процвітання [5]. М. Ліндер і М. Віллі-андер показали, що циркулярні бізнес-моделі ускладнюють попереднє зниження невизначеності, а варіанти з більшими капітальними вкладеннями збільшують можливі втрати [6]; кількісних порогів, за яких ризик виправданий, ці якісні дослідження не визначають.

Теорія замкнених ланцюгів постачання вивчає прибуткове відновлення цінності повернених продуктів [7]. Г. Йодльбауер із співавторами показали, що для учасників ланцюга, розташованих вище за ланку, яка замикає петлю, повторне використання матеріалу має негативний фінансовий наслідок [8].

Обліковим інструментом промислової екології є облік витрат матеріальних потоків (MFCA) за ISO 14051, що виокремлює кількість і вартість матеріальних втрат [9]. К. Крайст і Р. Баррітт фіксують незрозумілий зв'язок MFCA з іншими інструментами управлінського обліку [10]. Метрики циркулярності [11] та індикатори для аграрного сектору [12] є натуральними або індексними.

Емпіричні результати є різноспрямованими. На панелі публічних компаній стратегії перероблення та скорочення відходів пов'язані з вищою економічною віддачею [13]; у моделі ендогенного зростання за сильного ресурсозберігаючого ефекту інновацій вища частка відновлення дає чисті економічні втрати [14]; біогазова установка словацької ферми за десять років експлуатації була прибутковою лише чотири роки [15]. Класичну CVP-модель і вибір між альтернативними структурами витрат описано в [16], її версію для умов невизначеності – в [17]; змінні витрати й доходи там трактуються агреговано, без виокремлення матеріальних потоків.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Невирішеним лишається питання простої моделі рівня підприємства, яка переводила б дані про матеріальні потоки в показники беззбитковості та дозволяла порівнювати лінійний і замкнений варіанти за обсягом виробництва; відмінність запропонованого підходу від найближчих методичних напрямів узагальнено в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння підходів до економічної оцінки замикання виробничих циклів

Підхід	Джерела	Що враховує	Чого бракує для оцінки переходу на рівні підприємства
Класичний CVP-аналіз	[16]	Залежність прибутку від обсягу, поділ витрат на постійні й змінні, порівняння альтернативних структур витрат	Складових замикання циклу (e_c, $e_в$, d, $c_п$) і зв'язку з матеріальним балансом відходів
CVP-аналіз за невизначеності	[17]	Нечіткість чи випадковість параметрів CVP-моделі	Тих самих складових, що й класичному CVP-аналізу
Облік витрат матеріальних потоків (MFCA)	[9; 10]	Фізичні потоки, вартість матеріальних втрат, витрати на поводження з відходами	Зв'язку з обсягом виробництва, витрат на перероблення, порогових значень для рішення
Моделі замкнених ланцюгів постачання	[7; 8]	Витрати й доходи від повторного використання і відновлення, розподіл ефектів у ланцюзі	Орієнтовані на ланцюг або повернення продукції від споживача, а не на власні відходи підприємства; не визначають точку байдужості за обсягом
Метрики й індикатори циркулярності	[11; 12]	Ступінь замикання потоків і утримання цінності матеріалів	Функції витрат і прибутку підприємства
Техніко-економічні оцінки проєктів (NPV, окупність)	[15]	Грошові потоки й ефективність конкретних установок	Простого порогового критерію для попереднього відбору; потребують детального прогнозу
Запропонований підхід	–	e_c, $e_в$, d, $c_п$ і ΔFC у CVP-моделі; балансова умова; точка байдужості Q* і критерії доцільності	Обмеження наведено в розділі 6

Джерело: узагальнено авторами

Мета статті. Мета статті полягає в обґрунтуванні можливості використання аналізу беззбитковості для попередньої економічної оцінки переходу підприємства до замкненого виробничого циклу та розробці адаптованої моделі визначення точки беззбитковості й точки байдужості між лінійною та замкненою технологіями.

Об'єкт дослідження – це процес переходу підприємства від лінійної моделі виробництва до замкненого виробничого циклу. Предмет дослідження відображено в методичних засадах оцінювання впливу замикання циклу на структуру витрат, маржинальний дохід, точку беззбитковості та вибір технології за обсягом виробництва.

Завдання: визначити вплив замикання циклу на постійні та змінні витрати і маржинальний дохід; адаптувати модель беззбитковості та встановити умови її застосування; обґрунтувати точку байдужості й критерії доцільності переходу; проілюструвати їх на модельному прикладі та визначити обмеження підходу.

Матеріали та методи дослідження. Дослідження має теоретико-методичний характер: його результатом є аналітична модель, а не статистична оцінка на вибірці підприємств, тому дані Держстату та регресійні методи не залучалися. Результати мають два рівні: аналітичні і модельна ілюстрація на умовних даних; публічні дані компаній є описовими прикладами, а не емпіричною перевіркою моделі. Інформаційну базу становлять публікації з циркулярної економіки, обліку матеріальних потоків і управлінського обліку з журналів, індексованих у Scopus і Web of Science; стандарти ISO 59004:2024 та ISO 14051:2011 [1; 9]; нормативні акти [18; 19]; публічні дані агропромислових компаній; умовні дані модельного прикладу.

Застосовано аналіз і синтез статей витрат і доходів, балансовий метод, математичне моделювання на основі CVP-аналізу [16], сценарний аналіз і аналіз чутливості, а також порівняння з дисконтною оцінкою (NPV, IRR) на тих самих даних.

Виклад основних результатів дослідження. *Параметри замкненого циклу та зміна структури витрат.* На рівні підприємства замкнений виробничий цикл – це організація виробництва, за якої частина технологічних відходів повертається у власний процес як вхідний ресурс або реалізується як побічна продукція. На відміну від зовнішнього рециклінгу, всі витрати й ефекти перероблення тут відображаються у фінансових результатах самого виробника. Щоб параметри моделі можна було визначити з даних обліку, їх прив'язано до матеріального балансу. Нехай w – обсяг відходів на одиницю основної продукції, $\beta_{вн}$ і $\beta_{зовн}$ – частки відходів, спрямовані на внутрішнє використання та на реалізацію, $\beta_{вн} + \beta_{зовн} \le 1$.

Тоді:

$$e_c = \beta_{вн} \cdot w \cdot k \cdot p_c;\ e_в = \beta \cdot w \cdot c_в;$$
$$d = \beta_{зовн} \cdot w \cdot k_б \cdot p_б;\ c_п = \beta \cdot w \cdot c_{пер} \quad (1)$$

де k – коефіцієнт заміщення первинної сировини вторинною; p_c – ціна первинної сировини; $c_в$ – витрати на поводження з 1 кг відходів; $k_б$ і $p_б$ – вихід товарної побічної продукції з 1 кг відходів і її ціна за вирахуванням збутових витрат; $c_{пер}$ – змінні витрати на перероблення 1 кг відходів. Балансова умова унеможливлює подвійний рахунок, коли той самий потік вважають і джерелом економії, і джерелом доходу.

Дані для w, β та $c_в$ дає облік витрат матеріальних потоків за ISO 14051 [9]. Далі розрізняються два канали замикання: внутрішнє використання відходів ($\beta_{вн}$, ефект e_c), яке заміщує купівлю сировини і не потребує ринку збуту, та реалізація побічної продукції ($\beta_{зовн}$, ефект d), яка залежить від попиту, ціни та правового статусу потоку.

Перехід змінює структуру витрат: питомі змінні витрати зменшуються на e_c та $e_в$ і зростають на $c_п$, з'являється дохід d, а амортизація й утримання обладнання, персонал дільниці перероблення, контроль якості та сертифікація побічної продукції утворюють приріст постійних витрат ΔFC. Змішані витрати розкладають на постійну і змінну складові; якщо вивезення відходів оплачувалося фіксованою сумою, економія зменшує ΔFC, а не входить до $e_в$. Фінансові витрати до ΔFC не включаються: технологічне рішення має отримувати однакову оцінку незалежно від способу фінансування. Приріст питомого маржинального доходу становить:

$$\Delta m = e_c + e_в + d - c_п \quad (2)$$

Для випадку лише внутрішнього використання $\Delta m = \beta w \cdot (k \cdot p_c + c_в - c_{пер})$, тож $\Delta m > 0$ тоді й лише тоді, коли $k \cdot p_c + c_в > c_{пер}$. Рециркуляція дешевої сировини з дорогим перероблення знижує маржинальний дохід навіть за високого рівня циркулярності. Δm є приростом маржинального доходу на одиницю продукції, а не прибутку: зміна операційного прибутку дорівнює $\Delta m \cdot Q - \Delta FC$ і залежить від обсягу.

Адаптована модель беззбитковості. У класичній CVP-моделі точка беззбитковості в натуральному вираженні визначається як [16]:

$$Q_{бз} = \frac{FC}{P - AVC} \quad (3)$$

де FC – постійні витрати за період; P – ціна одиниці продукції; AVC – питомі змінні витрати; $МД = P - AVC$ – питомий маржинальний дохід.

Ризик варіанта характеризують запас фінансової міцності $ЗФМ = (Q - Q_{бз})/Q$ і сила операційного важеля $DOL = МД \cdot Q/\pi$, де π – операційний прибуток [16]; оскільки $\pi = МД \cdot (Q - Q_{бз})$, $DOL = Q/(Q - Q_{бз}) = 1/ЗФМ$, тобто за заданого обсягу сила операційного важеля змінюється в тому самому напрямі, що й точка беззбитковості. Не змінюючи логіки моделі, розкладемо на складові ті її елементи, які змінює замикання циклу:

$$Q_{бз.зц} = \frac{FC + \Delta FC}{P + d - \left(AVC - e_c - e_в + c_п\right)} \quad (4)$$

Знаменник формули є питомим маржинальним доходом замкненої моделі; з урахуванням формули (2) її зручно записати в приростній формі:

$$МД_{зц} = МД + \Delta m; Q_{бз.зц} = \frac{FC + \Delta FC}{МД + \Delta m} \quad (5)$$

Звідси точка беззбитковості знижується ($Q_{бз.зц} < Q_{бз}$) тоді й лише тоді, коли

$$\frac{\Delta FC}{FC} < \frac{\Delta m}{МД} \quad (6)$$

тобто коли відносний приріст постійних витрат менший за відносний приріст питомого маржинального доходу. Ця перевірка не потребує знання обсягу виробництва. Формула (4) застосовна за таких умов: $МД_{зц} > 0$; економію відносять до тієї групи витрат, у якій стаття обліковувалася в лінійній моделі; дотримано балансової умови; обсяг відходів не перевищує потужності дільниці перероблення, а обсяг побічної продукції – попиту на неї; $d > 0$ лише для потоків, які за законодавством можна реалізувати як продукцію, а не як відходи [18; 19].

Точка байдужості та критерії доцільності переходу. Точка беззбитковості характеризує самоокупність кожної моделі окремо, але не вибір між ними. Прирівнявши операційні прибутки $\pi_л = МД \cdot Q - FC$ і $\pi_{зц} = МД_{зц} \cdot Q - (FC + \Delta FC)$, отримуємо точку байдужості:

$$Q^* = \frac{\Delta FC}{МД_{зц} - МД} = \frac{\Delta FC}{\Delta m}, \quad \text{за умови } МД_{зц} > МД \quad (7)$$

Різниця прибутків за довільного обсягу дорівнює $\Delta\pi(Q) = \Delta m \cdot (Q - Q^*)$: до Q^* вигідніша лінійна модель, після неї – замкнена. Точка байдужості не є точкою беззбитковості: у ній прибутки обох моделей рівні, але можуть бути як додатними, так і від'ємними.

Нехай обидва варіанти порівнюються на однаковій базі (ті самі P, AVC, FC, період і одиниця основної продукції) і виконуються умови $МД > 0$, $\Delta m > 0$, $FC > 0$, $\Delta FC > 0$. Тоді точка беззбитковості замкненої моделі є зваженим середнім $Qбз$ і Q^*:

$$Q_{бз.зц} = \frac{МД \cdot Q_{бз} + \Delta m \cdot Q^*}{МД + \Delta m} \quad (8)$$

За означеннями $FC = МД \cdot Qбз$ і $\Delta FC = \Delta m \cdot Q^*$; підставивши ці рівності в чисельник формули (5), отримуємо (8). Обидві ваги, $МД$ і Δm, додатні, тому $Q_{бз.зц}$ лежить між $Q_{бз}$ і Q^*: строго між ними, якщо $Q_{бз} \neq Q^*$, і збігається з обома, якщо $Q_{бз} = Q^*$.

Умова $\Delta m > 0$ суттєва: якщо $\Delta m < 0$, але $МД_{зц} > 0$, вага Δm від'ємна, і $Q_{бз.зц}$ лежить поза відрізком між $Q_{бз}$ і Q^*. За виконання умов твердження можливі лише два впорядкування: $Q^* < Q_{бз.зц} < Q_{бз}$, коли замкнена модель вигідніша в усьому прибутковому діапазоні й раніше стає беззбитковою, або $Q_{бз} < Q_{бз.зц} < Q^*$, коли перехід підвищує ризик збитку за падіння попиту. Для планового обсягу $Q_{пл}$ з рівності прибутків випливають пороги $\Delta m(\min) = \Delta FC/Q_{пл}$ і $\Delta FC(\max) = \Delta m \cdot Q_{пл}$; другий задає стелю річних постійних витрат дільниці перероблення під час вибору обладнання.

Перехід пропонується вважати операційно доцільним, якщо послідовно виконуються такі умови (перевірка припиняється на першій невиконаній):

1) позитивний питомий ефект: $\Delta m > 0$;

2) перевага за планового обсягу: $Q_{пл} > Q^*$, а з урахуванням невизначеності попиту – $Q_{пл} \cdot (1 - \sigma) > Q^*$, де σ – очікуване відносне зниження обсягу в несприятливому сценарії;

3) незростання точки беззбитковості: $\Delta FC/FC < \Delta m/МД$; ця умова означає лише меншу чутливість прибутку до падіння обсягу, а не зниження всіх ризиків; якщо вона не виконується при виконаній другій, перехід обмінює вищий очікуваний прибуток на вищу точку беззбитковості, і для рішення порівнюють запас фінансової міцності та силу операційного важеля обох варіантів;

4) реалізовуваність: дотримання балансових, потужнісних, ринкових і правових обмежень;

5) інвестиційна ефективність: позитивна чиста приведена вартість приростних

грошових потоків з урахуванням структури фінансування; ця умова перевіряється поза межами аналізу беззбитковості.

Модельний приклад. Для ілюстрації використано умовні дані, які не описують жодного реального підприємства. Порівнюються лінійна модель і два сценарії замикання циклу; сценарій Б відрізняється від А нижчим доходом від побічної продукції та вдвічі більшим приростом постійних витрат. Плановий обсяг – 15 000 од. на рік (табл. 2, рис. 1).

У сценарії А відносний приріст постійних витрат (15%) менший за відносний приріст маржинального доходу (20%), тому. точка беззбитковості знижується з 10000 до 9583 од. (на 4,2%), а точка байдужості лежить нижче за обидві точки беззбитковості (7 500 < 9 583 < 10 000 од.). За планового обсягу замкнена модель дає додатково 450 тис. грн. прибутку, а сила операційного важеля знижується з 3,00 до 2,77. У сценарії Б питомий ефект залишається позитивним (Δm = 40 грн./д.), але точки розташовані у зворотному порядку (10000 < 11471 < 22500 од.), і точка байдужості в 1,5 раза перевищує плановий обсяг: прибуток зменшується на 300 тис. грн., точка

Таблиця 2

Вихідні параметри та результати розрахунку (модельний приклад)

Показник	Лінійна модель	Замкнений цикл, сценарій А	Замкнений цикл, сценарій Б
Вихідні параметри			
Ціна P, грн/од.	1000	1000	1000
Змінні витрати AVC, грн/од.	700	700	700
Економія сировини e_c, грн/од.	–	60	60
Економія на поводженні з відходами $e_в$, грн/од.	–	15	15
Дохід від побічної продукції d, грн/од.	–	25	5
Витрати на перероблення $c_п$, грн/од.	–	40	40
Постійні витрати лінійної технології FC, тис. грн/рік	3000	3000	3000
Приріст постійних витрат ΔFC, тис. грн/рік	–	450	900
Розраховані показники (за $Q_{пл}$ = 15 000 од./рік)			
Питомий маржинальний дохід $МД$, грн./од.	300	360	340
Приріст маржинального доходу Δm, грн/од.	–	60	40
Точка беззбитковості, од./рік	10000	9583	11471
Точка байдужості Q^*, од./рік	–	7500	22500
Операційний прибуток за $Q_{пл}$, тис. грн.	1500	1950	1200
Запас фінансової міцності за $Q_{пл}$, %	33,3	36,1	23,5
Сила операційного важеля за $Q_{пл}$	3,00	2,77	4,25

Джерело: розраховано авторами. Усі числові дані таблиці умовні (модельні).

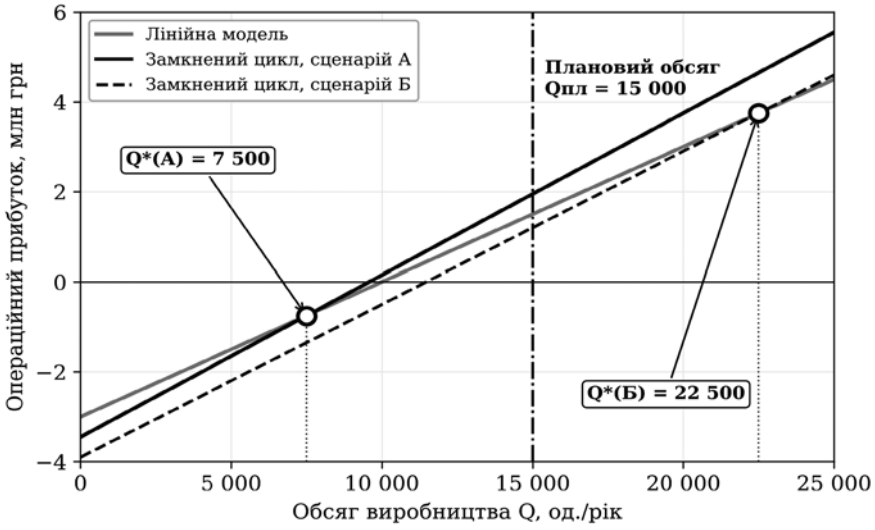


Рис. 1. Залежність операційного прибутку від обсягу виробництва для лінійної моделі та двох сценаріїв замкненого циклу (модельний приклад)

беззбитковості зростає на 14,7%, сила операційного важеля – до 4,25.

Чутливість точки байдужості до похибки оцінки Δm. Оскільки $Q^* = \Delta FC/\Delta m$, точність Q^* визначається точністю оцінки Δm. Нехай складові e_c, $e_в$, d, $c_п$ невід'ємні і кожну з них оцінено з відносною похибкою не більше ε. Якщо всі відхилення мають несприятливий напрям (економія та дохід переоцінені, витрати недооцінені), відносна похибка Δm обмежена зверху:

$$\frac{\delta(\Delta m)}{\Delta m} \le \varepsilon \cdot \frac{e_c + e_в + d + c_п}{\Delta m} = \varepsilon \cdot \kappa,\ \kappa = 1 + \frac{2c_п}{\Delta m} \quad (9)$$

Множник κ позначено інакше, ніж коефіцієнт заміщення k з п. 5.1. Формула (9) дає верхню межу, а не точну величину похибки; за різних граничних похибок складових $\varepsilon_1 \dots \varepsilon_4$ межа становить $(\varepsilon_1 \cdot e_c + \varepsilon_2 \cdot e_в + \varepsilon_3 \cdot d + \varepsilon_4 \cdot c_п)/\Delta m$. Якщо ж похибки складових незалежні й випадкові, а ε – їх відносне стандартне відхилення, застосовують іншу, наближену оцінку:

$$\frac{\sigma(\Delta m)}{\Delta m} \approx \varepsilon \cdot \frac{\sqrt{e_c^2 + e_в^2 + d^2 + c_п^2}}{\Delta m} \quad (10)$$

Обидві оцінки обернено пропорційні Δm і за Δm, близького до нуля, необмежено зростають. У модельному прикладі κ = 2,33 для сценарію А і 3,0 для сценарію Б; за ε = 20 % межа похибки Δm становить 46,7 % і 60 %, а оцінка (10) – 25,9 % і 36,9 %. Діапазони Q^*, розраховані точно як $\Delta FC/[\Delta m \cdot (1 \pm \delta)]$, де δ – межа відносної похибки Δm, становлять 5114–14062 од. для сценарію А і 14 062–56 250 од. для сценарію Б. Для сценарію А втрата доходу від побічної продукції (d = 0) зміщує Q^* до 12 857 од., а зростання $c_п$ на 30 грн. – до 15 000 од.

Описові приклади агросектору України. Публічні дані агропромислових компаній України показують, що замикання циклу в галузі відбувається переважно через енергетичне використання власних побічних потоків (табл. 3); тому в агросекторі складову ес доцільно тлумачити ширше, зараховуючи до неї заміщений природний газ і електроенергію.

Висновки. Науковий внесок полягає в систематизації складових приросту питомого маржинального доходу, пов'язаних із використанням власних технологічних відходів підприємства (економія первинної сировини, економія на поводженні з відходами, дохід від побічної продукції, витрати на перероблення), їх прив'язці до матеріального балансу відходів та інтеграції в модель CVP-аналізу для визначення порога економічної байдужості між лінійною та замкненою технологіями за припущень лінійності витрат і доходу в релевантному діапазоні обсягу виробництва. Умова зниження точки беззбитковості, співвідношення між Q^*, $Q_{бз.зц}$ і $Q_{бз}$ та оцінки похибки є аналітичними наслідками цієї моделі, а послідовність критеріїв доцільності – її прикладним застосуванням для попереднього відбору варіантів. Відмінності від найближчих підходів наведено в табл. 1; емпіричної апробації моделі на даних підприємств у статті немає.

Економічно отримані співвідношення означають таке. Замикання циклу збільшує постійні витрати, але й питомий маржинальний дохід, тому його вплив на чутливість операційного прибутку до зміни обсягу не є однозначним: за заданого обсягу сила операційного важеля змінюється в тому самому напрямі, що й точка беззбитковості, і зростає лише тоді, коли постійні витрати зростають відносно швидше за маржинальний дохід.

Таблиця 3

Описові приклади замикання виробничих циклів в агропромислових компаніях України

Компанія, об'єкт	Побічний потік → результат	Розкриті показники	Пов'язані параметри моделі
«Астарта», біогазовий завод у Глобиному [20]	Буряковий жом → біогаз для власного цукрового виробництва	Фактично (з 2013–2014 рр.): 1 200 т жому на добу; до 150 тис. м³ біогазу на добу; заміщення до 50 % природного газу цукрового заводу	e_c, $e_в$, ΔFC
МХП, Ладижинський біогазовий комплекс [4; 21]	Послід птахофабрик → електроенергія та органічне добриво	Фактично (2019): перша черга 12 МВт, за проєктом 24 МВт; 460 т посліду та 120 тис. м³ біогазу на добу; близько 40 % потреб кластера в електроенергії	$e_в$, e_c, d, ΔFC
МХП, когенерація на лушпинні [3]	Лушпиння соняшнику → електроенергія для власних заводів, надлишок – на ринок	План (2026): 10 МВт; інвестиції $21,1 млн.; IRR 18,4 %; запуск до 2029 р.	e_c, d, ΔFC

Джерело: складено авторами за [3; 4; 20; 21]: «Астарта» – с. 2–3 презентації [20]; МХП, Ладижин – слайди 3, 8–10 презентації [21]; інші дані – електронні публікації без пагінації [3; 4]. Опубліковані дані не містять e_c, $e_в$, d, $c_п$ на одиницю основної продукції та ΔFC, тому Δm і Q^* за ними не розраховуються

Властивість зваженого середнього виключає третій варіант: перехід або водночас підвищує прибуток і знижує точку беззбитковості (сценарій А), або обмінює вищий прибуток за великих обсягів на вищу точку беззбитковості, тобто на більшу вразливість до падіння попиту (сценарій Б). Нижча точка беззбитковості характеризує лише цю складову ризику і не охоплює невизначеності цін, якості продукції та технологічних умов. Надійність висновку визначає не рівень циркулярності, а співвідношення витрат на перероблення і чистого ефекту, тож для проєктів із тонким питомим ефектом потрібен сценарний або ймовірнісний аналіз.

Обмеження підходу випливають із припущень формул (4) – (7); на даних табл. 2 вони проявляються так:

– статичність: якщо ΔFC сценарію А складається з амортизації обладнання вартістю 3 млн. грн. (10 років) і 150 тис. грн. грошових витрат, *IRR* проєкту – близько 21%, а *NPV* – +0,76 млн. грн. за ставки 15% і − 0,32 млн. грн. за 25%;

– лінійність функцій: якщо дільниця розрахована на 12000 од., а більший обсяг потребує другої лінії (ΔFC = 900 тис. грн), за 15000 од. перевага сценарію А зникає, тому розрахунок ведуть окремо для кожного діапазону обсягу;

– незмінність ціни основної продукції: у сценарії Б знижка 1% ціни через нижчу якість зменшує Δm із 40 до 30 грн/од., а Q^* зростає до 30000 од.;

– однопродуктова постановка: за спільної дільниці для кількох продуктів рішення ухвалюють за умовою $\Sigma\Delta m_i \cdot Q_i > \Delta FC$;

– фіксовані ціни ресурсів: у сценарії Б зростання e_c із 60 до 80 грн./од. знижує Q^* до планового обсягу, тому розрахунок повторюють для кількох цінових сценаріїв.

Відповідно до мети статті отримано такі відповіді на дослідницьке питання.

1) Аналіз беззбитковості придатний для попередньої оцінки переходу до замкненого виробничого циклу, якщо ефект замикання розкласти на економію первинної сировини, економію на поводженні з відходами, дохід від побічної продукції, витрати на перероблення та приріст постійних витрат і пов'язати ці складові з матеріальним балансом відходів.

2) Перехід знижує точку беззбитковості лише тоді, коли відносний приріст маржинального доходу перевищує відносний приріст постійних витрат; в іншому разі він обмінює вищий прибуток за великого обсягу на вищу точку беззбитковості, тобто більшу вразливість до падіння попиту. У модельному прикладі перший випадок ілюструє сценарій А, другий – сценарій Б.

3) Вибір між лінійною і замкненою технологіями визначає точка байдужості, а надійність цього вибору залежить насамперед від точності оцінки витрат на перероблення.

Підхід призначений для попереднього відбору варіантів і не замінює інвестиційної оцінки. Числові результати отримано на умовних даних і мають ілюстративний характер.

Подальший етап дослідження має бути спрямований на калібруванні моделі на даних управлінського обліку конкретного агропідприємства, зокрема MFCA; для випадків, коли діапазон Q^* перекриває плановий обсяг, потрібна стохастична версія моделі, а для спільних дільниць перероблення – узагальнення на кілька продуктів.

Бібліографічний список

1. ISO 59004:2024: Circular economy – Vocabulary, principles and guidance for implementation. Geneva: International Organization for Standardization, 2024. Edition 1. 51 p. ISO. URL: https://www.iso.org/standard/80648.html
2. Bocken N.M.P., de Pauw I., Bakker C., van der Grinten B. Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering.* 2016. Volume 33, Issue 5. pp. 308–320. DOI: https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124
3. МХП планує забезпечити олійний і комбікормові заводи власною «зеленою» електроенергією на лушпинні [MHP plans to power oilseed processing and feed plants with husk-fired green electricity] / Ткаченко Є. (Tkachenko Ye). 06.07.2026. Latifundist.com: головний сайт про агробізнес – major agribusiness website. URL: https://latifundist.com/en/novosti/70619-mhp-planuye-zabezpechiti-oez-i-kombikormovi-zavodi-vlasnoyu-zelenoyu-elektroenergiyeyu-na-lushpinni
4. First phase of Ukraine's largest biogas complex put into operation. 23.12.2019. Latifundist.com. Latifundist.com: головний сайт про агробізнес – major agribusiness website. URL: https://latifundist.com/en/novosti/47871-v-ukraine-zapustili-pervuyu-ochered-krupnejshego-biogazovogo-kompleksa
5. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling.* 2017. Volume 127. pp. 221–232. DOI: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005
6. Linder M., Williander M. Circular Business Model Innovation: Inherent Uncertainties. *Business Strategy and the Environment.* 2017. Volume 26, Issue 2. pp. 182–196. DOI: https://doi.org/10.1002/bse.1906

7. Guide V.D.R. Jr., Van Wassenhove L.N. OR FORUM – The Evolution of Closed-Loop Supply Chain Research. *Operations Research.* 2009. Volume 57, Issue 1. pp. 10–18. DOI: https://doi.org/10.1287/opre.1080.0628
8. Jodlbauer H., Thürer M., Thienemann A.-K. On cost and revenue in circular supply chains: Where to close the loop? *Cleaner Logistics and Supply Chain.* 2024. Volume 13. Article number 100194. DOI: https://doi.org/10.1016/j.clscn.2024.100194
9. ISO 14051:2011: Environmental management – Material flow cost accounting – General framework. Geneva: International Organization for Standardization, 2011. Edition 1. 38 p. ISO. URL: https://iso.org/standard/50986.html
10. Christ K.L., Burritt R.L. Material flow cost accounting: a review and agenda for future research. *Journal of Cleaner Production.* 2015. Volume 108, Part B. pp. 1378–1389. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.005
11. Corona B., Shen Li, Reike D., Carreón J.R., Worrell E. Towards sustainable development through the circular economy – A review and critical assessment on current circularity metrics. *Resources, Conservation and Recycling.* 2019. Volume 151. Article number 104498. DOI: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104498
12. Velasco-Muñoz J.F., Mendoza J.M.F., Aznar-Sánchez J.A., Gallego-Schmid A. Circular economy implementation in the agricultural sector: Definition, strategies and indicators. *Resources, Conservation and Recycling.* 2021. Volume 170. Article number 105618. DOI: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105618
13. Palea V., Santhià C., Miazza A. Are circular economy strategies economically successful? Evidence from a longitudinal panel. *Journal of Environmental Management.* 2023. Volume 337. Article number 117726. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117726
14. Zhou S., Smulders S. Closing the loop in a circular economy: Saving resources or suffocating innovations? *European Economic Review.* 2021. Volume 139. Article number 103857. DOI: https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2021.103857
15. Belinska S., Bielik P., Adamičková I., Husárová P., Onyshko S., Belinska Ya. Assessment of Environmental and Economic-Financial Feasibility of Biogas Plants for Agricultural Waste Treatment. *Sustainability.* 2024. Volume 16, Issue 7. Article number 2740. DOI: https://doi.org/10.3390/su16072740
16. Datar S.M., Rajan M.V. Horngren's Cost Accounting: A Managerial Emphasis. 16th ed. Harlow: Pearson, 2018. 971 p.
17. Yuan F.-Ch. The use of a fuzzy logic-based system in cost-volume-profit analysis under uncertainty. *Expert Systems with Applications.* 2009. Volume 36, Issue 2, Part 1. pp. 1155–1163. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.11.025
18. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Text with EEA relevance): Document 32008L0098. *Official Journal of the European Union.* 2008. L 312/3. 28 p. 22.11.2008. EUR-Lex: Access to European Union law, European Union. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098
19. Закон України «Про управління відходами» від 20.06.2022 № 2320-IX. (*Відомості Верховної Ради (ВВР)*, 2023, № 17, ст. 75). Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/ 2320-20#Text
20. Астарта. Досвід використання біогазу на переробних заводах агрохолдингу «Астарта – Київ»: презентація. Біоенергетична асоціація України (UABIO), 2015. 5 с. URL: https://uabio.org/wp-content/uploads/2015/11/astarta.pdf
21. МХП. Біогазові комплекси: соціально-відповідальний бізнес чи модний тренд? Інвестиції в сталий розвиток господарства: презентація (на конференції AgroEnergyDay, Київ, 30.10.2019). Біоенергетична асоціація України (UABIO), 2019. 19 с. URL: https://uabio.org/wp-content/uploads/2019/10/agroenergyday-30102019-melnyk-mhp.pdf

References

1. ISO 59004:2024: Circular economy – Vocabulary, principles and guidance for implementation. Geneva: International Organization for Standardization, 2024. Edition 1. 51 p. ISO. URL: https://www.iso.org/standard/80648.html
2. Bocken N.M.P., de Pauw I., Bakker C., van der Grinten B. Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering.* 2016. Volume 33, Issue 5. pp. 308–320. DOI: https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124
3. MKhP planuie zabezpechyty oliinyi i kombikormovi zavody vlasnoiu "zelenoiu" elektroenerhiieiu na lushpynni [MHP plans to power oilseed processing and feed plants with husk-fired green electricity] / Tkachenko Ye. 06.07.2026. Latifundist.com: holovnyi sait pro ahrobiznes – major agribusiness website. URL: https://latifundist.com/en/novosti/70619-mhp-planuye-zabezpechiti-oez-i-kombikormovi-zavodi-vlasnoyu-zelenoyu-elektroenergiyeyu-na-lushpinni
4. First phase of Ukraine's largest biogas complex put into operation. 23.12.2019. Latifundist.com. Latifundist.com: holovnyi sait pro ahrobiznes – major agribusiness website. URL: https://latifundist.com/en/novosti/47871-v-ukraine-zapustili-pervuyu-ochered-krupnejshego-biogazovogo-kompleksa

5. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling.* 2017. Volume 127. pp. 221–232. DOI: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005
6. Linder M., Williander M. Circular Business Model Innovation: Inherent Uncertainties. *Business Strategy and the Environment.* 2017. Volume 26, Issue 2. pp. 182–196. DOI: https://doi.org/10.1002/bse.1906
7. Guide V.D.R. Jr., Van Wassenhove L.N. OR FORUM – The Evolution of Closed-Loop Supply Chain Research. *Operations Research.* 2009. Volume 57, Issue 1. pp. 10–18. DOI: https://doi.org/10.1287/opre.1080.0628
8. Jodlbauer H., Thürer M., Thienemann A.-K. On cost and revenue in circular supply chains: Where to close the loop? *Cleaner Logistics and Supply Chain.* 2024. Volume 13. Article number 100194. DOI: https://doi.org/10.1016/j.clscn.2024.100194
9. ISO 14051:2011: Environmental management – Material flow cost accounting – General framework. Geneva: International Organization for Standardization, 2011. Edition 1. 38 p. ISO. URL: https://iso.org/standard/50986.html
10. Christ K.L., Burritt R.L. Material flow cost accounting: a review and agenda for future research. *Journal of Cleaner Production.* 2015. Volume 108, Part B. pp. 1378–1389. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.005
11. 11. Corona B., Shen Li, Reike D., Carreón J.R., Worrell E. Towards sustainable development through the circular economy – A review and critical assessment on current circularity metrics. *Resources, Conservation and Recycling.* 2019. Volume 151. Article number 104498. DOI: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104498
12. Velasco-Muñoz J.F., Mendoza J.M.F., Aznar-Sánchez J.A., Gallego-Schmid A. Circular economy implementation in the agricultural sector: Definition, strategies and indicators. *Resources, Conservation and Recycling.* 2021. Volume 170. Article number 105618. DOI: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105618
13. Palea V., Santhià C., Miazza A. Are circular economy strategies economically successful? Evidence from a longitudinal panel. *Journal of Environmental Management.* 2023. Volume 337. Article number 117726. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117726
14. Zhou S., Smulders S. Closing the loop in a circular economy: Saving resources or suffocating innovations? *European Economic Review.* 2021. Volume 139. Article number 103857. DOI: https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2021.103857
15. Belinska S., Bielik P., Adamičková I., Husárová P., Onyshko S., Belinska Ya. Assessment of Environmental and Economic-Financial Feasibility of Biogas Plants for Agricultural Waste Treatment. *Sustainability.* 2024. Volume 16, Issue 7. Article number 2740. DOI: https://doi.org/10.3390/su16072740
16. Datar S.M., Rajan M.V. Horngren's Cost Accounting: A Managerial Emphasis. 16th ed. Harlow: Pearson, 2018. 971 p.
17. Yuan F.-Ch. The use of a fuzzy logic-based system in cost-volume-profit analysis under uncertainty. *Expert Systems with Applications.* 2009. Volume 36, Issue 2, Part 1. pp. 1155–1163. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.11.025
18. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Text with EEA relevance): Document 32008L0098. *Official Journal of the European Union.* 2008. L 312/3. 28 p. 22.11.2008. EUR-Lex: Access to European Union law, European Union. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj
19. Zakon Ukrainy "Pro upravlinnia vidkhodamy" vid 20.06.2022 № 2320-IX. (Vidomosti Verkhovnoi Rady (VVR), 2023, № 17, st. 75). Verkhovna Rada Ukrainy. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text
20. Astarta. Dosvid vykorystannia biohazu na pererobnykh zavodakh ahrokholdynhu "Astarta – Kyiv": prezentatsiia. Bioenerhetychna asotsiatsiia Ukrainy (UABIO), 2015. 5 s. URL: https://uabio.org/wp-content/uploads/2015/11/astarta.pdf
21. MHP. Biohazovi kompleksy: sotsialno-vidpovidalnyi biznes chy modnyi trend? Investytsii v stalyi rozvytok hospodarstva: prezentatsiia (na konferentsii AgroEnergyDay, Kyiv, 30.10.2019). Bioenerhetychna asotsiatsiia Ukrainy (UABIO), 2019. 19 s. URL: https://uabio.org/wp-content/uploads/2019/10/agroenergyday-30102019-melnyk-mhp.pdf

Ihor Vinichenko
Doctor of Economic Sciences, Professor,
Professor of the Department of Economics,
Dnipro State Agrarian and Economic University
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9527-1625
Olena Pavlenko
PhD in Economics, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Economics,
Dnipro State Agrarian and Economic University
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3557-3338
Dariia Sypchenko
Master's Student,
Dnipro State Agrarian and Economic University
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-0807-7376

BREAK-EVEN ANALYSIS AS A TOOL FOR THE ECONOMIC ASSESSMENT OF AN ENTERPRISE'S TRANSITION TO A CLOSED-LOOP PRODUCTION AND PROCESSING CYCLE IN THE CONTEXT OF THE CIRCULAR ECONOMY

The article substantiates the use of break-even (cost-volume-profit, CVP) analysis for the preliminary economic assessment of a company's transition from a linear production model to a closed-loop production and processing cycle. Methods. Analysis and synthesis, the material balance method, mathematical modelling based on CVP analysis and scenario analysis on a hypothetical numerical example are used. Results. Closing material loops is treated as a change in the firm's cost and revenue function. The unit increase in contribution margin is formalised as $\Delta m = e_s + e_w + d - c_r$ and linked to the waste material balance, which prevents double counting of the same waste stream. The adapted break-even point is $Q_{be,cl} = (FC + \Delta FC) / [P + d - (AVC - e_s - e_w + c_r)]$, where ΔFC are incremental fixed operating costs, e_s and e_w are unit savings on virgin raw materials and waste handling, d is unit by-product revenue and cr are unit reprocessing costs. The break-even point decreases if and only if $\Delta FC/FC < \Delta m/CM$. The indifference point $Q^* = \Delta FC / \Delta m$ identifies the output above which the closed-loop model yields higher operating profit; for $CM > 0$, $\Delta m > 0$ and $\Delta FC > 0$ the closed-loop break-even point is a weighted average of Q^* and the linear break-even point and therefore lies between them. If all components carry the same maximum relative error and all deviations are adverse, the relative error of Δm may exceed that of its components by up to the factor $\kappa = 1 + 2c_r/\Delta m$ (an upper bound), so reprocessing costs require the most accurate estimation. A sequence of feasibility criteria is proposed and illustrated with a hypothetical example; publicly reported cases of Ukrainian agri-food companies are given as descriptive examples rather than as empirical validation. Novelty. The contribution lies in systematising the components of the unit contribution margin increase associated with the use of a company's own process waste, linking them to the waste material balance and integrating them into the CVP model to determine the economic indifference threshold between linear and closed-loop technologies under the assumption of linear costs and revenues within the relevant range. The break-even condition, the ordering of the break-even and indifference points and the error bounds are analytical consequences of this model; the feasibility criteria are its applied use for screening alternatives. Limitations. The model is static, assumes linear costs and constant prices and excludes financing costs; it precedes, rather than replaces, discounted investment appraisal.

Keywords: break-even analysis, cost-volume-profit analysis, closed-loop production and processing cycle, circular economy, contribution margin, indifference point, by-products.

Дата надходження статті: 09.09.2026
Дата прийняття статті до публікації: 20.10.2026
Дата публікації статті: 18.11.2026