

УДК 338.43:334.7:519.86

DOI: <https://doi.org/10.30838/EP.217.110-118>**Николук О.М.**

доктор економічних наук

Поліський національний університет

Nykolyuk Olga

Dr. of Economic Sc.

Polissia National University

<https://orcid.org/0000-0002-1705-3606>**Присяжнюк Ю.В.**

Поліський національний університет

Prysyazhnyuk Yuriy

Polissia National University

<https://orcid.org/0009-0002-4948-2306>

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ВЕРТИКАЛЬНОЇ КООРДИНАЦІЇ СУБ'ЄКТІВ АГРОБІЗНЕСУ

У статті проаналізовано сучасні підходи до моделювання процесів вертикальної координації в цілому та в агарному бізнесі зокрема. Визначено базові складові моделі вертикальної координації, до яких включено множини акторів взаємодії та їх взаємозв'язків. Розроблено математичну модель вертикальної координації, яка ґрунтується на сценарному підході, відповідно до якого розглянуто базовий сценарій і сценарії контрактної та цифрової координації. Визначено обмеження моделі, які включають ресурсні та балансові обмеження, а також обмеження прибутку і координаційних розривів. Обґрунтовано цільові функції кожного із зазначених сценаріїв. Наукова новизна дослідження полягає в удосконаленні методичного підходу до моделювання вертикальної координації суб'єктів агробізнесу шляхом формалізації обмежень їх взаємодії вздовж агропромислового ланцюга та побудови сценаріїв різної глибини координації із урахуванням загальносистемного ефекту та економічних вигод окремих учасників.

Ключові слова: вертикальна координація, суб'єкти агробізнесу, математичне моделювання, оптимізаційна модель, інформаційне забезпечення, агропродовольчий ланцюг, модель вертикальної координації, інтеграція.

MODELING THE SYSTEM OF VERTICAL COORDINATION OF AGRIBUSINESS ENTITIES

Vertical coordination is an effective mechanism for aligning the interests of partners along agri-food chains, reducing their transaction costs, and increasing the efficiency of economic activity. The purpose of the study is to develop a mathematical model of vertical coordination of agribusiness entities that formalizes their behavior and interaction and provides support for managerial decision-making within agri-food chains. The study is based on a systems approach and employs the abstract-logical method (to formulate assumptions, substantiate the structure of the model and the list of scenarios under study), the economic and mathematical modeling method (to formalize the behavior and interaction mechanisms of participants in agri-food chains), the optimization modeling method (to support managerial decision-making), and the scenario approach (to model the system of interaction among agribusiness entities within three scenarios). The article analyzes current approaches to modeling vertical coordination processes in general and in agribusiness in particular. The basic components of the vertical coordination model are identified, including sets of interaction actors and their interrelationships. A mathematical model of the vertical coordination system is developed based on a scenario approach, according to which a baseline scenario and scenarios of contractual and digital coordination are considered. Within each scenario, optimization models are developed, whose objective functions and constraints correspond to the specific features of the depth of coordination. The types of coordination flows within the vertical coordination of agribusiness entities are distinguished. The model constraints are defined, including resource and balance constraints at the level of individual actors and the system as a whole, as well as profit constraints and coordination gap constraints. The objective functions of each of the specified scenarios are substantiated. In particular, under the scenarios with minimum and contractual coordination, the individual profits of actors are defined as the optimality criteria, whereas within a system with a high level of vertical coordination, the objective is to minimize the

ISSN друкованої версії: 2224-6282

ISSN електронної версії: 2224-6290

© Николук О.М., Присяжнюк Ю.В., 2026

coordination gap, namely the shortage/surplus of products compared with demand. The scientific novelty of the study lies in improving the methodological approach to modeling the system of vertical coordination of agribusiness entities by formalizing the constraints on their interaction along the agri-food chain and constructing scenarios with different depths of coordination, taking into account the system-wide effect and the economic benefits of individual participants.

Keywords: vertical coordination, agribusiness entities, mathematical modeling, optimization model, information support, agri-food chain, vertical coordination model, integration.

JEL Classification: C61, Q13, L14.

Постановка проблеми. Ускладнення структури та взаємозв'язків існуючих систем взаємодії суб'єктів агробізнесу, а також характерна для них інформаційна асиметрія зумовлюють підвищення рівня невизначеності та ризиків усіх ланок агропродовольчих ланцюгів та нерівномірний розподіл сформованої у їх межах доданої вартості. Як результат, лише ринкового механізму зазвичай недостатньо для забезпечення цілей і потреб усіх учасників. Вертикальна координація є дієвим механізмом узгодження інтересів партнерів вздовж агропродовольчих ланцюгів, зниження їх трансакційних витрат та підвищення ефективності господарської діяльності. Прийняття рішень щодо максимально ефективних інструментів вертикальної координації важливо робити на базі науково доведених та формалізованих прогнозів потенційних вигід кожного окремого учасника та їх сукупності спираючись на результати математичного моделювання вертикальної координації. Враховуючи зазначене, актуальною є розробка та обґрунтування математичної моделі вертикальної координації, що дасть змогу обчислювати вигоди від поглиблення співпраці та приймати рішення щодо доцільності впровадження тієї чи іншої форми взаємодії.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблематика вертикальної координації в агропродовольчих ланцюгах здебільшого вивчається зарубіжними вченими-економістами. Зокрема, П. Баррі, С. Сонка та К. Ладжилі визначили, що результатом вертикальної координації є зниження ризиків та невизначеності в агробізнесі [4]. Критичну необхідність вертикальної координації обґрунтували Й. Свіннен, А. Вандеплас та М. Мартенс [16], а Л. Мікел та Л. А. Джонс довели необхідність використання інструментів вертикальної координації для забезпечення ефективності суб'єктів агробізнесу ще у 60-х роках ХХ ст [12].

Концепт щодо досягнення вигід одночасно всіма учасниками контрактної форми вертикальної координації в агробізнесі (принцип *win-win*) вивчали М. Нематоллахі, А. Гітуані, Дж. Хейдарі, Е. М. Гербрандт [13]. На нашу думку, саме такий підхід доцільно використовувати при моделюванні вертикальної координації, оскільки лише у разі отримання позитивного ефекту економічний актор матиме стимул взаємодіяти у рамках організованої системи координації. Аналогічного підходу дотримуються К. Ляо, Ц. Лу, Л. Лін, які додатково доводять, що трирівневі контракти у межах ланцюгів постачання аграрної продукції забезпечують оптимум Парето [11].

Окрім позитивних ефектів окремих акторів низка науковців наголошує на необхідності врахування сукупного ефекту [10, 15]. Водночас, К. Су та Дж. Яо обґрунтовують важливість забезпечення не лише

загальносистемного прибутку, але й індивідуальних вигід кожного окремого учасника [15]. Крім того, автори використовують методику сценарного моделювання взаємодії економічних акторів та моделюють сценарії різних рівнів координації.

3. Базірі та Дж. Хейдарі у рамках моделювання «зеленого» ланцюга постачання сталих продуктів використовують систему з трьох моделей, а саме: 1) децентралізована модель, яка максимізує індивідуальні прибутки; 2) інтегрована модель, де критерієм оптимальності є сумарний прибуток партнерів; 3) колаборативна модель (*collaborative model*), у якій окрім максимізації загального прибутку має дотримуватись обмеження забезпечення вигід всіх акторів [5]. В цілому погоджуючись із зазначеним підходом слід зазначити, що для вітчизняних суб'єктів агробізнесу вертикальна координація є, насамперед, механізмом отримання додаткових вигід. Тому для моделювання вертикальної координації в українських реаліях важливим є врахування досягнення додаткових економічних ефектів (передусім, у формі додаткового прибутку).

Таким чином, додаткового дослідження потребує проблематика математичного моделювання процесів розвитку вертикальної координації в агробізнесі із урахуванням особливостей функціонування аграрного сектора України, з метою підтримки прийняття рішень у процесі поглиблення співпраці вздовж ланцюгів агропромислової продукції.

Метою дослідження є розробка математичної моделі вертикальної координації суб'єктів агробізнесу, яка формалізуватиме їх поведінку та взаємодію, а також забезпечуватиме підтримку прийняття управлінських рішень у межах агропродовольчих ланцюгів.

Методи дослідження. В основу даного дослідження покладено системний підхід, відповідно до принципів якого мережу вертикальної координації в агробізнесі представлено у вигляді системи, якій притаманні всі системні властивості та яка складається із сукупності взаємопов'язаних елементів – суб'єктів агробізнесу, що функціонують у межах агропродовольчих ланцюгів. З метою формулювання припущень дослідження, обґрунтування структури математичної моделі вертикальної координації та переліку досліджуваних сценаріїв використано абстрактно-логічний метод. Метод економіко-математичного моделювання застосовано для формалізації поведінки та механізмів взаємодії учасників агропродовольчих ланцюгів. Задля забезпечення підтримки прийняття управлінських рішень використано метод оптимізаційного моделювання, який дав змогу сформулювати цільові функції моделей за різних сценаріїв взаємодії суб'єктів агробізнесу. Сценарний підхід уможливив моделювання

системи взаємодії суб'єктів агробізнесу у рамках трьох сценаріїв, а саме базового сценарію, сценаріїв контрактної та цифрової координації. Метод порівняльного аналізу покладено в основу визначення основного критерію ефективності різних сценаріїв координації.

Виклад основних результатів дослідження. Базовою ланкою агропродовольчих ланцюгів є сільське господарство та, відповідно, виробники сільськогосподарської продукції. Саме цей сектор економіки України наразі є максимально вразливим, особливо малі та середні підприємства, які окрім забезпечення продовольчої безпеки країни та створення доданої вартості, відіграють критичну роль у забезпеченні соціально-економічного розвитку сільських територій, підтримці зайнятості населення й агросистем, збереженні місцевої культури, управлінні ландшафтами тощо [6, 8, 9]. Водночас, малі та середні виробники сільськогосподарської сировини визначаються як такі, що через нерівні умови порівняно із великими учасниками агробізнесу володіють найменшою ринковою владою у

межах агропродовольчих ланцюгів [1, 3]. Враховуючи зазначене, у процесі формування та поглиблення співпраці між усіма ланками ланцюгів слід дотримуватися принципу забезпечення вигід кожного учасників без втрат інших, що і має бути покладено в основу вертикальної координації суб'єктів агробізнесу.

Основні напрями та сфери вертикальної координації суб'єктів агробізнесу, як форми співпраці різних ланок продуктових ланцюгів, включають забезпечення позитивних ефектів для кожного актора без втрат інших, а також інформаційне забезпечення щодо потреб та потенціалу всіх без виключення учасників ланцюга, а також усунення їх інформаційної асиметрії. Саме зазначені аспекти пропонується покласти в основу математичної моделі вертикальної координації суб'єктів агробізнесу. Всі ланки агропродовольчого ланцюга формують складну мережу вертикальної координації, яку у формальному вигляді можна зобразити у вигляді мережевої моделі:

$$V = (A, E);$$

де:

V – граф елементів мережі взаємодії суб'єктів агропродовольчого ланцюга на засадах вертикальної координації;

A – множина акторів у межах взаємодії вздовж агропродовольчого ланцюга;

E – множина взаємозв'язків між різними групами учасників взаємодії у формі координаційних потоків.

У спрощеному вигляді множина акторів вертикальної інтеграції включатиме групи виробників

сільськогосподарської продукції, переробників, представників торгівлі та трейдерів:

$$K = A \cup P \cup T \cup S;$$

де:

A – множина сільськогосподарських виробників;

P – множина переробних підприємств;

T – множина трейдерів;

S – множина представників сфери збуту (гуртова та роздрібна торгівля).

Базовими є такі взаємозв'язки між групами суб'єктів агробізнесу:

1) Виробники сільськогосподарської продукції – Переробні підприємства:

$$E_{AP} \subseteq A \times P;$$

2) Виробники сільськогосподарської продукції – Трейдери:

$$E_{AT} \subseteq A \times T;$$

3) Виробники сільськогосподарської продукції – Суб'єкти сфери торгівлі:

$$E_{AS} \subseteq A \times S;$$

4) Переробні підприємства – Суб'єкти сфери торгівлі:

$$E_{PS} \subseteq P \times S.$$

Тоді узагальнено взаємозв'язки у межах системи, яка функціонує на базі вертикальної координації,

можна представити у такому вигляді:

$$E = E_{AP} \cup E_{AT} \cup E_{AS} \cup E_{PS}.$$

Кожна окрема пара взаємозв'язків описуватиметься двома параметрами:

1) бінарна змінна, яка передбачає реалізацію двох

альтернативних варіантів існування взаємозв'язків для пари акторів:

$$r_{ij} \in \{0,1\}, \quad r_{ij} = \begin{cases} 1 - \text{між акторами } i \text{ та } j \text{ існує взаємодія;} \\ 0 - \text{між акторами } i \text{ та } j \text{ взаємодії немає.} \end{cases}$$

У разі використання побудованої моделі для прийняття рішення щодо доцільності вступу до формального або неформального об'єднання, яке функціонує на засадах вертикальної координації i -го та/або j -го актора, параметр r_{ij} перетворюється на невідому змінну;

2) кількісні параметри взаємозв'язку, що охоплюють три типи координаційних потоків між акторами, а саме: вартісний, матеріальний, інформаційний:

$$e_{ij} = (e_{ij}^{mat}, e_{ij}^{val}, e_{ij}^{inf});$$

де:

e_{ij} – загальний координаційний потік у межах взаємодії i -го та j -го акторів;

e_{ij}^{mat} – кількісна оцінка матеріального потоку у межах взаємодії i -го та j -го акторів;

e_{ij}^{val} – кількісна оцінка вартісного потоку у межах взаємодії i -го та j -го акторів;

e_{ij}^{inf} – кількісна оцінка інформаційного потоку у межах взаємодії i -го та j -го акторів.

На рис. 1 відображено схему координаційних потоків у взаємозв'язках різних груп акторів. Матеріальні потоки, передусім, включають виготовлену продукцію, яка надходить від виробника/переробника до наступних ланок агропродовольчого ланцюга, а також оборотні засоби, необхідні для виробництва

сільськогосподарської продукції. Що стосується інформаційних потоків, то вони включають інформацію про параметри попиту від покупця (обсяг попиту, орієнтовну ціну та необхідні якісні показники продукції), строки, графік постачання тощо.

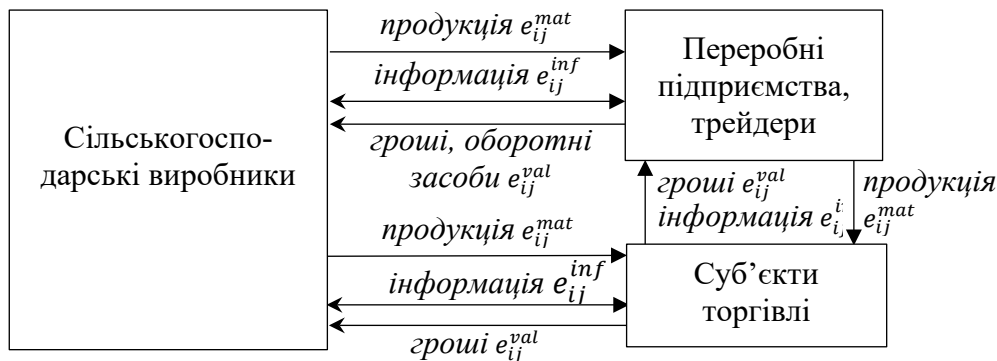


Рис. 1. Координаційні потоки між суб'єктами агробізнесу
Джерело: складено авторами самостійно.

Переважна більшість координаційних потоків є обмеженими параметрами, що пояснюється обмеженими потужностями (зокрема, наявними площами сільськогосподарських угідь та ріллі, переробними

потужностями), оборотними засобами, ринковою кон'юктурою. Враховуючи зазначене, у моделі вертикальної координації мають бути включені такі обмеження:

$$e_{ij}^{mat} \leq M_{ij} \text{ або } e_{ij}^{mat} \leq \sum M_i \text{ або } e_{ij}^{mat} \leq \sum M_j,$$

де:

M_{ij} – максимальний обсяг матеріального потоку від i -го (j -го) актора до j -го (i -го);

$\sum M_i$ або $\sum M_j$ – максимальний обсяг матеріального потоку від i -го або j -го актора.

З огляду на те, що кожна взаємодія описується парою параметрів – бінарною змінною r_{ij} та кількісними оцінками потоку e_{ij} – необхідно врахувати обмеження

щодо того, що якщо бінарна змінна набуває нульового значення, то кількісні оцінки також дорівнюватимуть нулю:

$$r_{ij} = 0 \rightarrow e_{ij} = 0.$$

У розгорнутому вигляді потенційні обмеження відображено у табл. 1.

Таблиця 1

Ресурсні та технологічні обмеження моделі вертикальної координації суб'єктів агробізнесу

Тип обмеження	Формалізована форма	Зміст та позначення
Обмеження за обсягом виготовленої с.-г. продукції	$0 \leq \sum_j q_{ij} r_{ij} \leq Q_i$	Загальний обсяг постачання с.-г. продукції від i -го актора до j -го не має перевищувати можливий обсяг виробництва продукції Q_i q_{ij} – обсяг постачання с.-г. продукції від i -го актора до j -го
Обмеження за переробними потужностями	$0 \leq \sum_j p_{ij} r_{ij} \leq Q P_i$	Загальний обсяг постачання промислової продукції від i -го актора до j -го не має перевищувати можливий обсяг виробництва продукції P_i p_{ij} – обсяг постачання промислової продукції від i -го актора до j -го
Балансування запасів		
Етап 1: на рівні j -го актору	$\sum_i q_{ij} + I_j^{beg} = D_j + I_j^{end}$ $\sum_i p_{ij} + I_j^{beg} = D_j + I_j^{end}$	Балансування сумарного обсягу постачання та початкових запасів с.-г. / промислової продукції від всіх виробників до j -го покупця із сумою потреби j -го покупця та запасами на кінець періоду I_j^{beg}, I_j^{end} – відповідно, початкові та кінцеві запаси j -го покупця; D_j – обсяг попиту j -го покупця
Етап 2: на рівні системи	$\sum_j \sum_i q_{ij} + \sum_j I_j^{beg} = \sum_j D_j + \sum_j I_j^{end}$ $\sum_j \sum_i p_{ij} + \sum_j I_j^{beg} = \sum_j D_j + \sum_j I_j^{end}$	Балансування суми обсягу постачання та початкових запасів с.-г. / промислової продукції від всіх виробників до всіх покупців із загальною потребою покупців та їх сумарними запасами на кінець періоду

Джерело: складено авторами самостійно.

Одним із ефектів вертикальної координації має стати усунення координаційних розривів у формі дефіциту або надлишку продукції. У процесі взаємодії учасників агропродовольчих ланцюгів виникає розрив

матеріальних потоків (координаційний розрив), який зменшуватиметься у процесі поглиблення вертикальної координації. На рівні покупця (переробника, трейдера, суб'єкта торгівлі) такий розрив матиме вигляд:

$$Gap_j = |D_j - I_j^{beg} - \sum_i q_{ij}|,$$

де:

Gap_j – координаційний розрив обсягів придбаної j -тим актором продукції.

На рівні сільськогосподарського виробника координаційний розрив є недореалізованим обсягом продукції:

$$Gap_i = |Q_i - \sum_j q_{ij}|,$$

де:

Gap_i – координаційний розрив обсягів реалізованої i -тим актором продукції.

Зниження координаційного розриву завдяки доступності інформації про потужності та потреби, а також спроможності оптимізувати мережу системи вертикальної координації, уможливлуватиме досягнення внутрішньосистемної рівноваги попиту та пропозиції. Саме така рівновага є одним із критерієм оптимізації складу і структури об'єднання.

У запропонованій моделі невідомими змінними обрано інтенсивність матеріальних потоків, зокрема продукції. У табл. 2 відображено основні сценарії, передбачені моделлю координації суб'єктів агробізнесу. Сценарій S_0 , за якого вертикальна координація відсутня, насамперед, потрібен для того, щоб забезпечити порівнюваність ефектів до та після поглиблення

співпраці на засадах вертикальної координації. Сценарій S_1 передбачає обмеження взаємодії між акторами у формі укладання контрактів між учасниками мережі, які регулюватимуть низку параметрів, серед яких обсяги та строки постачання, якість та ціну продукції.

Задачею моделювання у межах сценарію S_1 є визначення оптимального обсягу постачання, який буде рекомендовано для фіксування у контрактній формі. Всі інші обмеження (якість ціна та строки) враховуються в обмеженнях моделі.

Таблиця 2

Сценарії моделі вертикальної координації суб'єктів агробізнесу

Тип	Характеристики	Формалізація сценарію	Позначення
Базовий сценарій – координація відсутня S_0	Вертикальні координаційні зв'язки практично відсутні, обмежені інформаційні потоки та обміни даними, немає спільного планування, можливі значні координаційні розриви та дисбаланс попиту на пропозиції	Цільова функція: максимізація індивідуального прибутку кожного актора $h_i(q_{ij}) \rightarrow \max$ Ресурсні обмеження	h_i – прибуток i -го актора q_{ij} – шуканий обсяг постачання продукції від i -го актора
Сценарій 1 – контрактна координація S_1	Організована формалізація умов взаємодії на основі контракту. При цьому необхідно визначити оптимальні умови контракту (зокрема обсяг постачання)	Цільова функція: максимізація індивідуального прибутку кожного актора: $h_i(q_{ij}) \rightarrow \max$ Обмеження: – ресурсні обмеження; – умови контракту: $k_{ij}^m \left\{ \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \right\} K_{ij}^m$ – обмеження координаційного розриву: $Gap_{ij}^0 \geq Gap_{ij}^1$	k_{ij}^m – фактичне значення умови угоди за параметром m між i -тим та j -тим акторами K_{ij}^m – умова угоди за параметром m між i -тим та j -тим акторами Gap_{ij}^0, Gap_{ij}^1 – координаційний розрив між i -тим та j -тим акторами сценарієм 0 та 1, відповідно
Сценарій 2 – цифрова координація S_2	Формалізація умов взаємодії Орієнтація одночасно на індивідуальні та загальносистемні ефекти	Цільові функції: 1) мінімізація загального координаційного розриву $\left \sum_i Gap_i + \sum_j Gap_j \right \rightarrow \min$ 2) максимізація прибутку (у разі кількох рішень за цільовою функцією 1): $\sum_i h_i(q_{ij}) \rightarrow \max$ Обмеження: – ресурсні обмеження; – умови контракту або домовленості; – за індивідуальним ефектом $h_i^0 \leq h_i(q_{ij});$ – за транзакційними витратами $\sum_i TC_i^0 \leq \sum_i TC_i^2$ – мінімальний обсяг продукції, що обертається у системі: $\sum_i \sum_j q_{ij} \leq Q^{min}$ – умова значущості обсягів поставок: $q_{ij} \leq Q_{ij}^{max} r_{ij}$ – балансові рівняння, що враховують потребу та залишки покупців	h_i^0 – прибуток i -го актора за сценарієм S_0 h_i – прибуток i -го актора (мають бути включені всі учасники мережі координації) TC_{ij}^0, TC_i^2 – транзакційні витрати взаємодії між i -го актора за сценарієм 0 та 2, відповідно Q^{min} – мінімальний обсяг продукції, що циркулює у межах системи r_{ij} – бінарна змінна Q_{ij}^{max} – мінімально доцільний обсяг постачання від i -го актора до j -го

Джерело: складено авторами самостійно.

Аналогічні обмеження характерні і для сценарію S_2 , який передбачає функціонування координаційної мережі на базі єдиного цифрового простору та усунення інформаційної асиметрії акторів. Додатковими відмінними рисами останнього сценарію є зменшення трансакційних витрат (особливо за рахунок налагодження контактів та обміну інформацією), мінімізація загальносистемного координаційного розриву, а також підвищення індивідуальних ефектів у формі прибутків акторів. З огляду на те, що всі актори функціонують у єдиному інформаційному контурі додатковим обмеженням задачі сценарію S_2 є вищезгадані індивідуальні та загальносистемні рівняння балансів. Крім того, враховується обмеження обсягу продукції, який охоплює мережа координації.

Що стосується цільових функцій, то за відносно невисокої глибини координації (сценарій S_1) індивідуальні вигоди залишатимуться визначальними у процесі прийняття рішень. При цьому рішення аналогічно базовому сценарію прийматимуть окремі актори. Тому, критерієм оптимальності в S_1 лишатиметься прибуток кожного окремого актора.

Відповідно до результатів дослідження поглиблення співпраці учасників агропродовольчих ланцюгів, забезпечує, по-перше, збільшення індивідуальних

вигод та, по-друге, формує загальносистемний ефект, який зазвичай не може бути створений поза нової системи [2, 7]. У науковій праці [14] у межах ланцюгів постачання первинним визначено забезпечення загальної вигоди системи, а не індивідуальних ефектів. Цілком погоджуючись із зазначеним, цільовою функцією у рамках сценарію S_2 обрано мінімальний координаційний розрив, як загальносистемна вигода. Водночас, індивідуальні прибутки є головним важелем прийняття рішень акторів щодо формування взаємозв'язків та поглиблення співпраці з контрагентами. Тому, у моделі S_2 цілком логічним є використання обмеження, за яким індивідуальні прибутки кожного окремого актора після координації мають бути більшими порівняно із базовим сценарієм. У разі існування кількох оптимальних рішень, для уточнення розв'язку задачі використовуватиметься додаткова цільова функція – прибуток окремого актора.

Важливо також зазначити те, що індивідуальні прибутки враховуватимуть основні ефекти від поглиблення координації. Зокрема, показниками, які очікувано покращуватимуться через посилення взаємозв'язків вздовж агропродовольчого ланцюга, є розмір витрат включно з трансакційними, ціни та обсяги реалізації:

$$h_i = \sum_k \sum_j a_{ijk} \cdot q_{ijk} - \sum_k PC_{ik} - TC_i,$$

де:

h_i – прибуток i -го актора;

a_{ijk} – ціна реалізації k -го виду продукції i -тим актором j -му актору;

q_{ijk} – обсяг реалізації k -го виду продукції i -тим актором j -му актору;

PC_{ik} – виробничі витрати i -го актора на виготовлення продукції k -го виду;

TC_i – трансакційні витрати i -го актору (логістичні та комунікаційні витрати включно).

У розробленій моделі додатковим ефектом від координації, який можна інтерпретувати як синергетичний ефект, стане приріст загальносистемного прибутку

відносно суми індивідуальних прибутків у базовому сценарії S_0 :

$$\Delta H = \sum_i h_i^* - \sum_i h_i^0,$$

де:

h_i^0, h_i^* – прибуток i -го актора, відповідно у базовому сценарії та за умов вертикальної координації.

Саме за загальносистемним приростом прибутку можна порівнювати ефективність різних альтернативних варіантів вертикальної координації суб'єктів агробізнесу вздовж агропродовольчого ланцюга.

Висновки. Прийняття рішень щодо складу та структури систем співпраці суб'єктів агробізнесу, яка функціонує на засадах вертикальної координації, доцільно здійснювати на основі результатів моделювання. Математична модель координації включає кілька сценаріїв з різною глибиною взаємодії акторів і побудована у формі оптимізаційних задач. Критеріями оптимальності є індивідуальні та загальносистемні вигоди, які, насамперед, враховуючи прибутки акторів та їх координаційні розриви. Практичне застосування такої моделі дасть можливість визначити оптимальний перелік учасників об'єднання, яким доцільно поглиблювати

взаємодію із іншими акторами агропродовольчого ланцюга, та обсяги їх координаційних потоків (зокрема обсяг продукції).

Декларація про використання ШІ. Під час підготовки наукових матеріалів застосовувався генеративний інструмент ШІ ChatGPT (а саме GPT-4,5, 2025) для підбору літературних джерел з проблематики дослідження, використаних для авторського критичного аналізу вже існуючих наукових результатів; опрацювання альтернативних варіантів формалізації, структурування та критичного аналізу математичної моделі, остаточна постановка якої здійснена авторами. Отриманий матеріал перевірено і критично опрацьовано. Автори несуть повну відповідальність за науковість, точність та цілісність контенту.

Список використаних джерел:

1. Маєвська Н. Альтернативні моделі управління ланцюгами доданої вартості мікро- та малих агровиробників. *Сталий розвиток економіки*. 2024. № 1(48). С. 99–104. DOI: <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2024-48-13>
2. Николук О. М. Передумови застосування фрактального підходу в організації суб'єктів аграрного бізнесу. *Економіка АПК*. 2018. № 6. С. 67–75. URL: <http://ir.polissiauniver.edu.ua/handle/123456789/9424> (дата звернення: 08.06.2026).
3. Саламін О., Грабовський Р. Проблеми та перспективи розвитку аграрного ринку України. *Економіка та суспільство*. 2025. № 77. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-77-87>
4. Barry P., Sonka S., Lajili K. Vertical coordination, financial structure, and the changing theory of the firm. *American Journal of Agricultural Economics*. 1992. Vol. 74. No. 5. Pp. 1219–1225. DOI: <https://doi.org/10.2307/1242791>
5. Basiri Z., Heydari J. A mathematical model for green supply chain coordination with substitutable products. *Journal of Cleaner Production*. 2017. No 145. Pp. 232–249. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.060>
6. CAP Implementation Contact Point. Reinforcing small farm resilience. EU CAP Network. 2022. URL: https://eu-cap-network.ec.europa.eu/publications/policy-insights-reinforcing-small-farm-resilience_en#section--resources (дата звернення: 08.06.2026).
7. Dyer J. H., Singh H. The relational view: Cooperative strategy and sources of interorganizational competitive advantage. *Academy of Management Review*. 1998. No 23(4). Pp. 660–679. DOI: <https://doi.org/10.5465/AMR.1998.1255632>
8. FAO, IFAD. United Nations Decade of Family Farming 2019–2028. Global Action Plan. FAO. Rome, 2019. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/5479e317-17b9-428b-9963-ba88e681ff16/content> (дата звернення: 08.06.2026).
9. Freshwater D., Garcilazo E., Latto, J., Pace J., Simms A., Ward J., Wojan, T. Business development and the growth of rural SMEs (OECD Regional Development Working Papers No. 2019/07). OECD Publishing, 2019. URL: https://www.oecd.org/en/publications/business-development-and-the-growth-of-rural-smes_74256611-en.html (дата звернення: 08.06.2026).
10. Guo F., Lai I. K., Zhang T., Zhong Y. Profit coordination and optimization of agricultural product brand promotion lead by farmer cooperative organizations. *Complexity*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1155/2023/1536341>
11. Liao C., Lu Q., Lin L. Coordinating a three-level contract farming supply chain with option contracts considering risk-averse farmer and retailer. *PLOS ONE*. 2023. Vol. e0279115, No. 18(2). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0279115>
12. Mighell R. L., Jones L. A. Vertical coordination in agriculture (Agricultural Economic Report No. 19). U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. 1963. DOI: <https://doi.org/10.22004/ag.econ.307164>
13. Nematollahi M., Guitouni A., Heydari J., Gerbrandt E. M. Win–win contract farming in dual-channel agribusiness supply chains under yield, quality, and price uncertainty. *International Journal of Production Economics*. 2025. Vol. 286. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2025.109635>
14. Simatupang T. M., Sridharan R. An integrative framework for supply chain collaboration. *The International Journal of Logistics Management*. 2005. Vol. 16. No. 2. Pp. 257–274. DOI: <https://doi.org/10.1108/09574090510634548>.
15. Su C., Yao J. Digital traceability and contract coordination for sustainable agri-food supply chains. *Sustainability*. 2026. No 18(4). DOI: <https://doi.org/10.3390/su18042066>
16. Swinnen J. F. M., Vandeplas A., Maertens M. Liberalization, endogenous institutions, and growth: A comparative analysis of agricultural reforms in Africa, Asia, and Europe. *The World Bank Economic Review*. 2010. Vol. 24, No. 3. Pp. 412–445. DOI: <https://doi.org/10.22004/ag.econ.307164>

References:

1. Barry, P. J., Sonka, S. T., & Lajili, K. (1992). Vertical coordination, financial structure, and the changing theory of the firm. *American Journal of Agricultural Economics*, 74(5), 1219–1225. <https://doi.org/10.2307/1242791>
2. Basiri, Z., & Heydari, J. (2017). A mathematical model for green supply chain coordination with substitutable products. *Journal of Cleaner Production*, (145), 232–249. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.060>
3. CAP Implementation Contact Point. (2022). Reinforcing small farm resilience. EU CAP Network. https://eu-cap-network.ec.europa.eu/publications/policy-insights-reinforcing-small-farm-resilience_en#section--resources
4. Dyer, J. H., & Singh, H. (1998). The relational view: Cooperative strategy and sources of interorganizational competitive advantage. *Academy of Management Review*, 23(4), 660–679. <https://doi.org/10.5465/AMR.1998.1255632>
5. FAO, & International Fund for Agricultural Development. (2019). United Nations Decade of Family Farming 2019–2028: Global Action Plan. FAO. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/5479e317-17b9-428b-9963-ba88e681ff16/content>
6. Freshwater, D., Garcilazo, E., Latto, J., Pace, J., Simms, A., Ward, J., & Wojan, T. (2019). Business development and the growth of rural SMEs (OECD Regional Development Working Papers No. 2019/07). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/74256611-en>

7. Guo, F., Lai, I. K. W., Zhang, T., & Zhong, Y. (2023). Profit coordination and optimization of agricultural product brand promotion lead by farmer cooperative organizations. *Complexity*, Art. 1536341. <https://doi.org/10.1155/2023/1536341>
8. Liao, C., Lu, Q., & Lin, L. (2023). Coordinating a three-level contract farming supply chain with option contracts considering risk-averse farmer and retailer. *PLOS ONE*, 18(2), Art. e0279115. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0279115>
9. Maievska, N. (2024). Alternatyvni modeli upravlinnia lantsiuhamy dodanoi vartosti mikro- ta malykh ahrovyrobnykiv [The alternative models of added value chains management of micro and small agricultural producers]. *Stalyi Rozvytok Ekonomiky*, 1(48), 99–104. <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2024-48-13> [in Ukrainian].
10. Mighell, R. L., & Jones, L. A. (1963). Vertical coordination in agriculture (Agricultural Economic Report No. 19). U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.307164>
11. Nematollahi, M., Guitouni, A., Heydari, J., & Gerbrandt, E. M. (2025). Win-win contract farming in dual-channel agribusiness supply chains under yield, quality, and price uncertainty. *International Journal of Production Economics*, (286), Art. 109635. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2025.109635>
12. Nykolyuk, O. M. (2018). Peredumovy zastosuvannya fraktalnoho pidkhodu v orhanizatsii subiektiv aharnoho biznesu [Preconditions of usage of the fractal approach in agribusiness organization]. *Ekonomika APK*, 25(6), 67–75. <https://ir.polissiauniver.edu.ua/handle/123456789/9424> [in Ukrainian].
13. Salamin, O., & Hrabovskyi, R. (2025). Problemy ta perspektyvy rozvytku aharnoho rynku Ukrainy [Problems and prospects for the development of the agricultural market in Ukraine]. *Ekonomika ta Suspilstvo*, (77). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-77-87> [in Ukrainian].
14. Simatupang, T. M., & Sridharan, R. (2005). An integrative framework for supply chain collaboration. *The International Journal of Logistics Management*, 16(2), 257–274. <https://doi.org/10.1108/09574090510634548>
15. Su, C., & Yao, J. (2026). Digital traceability and contract coordination for sustainable agri-food supply chains. *Sustainability*, 18(4), Art. 2066. <https://doi.org/10.3390/su18042066>
16. Swinnen, J. F. M., Vandeplas, A., & Maertens, M. (2010). Liberalization, endogenous institutions, and growth: A comparative analysis of agricultural reforms in Africa, Asia, and Europe. *The World Bank Economic Review*, 24(3), 412–445. <https://doi.org/10.1093/wber/lhq017>

Дата надходження статті: 05.08.2026 р.

Дата прийняття статті до друку: 18.09.2026 р.

Дата публікації (оприлюднення) статті: 01.10.2026 р.

Стаття поширюється на умовах ліцензії Creative Commons Attribution License International CC-BY.