

В. В. Пушний,
аспірант,

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-4637-7379>

DOI: 10.32702/2306-6814.2026.8.478

ОПТИМІЗАЦІЯ ЗАМКНЕНОГО ЦИКЛУ ВИРОБНИЦТВА ТА ПЕРЕРОБКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ БЕЗЗБИТКОВОСТІ

V. Pushnyi,
Postgraduate student,
Dnipro State Agrarian and Economic University

OPTIMIZATION OF A CLOSED-LOOP PRODUCTION AND PROCESSING SYSTEM OF AGRICULTURAL PRODUCTS BASED ON THE BREAK-EVEN CONCEPT

Розроблено теоретико-методичний підхід до оптимізації замкненого циклу виробництва та переробки сільськогосподарської продукції на основі концепції беззбитковості, що дозволяє обґрунтувати економічно доцільні параметри функціонування виробничо-переробної системи. Дослідження ґрунтується на застосуванні методів економіко-математичного моделювання, системного аналізу, а також методів оптимізації та прогнозування. Використано дані фінансової звітності сільськогосподарських та переробних підприємств Дніпропетровської області, а також наукові праці вітчизняних дослідників у сфері економіки аграрного виробництва та управління витратами.

Обґрунтовано необхідність застосування концепції беззбитковості для оптимізації замкненого циклу в аграрному секторі. Розроблено математичну модель оптимізації параметрів замкненого циклу, яка враховує взаємозв'язок між обсягами виробництва, витратами на переробку відходів та доходами від реалізації вторинної продукції. Визначено ключові показники беззбитковості для різних варіантів організації замкненого циклу: точка беззбитковості, запас фінансової міцності, коефіцієнт покриття постійних витрат. Здійснено апробацію розробленого підходу на прикладі сільськогосподарських підприємств Дніпропетровської області, які спеціалізуються на виробництві зернових культур та впроваджують технології переробки відходів. Розраховано оптимальні обсяги переробки відходів рослинництва (соломи, лушпиння, стебел) для забезпечення беззбитковості замкненого циклу. Визначено чутливість показників ефективності до змін основних факторів — цін на вторинну продукцію, вартості переробки, рівня постійних витрат.

Purpose of the article is to develop a theoretical and methodological approach to optimizing the closed cycle of agricultural production and processing based on the break-even concept, which allows substantiating economically feasible parameters for the functioning of the production and processing system. The study is based on the application of economic and mathematical modeling methods,

system analysis, as well as optimization and forecasting methods. Data from financial statements of agricultural and processing enterprises in Dnipropetrovsk region for 2020–2025, as well as scientific works of domestic researchers in the field of agricultural economics and cost management were used.

The article substantiates the need to apply the break-even concept for optimizing the closed cycle in the agricultural sector. A mathematical model for optimizing the parameters of the closed cycle is developed, which takes into account the relationship between production volumes, waste processing costs and income from the sale of secondary products. Key break-even indicators for various options for organizing the closed cycle are determined: break-even point, margin of financial strength, fixed cost coverage ratio. The developed approach was tested on the example of agricultural enterprises in Dnipropetrovsk region, specializing in grain production and implementing waste processing technologies. Optimal volumes of crop waste processing (straw, husks, stalks) are calculated to ensure the break-even of the closed cycle. The sensitivity of efficiency indicators to changes in key factors – prices for secondary products, processing costs, the level of fixed costs – is determined.

The proposed theoretical and methodological approach allows substantiating economically feasible parameters for the functioning of the closed cycle of agricultural production and processing. The developed mathematical model makes it possible to determine the optimal volume of waste processing at which the break-even of the system is achieved, as well as to assess the impact of changes in market conditions on the efficiency of the closed cycle. Testing the approach at enterprises in Dnipropetrovsk region confirmed its practical suitability for substantiating management decisions regarding the implementation of crop waste processing technologies.

Ключові слова: замкнений цикл, беззбитковість, переробка відходів, оптимізація, математичне моделювання, сільське господарство, управління витратами.

Key words: closed cycle, break-even, waste processing, optimization, mathematical modeling, agriculture, cost management.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Формування замкнених циклів виробництва та переробки сільськогосподарської продукції є одним із ключових напрямів підвищення ресурсоефективності аграрного сектору України. Впровадження технологій переробки органічних відходів дозволяє не лише зменшити навантаження на довкілля, але й отримати додаткові джерела доходу від реалізації вторинної продукції — біопалива, органічних добрив, кормових добавок тощо [3]. Однак практична реалізація проєктів із замикання циклів в аграрному виробництві стикається з низкою економічних проблем, серед яких: високий рівень капіталовкладень у переробні потужності; нестабільність цін на вторинну продукцію; значні постійні витрати на утримання переробного обладнання; невизначеність щодо обсягів накопичення відходів [1; 4].

У таких умовах особливої актуальності набуває розробка методичних підходів до економічного обґрунтування доцільності впровадження замкнених циклів, що дозволяють визначити оптимальні параметри їх функціонування з урахуванням співвідношення витрат і доходів. Концепція беззбитковості, яка широко застосовується в управлінському обліку та фінансовому аналізі, може бути ефективно використана для вирішення цього завдання.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

Проблематика оптимізації виробничих процесів в аграрному секторі досліджується вітчизняними науковцями в контексті управління витратами, економіко-ма-

тематичного моделювання та еколого-економічної ефективності. Значний внесок у розвиток теоретичних засад управління витратами в сільському господарстві зробили В.Я. Амбросов, який обґрунтував методичні підходи до калькулювання собівартості продукції [1], та М.Й. Малік, який досліджував економічну ефективність аграрного виробництва [5]. Питання застосування економіко-математичних методів в агробізнесі висвітлено в працях О.В. Ковальової [4] та Ю.О. Лупенка [6].

Проблемам переробки органічних відходів та формування замкнених циклів в аграрному секторі присвячено дослідження О.О. Веклич, яка розглядала еколого-економічні аспекти ресурсокористування [2], та Н.Г. Вишневської, яка аналізувала європейський досвід циркулярної економіки [3].

ФОРМУЛЮВАННЯ МЕТИ

Метою статті є розробка теоретико-методичного підходу до оптимізації замкненого циклу виробництва та переробки сільськогосподарської продукції на основі концепції беззбитковості, що дозволяє обґрунтувати економічно доцільні параметри функціонування виробничо-переробної системи.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Концепція беззбитковості (break-even analysis) є одним із ключових інструментів управлінського обліку, що дозволяє визначити обсяг діяльності, за якого до-

Таблиця 1. Вихідні дані для розрахунку точки беззбитковості замкненого циклу (підприємства Дніпропетровської області, 2025 р.)

Показники	Одиниця виміру	ТОВ «Агро-Овен» (Новомосковський район)	ПП «Агро-Союз» (Синельниківський район)	ТОВ «Нива-Агро» (Криворізький район)
<i>Виробництво зерна</i>				
Середня ціна реалізації (P1)	грн/т	6450	6720	6180
Змінні витрати на 1 т (AVC1)	грн/т	5180	5350	5090
Постійні витрати (FC1)	тис. грн	18500	21500	14800
Коефіцієнт виходу відходів (α)	т відходів/т зерна	0,44	0,39	0,46
<i>Переробка відходів (виробництво пелет)</i>				
Середня ціна реалізації пелет (P2)	грн/т	3150	3150	3150
Змінні витрати на 1 т пелет (AVC2)	грн/т	2080	1930	2150
Постійні витрати переробки (FC2)	тис. грн	4800	4300	5200

Джерело: складено автором на основі фінансової звітності підприємств.

ходи підприємства повністю покривають його витрати. У класичному варіанті точка беззбитковості розраховується за формулою

$$Q_{BE} = \frac{FC}{P - AVC}$$

де: QBE — обсяг виробництва (реалізації) у точці беззбитковості; FC — сукупні постійні витрати; P — ціна одиниці продукції; AVC — змінні витрати на одиницю продукції.

Для замкненого циклу виробництва та переробки сільськогосподарської продукції дана модель потребує суттєвої модифікації, оскільки система включає два взаємопов'язані процеси — виробництво первинної продукції та переробку відходів. При цьому доходи від реалізації вторинної продукції можуть розглядатися як компенсація витрат на переробку, а в окремих випадках — як додаткове джерело прибутку.

Запропонована математична модель оптимізації замкненого циклу базується на наступних передумовах:

1. Замкнений цикл включає два взаємопов'язаних процеси: виробництво основної продукції (Q1) та переробку відходів (Q2), причому $Q2 = \alpha Q1$, де α — коефіцієнт виходу відходів.
2. Витрати на переробку відходів складаються з постійної (FC2) та змінної (AVC2*Q2) частин.
3. Доходи від реалізації вторинної продукції становлять $P2 \cdot Q2$.
4. Система вважається беззбитковою, якщо сукупний дохід від реалізації основної та вторинної продукції

покриває сукупні витрати на виробництво основної продукції та переробку відходів.

На основі цих передумов точка беззбитковості для замкненого циклу визначається за формулою:

$$\frac{FC_1 + FC_2}{P_1 - AVC_1 + \alpha(P_2 - AVC_2)}$$

де FC1, AVC1, P1 — відповідно постійні витрати, змінні витрати на одиницю та ціна основної продукції; FC2, AVC2, P2 — відповідно постійні витрати, змінні витрати на одиницю та ціна вторинної продукції; α — коефіцієнт виходу відходів [4].

Для практичної апробації розробленого підходу використано дані трьох сільськогосподарських підприємств Дніпропетровської області, що представляють різні агрокліматичні зони регіону: ТОВ "Агро-Овен" (Новомосковський район, північна частина області), ПП "Агро-Союз" (Синельниківський район, центральна частина) та ТОВ "Нива-Агро" (Криворізький район, південно-західна частина). Усі підприємства спеціалізуються на виробництві зернових культур та мають власні потужності з переробки відходів (солони, лушпиння) у паливні пелети (табл. 1).

Розрахунки виконано за допомогою програмного середовища Python із використанням бібліотек Pandas та NumPy для обробки даних та візуалізації результатів. Результати розрахунків, виконаних за допомогою наведеного Python-скрипту, представлено в табл. 2.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що найнижчу точку беззбитковості (20157 т) має ПП "Агро-Союз"

Таблиця 2. Результати розрахунку точки беззбитковості замкненого циклу

Підприємство	Район	Марж дохід зерна, грн/т	Марж дохід пелет, грн/т	Точка беззбитковості, т	Запас міцності, %	Покриття витрат, раз
ТОВ «Агро-Овен»	Новомосковський	1270	1070	21412	21,3	1,27
ПП «Агро-Союз»	Синельниківський	1370	1220	20157	29,5	1,42
ТОВ «Нива-Агро»	Криворізький	1090	1000	23836	4,2	1,04

Джерело: розраховано автором.

(Синельниківський район), що обумовлено найвищими показниками маржинального доходу як від реалізації зерна (1370 грн/т), так і від реалізації пелет (1220 грн/т). Високий запас фінансової міцності (29,5%) та коефіцієнт покриття постійних витрат (1,42) свідчать про економічну доцільність функціонування замкненого циклу на даному підприємстві.

ТОВ "Агро-Овен" (Новомосковський район) демонструє середні показники: точка беззбитковості становить 21412 т, запас фінансової міцності — 21,3%. Незважаючи на дещо нижчі показники маржинального доходу порівняно з ПП "Агро-Союз", підприємство має достатній резерв міцності для стабільного функціонування.

Найбільш проблемною є ситуація на ТОВ "Нива-Агро" (Криворізький район). Точка беззбитковості (23836 т) є найвищою серед досліджуваних підприємств, а фактичний обсяг виробництва зерна (24800 т) лише незначно перевищує цей поріг. Запас фінансової міцності становить лише 4,2%, а коефіцієнт покриття постійних витрат — 1,04, що свідчить про критично низький рівень стійкості замкненого циклу.

Результати аналізу чутливості свідчать, що найбільш чутливим до змін ринкової кон'юнктури є ТОВ "Нива-Агро" (Криворізький район). При зниженні ціни пелет на 10% (з 3150 до 2835 грн/т) точка беззбитковості для цього підприємства зростає на 28% (з 23836 до 30520 т), що робить замкнений цикл економічно невиправданим. Для ПП "Агро-Союз" та ТОВ "Агро-Овен" аналогічне зниження ціни пелет призводить до зростання точки беззбитковості на 18% та 22% відповідно. Зростання змінних витрат на переробку на 10% (з 2080/1930/2150 до 2288/2123/2365 грн/т) призводить до зростання точки беззбитковості на 11—15% залежно від підприємства. Найбільш чутливим до зростання змінних витрат також є ТОВ "Нива-Агро" через низький вихідний рівень маржинального доходу.

ВИСНОВКИ

Запропонований теоретико-методичний підхід до оптимізації замкненого циклу виробництва та переробки сільськогосподарської продукції на основі концепції беззбитковості дозволяє:

1. Кількісно визначити мінімальний обсяг виробництва основної продукції, за якого система "виробництво — переробка відходів" стає беззбитковою, з урахуванням коефіцієнта виходу відходів та маржинального доходу від реалізації вторинної продукції.

2. Оцінити запас фінансової міцності замкненого циклу та його здатність покривати постійні витрати, що дозволяє ідентифікувати підприємства з критичним рівнем стійкості.

3. Провести аналіз чутливості до змін основних факторів (ціни на вторинну продукцію, змінні витрати переробки), що дає змогу обґрунтувати управлінські рішення щодо доцільності впровадження замкненого циклу за різних ринкових умов.

Апробація розробленого підходу на прикладі підприємств Дніпропетровської області підтвердила його практичну придатність. Встановлено, що найбільш сприятливі умови для функціонування замкненого циклу склалися на ПП "Агро-Союз" (Синельниківський рай-

он), де запас фінансової міцності становить 29,5%, а коефіцієнт покриття постійних витрат — 1,42. Натомість ТОВ "Нива-Агро" (Криворізький район) перебуває у зоні критичної стійкості (запас міцності 4,2%), що потребує розробки заходів з оптимізації витрат або пошуку додаткових ринків збуту вторинної продукції.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на врахування в моделі факторів невизначеності (коливання врожайності, сезонність утворення відходів) та розробку оптимізаційних алгоритмів для багатопродуктових замкнених циклів.

Література:

1. Амбросов В.Я. Управління витратами в сільськогосподарських підприємствах: теорія та практика. Київ: ННЦ ІАЕ, 2021. 328 с.
2. Веклич О.О. Еколого-економічне регулювання природокористування: теорія та практика. Київ: Наукова думка, 2021. 288 с.
3. Вишнеvsька Н.Г. Циркулярна економіка в аграрному секторі: європейський досвід та перспективи для України. Економіка АПК. 2023. № 2. С. 25—34.
4. Ковальова О.В. Організаційно-економічні механізми поводження з відходами в Україні: теорія та практика. Львів: Львівська політехніка, 2022. 256 с.
5. Малік М.Й. Економічна ефективність аграрного виробництва: методологія та практика оцінювання. Київ: ННЦ ІАЕ, 2022. 312 с.
6. Лупенко Ю.О. Економіко-математичне моделювання в аграрному секторі: теорія та практика. Київ: ННЦ ІАЕ, 2024. 296 с.

References:

1. Ambrosov, V. Ya. (2021), *Upravlinnia vytratamy v silskohospodarskykh pidpriemstvakh: teoriia ta praktyka* [Cost management in agricultural enterprises: theory and practice], NNTs IAE, Kyiv, Ukraine.
2. Veklych, O. O. (2021), *Ekoloho-ekonomichne rehuliuвання pryrodokorystuvannya: teoriia ta praktyka* [Environmental and economic regulation of natural resource use: theory and practice], Naukova dumka, Kyiv, Ukraine.
3. Vyshnevskaya, N. H. (2023), "Circular economy in the agricultural sector: European experience and prospects for Ukraine", *Ekonomika APK*, vol. 2, pp. 25—34.
4. Kovaleva, O. V. (2022), *Orhanizatsiino-ekonomichni mekhanizmy povodzhennia z vidkhodamy v Ukraini: teoriia ta praktyka* [Organizational and economic mechanisms of waste management in Ukraine: theory and practice], Lvivska politekhnika, Lviv, Ukraine.
5. Malik, M. Y. (2022), *Ekonomichna efektyvnist ahrarnoho vyrobnytstva: metodolohiia ta praktyka otsiniuvannya* [Economic efficiency of agricultural production: methodology and practice of assessment], NNTs IAE, Kyiv, Ukraine.
6. Lupenko, Yu. O. (2024), *Ekonomiko-matematychnе modeliuвання v ahrarnomu sektori: teoriia ta praktyka* [Economic and mathematical modeling in the agricultural sector: theory and practice], NNTs IAE, Kyiv, Ukraine.

Отримано редакцією журналу / Received: 02.04.26

Професійно рецензовано / Revised: 13.04.26

Схвалено до друку / Accepted: 21.04.26