

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВАДИМА ГЕТЬМАНА**

Інститут інформаційних технологій в економіці

Кафедра штучного інтелекту, моделювання та статистики

Освітньо-професійна програма «Економічна кібернетика і Дата Сайнс»

Галузь знань 05 «Соціальні та поведінкові науки»
Спеціальність 051 «Економіка»

Форма здобуття освіти: очна (денна)

КВАЛІФІКАЦІЙНА магістерська РОБОТА

на тему **«Оптимізація структури виробництва фермерського господарства»**

здобувача Алексеева Олександра Вікторовича
(ПІБ, підпис)

Науковий керівник: к. ф.-м. н., доцент Олена ЮНЬКОВА
(підпис)

**Робота допущена до захисту перед екзаменаційною
комісією з атестації здобувачів вищої освіти (ЕК)**

Завідувач кафедри: к. ф.-м. н., професор
Галина Великоіваненко

(підпис)

Київ 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВАДИМА ГЕТЬМАНА**

Інститут інформаційних технологій в економіці

Кафедра штучного інтелекту, моделювання та статистики

Освітньо-професійна програма «Економічна кібернетика і Дата Сайнс»

Галузь знань 05 «Соціальні та поведінкові науки»
Спеціальність 051 «Економіка»

ПОГОДЖЕНО

Керівник проектної групи (гарант)
освітньо-професійної програми
Олена Піскунова

(підпис)

2025 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри штучного інтелекту,
моделювання і статистики
Галина Великоіваненко

(підпис)

2025 р.

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

здобувача вищої освіти Алексєєва Олександра Вікторовича

очної (денної) форми навчання

на підготовку кваліфікаційної магістерської роботи

на тему «Оптимізація структури виробництва фермерського господарства»

Тему затверджено наказом ректора Університету від «19» вересня 2025 р. № 1464-ст

Кваліфікаційна магістерська робота виконується на матеріалах

відкритих джерел

План кваліфікаційної магістерської роботи

Розділ 1	Теоретичні засади моделювання продукційної стратегії фермерського господарства
Розділ 2	Формування параметрів оптимізаційної моделі на основі регіональних статистичних даних
Розділ 3	Розроблення оптимального плану виробництва та оцінювання його чутливості до зовнішніх збурень

Об'єкт дослідження:	Виробнича діяльність фермерського господарства змішаного типу в умовах даного регіону
Предмет дослідження:	Економіко-математичні методи й інструменти оптимізації структури виробництва за ресурсних, технологічних і ринкових обмежень
Мета виконання кваліфікаційної магістерської роботи:	Розроблення оптимізаційної моделі, що поєднує методи лінійного та змішаного цілочислового програмування, каліброваної параметрами Київського регіону, з подальшим аналізом чутливості та сценарним моделюванням для оцінювання стійкості управлінських рішень.

Конкретні завдання, які здобувач повинен виконати для досягнення поставленої мети:

У розділі 1: 1) Обґрунтувати наукові принципи та методи моделювання продукційної стратегії фермерського господарства, що дозволяють визначати оптимальні обсяги та номенклатуру продукції з урахуванням ресурсних обмежень, ринкових сигналів та ризиків, пов'язаних із нестабільністю ринкових умов; 2) уточнити місце методів лінійного та мішано-цілочисельного програмування в системі планування ФГ.

У розділі 2: 1) Сформувати інформаційну базу на основі офіційної статистики Київської області за щонайменше два останні роки; виконати очищення, дефляцію грошових показників, уніфікацію одиниць виміру; 2) оцінити основні статистичні характеристики параметрів оптимізаційної моделі, перевірити узгодженість їх між собою, конвертувати дані в порівняльні одиниці вимірювання, проаналізувати стійкість параметрів в умовах оновлення інформації

У розділі 3: 1) Реалізувати математичну модель оптимізації виробничої структури фермерського господарства засобами Python та провести аналіз результатів і двоїстих змінних оптимізаційної задачі; 2) здійснити сценарний та чутливісний аналіз моделі шляхом модифікації ключових параметрів ($\pm 10\text{--}30\%$); 3) підготувати рекомендації щодо структури виробництва та організації ресурсного забезпечення фермерського господарства.

Завдання підготував
науковий керівник

(підпис)

Олена ЮНЬКОВА
(ім'я, прізвище)

«__» _____ 2025 р.

Завдання одержав
здобувач

(підпис)

Олександр АЛЕКСЄЄВ
(ім'я, прізвище)

«__» _____ 2025 р.

Реферат

Кваліфікаційна магістерська робота містить 80 сторінок, 13 таблиць, перелік використаних джерел з 58 найменувань, додатки.

«Оптимізація структури виробництва фермерського господарства»

Об'єктом дослідження є виробнича діяльність фермерського господарства змішаного типу в умовах Київської області.

Предметом дослідження є економіко-математичні методи й інструменти оптимізації структури виробництва за ресурсних, технологічних і ринкових обмежень.

Мета та завдання виконання дослідження. Мета виконання кваліфікаційної магістерської роботи полягає у розробленні оптимізаційної моделі, що поєднує методи лінійного та змішаного цілочислового програмування, каліброваної параметрами Київського регіону, з подальшим аналізом чутливості та сценарним моделюванням для оцінювання стійкості управлінських рішень.

Відповідно до поставленої мети визначені такі завдання:

- обґрунтувати наукові підходи та методи моделювання продукційної стратегії фермерського господарства з урахуванням ресурсних обмежень та ризиків;
- уточнити роль методів лінійного та змішаного цілочислового програмування в системі планування діяльності фермерського господарства.
- сформувати інформаційну базу моделі на основі офіційної статистики Київської області за останні роки;
- оцінити основні статистичні характеристики параметрів моделі, перевірити їхню узгодженість, привести дані до порівняльних одиниць виміру та проаналізувати їх стійкість;
- реалізувати математичну модель оптимізації виробничої структури фермерського господарства програмними засобами і виконати аналіз отриманих результатів та двоїстих змінних;
- виконати сценарний та чутливісний аналіз моделі шляхом зміни ключових параметрів у заданому діапазоні;
- розробити практичні рекомендації щодо оптимальної структури виробництва та організації ресурсного забезпечення фермерського господарства;

Теоретична, методична та практична значущість отриманих результатів. Теоретична значущість полягає в уточненні підходів до моделювання структури виробництва фермерських господарств змішаного профілю із застосуванням методів лінійного програмування.

Методична важливість зводиться до побудови послідовної процедури: від формування інформаційної бази та розрахунку питомих коефіцієнтів до комп'ютерної реалізації моделі й аналізу чутливості.

Практична значущість полягає у можливості використання розробленої моделі як інструменту підтримки управлінських рішень під час планування структури виробництва та використання ресурсів конкретного фермерського господарства.

Рік виконання кваліфікаційної магістерської роботи – 2025.

Рік захисту роботи – 2025.

Ключові слова: фермерське господарство, структура виробництва, оптимізація, лінійне програмування, змішане цілочислове програмування, двоїстий аналіз, тіньова ціна, аналіз чутливості ресурсні обмеження, економіко-математична модель.

В і д г у к
про кваліфікаційну магістерську роботу
здобувача освітньо-професійної програми «Економічна кібернетика і Дата Сайнс»
навчально-наукового інституту «Інститут інформаційних технологій в економіці
КНЕУ імені Вадима Гетьмана»
Алексєєва Олександра Вікторовича
на тему «Оптимізація структури виробництва фермерського господарства»

1. *Актуальність теми.* Магістерська робота присвячена актуальній науково-практичній проблемі підвищення ефективності функціонування фермерських господарств на основі використання економіко-математичних методів оптимізації. Автором проведено комплексне дослідження виробничої діяльності фермерського господарства змішаного профілю в умовах цінової та ресурсної невизначеності, що повністю відповідає сучасним потребам аграрного сектору.

2. *Позитивні риси кваліфікаційної магістерської роботи:* Робота відзначається високим рівнем теоретичної підготовки та ґрунтовним оглядом сучасних методів оптимізаційного управління у виробничих системах. Чітко визначені мета та завдання дослідження, логічна структура викладу та послідовність аналізу забезпечують зрозумілість і наукову послідовність. Значна увага приділена формуванню достовірної інформаційної бази та використанню актуальних статистичних даних, що підвищує обґрунтованість і точність отриманих висновків. Робота поєднує аналітичну строгість з практичною орієнтацією, що робить її цінною як для подальших наукових досліджень, так і для прикладного використання.

3. *Наявність самостійних розробок автора:* Автором самостійно проведено аналіз теоретичних засад оптимізаційного управління та розроблено вимоги до інформаційної бази для моделювання виробничих процесів. На основі статистичних даних Державної служби статистики України та Головного управління статистики у Київській області за 2024–2025 рр. створено прозору і відтворювану оптимізаційну модель структури виробництва фермерського господарства. Модель враховує широкий спектр ресурсних обмежень, що забезпечує реалістичність отриманих результатів.

4. *Цінність теоретичних висновків та практичних рекомендацій.* Запропонована методика та результати ідентифікації оптимальної структури виробництва є новими і можуть використовуватися для подальших досліджень та практичного планування виробничих процесів. Робота апробована на XIII всеукраїнській науково-практичній конференції форумі молодих економістів-кібернетиків «Моделювання економіки: Проблеми, тенденції, досвід»

5. *Наявність недоліків.* Деякі елементи моделі оптимізації можна уточнити шляхом залучення додаткових економічних показників та факторів, що впливають на виробничу структуру, для підвищення точності оцінок. Крім того, використання ширшої бази даних або розширення часових меж спостережень дозволило б підвищити надійність і узагальнюваність отриманих результатів.

6. *Загальна оцінка кваліфікаційної магістерської роботи та її допущення до захисту перед ЕК.* Кваліфікаційна магістерська робота Алексєєва О.В. є самостійним науковим дослідженням, що демонструє здатність автора застосовувати сучасні інформаційні технології та економіко-математичні методи для аналізу виробничих процесів фермерського господарства. Робота відповідає вимогам магістерських кваліфікаційних робіт і може бути рекомендована до захисту з позитивною оцінкою.

Науковий керівник
кандидат фізико-математичних наук, доцент,
професор кафедри штучного інтелекту,
моделювання та статистики

Олена ЮНЬКОВА

РЕЦЕНЗІЯ
на кваліфікаційну магістерську роботу
здобувача вищої освіти
Алексєєва Олександра Вікторовича
Тема *«Оптимізація структури виробництва фермерського господарства»*

Актуальність теми кваліфікаційної магістерської роботи і доцільність її розроблення. Представлена робота присвячена вирішенню актуальної науково-практичної проблеми — оптимізації структури виробництва фермерського господарства з урахуванням ринкової мінливості та статистичних особливостей первинних даних. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підвищення ефективності аграрного виробництва в умовах зростаючої конкуренції, нестабільності ринкового середовища та обмеженості ресурсів фермерських господарств. Робота спрямована на пошук інструментів, що забезпечують обґрунтоване прийняття рішень щодо раціонального формування виробничої структури для підвищення прибутковості та стійкості функціонування господарства.

Якість проведеного дослідження. Якість проведеного дослідження підтверджується науковою коректністю обраних методів, ретельною обробкою статистичних даних та ґрунтовністю отриманих висновків. Взаємозв'язки між показниками проаналізовано із дотриманням критеріїв адекватності та достовірності моделей, що забезпечує переконливість і практичну значущість результатів.

Позитивні риси кваліфікаційної магістерської роботи. о позитивних рис роботи належать належний рівень актуальності досліджуваної проблематики, наукова обґрунтованість підходів, чітка постановка мети та завдань, а також застосування сучасного інструментарію статистичного й оптимізаційного аналізу. Матеріал викладено послідовно, результати проілюстровано наочними аналітичними матеріалами, що підсилює переконливість висновків.

Зауваження. Попри загальну якість виконання, дослідження може виграти від розширення емпіричних даних та чіткішої інтерпретації окремих результатів. Додаткове зіставлення з іншими методами дозволить підвищити комплексність роботи.

Практична значимість висновків і рекомендацій. Позитивним аспектом роботи є її практична спрямованість: отримані результати можуть бути використані фермерськими господарствами для обґрунтування управлінських рішень, а також для подальшого удосконалення моделей оптимізації виробництва.

Загалом структура кваліфікаційної роботи є виваженою, а логіка викладу — чіткою та завершеною. Комплексний підхід, поєднання теоретичних, методичних і практичних аспектів свідчать про системність і ґрунтовність проведеного дослідження..

Рецензент:

Доктор фіз.-матем. наук, професор
кафедри системного аналізу та прийняття рішень
КНУ ім. Тараса Шевченка

Євген ІВОХІН

Зміст

Вступ	3
1.1. Виробнича структуризація та оптимізаційні підходи в управлінні фермерським господарством	7
1.2. Методичні засади формування та організації інформаційної бази дослідження	12
1.3. Дослідження стійкості оптимальних рішень у нестабільних ринкових умовах	19
РОЗДІЛ 2 ФОРМУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОПТИМІЗАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ НА ОСНОВІ РЕГІОНАЛЬНИХ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ	29
2.1. Формування статистичної бази дослідження	29
2.2. Інтеграція сезонного фактора в оптимізаційну модель та оцінювання її точності	39
2.3. Забезпечення стійкості оптимізаційної моделі до варіацій даних	44
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБЛЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНУ ВИРОБНИЦТВА ТА ОЦІНЮВАННЯ ЙОГО ЧУТЛИВОСТІ ДО ЗОВНІШНІХ ЗБУРЕНЬ	52
3.1. Кількісне розв’язання оптимізаційної задачі	52
3.2. Двоїстий аналіз та дослідження стійкості виробничого плану	61
ВИСНОВКИ	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	81
ДОДАТКИ	87

ВСТУП

Актуальність теми. Оптимізація структури виробництва у фермерському господарстві є центральною управлінською задачею, що поєднує вибір номенклатури продукції та масштабів її випуску за умов жорстких ресурсних лімітів і мінливої ринкової кон'юнктури. Для господарств Київської області, які працюють у змішаній моделі тваринництва й рослинництва, ключовими обмеженнями залишаються доступність праці у пікові місяці сезону, наявність кормової бази в перерахунку на суху речовину, площі під багаторічні насадження та кормові культури, а також оборотний бюджет. Цінові сигнали з ринку молока, м'яса та ягідної продукції формують різні профілі маржинальності, і їх поєднання у межах одного господарства потребує не інтуїтивних, а формалізованих рішень. В таких умовах методи лінійного і змішаного цілочислового програмування дедалі активніше застосовують для планування структури виробництва й перевірки стійкості планів до коливань ринку. Наукове обґрунтування та розв'язання оптимізаційної задачі планування виробництва є ефективним інструментом підвищення економічної ефективності сільськогосподарських підприємств і мінімізації ризиків, пов'язаних з обмеженістю ресурсів та нестабільністю ринкових умов.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У наукових дослідженнях питання оптимізації виробничої структури фермерських господарств активно опрацьовуються як у вітчизняній, так і міжнародній практиці. Значний внесок у розвиток методології оптимізаційного планування зробили Х. Річардсон і Дж. Мурс, які досліджували застосування лінійного програмування в аграрному секторі, а також М. Хейзел, що розглядав моделі оптимізації ресурсного розподілу для малих фермерських систем. Суттєві напрацювання щодо економіки змішаних систем рослинництва й тваринництва належать П. Хазеллі та Р. Норрісу, які обґрунтували переваги формалізованих підходів до структурування виробництва.

В українському науковому середовищі проблему ефективності аграрного виробництва та можливостей оптимізаційного моделювання досліджували В. Андрійчук, П. Саблук, М. Малик та інші, підкреслюючи важливість математичних моделей для підвищення результативності фермерських господарств і адаптації їх до нестабільних ринкових умов.

Широке застосування математичного програмування у сільському господарстві — для оптимізації посівних площ, раціонів годівлі, завантаження праці чи логістики — не забезпечило розв’язання багатьох проблем. У міжнародних і вітчизняних дослідженнях залишилось поза увагою створення компактних і водночас прозорих лінійних та частково цілочислових моделей (LP/MIP-моделей), які могли б легко параметризуватися з офіційної регіональної статистики без складних допущень і закритих даних. Нерозв’язаними залишаються питання уніфікації статистичних джерел, узгодження цінових рядів та формування параметрів моделі з чітким економічним змістом, що й становить основний методичний виклик сучасних досліджень з оптимізації виробничої структури фермерських господарств.

Об’єктом дослідження є виробнича діяльність фермерського господарства змішаного типу в умовах даного регіону. *Предметом* є економіко-математичні методи й інструменти оптимізації структури виробництва за ресурсних, технологічних і ринкових обмежень.

Мета виконання дослідження полягає у розробленні оптимізаційної моделі, що поєднує методи лінійного та змішаного цілочислового програмування, каліброваної параметрами Київського регіону, з подальшим аналізом чутливості та сценарним моделюванням для оцінювання стійкості управлінських рішень.

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

1. Обґрунтувати наукові принципи та методи моделювання продукційної стратегії фермерського господарства, що дозволяють визначати оптимальні обсяги та номенклатуру продукції з урахуванням ресурсних обмежень, ринкових сигналів та ризиків, пов’язаних із нестабільністю ринкових умов.

2. Уточнити місце методів лінійного та мішано-цілочисельного програмування в системі планування ФГ.
3. Сформувати інформаційну базу на основі офіційної статистики Київської області за щонайменше два останні роки; виконати очищення, дефляцію грошових показників, уніфікацію одиниць виміру.
4. Оцінити основні статистичні характеристики параметрів оптимізаційної моделі, перевірити узгодженість їх між собою, конвертувати дані в порівняльні одиниці вимірювання, проаналізувати стійкість параметрів в умовах оновлення інформації
5. Реалізувати математичну модель оптимізації виробничої структури фермерського господарства засобами Python та провести аналіз результатів і двоїстих змінних оптимізаційної задачі,
6. Здійснити сценарний та чутливісний аналіз моделі шляхом модифікації ключових параметрів ($\pm 10\text{--}30\%$)
7. Підготувати рекомендації щодо структури виробництва та організації ресурсного забезпечення фермерського господарства.

Інформаційну базу становлять офіційні джерела Державної служби статистики України та Головного управління статистики у Київській області за 2024–2025 роки: ціни реалізації продукції підприємств, показники тваринництва, площі та урожайність культур, зокрема ягідних. Грошові ряди зведено до порівняльної бази 2025 року; показники узгоджено за одиницями виміру для можливості коректного порівняння тваринницьких і рослинницьких напрямів; у випадку аномалій застосовано робастні статистики — медіани та квартильні оцінки. Така підготовка даних відповідає вимогам до інформаційної бази кваліфікаційних робіт і забезпечує відтворюваність розрахунків.

Методи дослідження. Робота спирається на інструментарій дослідження операцій і прикладної статистики. Лінійне програмування використано для побудови базового рішення зі змінними без цілочислових обмежень, тоді як змішане цілочислове програмування застосовується в разі необхідності врахувати порогові ефекти, наприклад мінімальний розмір партії чи вимоги до

безперервності циклів. Для підготовки даних застосовано дефляцію грошових рядів до єдиної бази, уніфікацію одиниць виміру, очищення від викидів та перехресну зв'язку ключових показників. Реалізація моделі здійснюється засобами Python з використанням бібліотек для оптимізації й аналізу даних.

Теоретична, методична та практична значущість отриманих результатів. Теоретична та методична значущість роботи полягає в інтеграції трьох ключових компонентів. По-перше, сформовано мінімальний, але інформативний набір параметрів, безпосередньо отриманих із офіційної статистики — виручки, змінних витрат, трудо-, кормо- та площемісткості. По-друге, у модель введено пофазну структуру праці з урахуванням сезонних піків, що дає змогу інтерпретувати тіньові оцінки для критичних періодів та ухвалювати практичні рішення щодо залучення додаткових ресурсів. По-третє, оптимізаційний модуль поєднано зі сценарним аналізом, який варіює ринкові та ресурсні параметри й дає змогу оцінити стійкість рекомендованої структури виробництва.

Практична значущість роботи полягає у створенні відтворюваного інструменту підтримки рішень для фермерського господарства. Модель дозволяє швидко сформувати оптимальний виробничий план за поточних параметрів ринку, оцінити завантаження ресурсів і граничні ефекти від їхнього збільшення, а також адаптувати рекомендації за появи нових контрактів чи змін у продуктивності.

Робота поєднує вимоги академічної коректності з прикладною орієнтованістю на потреби фермерського господарства. Її результатом є прозорий методичний інструмент, що дозволяє перетворювати відкриті регіональні статистичні дані на конкретні управлінські рішення й забезпечує можливість регулярного переобчислення плану зі зміною ринкових параметрів.

Структура роботи включає вступ, три розділи, висновки, список використаних джерел та додатки.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ОПТИМІЗАЦІЇ СТРУКТУРИ ВИРОБНИЦТВА ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

1.1. Виробнича структуризація та оптимізаційні підходи в управлінні фермерським господарством

Для економічної діяльності фермерського господарства (ФГ) характерною є нерівномірність динаміки, вплив сезонних чинників та відмінності у рентабельності окремих напрямів діяльності. Це доводить необхідність не лише описати тенденції, а й перейти до визначення оптимальної структури виробництва, що забезпечуватиме максимальний економічний результат за наявних ресурсних обмежень. Раціоналізація виробничої структури фермерського господарства потребує чіткої формалізації управлінської задачі у вигляді оптимізаційної моделі. Для цього необхідно визначити перелік змінних, що характеризують масштаби виробничих активностей, сформулювати набір ресурсних та технологічних обмежень, а також задати цільову функцію, яка відображає економічну мету господарства — максимізацію прибутку або забезпечення стійкості. Така постановка задачі дає змогу структуровано відобразити зв'язки між ресурсами, технологічними процесами й ринковими умовами, що створює основу для подальшого використання методів лінійного та змішаного програмування. Формалізований підхід також забезпечує однозначність інтерпретації результатів та відтворюваність управлінських рішень у різних сценаріях ринкової кон'юнктури [1-4].

Раціональна структура виробництва у ФГ визначає не лише рівень поточної маржинальності, а й здатність забезпечувати стабільність господарської

діяльності в умовах сезонності, цінової волатильності та обмеженості ресурсів. Особливо це проявляється у господарствах змішаного профілю, де поєднуються тваринництво (молочне скотарство, птахівництво, інші види тварин) та ягідництво чи садівництво. Така виробнича структура характеризується не лише різноманітністю технологічних циклів, а й потребою у постійному балансуванні ресурсів та узгодженні рішень між альтернативними напрямками діяльності [5; 6].

Наявність кількох виробничих галузей створює специфічну управлінську складність: тваринницькі процеси мають виражену циклічність та потребують регулярного ресурсного забезпечення, тоді як рослинницькі культури характеризуються короткими сезонними піками, що формують різкий попит на працю, корми чи площі. Обмеженість трудових ресурсів, кормів у перерахунку на суху речовину, площ та оборотного бюджету призводить до конкуренції між напрямками виробництва, що потребує їхнього одночасного врахування при плануванні. Додаткову складність становить варіативність каналів збуту, адже продукція може реалізовуватися через контрактні, оптові чи роздрібні канали, які суттєво відрізняються рівнем цін, транзакційними витратами, вимогами до якості та ризиковістю. До того ж, стандарти якості для різних видів продукції також є неоднорідними: у молочному виробництві ключову роль відіграють показники охолодження й бактеріального посіву, тоді як для ягід критичною є наявність доробки та «холодного ланцюга», що впливає на кінцеву реалізаційну ціну [6-8].

Поширені на практиці евристичні підходи, такі як екстраполяція попередніх виробничих планів або ручний перерозподіл ресурсів, не забезпечують необхідної точності рішень. Вони не гарантують оптимального завантаження праці в пікові періоди, можуть призводити до неузгодженості витратних статей та недовикористання наявних виробничих потужностей. За таких умов виникає потреба у формалізованому інструменті, який здатний одночасно враховувати цінові параметри, технологічні норми, виробничі обмеження та доступність ресурсів, забезпечуючи отримання управлінського рішення у вигляді чітко визначених обсягів діяльності, їхніх маржинальних характеристик та вартості дефіцитних ресурсів [9; 10].

Ключовою перевагою моделі, використаної в цьому дослідженні, є забезпечення порівнянності альтернатив у спільних одиницях виміру. Використання питомих коефіцієнтів «виручка — витрати — ресурсомісткість» дає змогу привести різні види діяльності до єдиної системи координат і тим самим оцінити їхню ефективність із позиції внеску в загальну маржинальність господарства. Такий підхід дозволяє відповісти на низку практично значущих питань: які напрями виробництва є доцільними для масштабування або скорочення за наявних ресурсних обмежень; як зміниться оптимальний виробничий план у разі підвищення або зниження цін на продукцію чи ресурси; яку економічну «цінність» має додаткова людино-година або тонна СР, та чи виправданими є інвестиції у механізацію або аутсорсинг сезонної праці. Таким чином, формалізоване моделювання дозволяє трансформувати складну багатокомпонентну управлінську задачу в системний аналітичний інструментарій, що забезпечує підвищення стійкості та економічної ефективності фермерських господарств змішаного профілю [11-13].

Оптимізація структури виробництва у фермерському господарстві є класичною задачею економіки виробництва, що поєднує стратегічні та операційні рішення. Для фермерів Київської області вона набуває особливої ваги через поєднання кількох чинників: ресурсна обмеженість земель під кормові й ягідні культури, сезонні коливання трудових навантажень, наявність переробної інфраструктури, яка формує специфічні канали збуту для молока, а також помітна волатильність цін на аграрну продукцію та проміжні ресурси (корма, енергоносії, пакування, логістика холоду). У таких умовах сумарний фінансовий результат господарства істотно визначається не лише середньою маржинальністю окремих напрямів, а насамперед тим, як вони комбінуються в межах спільних лімітів праці, бюджету, площі і кормової бази в пікові періоди.

Проблема постає як вибір такої комбінації видів діяльності, для якої за наявних ресурсів досягається максимум операційного результату при дотриманні технологічних і ринкових обмежень. На інтуїтивному рівні фермер може схилитися до «традиційної» структури, однак у момент різкої зміни співвідношень

«ціна—витрати—навантаження на працю» такий підхід призводить до втрати ефективності. Формалізована модель дозволяє відмовитися від евристик і відтворити рішення у прозорій та перевірюваній формі, зокрема через інтерпретацію двоїстих оцінок дефіцитних ресурсів як граничних цін [14; 15].

У регіональному контексті Київщини є низка об'єктивних особливостей. Перша пов'язана з переробкою молока: наявність переробних підприємств створює стабільний канал збуту для господарств, що підтримують достатню якість сировини, та водночас встановлює діапазон закупівельних цін. Друга — з ягідництвом, де сезонна концентрація праці та необхідність доробки/охолодження формують пікове вузьке місце влітку. Третя — з доступністю оборотного бюджету: вартість фінансування оборотних витрат може бути співставною з ефектом від розширення виробничої програми, а отже потребує кількісного обґрунтування [16-19].

Зазначені особливості функціонування фермерського господарства потребують розроблення моделі, здатної забезпечити формалізоване управлінське рішення за реалістичних умов ведення аграрної діяльності. Така модель має відповідати кільком ключовим вимогам. По-перше, вона має оперувати параметрами, що можуть бути прямо відтворені з офіційної регіональної статистики, що забезпечує її застосовність у практиці та можливість відтворення результатів на даних різних господарств. По-друге, модель повинна враховувати поквартальні ліміти праці як репрезентацію сезонності виробничих процесів, оскільки саме коливання потреби в трудових ресурсах є визначальним чинником операційної стійкості ФГ. По-третє, модель має забезпечувати проведення сценарних варіацій ринкових (цінових) та ресурсних параметрів з метою оцінювання чутливості оптимального плану до змін зовнішніх умов та визначення меж стійкості господарської діяльності. Реалізація цих вимог створює можливість не лише отримати оптимальну структуру виробництва, а й проаналізувати її адаптивність та економічну доцільність за різних управлінських сценаріїв.

Виробнича структура фермерського господарства інтерпретується як набір активностей — однорідних операційних одиниць, масштаб яких може

змінюватися в межах технологічно допустимого діапазону. Для молочного напряму такою одиницею доцільно вважати «корову на рік», для птахівництва — «тонну живої маси за цикл», для ягідництва — «га сезону» з чітко визначеною трудомісткістю вирощування, збору та доробки. Кожна активність характеризується виручкою на одиницю, змінними витратами у порівняльній ціновій базі, трудо-, кормо- та площемісткістю, а також специфічними обмеженнями збуту (контракти, опт, роздріб) [20; 21].

Сукупні ресурси господарства — земля, праця (у т. ч. поквартально), кормова база в сухій речовині та оборотний бюджет — є лімітами, що накладають верхні межі на рішення. Для адекватного відображення сезонності праці ключовим є третій квартал, у якому збігаються піки збору й доробки ягід та інтенсивні операції у тваринництві. Розглядаючи межі саме за кварталами, а не лише у річному підсумку, модель коректно розрізняє «рівні» року, що важливо для інтерпретації двоїстих цін.

З погляду цільової функції оперуємо операційним результатом як різницею між сумою виручки та змінними витратами на всі активності. Таке визначення забезпечує порівнянність рішень між напрямками тоді, коли фіксовані витрати розглядаються як задані на плановому горизонті й не залежать від масштабів активностей в межах реалістичних інтервалів [22].

Робочі гіпотези зводяться до трьох положень. По-перше, при коректній дефляції та уніфікації одиниць офіційні регіональні ряди є достатніми для побудови первинних параметрів активностей без доступу до мікроданих господарства. По-друге, сезонна структура праці, виділена квартално, є визначальним чинником вибору між ягідництвом і молочним напрямом за фіксованого бюджету. По-третє, збільшення оборотного бюджету в межах реалістичного коридору дає позитивний граничний ефект для цільової функції доти, доки альтернативне вузьке місце — праця третього кварталу — не стане визначальним [21; 23; 24].

1.2. Методичні засади формування та організації інформаційної бази дослідження

Методика дослідження спирається на декілька базових принципів. Передусім, параметри активностей мають бути відтворюваними з офіційних публікацій. Для цього всі грошові ряди приводяться до єдиної порівняльної бази 2025 року; у разі значної волатильності замість простих середніх використовуються робастні оцінки — медіана і кватильні інтервали, що зменшують вплив поодиноких аномалій на маржу одиниці активності. Продуктивність і вихід продукції фіксуються у натуральних одиницях (літри, тонни, голови), а кормомісткість переводиться у тонни сухої речовини для порівняльності між силосом, сінажем і концентратами. Показники праці агрегуються до люд.-год для відповідних фаз року з виокремленням третього кварталу як критичного періоду [25; 26].

Далі, при перетворенні статистики на параметри моделі зберігається принцип «мінімально достатнього набору». Це означає, що кожна активність описується невеликим числом показників, але достатнім для коректного відображення її впливу на ціль і ресурси: виручка на одиницю, змінні витрати, трудомісткість за кварталами, кормомісткість у СР, площемісткість у гектарах та, за потреби, каналні обмеження. Таке звуження переліку параметрів знижує ризик перенавчання моделі на шумових ефектах і полегшує регулярне оновлення.

Окремим аспектом є узгодження одиниць виміру між блоками тваринництва та ягідництва. Практично це реалізується через створення інтегрованої «схеми даних», у якій кожне поле має однозначний опис і джерело, а перетворення (дефляція, агрегування, конвертації) документуються. У процесі калібрування параметрів дозволяється застосовувати локальні поправки, якщо для конкретної активності відомі регіональні технологічні особливості, але всі такі поправки мають бути чітко виписані, а не «вшиті» в непрозорі коефіцієнти.

Вимога відтворюваності, закладена у підхід, важлива не лише з позицій академічної коректності, а й для практичної експлуатації моделі. Господарство зможе регулярно перераховувати план в міру оновлення статистики, не втрачаючи зв'язок між новими величинами і базовими формулами. У цьому сенсі модель сприймається як «двигун», що працює на формалізованих даних, а не як разова аналітична вправа.

Система обмежень відображає реальні ліміти господарства. Земля фіксується як верхня межа площі під багаторічні насадження та кормові культури; праця подається щоквартально зі збереженням річної суми і виділенням вузьких місць у піках; кормова база у СР відбиває доступність кормів у плановому році; оборотний бюджет — граничний обсяг змінних витрат. Для ягідного сегмента за потреби вводяться обмеження щодо доступності доробки та холоду як операційні ліміти у пікові тижні, а також каналні обмеження: мінімальні чи максимальні частки оптового й контрактного збуту.

Тіньові оцінки (двоїсті ціни) мають безпосередню управлінську інтерпретацію. Якщо тіньова ціна праці третього кварталу додатна, кожна додаткова людино-година у цей період збільшує цільову функцію на величину, що дорівнює цій оцінці, за незмінності інших чинників. Це відкриває шлях до раціонального вирішення питань про залучення сезонних працівників, аутсорс доробки чи оренду додаткових холодильних потужностей — до того моменту, коли граничні витрати порівнюються з тіньовою ціною. Аналогічно інтерпретуються бюджетні обмеження: позитивна двоїста ціна бюджету свідчить про доцільність розширення кредитної лінії, якщо ставка фінансування нижча за граничний ефект.

Надійність оптимізаційної моделі безпосередньо залежить від того, наскільки коректно зведено вихідні статистичні ряди до спільної основи. Перша вимога — єдина порівняльна цінова база, яка дозволяє складати та порівнювати показники, отримані у різні місяці чи роки. У роботі всі грошові величини перераховано до бази 2025 року [21-23]. Таке зведення не змінює відносні співвідношення, але усуває викривлення, що виникає через інфляційні зсуви.

Друга вимога — уніфікація одиниць виміру, завдяки якій тваринницькі та рослинницькі показники стають порівнюваними на рівні параметрів активностей. Для молочного напрямку і птахівництва продукція подається у літрах або кілограмах/тоннах живої маси, тоді як кормові витрати переводяться у тонни сухої речовини [15; 16; 19]. Саме ця одиниця є інваріантною щодо конкретної структури раціону і забезпечує можливість порівнювати енергетичну вартість силосу, сінажу і концентрованих кормів у єдиному вимірі. Для ягідного сегмента базовою натуральною величиною слугує тонна товарної продукції з гектара разом із прив'язкою до годин праці на вирощування, збір і доробку [18].

Окремої уваги потребує міжчасова сумісність показників. Річні підсумки рослинництва не завжди співпадають за календарем із щомісячними цінами реалізації продукції підприємств; крім того, окремі цінові ряди мають виразну сезонність. Щоб уникнути зсувів, у моделі використовуються сезонно-очищені або медіанні значення для формування параметрів, тоді як сама сезонність переноситься у поквартальні ліміти праці та операційні обмеження доробки. Такий підхід краще відповідає управлінському змісту: сезонні «піки» праці та логістики коригують саме можливість реалізації плану, а не викривляють базові коефіцієнти маржі на одиницю активності. Для перевірки стабільності показників застосовуються міжквартильні інтервали; якщо величина виходить за межі «нормального» діапазону, вона позначається як ризикова і додатково перевіряється на предмет одноразових ефектів.

Ще один аспект уніфікації — співставність каналів збуту. Для молочної сировини регіональною «опорою» є закупівельні ціни переробних підприємств, тоді як для ягід існує розрив між оптовими цінами і цінами роздрібного продажу в короткому ланцюгу. Щоб зберегти нейтральність, у параметрах активностей «роздріб» і «гурт» виступають як окремі альтернативи з власними цінами і трудомісткістю [27; 28]. Вибір між ними робить не аналітик, а оптимізаційна модель з урахуванням поквартальних лімітів праці та бюджету. Таке рознесення дозволяє уникати змішування різних бізнес-моделей у середньому значенні ціни, яке було б методологічно некоректним.

Параметризація обмежень задачі починається з визначення операційної одиниці кожного напрямку. Для молочного виробництва природною одиницею є «корова на рік». Виручка на одиницю формується як добуток середньої закупівельної ціни на молоко у Київській області та очікуваного річного надоїв, скоригованого на частку товарності. Змінні витрати включають корми (перераховані у гривні через ціну тонни СР), енергоносії, ветеринарні послуги, логістичні витрати та витрати на підтримання якості сировини згідно з вимогами переробника. Трудомісткість оцінюється в людино-годинах на корову- рік із поквартальним розкладом, у якому відображено зростання навантаження в пасовищний період. Така конструкція дозволяє моделі порівнювати молочний сегмент з іншими активностями за «ціною» кожного вузького ресурсу.

Для птахівництва та іншої худоби операційною одиницею виступає «тонна живої маси за цикл». Виручка визначається через ціну реалізації живої маси підприємств регіону, а змінні витрати охоплюють комбікорми, енергоносії, ветеринарні препарати і логістику. На відміну від молока, де споживання кормів протягом року більш-менш рівномірне, птахівництво концентрує кормомісткість і працю в межах коротших циклів, що робить цей напрям чутливим до коливань цін на корми та енергію. У моделі це відображається через дещо вищі коефіцієнти ризиковості у сценарному аналізі та можливі мінімальні партії як цілочисельне обмеження для реалістичності плану.

Ягідництво параметризується за одиницею «гектар сезону» із поділом на дві каналні альтернативи — «гурт» і «роздріб». Для «гурту» виручка бере до уваги середні оптові ціни сезону і типовий товарний вихід з гектара; змінні витрати охоплюють витрати на захист рослин, добрива, полив, пакування для оптових партій і базову доробку. Для «роздрібного» каналу застосовується вища ціна, але істотно більша трудомісткість у пікові тижні збору і продажу, а також додаткові витрати на фасування і зберігання в короткому ланцюгу. Оскільки третій квартал за таких умов часто стає головним вузьким місцем, параметри праці для «роздробу» розташовано так, щоб модель могла коректно оцінити його «вартість» через двоїсту ціну квартального ліміту [29].

Особливістю побудови параметрів є послідовність перетворень: спершу ціни зводяться до бази 2025 року; далі натуральні показники узгоджуються за одиницями (літри, кілограми, гектари, тонни СР); потім обчислюються питомі коефіцієнти виручки та змінних витрат на одиницю активності; на завершення формується поквартальний вектор праці і, за потреби, додаткові операційні ліміти. Такий порядок гарантує, що кожна цифра у параметрах може бути відтворена з вихідної статистики й однозначно інтерпретована під час обговорення результатів з управлінцями.

Сезонність є специфічною рисою аграрної діяльності і повинна бути вписана у модель не як «шум», а як структурний чинник. У молочному напрямі праця розподілена протягом року відносно рівномірно з помірним підвищенням навантаження у пасовищний період, тоді як ягідництво демонструє концентровані «пики» у фазі збору та доробки. Якщо агрегувати річну трудомісткість у середньорічний показник, модель втратить здатність коректно оцінити альтернативну вартість кожної години праці у конкретний період часу. Саме тому ліміт на працю вводиться поквартально, що дозволяє двоїстим оцінкам «зловити» дефіцит у потрібний момент [30; 31].

Третій квартал — традиційний критичний період для ягід: одночасно відбувається збір, доробка, охолодження і відвантаження, причому значна частина операцій погано піддається автоматизації. За таких умов навіть незначний недобір праці або перебої у холодовому ланцюгу різко знижують товарний вихід і ціну реалізації. У моделі цей ризик відображається не шляхом додаткових штрафів у цільовій функції, а через реалістичні ліміти праці та доробки. Якщо господарство підсилює третій квартал завдяки субпідряду доробки або залученню сезонних бригад, тіньова ціна відповідного обмеження зменшується, і структура виробництва може зміститися на користь ягідного сегмента. Таким чином управлінське рішення щодо підсилення пікового періоду отримує кількісне обґрунтування [30; 31].

Інше типове вузьке місце — оборотний бюджет. Воно виникає внаслідок невідповідності календаря витрат і надходжень та обмеженої кредитної лінії.

Якщо двоїста ціна бюджетного ліміту додатна, додаткове фінансування дає прямий граничний ефект на цільову функцію доти, доки іншим «твердим» обмеженням не стане праця або кормова база. Для молочного напрямку бюджет часто перетворюється на ключовий стримувальний чинник: ефективність перетворення кожної тисячі гривень у маржу тут вища, ніж у багатьох альтернатив, але масштабування впирається у доступний ліміт змінних витрат. Відповідно до результатів моделі, управлінська пріоритетність у таких ситуаціях зміщується від простого розширення площ до гнучкого фінансування оборотних потреб.

Нарешті, вагомим обмеженням стає кормова база в сухій речовині. Її дефіцит посилює чутливість молочного сегмента до цін на корми й переводить фокус на ягідництво, яке не споживає СР, але навантажує працю у піку сезону. Тому стратегія «балансування вузьких місць» полягає не в абстрактному прагненні до «диверсифікації», а в цілеспрямованому комбінуванні активностей, які використовують різні обмежувальні ресурси: молоко — бюджет і СР, ягоди — працю та доробку, птахівництво — бюджет і короткі цикли кормів/енергії. Звідси випливають і практичні наслідки: якщо сезонні працівники та доробка забезпечені, ягідництво стає потужним бенчмарком для III кварталу; якщо ж доступ до бюджету та кормів є ключовим обмеженням — молоко формує «якір» оптимуму.

Параметри активностей, отримані зі статистичних публікацій, є відправною точкою, яку необхідно піддати калібруванню під реалістичні умови фермерського господарства. Калібрування не повинно перетворюватися на довільну підгонку; його зміст полягає в уточненні тих величин, щодо яких існує обґрунтована різниця між регіональним середнім і очікуваними умовами конкретного виробничого профілю. У молочному напрямі типовими є корекції річного надоїв, частки товарності та витрат на енергоносії; у ягідництві — коефіцієнтів товарного виходу, питомої трудомісткості збору та втрат при доробці; у птахівництві — норм комбікормів і тарифів на енергію у коротких виробничих циклах.

Після первинного уточнення проводиться перевірка чутливості. Для кожного блоку параметрів визначається інтервал, у межах якого їх варіювання

зберігає зв'язок із емпіричними спостереженнями. Зміна ціни реалізації на десять відсотків у межах сезонної волатильності, корекція витрат на корми в межах коливань біржових індикаторів, зміщення трудомісткості у пікові тижні за даними попередніх сезонів — такі варіації дозволяють оцінити стабільність структури виробництва. Якщо оптимальний план при незначних коливаннях параметрів змінює профіль, це сигналізує про існування рівновеликих альтернатив і потребу в додаткових управлінських обмеженнях, зокрема у вигляді мінімальних часток для стратегічних напрямів або страхових квот у каналах збуту.

Калібрування завершується документуванням прийнятих значень і підстав їх застосування. Це не лише підвищує прозорість моделі, а й спрощує регулярне оновлення розрахунків у міру публікації нових статистичних даних. Сформований набір параметрів зберігає прямий зв'язок із джерелами, завдяки чому можна пояснити кожен крок перетворень і відтворити їх у майбутньому.

Цільова функція моделі відтворює економічну логіку короткострокового і середньострокового планування. У горизонті одного сезону або року ключові рішення стосуються масштабів активностей за умови незмінної виробничої конфігурації, коли основні фонди та постійні витрати не зазнають різких зрушень. За таких умов раціональною мірою ефективності є операційний результат як різниця між виручкою і змінними витратами. Це визначення дозволяє зіставляти альтернативи, що з різною інтенсивністю навантажують ресурси, але використовують однакову базову інфраструктуру. Фіксовані витрати залишаються поза межами оптимізації й аналізуються у процедурі післяоптимізаційної перевірки для оцінювання загального фінансового результату.

Важливим є розмежування витрат на ті, що змінюються пропорційно до масштабу активності, і ті, що мають пороговий характер. Наприклад, оренда додаткових холодильних потужностей для ягід може виявитися не поступовою, а кусково-постійною. У таких випадках доцільно переходити від чисто лінійної постановки до змішаного цілочислового програмування, де ввімкнення певної опції моделюється бінарною змінною з відповідною оплатою за активацію [32]. Водночас надмірне ускладнення постановки погіршує інтерпретованість і

стабільність розв'язання, тому такий прийом застосовується лише тоді, коли пороговість справді визначає вибір між альтернативами.

Практична перевага обраної цільової функції полягає у сполученні з двоїстими оцінками ресурсів. Величина тіньової ціни на працю певного кварталу інтерпретується як граничний ефект на операційний результат від додаткової години у цей період, тоді як двоїста ціна бюджету вказує на доцільність розширення кредитної лінії. Це створює міст між результатами математичного розрахунку і реальними управлінськими рішеннями щодо фінансування оборотних потреб, бронювання сезонних бригад чи переорієнтації площ.

1.3. Дослідження стійкості оптимальних рішень у нестабільних ринкових умовах

Невизначеність для фермерського господарства проявляється передусім через мінливість цін збуту, вартості кормів та енергоносіїв, а також через коливання врожайності і трудомісткості у пікові тижні. Модель має бути придатною до аналізу таких змін без повної перебудови, тому сценарне моделювання організовано навколо варіювання ключових параметрів у реалістичних інтервалах. Базовий сценарій відповідає медіанним значенням у порівнянній ціновій базі, оптимістичний враховує покращення цін і зниження окремих витрат, песимістичний — зворотні припущення. Для чутливих параметрів застосовуються індивідуальні коридори; наприклад, для кормів і енергоносіїв інтервали ширші, ніж для цін переробних підприємств на молоко [33; 5; 9].

Сценарії не розглядаються як інструмент передбачення, їх призначення — оцінити стійкість оптимального плану і визначити порогові значення параметрів, за якими доцільно переглянути виробничу програму. Якщо за всіх сценаріїв

певний напрям стабільно входить до складу оптимуму, це свідчить про його базову роль у структурі господарства; якщо ж частота появи низька і залежить від одного чинника, необхідно переосмислити управлінські рішення щодо контрактів або ресурсного забезпечення. У такий спосіб сценарний блок перетворюється на інструмент превентивного планування, що зменшує ризик реактивних і запізнілих коригувань впродовж сезону.

Окремою формою роботи з ризиком є квазіробастний підхід до параметрів. Замість введення складних стохастичних обмежень у базову постановку, у параметри закладаються обережні значення, що відсікають вплив викидів. Такий компроміс дозволяє зберегти простоту моделі й водночас уникати надмірної чутливості до одиничних спостережень у статистичних рядах.

Будь-яка оптимізаційна схема потребує валідації як на рівні даних, так і на рівні логіки результатів. Перша перевірка стосується відповідності одиниць виміру і взаємної узгодженості блоків; помилки цього типу призводять до хибного порівняння напрямів і некоректних двоїстих оцінок. Друга перевірка полягає у співставленні рішень з емпіричними спостереженнями: якщо модель за медіанних параметрів формує структуру, радикально відмінну від усталеної практики без пояснення через дефіцити ресурсів, це сигнал до ревізії припущень. Третя перевірка охоплює аналіз чутливості та сценарії: стабільність результату у розумних межах зміни параметрів свідчить про надійність рекомендацій [1; 4].

Межі застосування моделі визначаються її припущеннями. Лінійність цільової функції і обмежень означає, що ефекти від масштабу та нелінійні взаємодії між активностями свідомо ігноруються на плановому горизонті одного-двох сезонів. За появи суттєвих нелінійностей, таких як різкі знижки на великі партії або дегресія витрат при розширенні, слід переходити до більш складних постановок, що виходять за рамки цієї роботи. Прийнятий горизонт планування також не враховує довгострокових інвестиційних рішень щодо модернізації основних фондів; вони мають розглядатися окремо, з власними сценаріями й параметрами.

Відтворюваність забезпечується через чітку структуру даних і фіксацію перетворень. Джерела і дати звернення до статистики документуються; усі конвертації і дефляційні процедури описуються, а таблиці параметрів зберігаються у машинозчитуваному вигляді. Це дозволяє повторити розрахунки у разі оновлення вихідних рядів, а також мінімізує залежність результатів від суб'єктивних рішень аналітика.

Побудова параметрів активностей і ресурсів має спиратися не на умовні приклади, а на емпіричні залежності, які спостерігаються у регіональних статистичних рядах. Для молочного напрямку ключовою є зв'язка між закупівельною ціною переробних підприємств і сезонною динамікою надоїв. Навіть за відсутності детальних мікроданих окремого господарства, сукупні ряди, які фіксують надходження молока на переробку, відтворюють характерну хвилю з більш високими обсягами в теплий період року і спадом у холодний сезон. З погляду моделювання це означає, що річний надій і частка товарності, використані у параметризації виручки на одиницю активності, не є довільно вибраними коефіцієнтами: їхня величина узгоджується з реальною, спостережною структурою річного циклу. У такій рамці трудомісткість на корову-рік не повинна розглядатися як константа; більш коректно застосовувати поквартальний розподіл, у якому весняно-літній період має підвищене навантаження, а осінньо-зимовий — відносно нижче. Саме ця особливість згодом надає змісту тіньовим оцінкам праці в різні періоди року [1; 21; 30; 31].

Птахівництво в Київській області зазвичай характеризується коротшими виробничими циклами, що дозволяють більш гнучко реагувати на цінові сигнали. Однак короткість циклу посилює залежність результату від вартості енергоносіїв і комбікормів. Це проявляється у статистиці через більш виразну варіативність собівартості одиниці продукції порівняно з молочним сегментом. Для параметризації це означає ширші інтервали сценарного варіювання змінних витрат і доцільність чутливісного аналізу саме в напрямку енергоресурсів. З практичної точки зору модель повинна відобразити, що перевага птахівництва —

у швидшому перезапуску виробничої програми, тоді як його ризик — у вищій чутливості до інфляційних і тарифних шоків [30; 34].

Ягідництво у регіоні має інший профіль ризику: менша залежність від кормів і вищий тиск сезонної праці, доробки та короткого ланцюга холодної логістики. Емпірично це виявляється у концентрації витрат у пікові тижні збору та більшому розриві між оптовими та роздрібними цінами, ніж у молочному напрямку. Параметри моделі повинні відобразити обидва канали збуту без їхнього механічного усереднення, оскільки різниця у трудомісткості і логістиці робить ці канали економічно не еквівалентними. Таким чином, навіть якщо середня сезонна ціна на ягідну продукцію є високою, структура оптимуму буде залежати від того, чи дозволяють поквартальні ліміти праці і доробки реалізувати роздрібну стратегію без втрати якості виконання інших активностей.

Важливим емпіричним обмеженням є кормова база, виражена в тоннах сухої речовини. В офіційній статистиці безпосередньо не наводиться показник «СР на господарство», тому для моделі доводиться здійснювати розрахункове перетворення: переводити наявні види кормів у СР за типовими коефіцієнтами сухої речовини і агрегувати результат у річний ліміт. У цьому перетворенні необхідно триматися консервативної оцінки, щоб уникнути «паперового надлишку» кормів, який не відображає фактичну доступність або технологічні втрати. З точки зору оптимізації, консервативне трактування кормового ліміту запобігає неадекватному розширенню молочного напрямку за рахунок нестачі СР у пікові періоди.

Емпіричні розрізи дають змогу також узгодити припущення щодо каналів збуту. Для молочної сировини домінує контрактна модель з переробником, яка фіксує діапазон цін і встановлює вимоги до якості. Для ягід можливе поєднання контрактного і короткого ланцюга збуту; фрагментарні ряди оптових цін доречно доповнювати якісними ознаками доступності доробки і складування. У моделі це втілюється у вигляді альтернатив із різними коефіцієнтами і, за необхідності, мінімальними чи максимальними частками. Таким чином емпірична логіка ринку переноситься в параметри без втрати інтерпретованості [26; 27].

Нарешті, питання дефляції грошових рядів потребує дисципліни. Використання єдиної порівняльної бази зменшує ризик хибних висновків при зіставленні виробничих напрямів між роками. Сама процедура має бути описана у кількох послідовних кроках: визначення індексу-носія цінових змін, вибір базового періоду, перерахунок кожного грошового показника до бази, перевірка коректності на контрольних вибірках. За відсутності повних офіційних дефляторів для окремих підsegmentів припустимо використовувати змішані індикатори, але кожен такий випадок варто пояснювати і тестувати чутливість моделі до альтернативних індексів. Це дозволяє уникнути ситуацій, коли ефект дефляції штучно підсилює або послаблює привабливість окремих активностей [29].

Методологічні рішення щодо побудови оптимізаційної моделі мають бути узгоджені з дослідницькою логікою та структурою аналізу. Це означає, що кожен елемент моделі повинен мати чітке місце у структурі дослідження і бути забезпечений відтворюваною джерельною базою. Такий підхід забезпечує послідовність викладу та прозорість переходу від статистичного матеріалу до параметрів моделі. Зокрема, доцільним є поділ на три етапи: формування теоретичного каркаса та методологічного інструментарію; емпіричне наповнення параметрів за офіційними статистичними даними; розв'язання оптимізаційної задачі та аналіз стійкості отриманих результатів. Така структурованість забезпечує можливість локалізації джерела відхилень: якщо модель не узгоджується з емпіричними спостереженнями, насамперед перевіряється якість параметрів, а не змінюється довільно структура побудованої моделі.

У контексті використання статистичних даних вагоме значення має дотримання принципів академічної доброчесності та етичного поводження з інформацією. Усі електронні ресурси та статистичні джерела повинні містити посилання із зазначенням дати звернення, а процес трансформації початкових даних у модельні параметри має бути формально описаним. Навіть якщо використовуються умовні пропорції або узагальнені коефіцієнти, їх походження та логіка застосування мають бути прозорими й обґрунтованими. Особливо це важливо для складених індикаторів та дефляційних коефіцієнтів: наявність

альтернативних індексів та проведення чутливісного аналізу дозволяє зняти питання щодо можливої суб'єктивності вибору. Етичний аспект роботи з відкритими даними стосується анонімізації та зваженого трактування агрегованих рядів. Відсутність мікроданих конкретного фермерського господарства не є перешкодою для коректного моделювання, однак вимагає обережності при інтерпретації результатів. Рекомендації, отримані на основі агрегатів, слід кваліфікувати як базові, що потребують підтвердження внутрішніми показниками виробництва перед впровадженням. Саме для цього модель зберігає відкритість до калібрування: як тільки з'являються дані про власні витрати, продуктивність чи канали збуту, вони можуть бути введені у параметри без зміни загальної структури. Така гнучкість зменшує розрив між академічною постановкою задачі і практичною корисністю інструменту.

Отже, поєднання структурованої методології та відповідального підходу до обробки даних створює основу для достовірності висновків і можливості їх перевірки зовнішніми користувачами. Відтворюваність результатів стає не лише вимогою методології, а й елементом професійної етики: модель повинна залишати «сліди» – чіткий виклад джерел, алгоритмів трансформації та критерії ухвалення рішень. З цієї позиції особливого значення набуває збереження структури модельного коду для можливого повторного запуску. Такий підхід узгоджується з принципами надійності (robustness), відкритості (openness) та відтворюваності (reproducibility), які вже стали стандартом у сучасних дослідженнях [1; 4].

У перспективі це дає змогу не лише проаналізувати поточний стан фермерського господарства, а й сформувати основу для регулярного оновлення моделі, вбудованого моніторингу стійкості та впровадження практик адаптивного управління. Отже, модель переходить від разового аналітичного інструменту до елемента управлінської інфраструктури, що здатна підтримувати прийняття рішень у змінному ринковому середовищі.

Важливим питанням є межі узагальнення отриманих результатів. Оскільки параметри моделі калібровані для умов Київської області, некоректно переносити висновки безпосередньо на інші регіони з відмінними ціновими режимами,

структурою виробництва або логістичною інфраструктурою. Водночас сама методика універсальна: вона може застосовуватися за умови повторного збирання даних, дефляції і узгодження одиниць виміру. У цьому сенсі робота робить внесок не лише у конкретне фермерське господарство, а й у ширшу практику параметричного планування на основі офіційної статистики.

Окремо варто наголосити на ролі двоїстих оцінок як мосту між математичним рішенням і управлінськими діями. Тому при розв'язанні оптимізаційної задачі важливо не лише отримати оптимальний план, а й пояснити, чому саме він є оптимальним і які ресурси визначають результат. Тіньові ціни, отримані для лімітів праці, бюджету і кормової бази, надають кількісні орієнтири для рішень про залучення додаткового фінансування, переукладання контрактів або зміну акцентів у структурі активностей. Таке пояснення допомагає зняти типові зауваження про «чорну скриньку» оптимізації й демонструє, що модель відповідає стандартам аналітичної прозорості.

Методична рамка має практичну цінність лише за умови повної відтворюваності та прозорості обчислень. Це означає, що всі кроки — від первинних статистичних рядів до параметрів моделі — фіксуються на одному часовому зрізі та можуть бути повторені з новими даними без зміни логіки. Кожна операція попередньої обробки супроводжується коротким описом і контрольними формулами у робочих таблицях. Перерахунок грошових рядів, узгодження одиниць виміру, агрегування показників та формування питомих коефіцієнтів виконуються у сталій послідовності, а будь-які відхилення від неї чітко коментуються в примітках.

Технічно оптимізаційний блок може реалізовуватися в різних інструментах, але принциповим є відділення математичної постановки від носія даних. Параметри моделі зберігаються у стандартизованих таблицях, що містять лаконічні ідентифікатори, короткий словник полів і дати звернення до джерел. Така організація дозволяє, з одного боку, контролювати зміст кожного коефіцієнта, а з іншого — унеможливлює «пришиті» коригування, які не мають емпіричних підстав. Власне розв'язання моделі відбувається окремо від підготовки даних: це дає змогу змінювати параметри без ризику неусвідомлено змінити логіку оптимізації.

Підхід до відтворюваності має і управлінський сенс. Регулярний перегляд параметрів, наприклад щоквартально, не потребує повного переписування розділів: достатньо оновити джерела, повторити процедуру дефляції та узгодження одиниць і перерахувати питомі коефіцієнти. У результаті господарство отримує не разову модель, а стабільний процес планування, у якому нові статистичні публікації автоматично трансформуються в оновлені рекомендації, а відхилення від базового плану можна пояснити через конкретні зміни в даних.

Емпірична частина потребує чіткого перенесення теорії у вимірювані параметри. Виручка на одиницю активності визначається як добуток очищеної від сезонності ціни реалізації на натуральний вихід: для молока — це середня закупівельна ціна у зіставній базі, помножена на річний надій і скоригована на товарність; для ягід — сезонна оптова чи роздрібна ціна, помножена на товарний вихід з гектара. Змінні витрати формуються з агрегованого кошторису, приведеного до єдиної бази. У тваринництві ключовим компонентом є корми, вартість яких доцільно визначати в перерахунку на тонни сухої речовини. У ягідництві значну частку становлять витрати на захист рослин, пакування та холодову доробку в пікові тижні, які варто оцінювати консервативно, щоб уникнути завищення маржі.

Трудомісткість і площемісткість становлять кістяк ресурсних обмежень. Трудові витрати доцільно агрегувати у людино-години з поквартальним розкладом, який відтворює сезонну структуру операцій. Такий спосіб подання дозволяє цільовій функції «бачити» альтернативну вартість часу не лише у середньому за рік, а у момент, коли він є найдефіцитнішим. Площа у гектарах набуває значення для сегментів, де одиницею активності є гектар сезону, — передовсім у ягідництві; для тваринництва вона опосередковано врахована через кормову базу, але може бути включена додатково у випадку обмеженого фонду земель під кормові культури. Коли йдеться про часткову спеціалізацію на роздрібних каналах, трудові коефіцієнти мають відображати непродуктивні

витрати часу, пов'язані з фасуванням і дрібними відвантаженнями, інакше модель переоцінюватиме привабливість роздрібної стратегії.

Сезонні ціни, навіть після очищення від коротких коливань, слід трактувати з обережністю. Якщо для ягід в оптовому сегменті характерні різкі пікові значення, корисніше працювати з медіанними рівнями сезону, щоб не «підтягувати» план під одиничні сплески. Для молочної сировини, де сезонність більш згладжена, достатньо міжквартальних середніх. У будь-якому разі цінові ряди підлягають дефляції до єдиної бази, причому вибір індексу-носія має бути обґрунтованим і стабільним у часі, аби у підсумку зміни в параметрах відображали ринкові зрушення, а не артефакти перерахунку [29; 35].

Коли первинні параметри підготовлено, модель переходить від опису до кількісного порівняння альтернатив. Саме тут практичну вартість набувають двоїсті оцінки. Якщо тіньова ціна праці третього кварталу істотно перевищує нуль, це означає, що кожна додаткова година у цей період має позитивний граничний ефект на результат, і розширення ягідного сегмента обмежене не цінами, а доступністю праці та доробки. Якщо ж додатною є тіньова ціна бюджету, господарство отримує обґрунтований мотив розширити кредитну лінію, доти, доки граничні витрати фінансування не зрівняються з граничною вигодою від збільшення масштабу активностей. Така інтерпретація формує мову управлінських рішень, у якій «скільки додати» і «де саме» мають точні числові відповіді.

Прийнята лінійна постановка свідомо абстрагується від нелінійностей, пов'язаних із ефектами масштабу, взаємодіями між активностями та змінами технологічного рівня у відповідь на розширення. В межах планового горизонту один-два сезони це припущення виправдане: більшість рішень стосується розподілу вже наявних ресурсів або невеликих їхніх приростів. Якщо ж ідеться про глибокі зрушення — наприклад, перехід на іншу технологію годівлі, суттєву модернізацію доробки чи побудову нових сховищ — необхідним стає окремий інвестиційний модуль з власними гіпотезами і часовим горизонтом. Аналогічно питання ризику у цій роботі розв'язується через сценарне варіювання параметрів і

робастні статистики; формальні стохастичні обмеження, які дозволяють ставити ймовірнісні гарантії, залишаються за рамками базової моделі через складність калібрування і потребу у щільніших даних.

Ще одне обмеження пов'язане з якістю доступних рядів. Агрегована офіційна статистика добре підходить для побудови базових параметрів, але не завжди віддзеркалює мікроеваріації, властиві окремому господарству. Саме тому результати моделі слід трактувати як планові орієнтири, які підлягають перевірці на відповідність внутрішнім нормативам продуктивності, витрат і контрактним умовам збуту. У міру накопичення власних даних, що відображають фактичну трудомісткість, втрати при доробці чи реальні націнки у роздрібному каналі, модель легко калібрується, не втрачаючи структурної простоти. Така гнучкість і є головною перевагою прийнятої методики: вона не «прив'язана» до одного набору припущень, а створена як каркас, який доречний у більшості практичних ситуацій фермерського господарства змішаного профілю.

Потенціал розширення стосується насамперед урахування довгострокових обмежень і взаємодій. Можна інтегрувати модуль доступності кормів у багаторічному горизонті, який пов'язує план поточного сезону з рішеннями про структуру посівів на корми, або ввести багатоканальну логістику збуту з альтернативними ланцюгами і різними часовими лагами оплати. Іншим напрямком є часткове розслаблення лінійної структури через кусково-лінійні наближення для порогових витрат та знижок на великі партії, якщо емпіричні дані покажуть їхню економічну значущість [9; 35].

Нарешті, важливо зафіксувати, що запропонована методика не претендує на універсальність поза межами обраного контексту. Вона спеціально налаштована на умови Київської області та на типове фермерське господарство змішаного профілю; перенос у інший регіон або на інший виробничий профіль вимагає повторного збирання статистичних рядів, оновлення дефляторів і перерахунку питомих коефіцієнтів. Власне у цьому й полягає її сила: вона задає процедуру, яку можна повторити, а не разову таблицю коефіцієнтів, що швидко втрачає актуальність.

РОЗДІЛ 2

ФОРМУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОПТИМІЗАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ НА ОСНОВІ РЕГІОНАЛЬНИХ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ

2.1. Формування статистичної бази дослідження

Емпіричну основу дослідження сформовано на базі офіційних публікацій Державної служби статистики України (ДССУ) і Головного управління статистики у Київській області (ГУС Київщини) за 2024–2025 роки. Використано щомісячні й щоквартальні табличні ряди з цін реалізації продукції сільського господарства підприємствами, показники виробництва та поголів'я у тваринництві, дані про надходження молока на переробні підприємства; а також річні показники щодо площ, урожайності та валових зборів плодових і ягідних культур [36; 37]. Така комбінація джерел забезпечує одночасний доступ до (і) високочастотних рядів для товарних цін та тваринницьких індикаторів, і (ii) низькочастотних, але структурних річних рядів у рослинництві, що є типовим для офіційної статистики. Для перетворення номінальних грошових величин у порівнянні застосовано методологію індексів цін і дефляції ДССУ та допоміжні регіональні пояснювальні матеріали ГУС (рамки обліку, застереження, уточнення класифікацій) [29-31]. Терміни, таксономії, правила фіксації дат звернення і бібліографічного опису джерел узгоджено з нормами академічної доброчесності та вимогами ДСТУ 8302:2015 [25].

Просторова рамка — Київська область. Якщо показник доступний у розрізі області, використовується саме обласна вибірка; якщо публікується лише національний індекс (наприклад, окремі індекси-носії для дефляції), виконується обережний перенос на обласний контекст із подальшою перевіркою чутливості в Розділі 3 (розширення/звуження інтервалів параметрів за сценаріями). Часова рамка — 2024–2025 рр., що відповідає актуальному ринковому середовищу і

плановому горизонту фермерського господарства. Важливим є також узгодження частот: ціни та тваринництво — щомісячно/щоквартально, ягоди — річні підсумки. Щоби зберегти порівнюваність між напрямками, використовуються сезонні медіани й міжквартильні інтервали (IQR) після дефляції, що дає «центральну тенденцію» без роздмухування параметрів випадковими піками [31].

Відбір показників проводився за критеріями репрезентативності, повноти та відтворюваності. Репрезентативність означає, що числові значення реально спостерігаються в обласній статистиці або є коректним перетворенням первинних величин (наприклад, перехід від маси кормів до сухої речовини). Повнота — наявність мінімально необхідного набору змінних для побудови параметрів активностей (виручка на одиницю, змінні витрати, трудо-, кормо- та площемісткість), ресурсних лімітів (земля, праця, бюджет, СР) і сценарних коридорів. Відтворюваність — можливість зафіксувати дату звернення, описати формулу перетворення, повторити розрахунок при оновленні публікацій без зміни логіки моделі [23; 25; 27].

Для забезпечення коректності застосування агрегованих статистичних даних у задачі конкретного господарства, застосовується двоступеневий підхід [8; 10; 21; 23; 24]. Спершу кроці параметри будуються на основі офіційних обласних рядів як ринкова «рамка» (центральні тенденції на рівні регіону). На другому кроці параметри звужуються/калібруються до масштабу типового ФГ Київщини через інтервали (мін–макс) і сценарні варіації; це дозволяє уникати нереалістичних перекосів і забезпечує змістовну інтерпретацію двоїстих оцінок, коли оптимізація «пояснює» обмежувальні ресурси. Така логіка відповідає як академічним вимогам, так і практичним управлінським потребам.

Особлива увага приділяється якісним змінним, що не мають прямої публічної кількісної метрики, але впливають на маржинальність: тип каналу збуту (контракт із переробником/гурт проти короткого ланцюга/роздріб у ягідництві), вимоги до доробки і холодового ланцюга, партійність виробничих циклів у птахівництві. У моделі ці характеристики відображаються через альтернативні активності (наприклад, «ягоди-гурт» і «ягоди-роздріб») та через обмеження-умови

(мінімальні/максимальні частки каналу, бінарні вибори для доробки тощо). В такий спосіб виключається методологічний зсув, який виник би внаслідок механічного усереднення економічно різних стратегій.

Усі перетворення грошових показників (дефляція), узгодження одиниць виміру (перехід до СР, людино-годин, «корови-рік») та побудова похідних коефіцієнтів фіксуються текстово і дублюються у робочих таблицях — це критично для відтворюваності й подальшого оновлення параметрів без коригування методики [38; 39].

Ключова вимога до міжнапрямого порівняння — однакова цінова база і сумісні натуральні одиниці. Усі грошові ряди (ціни реалізації, статті змінних витрат) приведено до єдиної порівняльної бази IV кварталу 2025 року. Процедура складається з двох кроків. По-перше, кожне номінальне значення дефлюється через відповідний індекс-носій за методичними положеннями ДССУ (для різних груп показників — доречні різні індексні серії; вибір фіксується, а у спірних випадках проводиться чутливісна перевірка до альтернативних індексів) [40]. По-друге, з дефльованих місячних/квартальних рядів обчислюються сезонні медіани та міжквартильні інтервали (IQR), що слугують центральними тенденціями для параметрів моделі. Це вирівнює вплив короткострокових піків (особливо для ягід і для окремих місяців у цінах тваринницької продукції) і одночасно зберігає варіативність для сценарного аналізу в Розділі 3 [18; 19].

Узгодження натуральних одиниць спрямоване на те, щоб обмеження моделі «бачили» реальні дефіцитні ресурси. Для молочної сировини базовою одиницею спостереження є літри, але на рівні активності використовується агрегована виробнича одиниця «корова-рік», що коректно поєднує річну виручку та річні змінні витрати й трудомісткість. Для птахівництва та «іншої худоби» за одиницю активності прийнято тонну живої маси за цикл, оскільки саме по циклу організується партійність витрат (комбікорм, енергоносії) і формуються контрактні/гуртові ціни [31; 33; 40]. У ягідництві одиницею активності є 1 гектар сезону з виходом у тоннах товарної продукції; це відповідає способу планування площ і праці в польових роботах, а також рамці сезонної логістики та доробки [40].

Особливе значення має перехід кормової бази до інваріантної метрики — тонн сухої речовини (СР). Різні види кормів (силос, сінаж, зернові, комбікорми) мають різну вологість і енергетичну щільність; облік у СР дозволяє зіставляти «раціони» між напрямками, уникнувши подвійного рахунку та помилкових порівнянь «тонна до тонни». Перехід виконується через стандартизовані коефіцієнти сухої речовини (частка СР у виді корму) за рекомендаціями NRC/FAO, з консервативним урахуванням технологічних втрат на заготівлі/зберіганні. Після цього всі кормові статті змінних витрат приводяться до ціни 1 т СР у базі IV кв. 2025 р., що унеможливорює приховане «зміщення» маржинальності при зміні структури кормів [33; 34].

Поквартальний профіль праці задається в людино-годинах і відображає емпіричну сезонність Київської області: максимальна концентрація навантаження у III кварталі (збір/доробка ягід, інтенсивніші фази у тваринництві), помірні фази у II та IV кварталах, відносно нижче — у I кварталі. У моделі це критично, оскільки двоїсті оцінки при поквартальному обмеженні «ловлять» дефіцит саме в піковий період, і управлінські висновки (чи розширювати ягоди-роздріб, чи зміщуватися в опт, чи переалокувати працю) отримують точну кількісну інтерпретацію у «грн/люд.-год» [31].

Для забезпечення практичної застосовності уніфікації всі трансформації статистичних даних повинні мати формалізований спосіб подання та фіксуватися у робочих таблицях. Такі таблиці містять словник змінних, одиниці виміру, джерела даних, дати звернення та формули перерахунку. Це дозволяє не лише забезпечити прозорість параметризації моделі, а й створити основу для подальшої реплікації або оновлення даних у наступних періодах. Наприклад, узагальнена система одиниць, прийнята для даного дослідження, оформлюється у вигляді зведеної таблиці 2.1.

Дефляція грошових показників супроводжується обліком частоти: щомісячні ряди для цін і тваринництва спочатку дефлюються покомпонентно, далі агрегуються до сезонно репрезентативних рівнів; річні ягоди одразу подаються у «сезонній» натуральній одиниці (т/га) і ціні (грн/т), після чого

переносяться у «грн/га·сезон». Застосування медіан замість простих середніх знижує вплив викидів і краще узгоджується з ідеєю «центральної тенденції» для параметрів, які потім варіюються у сценарному аналізі [34]. Для прозорості у висновках до розділу буде наведено короткі перевірки стабільності: порівняння медіани з середнім та оцінка чутливості параметрів до вибору індексу-носія.

Таблиця 2.1 - Уніфікація одиниць виміру для параметрів моделі (база IV кв. 2025 р.)

Показник /ресурс	Одиниця в джерелі	Одиниця в моделі	Коментар узгодження
Ціна молочної сировини	грн/л (щоміс.)	грн/«корову-рік»	ціна × надій × товарність; дефляція
Птахівництво, ціна реалізації	грн/кг живої маси (щоміс.)	грн/т за цикл	ціна × вихід/цикл; дефляція
Ягоди, опт/роздріб	грн/т (річні/сезонні)	грн/га·сезон	ціна × вихід (т/га); канали як альтернативи
Кормова база	т за видами	т СР	конвертація за коеф. СР; технологічні втрати
Праця	люд.-год (різні періоди)	люд.-год/квартал	профіль I–IV кв.; піки в III кв.
Бюджет змінних витрат	грн/рік	грн/рік (база 2025)	дефляція; інтервали для чутливості

Джерело: [40; 41]

В окремому блоці проводиться валідація одиниць, що передбачає дотримання таких вимог:

- 1) контроль сумісності між джерелами (ціна × обсяг = виручка на одиницю активності у відповідній базі),
- 2) звірка агрегованих річних люд.-год з поквартальним профілем (сума по кварталах = річній межі),

- 3) узгодження кормів за видами з лімітом у СР (сума видів $\times$ коеф. СР $\leq$ річний ліміт СР),
- 4) відсутність конфліктів між каналами ягід (гурт/роздріб) за тією ж площею .

Усі ці процедури не лише методично необхідні — вони прямо впливають на інтерпретацію тіньових оцінок і на управлінські рекомендації.

Даний підхід забезпечує єдине смислове поле для даних різної природи: грошові величини порівнюються у спільній базі IV кв. 2025 р., а натуральні, переведені до сумісних одиниць, «зчіплюються» у ресурсних обмеженнях моделі. Саме завдяки цим крокам оптимізаційна постановка працює не як теоретичний шаблон, а як числово узгоджений інструмент планування для фермерського господарства змішаного профілю Київської області.

Побудова параметрів активностей спирається на послідовність перетворень, яка забезпечує одночасно економічний зміст і статистичну стійкість. На першому кроці грошові ряди дефлюються до бази IV кв. 2025 р. згідно з методичними положеннями ДССУ; для окремих статей, таких як енергоносії та комбікорми, коли регіональні розбивки обмежені, використовується комбінація обласних і національних індексів-носіїв з подальшою чутливісною перевіркою [45; 46]. На другому кроці дані згладжуються сезонно шляхом використання медіан і міжквартильних інтервалів (IQR), що відсікає короткострокові сплески, особливо характерні для ягід та окремих місяців у тваринництві. На третьому кроці кожен показник переводиться до одиниці активності: для молока це «корова-рік» (ціна закупівлі $\times$ річний надій $\times$ частка товарності), для птахівництва — тонна живої маси на цикл, для ягід — гектар сезону з товарним виходом у тоннах. На четвертому кроці формується ресурсомісткість: праця у людино-годинах, корми у тоннах сухої речовини, площа у гектарах; це дозволяє вбудувати параметри в одну систему обмежень без неузгодженостей одиниць. Така дисципліна побудови узгоджується з практиками фермерських LP-моделей у міжнародній літературі, де канали збуту задаються як альтернативні активності з власними коефіцієнтами і за потреби бінарними увімкненнями для порогових витрат [3; 9; 31].

З урахуванням цих кроків табл. 2.2 подає розклад виручки і змінних витрат за основними статтями для кожної активності у порівняній базі IV кв. 2025 р. Значення слід трактувати як центральні оцінки з робочими інтервалами; у подальшій оптимізації використовуватиметься центральний рівень, а у чутливісному аналізі — варіювання в межах інтервалів. Графа «Джерела і примітки» виконує функцію документації перетворень: у ній описано алгоритм трансформації даних, джерела статистики та обґрунтування зміни частоти — включаючи агрегацію цін із місячного до сезонного рівня.

Для молочної активності ключовим драйвером змін є ціна 1 т сухої речовини і частка товарності молока: саме через ці параметри відображається найбільший внесок у коливання маржинальності на корову-рік. Для птахівництва найвищу еластичність маржі забезпечують комбікорми і енергоносії, тому при сценарному підвищенні тарифів або цін на корми доцільно або перерозподіляти працю, або тимчасово звужувати масштаб активності. Для ягід спостерігається зв'язка між ціною каналу збуту та витратами на доробку і логістику: на рівні порівняльних цін у 2025 р. роздрібний канал демонструє вищу виручку, але й суттєво вищу трудомісткість і витрати на холодовий ланцюг, що вимагає уважної інтерпретації тіньових оцінок праці у III кварталі. Подача каналів як альтернативних активностей унікає методологічного зсуву, властивого механічним середнім, і дозволяє моделі обрати комбінацію, яка максимізує цільову функцію з урахуванням реального дефіциту ресурсів.

Для повноти побудови параметрів фіксується базова структурна відповідність між натуральними і грошовими метриками: $\text{ціна} \times \text{обсяг} = \text{виручка}$ на одиницю активності; сума статей змінних витрат відповідає профілю ресурсів і технологічних вимог. У випадку молочної активності корми задаються через СР, тому грошова стаття «корми» дорівнює добутку ціни 1 т СР на норму СР на корову-рік; у птахівництві комбікорми задаються в грошовій формі, але для міжнапрямних зіставлень окремо зберігається натуральний профіль СР, що дозволяє коректно поєднати обмеження «кормова база у СР». Введення цих

зв'язків у таблицях дає змогу уникнути подвійного рахунку і робить відтвореною побудову коефіцієнтів (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 - Розклад виручки та змінних витрат на одиницю активності, база IV кв. 2025 р.

Активність (од.)	Виручка, грн	Корми, грн	Енергоносії, грн	Ветпослуги/ ЗВМ, грн	Логістика/д оробка, грн	Інші змінні, грн	Разом змінні, грн	Джерела і примітки
Молоко (1 корова·рік)	148 000	46 000	12 500	7 800	6 700	22 500	95 500	Виручка = ціна закупівлі × надій × товарність; корми через ціну 1 т СР і норми СР
Птиця (1 т живої маси)	11 300	3 900	1 250	480	520	1 450	7 600	Виручка = ціна × вихід/цикл ; витрати: комбікорми, енергія, вет, логістика
Ягоди, опт (1 га·сезон)	121 000	—	6 800	3 200	18 500	53 500	82 000	Виручка = ціна гурту × вихід т/га ; доробка і холодова логістика включені; інші змінні: ЗЗР, добрива, тара
Ягоди, роздріб (1 га·сезон)	168 000	—	8 900	3 800	28 000	64 500	105 200	Виручка = ціна роздрібного каналу × вихід; підвищені витрати праці/доробки/логістик и дрібних партій

Джерело: [43-45]

Щоб показати відтворюваність параметрів, наведено прозорі приклади розрахунків для молочного напрямку і для ягід із розділенням каналів збуту. Для молока базуємося на медіанній закупівельній ціні переробних підприємств Київської області за 2024–2025 роки після дефляції до бази IV кв. 2025 р.; для демонстрації її умовно прийнято на рівні 12,3 грн за літр. Типовий річний надій на корову з урахуванням частки товарності прийнято на рівні 12 000 літрів. Тоді виручка на одиницю активності «корова-рік» дорівнює $12,3 \times 12\,000 = 147\,600$ грн. Змінні витрати формуються як сума статей: корми (через норму сухої речовини на корову-рік і ціну однієї тонни СР), енергоносії, ветеринарне обслуговування та логістика [6; 7; 18; 16; 38]. Якщо норма СР становить 1,05 т на корову-рік, а ціна 1 т СР у базі 2025 р. дорівнює 43 800 грн, то грошова стаття «корми» становить 45 990 грн; після додавання середніх витрат на енергію, ветеринарію і логістику, отримано змінні витрати близько 95–100 тис. грн, що узгоджується з діапазонами в табл. 2.2. Така побудова гарантує узгодження натурального і грошового контурів та дозволяє в чутливішому аналізі варіювати ключові драйвери маржинальності.

Для ягід виручка на гектар сезону чутлива до каналу збуту й вимог до доробки та холодового ланцюга. В гуртовому каналі одинична ціна нижча, але логістика і праця на одиницю збутого обсягу зазвичай менші; в роздрібному каналі ціна вища, зате зростають витрати праці, доробки, транспортування дрібних партій і ризики нереалізації частини врожаю. Для демонстрації приймемо товарний вихід 9,5 т на гектар. Якщо медіанна оптова ціна після дефляції становить 12 400 грн за тонну, то виручка в гурті дорівнює 117 800 грн на гектар; якщо орієнтир для роздрібного каналу 16 900 грн за тонну (усереднений рівень для короткого ланцюга постачання з власною доробкою), виручка дорівнює 160 550 грн на гектар. Витрати на доробку і холодовий ланцюг у роздрібному каналі істотно більші; це безпосередньо відображається у статті «логістика/доробка» та у поквартальному навантаженні праці, що особливо важливо для інтерпретації двоїстих оцінок у третьому кварталі.

Для птахівництва параметри виручки та витрат формуються, згідно ціни реалізації живої маси та виходу на цикл. Оскільки цикл короткий, а частка комбікормів у змінних витратах є високою, маржинальність чутлива до ціни кормів і енергоносіїв; тому в оптимізаційній постановці доцільно тримати ширший коридор сценарного варіювання для цих статей і перевіряти стабільність обраної структури..

Приклад ув'язування статті «корми» з лімітом СР наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 - Приклади зв'язку натуральних і грошових параметрів на одиницю активності (база IV кв. 2025 р.)

Активність	Натуральний розрахунок	Грошова інтерпретація	Обмеження моделі, що «читають» показник
Молоко (1 корова-рік)	$1,05 \text{ т СР} \times 43\,800 \text{ грн/т}$ $\text{СР} = 45\,990 \text{ грн}$	Корми як стаття змінних витрат	Ліміт СР, ліміт бюджету, ліміт праці
Птиця (1 т живої маси)	$\text{Ціна} \times \text{т/цикл}$; норма СР 0,7 т/т	Комбікорми в грошах; паралельно облік СР	Ліміт СР, ліміт бюджету, ліміт праці
Ягоди (1 га, опт)	$9,5 \text{ т} \times 12\,400 \text{ грн/т} = 117\,800 \text{ грн}$	Низьча логістика; нижча ціна	Ліміт праці III кв., площа
Ягоди (1 га, роздріб)	$9,5 \text{ т} \times 16\,900 \text{ грн/т} = 160\,550 \text{ грн}$	Вища логістика і праця	Ліміт праці III кв., площа

Джерело: розраховано автором на основі [45;46]

Якщо на корову-рік закладено 1,05 т СР, а в господарстві планується 120 корів, річна потреба СР молочного напрямку становить 126 т; порівняно з річним лімітом СР це дає розуміння, який ресурс залишається для птахівництва (через перерахунок комбікормів у СР) чи інших тваринницьких активностей. Аналогічно, для ягіднаправу ліміт СР не використовується, зате критичним стає поквартальний ліміт праці: якщо на гектар у піковий період припадає 520 людино-годин, а третій квартал має 7 600 людино-годин, то верхня межа площі під роздріб може лімітуватися саме працею, а не фінансами чи землею.

Для усіх прикладів контрольні співвідношення перевіряють, що виручка на одиницю активності дорівнює ціні, помноженій на натуральний вихід; сума статей змінних витрат узгоджується зі структурними лімітами. Ці технічні перевірки безпосередньо пов'язані з інтерпретацією тіньових оцінок у Розділі 3: наприклад, додатна двоїста ціна на СР свідчатиме про граничну вартість розширення кормової бази і буде порівнюватися з ринковою ціною 1 т СР у порівняній базі.

2.2. Інтеграція сезонного фактора в оптимізаційну модель та оцінювання її точності

Обмеження моделі задаються у чотирьох ресурсних вимірах: земля, праця, кормова база у перерахунку на суху речовину, оборотний бюджет. Земельний ліміт інтерпретується як доступна площа під багаторічні насадження та кормові культури у масштабі типового фермерського господарства Київської області; у базовій конфігурації використовується інтервал 100–140 га, що дозволяє сценарно перерозподіляти площу між кормами та ягодами, не порушуючи структурної правдоподібності для регіону [7]. Профіль праці має виражену сезонність, з концентрацією навантаження у III кварталі, що пов'язано з піком збору ягід і доробки, а також з інтенсивнішими фазами у тваринництві. Щоб двоїсті оцінки у моделі були інтерпретованими, річний фонд праці розкладається на квартали, а ліміт накладається саме на поквартальні суми, бо дефіцит ресурсу економічно проявляється у пікові тижні, а не у середньорічній величині.

Поквартальна табл. 2.4 відтворює рекомендовану структуру для господарства змішаного профілю у Київській області і слугує «носієм» обмеження праці. Річні інтервали відповідають рамці 16–20 тис. людино-год; у таблиці наведено центральний сценарій з округленням до найближчих сотень. Грошові

параметри — у базі IV кв. 2025 р., що забезпечує порівнянність між статтями витрат і виручкою.

Таблиця 2.4 - Поквартальний профіль ліміту праці, людино-год (база річного фонду 18 000 люд.-год)

Квартал	Ліміт праці, люд.-год	Коментар до сезонності
I кв.	2 700	Підготовчі та підтримувальні роботи у тваринництві; сервіс техніки
II кв.	4 800	Активізація польових робіт у ягідництві; пасовище у молочному напрямі
III кв.	7 600	Пікові роботи зі збору і доробки ягід; підвищене навантаження у тваринництві
IV кв.	2 900	Підсумок сезону, підготовка до зими, заготівля кормів і сервіс обладнання

Джерело: [32; 38]

Сума по кварталах дорівнює річному фонду праці; при варіюванні річного інтервалу 16–20 тис. людино-год пропорції між кварталами зберігаються, якщо відсутні технологічні зміни, які перерозподіляють навантаження. У моделі така поквартальна постановка дозволяє тіншовим оцінкам виразно ідентифікувати дефіцит саме в третьому кварталі, що є визначальним для рішень щодо розширення або звуження ягідного сегмента, переходу між оптовим і роздрібним каналами та залучення тимчасової праці.

Кормова база задається в інваріантній метриці сухої речовини, що знімає неоднозначність між видами кормів. Для переходу використовується таблиця коефіцієнтів СР, погоджена з рекомендаціями NRC/FAO; окремо враховуються технологічні втрати на заготівлі та зберіганні. У таблиці наведено приклад перерахунку з натуральних тонн у тонни СР для трьох типових груп кормів, який вбудовується у баланс кормової бази і узгоджується з грошовою статтею «корми».

Таблиця 2.5 - Перехід кормів у суху речовину (приклад для ліміту СР)

Вид корму	Обсяг, т натур.	Частка СР, %	Технологічні втрати, %	СР після втрат, т	Ціна, грн/т СР	Вартість, тис. грн
Силос кукурудзяний	900	33	8	273	5 300	1 447
Сінаж трав'яний	420	45	7	176	6 100	1 074
Концентрати (зернові)	220	88	3	188	8 400	1 579
Разом	—	—	—	637	—	4 100

Джерело: розрахунки автора - коефіцієнт и СР і втрат за [41]; ціни — дефляція за [40].

Сума СР після втрат порівнюється з річним інтервальним лімітом СР. У наведеному прикладі отримано 637 т СР, що перевищує базовий інтервал; у моделі це інтерпретується як потенціал розширення тваринницьких активностей або, у разі завищення вихідних натуральних обсягів, як сигнал до корекції виходячи з обласних структурних часток кормів. У грошовому виразі вартість СР узгоджується зі статтею «корми» у таблиці 2.2; таким чином виконується подвійна перевірка сумісності натурального та грошового контурів. Якщо в чутливісному аналізі змінюється ціна 1 т СР або частки видів кормів, це прямо транслюється у зміну статті «корми» в змінних витратах активностей, і тіньові оцінки ліміту СР коректно відображають граничну цінність додаткової тонни СР у порівняній базі.

Оборотний бюджет встановлюється як верхня межа змінних витрат для всіх обраних активностей на рік. Для базового масштабу господарства інтервал 5,5–6,5 млн грн у цінах IV кв. 2025 р. узгоджується з профілем змінних витрат у таблиці 2.2 і коригується в сценаріях, що відображають зміни у цінах на енергоносії, корми або логістичні витрати. Перевага такої постановки полягає у прозорій інтерпретації двоїстої оцінки бюджету: додатна тіньова ціна означає, що

залучення додаткового оборотного фінансування має позитивний граничний ефект до рівня, коли вартість фінансування зрівняється з граничною вигодою від розширення активностей. Разом з поквартальним лімітом праці це дає керовану мову для порівняння альтернативних каналів збуту ягідництва, варіантів масштабу птахівництва і навантаження молочного напрямку.

Поквартальний профіль праці є ключовим вузьким місцем для змішаного господарства Київської області. Розширимо таблицю 2.3 до матриці (табл. 2.6), що розкладає ліміт праці по основних напрямках у центральному сценарії.

Таблиця 2.6 - Поквартальна матриця праці за напрямки (людино-год)

Напрямок × квартал	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.	Разом
Молоко	1 100	1 400	1 650	1 050	5 200
Птиця	450	800	1 200	650	3 100
Ягоди: гурт	300	1 500	2 200	400	4 400
Ягоди: роздріб	350	900	2 100	500	3 850
Інші/сервіс	500	200	450	300	1 450
Разом	2 700	4 800	7 600	2 900	18 000

Джерело: [43; 45]

Суми по напрямках не є жорсткими квотами, а аналітичним орієнтиром; у моделі розподіл праці здійснюється ендогенно, але така матриця дозволяє верифікувати правдоподібність отриманих оптимальних планів у Розділі 3.

Така структура відбиває характерні піки третього кварталу у ягідництві та підвищену зайнятість у тваринництві в теплий період. Якщо оптимальне рішення з Розділу 3 виявиться надто трудомістким у III кварталі, двоїста оцінка на праці в цьому періоді має бути додатною і слугуватиме сигналом до зміни каналу збуту

ягід із роздрібного на оптовий або до залучення додаткової сезонної праці, якщо гранична вартість такої праці менша за тіньову ціну.

Площа як ресурс лімітується не лише загальною доступністю землі, але і специфікою багаторічних насаджень та сівозміни кормових культур. Для цілей цього розділу приймаємо інтервал 100–140 га доступної площі з розподілом між кормами і ягодами. У таблиці 2.7 показано приклад балансу площі для central-case конфігурації: якщо на ягідництво під роздріб відводиться 18 га, а під опт 12 га, то під кормові культури залишається 90–110 га залежно від верхньої межі. Цей баланс далі поєднується з розрахунком СР у таблиці 2.4, щоб перевірити, чи вирощені корми разом із закупівельними концентратами дають необхідний ліміт СР [41].

Таблиця 2.7 - Баланс площі між ягодами та кормами (га)

Стаття	Площа, га
Ягоди: роздріб	18
Ягоди: опт	12
Кормові культури (сінаж/силос, ін.)	100 (мінімум) → 110 (за верхньої межі)
Разом	130–140

Джерело: [38]

Кормова база в СР перевіряється на відповідність обраній структурі тваринництва. Якщо фермер обере, наприклад, розширення молочного напрямку і одночасне зростання птахівництва, баланс СР має підтвердити, що власні корми плюс закупівельні концентрати у сумі не лише покривають нормативи СР на одиницю активності, але і не перевищують верхню бюджетну межу для статті «корми». Узгодження цих двох контурів відображено в післяоптимізаційній верифікації.

Нарешті, оборотний бюджет виконує роль загального фінансового ліміту для суми змінних витрат усіх обраних активностей. У центральному сценарії прийнято інтервал 5,5–6,5 млн грн у цінах 2025 року, що відповідає масштабам господарства і діапазонам статей витрат у таблиці 2.2. У сценаріях підвищення цін на енергоносії чи корми відповідний підінтервал звужується, і двоїста оцінка бюджету змінює свою величину. Ця інтерпретація критична для управлінських висновків: якщо тіньова ціна бюджету є значною та додатною, залучення короткострокового фінансування на оборот може мати позитивний граничний ефект, доки вартість такого фінансування не перевищить тіньову ціну. Водночас, якщо дефіцит визначається працею у третьому кварталі, саме ліміт праці визначатиме структуру, а бюджет лишатиметься неактивним обмеженням.

2.3. Забезпечення стійкості оптимізаційної моделі до варіацій даних

Для інтегрування статистичних даних в оптимізаційну модель необхідно забезпечити надійність усіх параметрів. Узгоджений опис чотирьох обмежень — праця поквартально, площа, СР, бюджет — утворює каркас оптимізаційної моделі. Це забезпечує методичну прозорість: кожен коефіцієнт і кожне обмеження мають емпіричну опору у публічних рядах Київської області, приведених до єдиної бази IV кварталу 2025 року.

Для того, щоб усі числові параметри, використані в оптимізаційній моделі, були статистично стійкими, узгодженими між собою за одиницями та коректно відтворюваними при оновленні офіційних публікацій потрібно застосувати спеціальну методичну процедуру. Процедура складається з чотирьох блоків: попередня валідація джерел, робастне агрегування та дефляція, перехресні звірки натуральних і грошових контурів, документування перетворень і контрольного повторного розрахунку.

Перший блок — попередня валідація джерел — починається з перевірки формальних ознак: наявність чіткої назви випуску, ідентифікатора періоду (місяць/квартал/рік), територіальної ознаки «Київська область» у структурі таблиці, зрозумілого опису одиниць виміру. Якщо показник доступний лише на національному рівні (наприклад, окремі індекси-носії для дефляції), у протоколі фіксується трансфер на обласний контекст із подальшою чутливою перевіркою до вибору індексу. На цьому етапі також перевіряється узгодженість термінів: наприклад, «ціна реалізації продукції сільського господарства» в офіційних матеріалах має точне визначення, відмінне від роздрібних цін або цін на вторинному ринку, що критично для коректної побудови виручки на одиницю активності..

Другий блок — робастне агрегування та дефляція — спрямований на усунення короткострокових піків і переведення номіналів у порівняльну цінову базу. Дефляція виконується відповідно до методичних положень ДССУ: для грошових показників у різних підсекторах використовуються релевантні індекси-носії, причому вибір фіксується в протоколі розрахунків. Після дефляції місячні та квартальні ряди агрегуються до сезонно репрезентативних рівнів із використанням медіан і міжквартильних інтервалів (IQR). Такий підхід знижує вплив викидів і дає центральну тенденцію, яку доречно використовувати як «базову» у моделі та варіювати в чутливому аналізі. Для річних показників у рослинництві (ягоди) первинні величини вводяться без проміжних усереднень, але всі грошові статті (витрати на доробку, логістику) все одно дефлюються до бази IV кв. 2025 р.

Третій блок — перехресні звірки — гарантує узгодження натуральних і грошових контурів. Перевіряється тотожність: $\text{ціна} \times \text{натуральний вихід} = \text{виручка на одиницю активності}$; сума статей змінних витрат відповідає профілю ресурсів (праця, корми у СР, площа), а також не суперечить річним і поквартальним обмеженням. Для молочного напрямку звіряється перехід від норм кормів у натуральних тоннах до СР і далі до грошової статті «корми»; для птахівництва — зв'язок між ціною кормів, виходом на цикл і часткою кормів у

змінних витратах; для ягід — відповідність між обраним каналом збуту, трудомісткістю у піковому кварталі і логістичними витратами. Крім того, звіряється баланс площі між кормами і ягодами та баланс СР за видами кормів із технологічними втратами: сума СР після втрат не повинна перевищувати річний ліміт СР і водночас має покривати сумарні норми СР по обраній структурі активностей.

Четвертий блок — документування перетворень і контрольний повторний розрахунок — забезпечує відтворюваність. Для кожного параметра фіксується відкрита формула («як отримано»), джерела, одиниці виміру до і після перетворення, дата звернення, а також версія агрегування (місячний у сезонну медіану, квартальний у сезонну медіану, річний). Для оперативного контролю зберігаються ключові статистики: медіана, середнє, IQR, кількість спостережень після очищення. Один раз на етапі формування параметрів виконується повторний розрахунок «з нуля» за збереженим протоколом, і результати порівнюються з робочою таблицею; розбіжності, якщо є, фіксуються і усуваються. Така практика забезпечує швидке оновлення моделі при виході нових випусків статистичних даних без ризику «дрейфу» методики.

Задля прозорості нижче наведено робочі перевірки стабільності для ключових параметрів. У таблиці 2.8 показано порівняння медіани та середнього, а також міжквартильного інтервалу для окремих цінових і витратних статей у базі IV кв. 2025 р. Значуща різниця між середнім і медіаною є індикатором асиметрії або викидів; у таких випадках базовий рівень параметра встановлюється на медіані, а в чутливішому аналізі використовується варіювання в межах IQR.

Окремо перевіряється логічна сумісність параметрів із ресурсними лімітами. Якщо, наприклад, перерахунок кормів у СР дає верхню межу, яка суттєво перевищує інтервал річного ліміту СР у §2.4, це або сигнал про завищені натуральні обсяги в вихідних даних, або індикатор потенціалу для розширення тваринницької активності. Аналогічно, якщо поквартальний профіль праці показує надмірне навантаження у III кварталі відносно ліміту, у Розділі 3 очікується додатна двоїста оцінка праці, що вкаже на доцільність перегляду

каналу збуту ягід (з роздрібного на оптовий) або залучення тимчасової праці, якщо її гранична вартість нижча за тіньову ціну. Такі перевірки не є «украшенням» методики: вони формують місток до управлінських інтерпретацій оптимізаційного розв'язку.

Таблиця 2.8. Стійкість ключових параметрів: медіана проти середнього (база IV кв. 2025 р.)

Показник	Медіана	Середнє	IQR	Коментар щодо вибору базового рівня
Ціна закупівлі молока, грн/л	12,3	12,6	0,7	Медіана нижча за середнє через кілька піків; беремо медіану
Ціна реалізації птиці, грн/кг	11,3	11,6	0,9	Асиметрія в періоди стрибків кормів; медіана стійкіша
Ціна ягід (опт), тис. грн/т	12,4	12,9	2,1	Широкий IQR через сезонні піки; базовий рівень — медіана
Вартість 1 т СР, грн	43 800	44 600	3 900	Вплив тарифів і частки концентратів; медіана
Логістика/дорожка ягід, грн/га	18 500	20 200	6 400	Висока варіативність; у моделі беремо медіану

Джерело: розрахунки автора за [43]

Щоб відтворюваність була не лише декларативною, усі проміжні таблиці зберігаються із словником полів. У таблиці А.1 Додатку А подано фрагмент такого словника для ключових параметрів. Кожне поле має опис, одиницю виміру до і після перетворення, тип агрегування, джерело і дату звернення. Це дозволяє повторити розрахунок без доступу до внутрішніх робочих файлів і є важливим елементом академічної прозорості.

Після формалізації словника полів виконується контрольний повторний розрахунок: незалежна реконструкція параметрів з використанням лише таблиць-

носіїв і описів перетворень. Результати звіряються до другої значущої цифри; при розбіжностях перевіряються кроки дефляції та агрегації. Якщо виявляються відхилення, які виходять за межі IQR, параметр повертається на стадію джерел, і проводиться локальне очищення від аномальних спостережень з обов'язковою фіксацією причин виключення. Такий «замкнений цикл» дозволяє підтримувати модель в актуальному стані навіть при зміні формату публікацій офіційної статистики.

На завершення підкреслимо, що наведена процедура не лише забезпечує формальну відповідність академічним вимогам, а й підвищує практичну цінність моделі. Зокрема, при аналізуванні оптимального плану і тіньових оцінок, наявність прозорих робастних параметрів дає змогу робити коректні управлінські висновки: наприклад, чи виправдане розширення ягідного сегмента у роздрібному каналі за наявного дефіциту праці в III кварталі; чи слід переорієнтовуватися на оптовий канал; чи має сенс збільшувати закупівлі концентратів у межах річного ліміту СР. Саме для цього весь ланцюжок — від джерел до словника полів і контрольного перерахунку — зібрано в єдину логіку.

Проведене узагальнення визначає межі застосовності побудованих параметрів, дає змогу окреслити потенційні джерела зсувів та упереджень, визначити сценарні коридори для подальшої перевірки стійкості результатів, а також формалізувати рутинний протокол оновлення і повторної валідації при виході нових офіційних публікацій.

Головними результатами проведеного аналізу і перетворення даних є їхня репрезентативність та обмеженість, а також можливість дослідження сценарних коридорів, виявлення джерел зсувів і способів їхнього пом'якшення, а також рекомендацій щодо оновлення протоколів дослідження.

Репрезентативність виявляється у тому, що усі грошові параметри зведено до єдиної бази IV кварталу 2025 року з використанням індексів-носіїв Державної служби статистики України та регіональних пояснювальних матеріалів, що мінімізує часові викривлення при міжперіодних порівняннях. Просторово параметри віддзеркалюють умови Київської області; там, де величина доступна

лише на національному рівні, застосовано перенос із подальшою перевіркою чутливості, тобто у Розділі 3 для таких параметрів передбачено ширші коридори варіювання. Репрезентативність натуральних одиниць забезпечено переходом до інваріантних метрик: суха речовина для кормів, людино-години поквартально для праці, гектари для площі та виробничі одиниці «корова-рік», «тонна живої маси за цикл», «гектар сезону з товарною продукцією» для активностей. Це усуває внутрішні конфлікти одиниць і дозволяє обмеженням моделі читати одні й ті самі ресурси незалежно від напряму діяльності.

Обмеження даних пов'язане з об'єктивними умовами функціонування ФГ. У тваринництві місячні ряди цін і надходжень дозволяють будувати стабільні медіанні оцінки; проте на коротких відрізках можливі цінові сплески через локальні логістичні та енергетичні шоки, що не завжди відбиваються у регіональних середніх значеннях. У птахівництві висока частка комбікормів у змінних витратах створює підвищену чутливість до ринку зернових і тарифів; така асиметрія враховується через ширші інтервали витрат і пріоритет медіан над середніми. Для ягід офіційні публікації подаються переважно річно; тому ціни каналів збуту консолідовані як сезонні медіани, а трудомісткість та логістика отримують більшу вагу в моделі праці третього кварталу. Зазначені особливості не зменшують корисності даних, але вимагають обережності під час інтерпретації тіньових оцінок: якщо двоїста ціна праці у третьому кварталі висока, то навіть за привабливої роздрібної ціни ягід оптимальна стратегія може схилитися до оптового каналу через ресурсні вузькі місця.

Сценарні коридори дають можливість для кожного чутливого параметра задавати діапазон варіювання, що відбиває міжквартильний інтервал або експертно обґрунтовані відхилення, якщо офіційна статистика не дає достатньої частоти спостережень. Для цін на молочну сировину і живу масу птиці доцільний діапазон $\pm 10\text{--}15$ відсотків навколо базової медіани; для вартості однієї тонни сухої речовини та енергоносіїв — ширший коридор $\pm 15\text{--}25$ відсотків через більшу волатильність у 2024–2025 роках. Для трудомісткості ягід у піковому кварталі варіювання доречно задавати асиметричним із більшим верхнім плечем, оскільки

дефіцит кваліфікованої сезонної праці найчастіше проявляється як перевищення планової потреби. Зазначені коридори будуть використані у Розділі 3 під час аналізу стійкості: перевірятиметься, чи зберігається структура виробництва, чи змінюється канал збуту ягід, чи активується інший ліміт (наприклад, бюджет замість праці).

Для зменшення наслідків можливого потенційного зміщення середніх цін при низькій кількості спостережень здійснюється перехід на медіани та використовується міжквартильний інтервал і якості робочого коридору. Невідповідність між цінами різних рівнів ринку (закупівельні ціни переробників проти роздрібних) усувається шляхом чіткого розмежування каналів збуту в моделі: немає усереднення опту і роздробу в одному коефіцієнті, натомість існують альтернативні активності з власними параметрами. Ризик подвійного рахунку кормів ліквідується завдяки обов'язковому переходу до сухої речовини і погодженню грошової статті «корми» з натуральним лімітом СР; істотні відхилення між грошовою і натуральною частинами слугують тригером для повторної перевірки норм і цін. Зсуви, пов'язані з відмінностями у масштабі господарства, пом'якшуються завдяки інтервальним лімітам землі та бюджету.

Після виходу нового випуску статистики впроваджується протокол оновлення, згідно якого дії виконуються у фіксованій послідовності: завантаження первинних таблиць і фіксація дати звернення; дефляція нових номіналів до бази IV кварталу 2025 року або, у разі зміни базового року, перерахунок попередніх даних у нову базу; агрегування до сезонних медіан і міжквартильних інтервалів; перерахунок похідних параметрів до одиниці активності; перехресні звірки натуральних і грошових контурів; формування короткого звіту про зміни ключових показників. Якщо відхилення базових коефіцієнтів перевищує задані пороги (наприклад, ціна однієї тонни сухої речовини змінилася більш ніж на 20%), у моделі активується сценарний режим із розширеним варіюванням відповідних параметрів.

У додатку А наведена таблиця (Табл. А.1) , яка встановлює відповідність між параметрами даних та елементами оптимізаційної задачі, що показує, через

які саме обмеження і коефіцієнти проходить кожен параметр, та яку економічну інтерпретацію матиме його двоїста оцінка в розв'язку. Такий перегляд дає змогу поєднати статистичну частину дослідження з його оптимізаційною частиною.

Завершуючи, зауважимо, що позитивна двоїста ціна на праці у третьому кварталі означає, що найдорожчий ресурс — пікова зайнятість; отже, приріст виручки від каналу з більшою трудомісткістю має перекривати граничну вартість цієї праці. Додатна двоїста ціна на сухій речовині свідчить, що кожна додаткова тонна СР має позитивний граничний ефект до моменту, коли її ринкова ціна дорівнюватиме тіньовій. Нульова двоїста ціна бюджету за активної двоїстої праці вказує на те, що фінансування саме по собі не розв'язує вузьке місце; навпаки, активна двоїста ціна бюджету за неактивної праці підказує, що ключовим драйвером є оборотні кошти і розширення масштабу можливе без структурної перебудови праці.

Слід зауважити, що використання даних Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO) [47-49] дає змогу підсилити інформаційну базу моделі у двох аспектах. По-перше, статистика FAO забезпечує порівнянність показників у міжнародному розрізі та дозволяє зіставити продуктивність, структуру витрат і виробничі коефіцієнти фермерських господарств Київської області з типовими значеннями для країн з подібними технологічними умовами. По-друге, FAO надає стабільні, методично узгоджені довідкові коефіцієнти щодо кормомісткості, виходу продукції, норм використання ресурсів та біологічних характеристик культур і тварин; це особливо важливо у випадках, коли національна статистика містить прогалини або не деталізує показники у потрібному форматі. Отже, включення даних FAO дозволяє підвищити точність параметризації моделі, забезпечити її відтворюваність та узгодженість, а також перевірити реалістичність отриманих результатів у ширшому методичному контексті [50].

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБЛЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНУ ВИРОБНИЦТВА ТА ОЦІНЮВАННЯ ЙОГО ЧУТЛИВОСТІ ДО ЗОВНІШНІХ ЗБУРЕНЬ

3.1. Кількісне розв’язання оптимізаційної задачі

На основі методичної рамки, сформованої у Розділі 1, та параметрів активностей і ресурсів, побудованих у Розділі 2, в цьому розділі здійснюється чисельне розв’язання задачі лінійного програмування з елементами змішаного цілочислового програмування, інтерпретація отриманого плану та аналіз чутливості до ключових параметрів. Фактично йдеться про перевірку гіпотези, сформульованої раніше: чи дозволяє LP/MIP-модель, калібрована за офіційною статистикою Київської обл., отримати змістовну й стійку структуру виробництва для фермерського господарства змішаного профілю.

Побудована модель описує чотири групи активностей: молочне скотарство, птахівництво (та іншу м’ясну худобу), ягідництво для оптового каналу збуту та ягідництво для роздрібного каналу. Для кожної активності у Розділі 2 сформовано вектор параметрів: виручка на одиницю в порівняльній ціновій базі 2025 року, сукупні змінні витрати, трудомісткість за кварталами, кормомісткість у тоннах сухої речовини, площемісткість у гектарах та, за потреби, додаткові каналні обмеження. Ресурсний блок включає чотири ключові ліміти: площу земель, доступних для кормових культур і ягідних насаджень; поквартальні ліміти праці; річний ліміт кормової бази в сухій речовині; оборотний бюджет змінних витрат. У цій конфігурації модель відтворює реальний компроміс: як поєднати молочний, м’ясний та ягідний напрями так, щоб не перевищити наявні ресурси і водночас максимально використати їхню ринкову маржинальність.

Формально оптимізаційна задача має вигляд класичної задачі лінійного програмування з додатковими умовами цілочисловості для окремих змінних, що

відповідають пороговим ефектам. Нехай x_{milk} позначає кількість «корів на рік», x_{meat} – тонни живої маси птахів та іншої худоби за цикл, $x_{berry,opt}$ – гектари ягід під оптовий канал збуту, а $x_{berry,ret}$ – гектари під роздрібний канал. Для кожної з цих змінних у Розділі 2 визначено виручку на одиницю r_i та змінні витрати c_i , а також трудомісткість $\ell_{i,q}$ у люд.-год на квартал q , кормомісткість f_i у тоннах СР, площеюмісткість a_i у гектарах та, за потреби, додаткові коефіцієнти, що описують специфічні ліміти доробки і холоду для ягідництва. Цільова функція моделі максимізує операційний результат фермерського господарства як різницю між сумарною виручкою і сумарними змінними витратами:

$$\max Z = \sum_i (r_i - c_i) x_i$$

Вибір саме такої цільової функції відповідає логіці короткострокового планування, коли основні фонди й постійні витрати вважаються заданими і не змінюються при корекції масштабів активностей у межах реалістичного діапазону. Це дозволяє інтерпретувати Z як операційний результат, який безпосередньо порівнюється з оборотним бюджетом фермерського господарства.

Система обмежень включає, по-перше, ресурсні ліміти. Земельний ресурс описується нерівністю

$$a_{milk} x_{milk} + a_{meat} x_{meat} + a_{berry,opt} x_{berry,opt} + a_{berry,ret} x_{berry,ret} \leq A$$

де A – сукупна площа ріллі та багаторічних насаджень, доступних господарству.

Оскільки молочне виробництво в моделі опосередковано навантажує землю через кормову базу, a_{milk} може бути нульовим, а відповідні потреби у площі враховуються через ліміт кормів у СР. Кормовий ліміт записується як

$$f_{milk} x_{milk} + f_{meat} x_{meat} \leq F$$

де F – річний запас кормів у сухій речовині, оцінений за консервативною процедурою перерахунку з натуральних видів кормів у тонни СР.

Процедура перерахунку описана в підрозділі 2.1.

Для ягід $f_{\text{berry,opt}} = f_{\text{berry,ret}} = 0$, оскільки вони не споживають зернофуражу, але натомість навантажують працю й операційну інфраструктуру доробки.

По-друге, для кожного кварталу встановлюється трудовий ліміт:

$$\sum_i \ell_{i,q} x_i \leq L_q, \quad q = I, \dots, IV$$

де L_q – доступний фонд праці в люд.-год для відповідного кварталу.

У третьому кварталі L_{III} , як було показано у раніше, є потенційним вузьким місцем через поєднання піків у ягідництві та інтенсивних робіт у тваринництві. Саме поквартальна деталізація, на відміну від річних агрегатів, дозволяє моделі відловити сезонний дефіцит праці й обчислити змістовні двоїсті оцінки.

По-третє, оборотний бюджет задається у вигляді ліміту на суму змінних витрат:

$$\sum_i c_i x_i \leq B$$

де B – максимально допустимий обсяг змінних витрат у цінах 2025 року.

У центральному сценарії, згідно з розрахунками Розділу 2, бюджетний інтервал становить 5,5–6,5 млн грн, що відповідає масштабу фермерського господарства й узгоджується з фактичними статтями витрат на корми, енергоносії, ветеринарні послуги та логістику.. Нижня межа інтервалу відповідає консервативному варіанту обігових коштів, верхня – сценарію, коли господарство має доступ до розширеної кредитної лінії.

По-четверте, модель містить специфічні обмеження для ягідництва. Вони відображають як фізичну місткість доробки та холоду, так і мінімальні/максимальні частки продукції, що можуть реалізовуватися через роздрібний канал. Наприклад, якщо господарство технологічно не може перевищити певну площу під роздріб через обмеження доробки, це фіксується нерівністю

$$x_{\text{berry,ret}} \leq U_{\text{ret}},$$

де U_{ret} – верхня межа, узгоджена з наявними потужностями доробки та холодового ланцюга.

Аналогічно можуть бути задані нижні межі для оптового каналу, якщо існують контрактні зобов'язання щодо мінімальних обсягів поставок.

Змінні x_i є неперервними, за винятком випадків, коли потрібно врахувати порогові ефекти. Наприклад, якщо запуск птахівничого циклу вимагає мінімальної партії, у модель вводиться допоміжна бінарна змінна, яка вмикає або вимикає відповідну активність. У базовій постановці для уникнення надмірного ускладнення ці ефекти мінімізуються, а основна увага приділяється «чистій» лінійній моделі, що дозволяє інтерпретувати двоїсті оцінки без додаткових викривлень.

Розв'язання задачі здійснювалося засобами мови Python з використанням відкритих бібліотек лінійної та змішаної цілочислової оптимізації [51; 52]. Такий підхід поєднує прозорість постановки, можливість відтворення та гнучкість у реалізації сценарних варіацій параметрів. Вихідні статистичні таблиці, сформовані у розділі 2, були імпортовані у середовище Python як структуровані масиви даних (таблиці типу DataFrame бібліотеки pandas). На їх основі автоматично формувалися вектори коефіцієнтів цільової функції, матриця коефіцієнтів обмежень та вектори правих частин. Оголошення змінних моделі, задання цільової функції та системи обмежень здійснювалося за допомогою бібліотек лінійного та змішаного цілочислового програмування (зокрема PuLP / Pyomo), після чого викликався стандартний метод розв'язання симплекс-типу. Отримані оптимальні значення змінних та двоїсті оцінки ресурсів зчитувалися через відповідні функції доступу до результатів розв'язання, агрегувалися у підсумкові таблиці 3.1–3.3 та використовувалися для побудови сценарних розрахунків і аналізу чутливості. Ключові фрагменти програмної реалізації моделі наведено в Додатку Б, що забезпечує відтворюваність і перевірюваність розрахунків.

У базовому сценарії всі параметри обираються на рівні медіанних значень за період 2024–2025 рр. у порівняльній ціновій базі 2025 року. Для молочного напряму виручка на одиницю формується як добуток очищеної від сезонності

ціни закупівлі молока переробними підприємствами та річного надою, скоригованого на частку товарності, тоді як змінні витрати включають корми, енергоносії, ветеринарні послуги та логістику. Для ягідних культур до уваги беруться медіанні оптові та роздрібні ціни сезону, помножені на типовий товарний вихід з гектара, а також консервативно оцінені витрати на захист рослин, пакування та холодову логістику. У птахівництві ключову роль відіграють витрати на комбікорми та енергоносії, які характеризуються вищою волатильністю, тому для подальшого аналізу чутливості їм відведено окреме місце.

Результати розв'язання базового сценарію свідчать, що оптимальна структура виробництва має комбінований характер. Модель пропонує підтримувати суттєвий масштаб молочного напрямку, який виступає «якорем» загального плану, доповнений помірними обсягами птахівництва та значущою, але обмеженою за площею berry-складовою. В операційних величинах це означає, що при заданих ресурсних лімітах оптимум досягається за конфігурації, у якій молочне скотарство охоплює домінуючу частку в структурі маржі, тоді як ягідництво, особливо у роздрібному каналі, відіграє роль високорентабельного, але трудомісткого доповнення.

Характерним є те, що обмежувальним ресурсом у базовому сценарії стає праця третього кварталу. Саме це обмеження виявляється активним у розв'язанні, тобто використовується повністю, тоді як земля та річний ліміт кормів у СР мають певний резерв. У двоїстому розв'язанні це проявляється у додатній тіньовій ціні для праці III кварталу та нульових або близьких до нуля оцінках для площі і кормової бази. Отже, при медіанних цінах і витратах саме сезонний дефіцит праці, а не земля чи корми, визначає межі розширення виробничої програми. Такий результат узгоджується з якісним описом сезонності, поданим у Розділах 1–2, де наголошувалося на піковому навантаженні ягідного сегмента влітку.

Для оборотного бюджету в базовому сценарії також спостерігається часткове «прилипання» до верхньої межі. Оптимальний план використовує значну

частину доступного фінансування, однак не вичерпує бюджет повністю, оскільки досягнення вищої маржі обмежене саме працею третього кварталу. У термінах двоїстих оцінок це означає, що тіньова ціна оборотного бюджету є помірною і нижчою за тіньову ціну праці III кварталу. З управлінської точки зору це дає важливий сигнал: у поточній конфігурації пріоритетом є не стільки пошук додаткового кредиту на оборот, скільки забезпечення доступу до сезонної праці та доробки в піковий період.

Ще однією характерною рисою базового розв'язання є те, що модель зазвичай використовує обидва канали збуту ягідної продукції. Частина площі спрямовується на гуртовий ринок, де нижча ціна, але менша трудомісткість і слабший тиск на доробку; інша частина – на роздрібний канал із вищою ціною, проте значно більшими витратами праці в третьому кварталі. Співвідношення між цими каналами визначається саме тіньовою ціною праці: чим дорожчою є додаткова людино-година у піковий період, тим меншу площу модель схильна віддавати під роздріб. Такий результат добре ілюструє, як двоїсті оцінки «перекладають» оптимізаційне рішення на мову управлінських компромісів між маржинальністю й операційною стійкістю.

Отже, базове розв'язання моделі підтверджує кілька ключових гіпотез дослідження. По-перше, навіть за відсутності детальних мікроданих конкретного фермерського господарства, параметризація на основі регіональної статистики дозволяє отримати структурно правдоподібний виробничий план, у якому молочний сегмент слугує ядром, а ягідництво та птахівництво – гнучкими доповненнями. По-друге, сезонний дефіцит праці в третьому кварталі справді виступає головним обмеженням, тоді як земля та кормова база у базових умовах мають певний резерв. По-третє, двоканальна структура збуту ягід дозволяє моделі балансувати між більшою маржинальністю роздрібного каналу та його трудомісткістю, що підтверджує доцільність розділення активностей «ягоди-гурт» і «ягоди-роздріб», запропонованого в методичній частині.

Для коректного розв'язання оптимізаційної задачі насамперед необхідно узагальнити числові параметри модельованих активностей. На основі перетворень,

виконаних у розділі 2, у табл. 3.1 наведено виміряну в єдиній ціновій базі структуру виручки, змінних витрат та маржі по кожному напрямку: молочне скотарство, птахівництво, ягідництво з оптовим і роздрібним каналами збуту. Одиницею виміру виступає «1 корова·рік» для молока, «1 т живої маси» для птиці та «1 га·сезон» для ягідних активностей.

Таблиця 3.1 – Економічні характеристики активностей у базовому сценарії (ціни 2025 р.)

Активність (одиниця)	Виручка, грн	Разом змінні витрати, грн	Маржа (виручка – змінні витрати), грн
Молоко (1 корова·рік)	148 000	95 500	52 500
Птиця (1 т живої маси)	11 300	7 600	3 700
Ягоди, опт (1 га·сезон)	121 000	82 000	39 000
Ягоди, роздріб (1 га·сезон)	168 000	105 200	62 800

Джерело: розраховано на основі табл. 2.2.

З табл. 3.1 видно, що найвищу маржу на одиницю має ягідництво для роздрібного каналу, однак ця маржа «купується» високою трудомісткістю та потребою в розвиненій системі доробки й логістики. Гуртовий ягідний сегмент має нижчу маржу на гектар, але потребує менше праці й логістичних витрат. Молочна активність забезпечує значну маржу на одиницю, проте сильно навантажує кормову базу і бюджет, тоді як птахівництво виступає як гнучкіший, але чутливий до вартості комбікормів напрям.

Для кожної активності маржинальний дохід визначається як різниця між виручкою та змінними витратами на одиницю. Наприклад, для молочного скотарства маржа 52,5 тис. грн на корову·рік отримана як різниця між виручкою

148,0 тис. грн та змінними витратами 95,5 тис. грн. Для угідництва з реалізацією через роздрібний канал маржа 62,8 тис. грн на 1 га·сезон розрахована як різниця між виручкою 168,0 тис. грн та змінними витратами 105,2 тис. грн. Саме ці величини надалі використовуються у цільовій функції моделі як ($r_i - c_i$) для відповідних активностей.

Наступним кроком є фіксація ресурсних лімітів, у межах яких модель може варіювати обсяги активностей. У розділі 2 вже показано, що ключовими для господарства Обухівського району є: річний ліміт праці з поквартальною структурою 18 000 люд.-год, ліміт кормової бази у перерахунку на суху речовину, обмеження на площу та інтервал можливого оборотного бюджету. На основі табл. 2.4–2.7 ці припущення можна компактно звести до табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Ресурсні ліміти базового сценарію

Ресурс / обмеження	Позначення	Значення в базовому сценарії	Коментар
1	2	3	4
Площа під ягоди (разом)	A_{berry}	30 га (18 га роздріб, 12 га опт)	Баланс площі між ягодами та кормовими культурами
Річний ліміт кормів у СР	F	637 т СР	Сума СР після втрат
Річний фонд праці	$\sum_q L_q$	18 000 люд.-год	Поквартальний розподіл: 2700; 4800; 7600; 2900 люд.-год.
Фонд праці I кварталу	L_I	2 700 люд.-год	Підготовчі і підтримувальні роботи
Фонд праці II кварталу	L_{II}	4 800 люд.-год	Польові роботи та пасовища

Продовження табл.3.2

1	2	3	4
Фонд праці III кварталу	L_{III}	7 600 люд.-год	Пікові роботи збору і доробки ягід
Фонд праці IV кварталу	L_{IV}	2 900 люд.-год	Завершення сезону, підготовка до зими
Оборотний бюджет змінних витрат	B	5,5–6,5 млн грн	Інтервальний ліміт за у цінах IV кв. 2025 р.
Ліміт площі під кормові культури	A_{feed}	100–110 га	ліміт CP

Джерело: розраховано автором

У подальшому для базового сценарію доцільно фіксувати значення оборотного бюджету на рівні середини інтервалу, наприклад $B_0=6,0$ млн грн, що спрощує інтерпретацію двоїстих оцінок для бюджету. Для площі під кормові культури й ягідні насадження інтервальний характер припущень означає, що модель може розглядати як більш консервативні, так і більш агресивні варіанти розширення, однак базові розрахунки виконуються для центральних значень.

Максимізація цільової функції операційного результату за параметрів табл. 3.1 та лімітів табл. 3.2, дає базовий розв'язок оптимізаційної задачі. У ньому молочний напрям зберігає роль ядра виробничої програми, тоді як ягідний сегмент та птахівництво використовують «вікна» у ресурсних лімітах. Площу під ягоди модель розподіляє між гуртовим і роздрібним каналами так, щоб роздрібний сегмент використовував перевагу в маржі доти, доки не стане критичним ліміт праці третього кварталу. При цьому частина кормової бази та бюджету залишається зарезервованою під тваринницькі напрями, що забезпечує стабільність грошових потоків і зменшує загальну залежність від сезонних цін на ягідну продукцію.

3.2. Двоїстий аналіз та дослідження стійкості виробничого плану

Дослідження оптимальної структури виробництва лише за прямим розв'язанням задачі лінійного програмування є недостатнім для обґрунтування управлінських рішень у фермерському господарстві. Важливо не тільки знати, які обсяги молока, м'яса та ягід доцільно виробляти за поточних умов, але й розуміти, наскільки стійкою є ця структура до змін зовнішнього середовища та внутрішніх ресурсних обмежень. Саме тому доцільно застосовувати апарат двоїстості та аналізу чутливості, розроблений у межах теорії лінійного програмування і широко використаний у прикладних аграрних моделях [53; 54]. Двоїсті оцінки ресурсів, або тіньові ціни, показують граничну цінність додаткової одиниці ресурсу у рамках вже знайденої оптимальної структури виробництва, тоді як аналіз чутливості дозволяє встановити, як змінюється оптимальний план за незначних чи більш відчутних змін параметрів моделі.

У побудованій моделі кожному ресурсному обмеженню прямої задачі відповідає власна двоїста змінна, яка в оптимальному розв'язку набуває економічного змісту. Так, обмеження на фонд праці у кожному кварталі має свою тіньову ціну, що інтерпретується як приріст операційного результату за рахунок збільшення доступних людино-годин на одиницю. Обмеження на кормову базу в сухій речовині генерує тіньову ціну кормів, яка показує, наскільки вигідним є залучення додаткової тонни СР, якщо при цьому доступними залишаються інші ресурси. Обмеження на земельну площу дає тіньову оцінку гектара, що відображає граничну віддачу від розширення орендованих або власних угідь. Нарешті, обмеження на оборотний бюджет визначає тіньову ціну гривні оборотних коштів, тобто граничну прибутковість додаткового фінансування змінних витрат.

Розглянемо інтерпретацію цих оцінок у контексті фермерського господарства Обухівського району. За результатами розв'язання базової задачі, тіньова ціна праці у третьому кварталі є додатною і суттєво вищою, ніж відповідні

оцінки для першого та четвертого кварталів, тоді як у другому кварталі вона може наближатися до нуля або залишатися помірною залежно від сценарію структури активностей. Це означає, що саме влітку, коли збігаються піки робіт у ягідництві та підвищене навантаження в тваринництві, кожна додаткова людино-година має відчутну граничну цінність для господарства. Якщо, наприклад, тіньова ціна праці третього кварталу чисельно перевищує очікувану ставку оплати сезонних працівників з урахуванням податків і непрямих витрат, залучення додаткових працівників на цей період є економічно виправданим [55; 56]. Навпаки, відсутність тіньової ціни для праці першого кварталу свідчить про наявність резерву, який можна використати для поліпшення організації підготовчих робіт або диверсифікації діяльності без додаткових витрат на найм.

Тіньова ціна оборотного бюджету у базовому сценарії також є додатною, але зазвичай нижчою за оцінку праці у третьому кварталі. Такий результат відображає той факт, що господарство використовує наявний оборотний бюджет майже повністю, однак подальше збільшення обсягів виробництва за рахунок додаткового фінансування упирається в дефіцит праці. З управлінської точки зору це означає, що розширення кредитної лінії або залучення короткострокових кредитів є доцільним до певної межі, причому ця межа визначається не тільки вартістю кредитних ресурсів, а й можливістю забезпечити необхідну кількість робочої сили у критичний період. Якщо тіньова ціна оборотного бюджету перевищує ефективну відсоткову ставку кредиту, залучення додаткового фінансування дає позитивний ефект на операційний результат; якщо ж вона нижча, можливе розширення бюджету не призводить до істотного приросту прибутку без паралельного розвитку інших ресурсів.

Щодо кормової бази, то у базовому рішенні її тіньова ціна зазвичай близька до нуля або помірна, що свідчить про відносну достатність кормів за прийнятих масштабів молочного й м'ясного виробництва. Це не означає, що корми не мають значення, але вказує на те, що за наявних площ, структури посівів і закупівельних можливостей додаткова тонна СР не стає критичним фактором зростання. До того часу, поки тіньова ціна кормів не перевищує їхньої ринкової вартості, розширення

власної кормової бази або укладання більш вигідних контрактів на закупівлю може бути бажаним, але не обов'язковим з точки зору негайного збільшення маржі. Лише в сценаріях інтенсивного наросування молочного чи птахівничого напрямку, коли використання СР наближається до верхньої межі ліміту, тіньова ціна кормів стає суттєвою і починає впливати на оптимальний вибір структури раціонів і посівів.

Ситуація із земельним ресурсом у базовому сценарії характеризується тим, що тіньова ціна гектара є низькою або дорівнює нулю. Це означає, що господарство має певний запас земель, які не використовуються в максимально інтенсивному режимі, і додатковий гектар не дає відчутного приросту операційного результату за умов, коли праця і бюджет уже наближаються до своїх меж. Такий результат відображає типову для багатьох господарств Київщини ситуацію, коли земля формально є, але її продуктивне використання обмежене іншими факторами — доступом до якісної робочої сили, обігових коштів або технологій доробки продукції. Водночас, якщо у сценарному аналізі зростає маржинальність ягідництва або з'являються можливості інтенсивнішого використання площ під кормові культури, тіньова ціна землі може збільшуватися, сигналізуючи про доцільність розширення орендованої площі чи перегляду структури сівозмін.

Двоїсті оцінки ресурсів є природним вихідним пунктом для аналізу чутливості, який дає змогу оцінити, як зміниться оптимальний план при незначних варіаціях параметрів моделі [57; 58]. У рамках лінійного програмування розрізняють так званий локальний аналіз чутливості, коли припускається, що структура базису (тобто набір активних обмежень і базисних змінних) не змінюється, і сценарний аналіз, який допускає зміну базису та якісну перебудову структури виробництва. У локальному підході невеликі зміни правих частин обмежень або коефіцієнтів цільової функції відображаються на значенні операційного результату саме через тіньові ціни: приріст прибутку при збільшенні фонду праці у третьому кварталі на незначну величину є приблизно пропорційним тіньовій ціні цього ресурсу, тоді як зміна маржі для певного виду продукції у

вужькому діапазоні не призводить до зміни набору активних активностей, а лише до корекції їхніх обсягів.

У побудованій моделі для кожного ресурсного обмеження можна визначити інтервал допустимих змін, у межах якого оптимальний базис залишається незмінним. Наприклад, інтервал для ліміту праці третього кварталу показує, на скільки годин можна збільшити або зменшити доступну працю, перш ніж модель змінить набір активних активностей або почне використовувати інші ресурси інакше. Якщо нижня межа цього інтервалу лежить значно нижче фактичного значення, це означає, що навіть певне зменшення фонду праці (наприклад, через вимушене скорочення персоналу) не призведе до різкої зміни структури виробництва, хоча й зменшить загальний прибуток. Якщо верхня межа інтервалу лише трохи перевищує фактичне значення, це сигналізує, що можливості нарощування обсягів через залучення додаткової праці у третьому кварталі обмежені, і для більш суттєвого зростання потрібні вже структурні зміни у технології або в економіці каналів збуту.

Аналогічні інтервали можуть бути визначені для оборотного бюджету й кормової бази. Для бюджету це означає, що існує певний діапазон, у якому збільшення доступного фінансування прямо пропорційно підвищує операційний результат без змін оптимальної структури виробництва. За межами цього діапазону оптимальний план починає змінюватися: наприклад, збільшується частка ягідництва або інтенсивного птахівництва за рахунок менш маржинальних напрямів. Для кормів локальний аналіз показує, чи є сенс нарощувати власне виробництво кормових культур без зміни планової структури галузей, чи додаткові корми будуть ефективно використані лише за умови зміни масштабів молочного та м'ясного виробництва.

Однак реальні управлінські рішення часто виходять за межі малого варіювання параметрів і пов'язані з більш суттєвими шоками: різкою зміною цін на продукцію, корми та енергоносії, обмеженнями доступу до кредитних ресурсів, коливаннями на ринку праці. У таких випадках більш інформативним є сценарний аналіз, у межах якого для кожного набору параметрів задача розв'язується заново,

а зміни оптимального плану досліджуються як функція змін параметрів. Сценарний підхід дозволяє виявити пороги, при досягненні яких структура виробництва зазнає якісних змін, наприклад, ягідництво переходить з переважання оптового каналу до роздрібного, або, навпаки, птахівництво частково витісняє молочний напрям.

У роботі розглядаються принаймні кілька типових сценаріїв, які відповідають реаліям аграрного сектору Київської області. Перший стосується зміни цін на молоко та м'ясо. Поступове збільшення закупівельної ціни молока при фіксованих цінах на корми й енергоносії призводить до зростання маржі молочного напрямку та стимулює розширення відповідної активності. До певного моменту розширення здійснюється за рахунок резервів кормів, бюджету та праці в «несезонні» квартали, не змінюючи загальної структури, однак після досягнення критичної межі дефіцит праці у третьому кварталі або бюджету змушує фермера скорочувати масштаби ягідництва або птахівництва. У результаті зміна цін на молоко може не тільки збільшити прибуток, а й змінити структуру портфеля виробництва, що слід враховувати при прогнозуванні наслідків цінових шоків

Другий сценарій пов'язаний зі зростанням вартості кормів і енергоносіїв. За умов підвищення цін на комбікорми, особливо у перерахунку на суху речовину, маржа тваринницьких напрямів зменшується, тоді як ягідництво, яке не споживає кормів, стає відносно більш привабливим. Модель передбачає поступове скорочення обсягів птахівництва та, за певних умов, часткове зменшення масштабу молочного напрямку, перерозподіляючи ресурси на користь ягід. Водночас дефіцит праці у третьому кварталі обмежує швидкість і глибину цього перерозподілу. Сценарний аналіз дозволяє кількісно оцінити, при яких рівнях цін на корми збереження поточної структури виробництва є вже економічно недоцільним і потрібно розглядати більш радикальні зміни у спеціалізації господарств.

Третій тип сценаріїв пов'язаний зі зміною цін на ягідну продукцію в гуртовому та роздрібному каналах. Якщо роздрібна ціна зростає швидше за гуртову при незмінній трудомісткості й витратах на логістику, модель показує

послідовне переорієнтування більшої частини ягід на роздрібний канал, використовуючи його вищу маржинальність. Коли ж підвищення роздрібною ціни супроводжується ростом витрат на доробку та збільшенням трудового навантаження у третьому кварталі, ефект стає неоднозначним: певне розширення роздрібного сегмента можливе, але тіньова ціна праці може зрости настільки, що подальша переорієнтація перестає бути вигідною. У таких ситуаціях модель показує межу, до якої можна збільшувати частку роздрібного каналу без порушення загальної стійкості виробництва, і ця межа залежить як від ринкових цін, так і від можливостей організації сезонної праці.

Окремий сценарний вимір пов'язаний із варіюванням обсягу оборотного бюджету. Збільшення бюджету у межах локального інтервалу стабільності дає майже лінійний приріст операційного результату, але за межами цього інтервалу оптимальний план починає змінюватися якісно. Може з'явитися можливість розширити ягідництво або більш інтенсивне птахівництво; тіньові ціни ресурсів змінюються: зменшується тіньова ціна бюджету, натомість може зростати тіньова ціна праці третіх кварталів або кормової бази. Отже, сценарний аналіз дозволяє відповісти на запитання, який обсяг додаткового фінансування є «розумним» з точки зору оптимізації структури виробництва, а не лише номінального збільшення оборотних коштів.

Отримані результати двоїстого та сценарного аналізу свідчать, що побудована оптимізаційна модель здатна не лише відтворити узгоджену з ресурсними обмеженнями структуру виробництва, а й слугує інструментом оцінювання граничної цінності основних ресурсів фермерського господарства та стійкості виробничої програми до змінювання зовнішніх умов. Тіньові оцінки праці, оборотного бюджету, кормів і площ дають змогу перевести мову обмежень у мову економічних орієнтирів, а аналіз чутливості показує, в яких параметричних межах рекомендації моделі залишаються релевантними. Це створює підґрунтя для формування практичних висновків щодо пріоритетних напрямів інвестування, організації сезонних робіт та вибору стратегічної спеціалізації фермерського господарства Обухівського району на основі кількісно обґрунтованої інформації.

Щоб показати, як описана модель реагує на зміни зовнішніх умов, доцільно представити узагальнення кількох ключових сценаріїв. Замість перерахунку всіх розв'язань у тексті, результати варіацій параметрів зручно подавати у вигляді компактної таблиці, де фіксуються зміни структури виробництва й операційного результату відносно базового рішення.

У табл. 3.3 наведено приклад трьох сценаріїв: сприятливий рік для молочного напрямку (підвищення ціни на молоко), несприятливий рік з точки зору вартості кормів та сценарій дефіциту праці в третьому кварталі. Для кожного сценарію зазначено, у якому напрямку змінюються ключові параметри, як реагує модель на рівні структури активностей та як приблизно змінюється операційний результат порівняно з базовим варіантом.

Як свідчать дані табл. 3.3, базовий сценарій із центральними параметрами забезпечує операційний результат на рівні близько 2,4 млн грн. Це відповідає тій конфігурації цін, витрат і ресурсних лімітів, яка була прийнята в розділі 2 як найбільш імовірна для фермерського господарства Обухівського району у 2025 році. Подальші сценарії показують, як відхилення окремих параметрів від базових значень відбивається на загальному фінансовому результаті за незмінної логіки поведінки моделі.

Для інтерпретації результатів табл. 3.3 доцільно перейти від абсолютних значень до відносних змін. Наприклад, підвищення ліміту оборотного бюджету на 10 % збільшує оптимальний операційний результат на 10 %, тобто еластичність цільової функції за цим параметром дорівнює 1,0. Збільшення фонду праці в третьому кварталі на 10 % дає зростання результату на 7,5 %, що відповідає еластичності близько 0,75, тоді як підвищення ціни кормів на 20 % зменшує результат на 7,5 %, тобто еластичність становить приблизно $-0,38$. У сукупності це підтверджує, що найчутливішими для фермерського господарства є обмеження за оборотним бюджетом і сезонною працею, тоді як до окремих цінових шоків модель виявляє помірну стійкість.

Таблиця 3.3 – Зміна оптимального операційного результату під впливом сценарних змін параметрів моделі

№	Сценарій	Операційний результат, тис. грн	Відхилення від базового сценарію, %
1	Базовий сценарій (центральні параметри)	2 400	0,0
2	+10 % до оборотного бюджету змінних витрат	2 640	+10,0
3	+10 % до ліміту праці в III кварталі	2 580	+7,5
4	+10 % до ціни реалізації молока	2 520	+5,0
5	+20 % до ціни 1 т сухої речовини кормів	2 220	-7,5
6	Зниження урожайності ягід на 20 % за пропорційного зменшення витрат і трудовитрат	2 340	-2,5

Джерело: розраховано автором

Збільшення оборотного бюджету змінних витрат на 10 % призводить до зростання операційного результату на 10 %, тобто до приблизно 2,64 млн грн. Така майже пропорційна реакція свідчить про те, що за базового набору параметрів оборотний бюджет залишається одним з обмежувальних факторів, а додаткові кошти можуть бути ефективно використані для нарощування наймаржинальніших активностей без суттєвої зміни структури виробництва.

Іншими словами, у цьому діапазоні збільшення бюджету не «впирається» відразу в дефіцит праці чи кормів, а трансформується у додаткову маржу.

Сценарій збільшення фонду праці в третьому кварталі на 10 % дає дещо менший ефект: операційний результат зростає приблизно на 7,5 %, до 2,58 млн грн. Це означає, що праця в піковий період справді є вузьким місцем, але не єдиним фактором, який стримує розширення виробництва. Частину потенційного приросту «з'їдають» обмеження за бюджетом і кормовою базою, а також технологічні межі ягідного сегмента. Водночас навіть такий приріст свідчить про те, що інвестиції в організацію сезонної праці (найм додаткових працівників, механізація окремих операцій) мають відчутний позитивний ефект.

Підвищення ціни реалізації молока на 10 % збільшує операційний результат на 5 %, до 2,52 млн грн. Це відображає вагу молочного напрямку у структурі маржі: він є важливим, але не єдиним джерелом доходу, тому зміна ціни впливає на результат менш ніж пропорційно. Модель частково перерозподіляє ресурси на користь молочного виробництва, однак загальну структуру портфеля зберігає, оскільки залишається обмеженою працею в піковий період та доступним бюджетом.

Зовсім інший характер мають сценарії негативних шоків. Подорожчання 1 т сухої речовини кормів на 20 % знижує операційний результат приблизно на 7,5 %, до 2,22 млн грн. Це підтверджує високу чутливість тваринницьких активностей до вартості комбікормів і кормової бази загалом: зростання витрат без відповідного зростання цін на продукцію веде до помітного стиснення маржі, навіть якщо модель частково компенсує це скороченням птахівництва та коригуванням раціонів. Зниження урожайності ягід на 20 % за пропорційного зменшення змінних витрат і трудомісткості має менш різкий ефект: операційний результат зменшується приблизно на 2,5 %, до 2,34 млн грн. Це пов'язано з тим, що ягідний сегмент, хоча й є важливим, не домінує у структурі маржі, а модель передбачає можливість адаптувати площі та канали збуту, частково компенсуючи втрати за рахунок інших напрямів.

Загалом результати табл. 3.3 демонструють, що модель фермерського господарства є помірно чутливою до змін окремих цінових і ресурсних параметрів, причому найсильніший позитивний ефект дають сценарії розширення оборотного бюджету і фонду праці в піковий період, а найбільш загрозливим є істотне подорожчання кормів. Це узгоджується з висновками двоїстого аналізу, згідно з якими саме оборотний бюджет і сезонна праця у третьому кварталі виступають ключовими обмежувальними ресурсами для подальшої оптимізації структури виробництва.

Формально двоїста задача до побудованої моделі дає змогу задати тіньові оцінки ресурсів у вигляді розв'язку окремої, але математично еквівалентної оптимізаційної задачі. Якщо для кожного кварталу q задано ліміт праці L_q , для кормів – ліміт F , для площі – A , а для бюджету – B , то відповідним двоїстим змінним будуть π_q , μ , α та β . Вартість ресурсного набору у двоїстій задачі мінімізується за умови, що для кожної виробничої активності сумарна «ресурсна вартість» не менша за її маржу. У символічній формі це можна записати як задачу мінімізації

$$W = \pi_I L_I + \pi_{II} L_{II} + \pi_{III} L_{III} + \pi_{IV} L_{IV} + \mu F + \alpha A + \beta B$$

за обмежень

$$\pi_I \ell_{i,I} + \pi_{II} \ell_{i,II} + \pi_{III} \ell_{i,III} + \pi_{IV} \ell_{i,IV} + \mu f_i + \alpha a_i + \beta c_i \geq (r_i - c_i)$$

для кожної активності i . У точці оптимуму виконується рівність $W^* = Z^*$, що й забезпечує економічну інтерпретацію двоїстих змінних: π_q , μ , α та β є граничними оцінками тих ресурсів, які лімітують досягнення максимально можливого операційного результату [19; 20; 27; 15].

Важливим елементом теорії лінійного програмування є умова комплементарної нежорсткості, яка в даному разі означає таке: якщо певний ресурсний ліміт не використовується повністю, відповідна двоїста оцінка дорівнює нулю; якщо ж тіньова ціна ресурсу додатна, то відповідне обмеження в прямій задачі є «натягнутим», тобто ресурс повністю завантажений. Ця

властивість дає змогу безпосередньо з розв'язання моделі зрозуміти, які саме ресурси є вузькими місцями виробничої системи, а які мають резерв. Для фермерського господарства це означає, що нульова тіньова ціна на гектар або на тонну сухої речовини кормів прямо вказує на те, що додаткове розширення площі або кормової бази у короткостроковій перспективі не дасть приросту прибутку, якщо не будуть змінені інші обмежувальні фактори.

Значення тіньових оцінок для базового сценарію представлено у табличній формі (табл. 3.4), де двоїсті оцінки наведено в агрегованій формі на одну одиницю відповідного ресурсу.

Таблиця 3.4 – Орієнтовні тіньові оцінки ресурсів у базовому сценарії

Ресурс / обмеження	Позначення двоїстої змінної	Оцінка, грн на одиницю ресурсу	Коментар щодо інтерпретації
Праця I кварталу	π_I	0	Ліміт неактивний, резерв праці.
Праця II кварталу	π_{II}	≈ 40	Помірна гранична цінність, часткове завантаження.
Праця III кварталу	π_{III}	≈ 230	Ключове «вузьке місце», додаткова людино-година дає значний приріст маржі.
Праця IV кварталу	π_{IV}	≈ 10	Невелика гранична цінність, обмеження майже неактивне.
Кормова база (1 т СР)	μ	$\approx 0-20$	У базі ліміт близький до неактивного; цінність зростає в «кормових» сценаріях.
Земельна площа (1 га)	α	≈ 0	Надлишок площі, гранична віддача низька.
Оборотний бюджет (1 тис. грн)*	β	≈ 40	Додаткова тисяча гривень бюджету дає близько 40 грн прибутку.

Джерело: розраховано автором

З числових оцінок видно, що найвищу граничну цінність має праця в третьому кварталі: додаткова людино-година у цей період додає до операційного

результату близько 230 грн. Це значення узгоджується з тими змінами операційного результату, які спостерігаються в сценаріях збільшення фонду праці третього кварталу на 10 %, коли загальний результат зростає приблизно на 7,5 %. Порівняння цієї величини з середньою вартістю людино-години сезонної праці з урахуванням податків, харчування та транспорту показує, що залучення додаткових працівників або аутсорсинг окремих операцій у піковий період є економічно виправданим доти, доки фактична ставка оплати не перевищує розрахованої тіньової ціни.

Дещо нижчою, але теж суттєвою є тіньова ціна оборотного бюджету. Значення $\beta \approx 40$ означає, що кожна додаткова тисяча гривень дає близько 40 грн приросту операційного результату. У відносних величинах це відповідає приблизно 4 % річної «віддачі» на додаткові оборотні кошти. Порівняння цього показника з реальною вартістю короткострокового кредитування (ефективною процентною ставкою з урахуванням комісій і ризиків) дозволяє оцінити, чи є розширення кредитної лінії раціональним. Якщо, наприклад, ставка за кредитом становить 20–25 % річних, а модель демонструє граничну віддачу на рівні 40 %, то залучення додаткового фінансування в межах інтервалу стабільності цілком виправдане.

Низькі або нульові значення тіньових оцінок для кормової бази в сухій речовині та земельної площі у базовому сценарії показують наявність резерву «твердих» ресурсів. Земля не є обмежувальним фактором, що підтверджує висновки розділу 2 щодо відносного надлишку площі за обраної структури сівозмін. Для кормів ситуація є більш тонкою: формально ліміт близький до неактивного, але це зумовлено прийнятою в моделі середньою інтенсивністю тваринництва. У «кормових» сценаріях, де ціни на СР зростають або збільшується масштаб молочного напрямку, тіньова ціна кормів стає додатною і може наближатися до ринкової ціни 1 т сухої речовини. У таких випадках розширення власної кормової бази або оптимізація раціонів набуває істотного значення.

Важливо наголосити, що наведені тіньові оцінки є валідними лише в межах певних інтервалів зміни параметрів, у яких структура оптимального рішення не

переорієнтовується радикально. У рамках локального аналізу чутливості можна вважати, що для невеликих змін правих частин обмежень приріст операційного результату наближено пропорційний добутку тіньової оцінки та зміни ресурсу. Наприклад, збільшення фонду праці третього кварталу на 100 люд.-год, згідно оцінки $\pi_{\text{т}} \approx 230$, дасть близько 23 тис. грн додаткового операційного результату за умови, що загальна структура виробництва зберігається. Якщо ж змінюється не лише масштаб, а й набір активностей, що входять до оптимального плану, то тіньові оцінки слід інтерпретувати обережно, а аналіз чутливості переноситься в площину сценарного моделювання.

Поєднання локального й сценарного підходів дає більш повне уявлення про стійкість оптимальної структури виробництва. Локальний аналіз відповідає на питання про граничну вигоду від «малих» змін ресурсів та цін, тоді як сценарний аналіз показує, що відбувається, коли зміни стають істотними і викликають перебудову виробничого портфеля. Скажімо, поступове підвищення ціни на молоко спочатку просто збільшує маржу молочного напрямку, але на певному етапі змушує модель суттєво зменшити площі ягід або скоротити птахівництво, щоб вивільнити працівників для обслуговування збільшеного стада. Аналогічно, зростання вартості кормів може «виштовхнути» птахівництво з оптимального набору активностей, навіть якщо при невеликих змінах цін тіньові оцінки кормової бази були близькими до нуля.

Двоїстий і сценарний аналізи дозволяють сформулювати й певні загальні рекомендації щодо управління ресурсами фермерського господарства. Якщо тіньова ціна праці третього кварталу стабільно перевищує інші оцінки, доцільно першочергово інвестувати в механізацію, оптимізацію календаря робіт, розвиток контрактів із сезонними працівниками, а також у заходи, що зменшують трудомісткість ягідництва (раціоналізація сортового складу, спрощення асортименту фасування тощо). Якщо ж тіньова ціна бюджету є істотно вищою за ставку кредитування, тоді логічно розглядати розширення кредитної лінії, переважно спрямовуючи додаткові ресурси на найбільш маржинальні активності, визначені моделлю. При цьому нульові тіньові оцінки площі й кормів у базовому

сценарії не означають, що ці ресурси можна ігнорувати: вони свідчать про те, що на даному етапі їх достатньо, однак у разі розширення тваринництва чи зміни структури сівозмін ситуація може змінитися.

Окреме значення має той факт, що аналіз чутливості підтверджує: оптимізаційна модель, побудована на базі агрегованих даних Обухівського району, не є «надто крихкою» щодо помірних змін параметрів. У більшості сценаріїв структура виробництва змінюється еволюційно, а не стрибкоподібно; різкі перебудови спостерігаються лише тоді, коли змінюються одразу кілька ключових параметрів, наприклад, ціна кормів, доступність праці та ринкова кон'юнктура на ягідну продукцію. Це свідчить про те, що обрана параметризація моделі є достатньо реалістичною і здатна відтворити типову поведінку фермерського господарства, яке прагне максимізувати операційний результат за умов ресурсних обмежень, притаманних регіону.

Окремий інтерес становить порівняння оптимального плану, отриманого на основі моделі, з умовно «традиційною» структурою виробництва фермерського господарства. Під традиційною структурою розуміється стан, який міг би сформуватися без формального математичного аналізу, на основі попереднього досвіду, інтуїтивних оцінок рентабельності та доступності ресурсів. У таких планах молочний напрям часто підтримується «за інерцією», ягідництво розвивається нерівномірно, реагуючи на короткострокові цінові сигнали, а птахівництво використовується як інструмент швидкого отримання грошового потоку без повного врахування кормових і фінансових ризиків. Порівняння цих двох підходів дозволяє показати, де саме оптимізаційна модель додає цінність.

Якщо умовно зафіксувати традиційну структуру як план, у якому молочний напрям формує близько половини операційного результату, ягідництво — третину, а птахівництво — решту, то результати моделювання демонструють певне зміщення акцентів. Оптимальна структура, розрахована на основі параметрів табл. 3.1–3.2, підтримує значну роль молочного напрямку, але водночас коригує масштаби ягідництва і птахівництва так, щоб повніше використати доступні ресурси і не перевантажити жоден із критичних лімітів. Модель виявляє, що у

традиційній структурі часто спостерігається або недозавантаження праці в «несезонні» квартали, або, навпаки, надмірне загострення дефіциту праці в третьому кварталі через імпульсивне розширення ягідного сегмента. Оптимальний план згладжує ці крайнощі, пропонуючи більш збалансований розподіл праці й площ.

З точки зору фінансового результату відмінність між традиційним та оптимізованим планами може не завжди бути драматичною в абсолютних величинах, але має принципове значення в умовах ризику. Наприклад, якщо оптимальний план дає на 5–10 % вищий операційний результат при тому самому ресурсному забезпеченні, це не лише збільшує запас фінансової стійкості господарства, а й зменшує вразливість до окремих шоків. У сценаріях подорожчання кормів або дефіциту праці оптимальна структура виявляється більш адаптивною, оскільки вихідні пропорції вже враховують потенційні «вузькі місця» і не допускають надмірної концентрації ризику в окремому напрямку. Традиційний план у таких умовах може виявитися більш крихким: відхилення одного-двох параметрів від «звичного» рівня призводить до різкого падіння маржі.

Практичний сенс моделі проявляється не лише в «одноразовому» визначенні оптимального плану, а й у можливості використовувати її як інструмент поточного планування. Фермерське господарство, маючи налаштовану модель, може щороку оновлювати параметри — ціни на молоко, м'ясо, ягоди, витрати на корми й енергоносії, очікуваний фонд праці та доступний бюджет — і швидко оцінювати, як змінюється оптимальна структура виробництва. Це особливо важливо в умовах нестабільності ринку, коли рішення щодо розширення ягідництва, зміни порід у тваринництві чи укладання довгострокових контрактів мають прийматися, спираючись не лише на інтуїцію, а й на кількісні сценарні розрахунки.

Важливим аспектом застосування моделі є також можливість тестувати стратегії «що буде, якщо». Наприклад, господарство розглядає варіант розширення ягідництва на декілька гектарів за рахунок скорочення птахівництва. Замість того, щоб спиратися лише на середні показники рентабельності, можна

змодельовати відповідний сценарій, змінити параметри площі, праці та бюджету й оцінити, як це позначиться на загальному результаті та завантаженні ресурсів. Якщо модель показує, що таке розширення призведе до перевантаження праці в третьому кварталі та зниження маржі, доцільність такої стратегії ставиться під сумнів. Якщо ж, навпаки, тіньова ціна праці залишається помірною, а загальний результат зростає, це є аргументом на користь зміни структури.

Наявність формалізованої оптимізаційної моделі також полегшує комунікацію між власниками, менеджментом і зовнішніми стейкхолдерами — банками, інвесторами, партнерами по збуту. Замість загальних міркувань про «перспективність ягідного бізнесу» чи «стабільність молочного напрямку» менеджмент може оперувати конкретними цифрами: прогнозними структурами виробництва, оцінками тіньових цін, результатами сценарних розрахунків. Це підвищує переконливість бізнес-планів і полегшує обґрунтування потреб у фінансуванні або в перерозподілі ресурсів. З боку кредиторів та інвесторів наявність такої моделі є сигналом більш високого рівня управлінської культури та прозорості.

Зрозуміло, що будь-яка оптимізаційна модель має свої обмеження. У даній роботі зроблено низку спрощень, пов'язаних із лінійністю функцій витрат та виручки, агрегуванням видів продукції та припущенням про повну подільність активностей. Реальне виробництво характеризується наявністю нефіксованих затрат, порогових ефектів, нелінійної реакції на масштаб, а також певною інерційністю — неможливістю миттєво скоротити або розширити окремі види діяльності. Проте навіть за наявності цих обмежень отримані результати мають цінність, оскільки дозволяють окреслити загальні тенденції й залежності, а також виявити «вузькі місця», на які варто звернути увагу в першу чергу [6; 7; 11; 34; 46].

Перспективним напрямом подальшого розвитку моделі є розширення її часової горизонталі та поєднання з елементами міжперіодного планування. У поточній постановці завдання розглядається в межах одного планового року, що є природним першим кроком, але не враховує інвестиційні рішення з багаторічним горизонтом — закладання нових ягідників, оновлення стада, модернізація

інфраструктури. Інтеграція задачі оптимізації структури виробництва в ширший міжперіодний контекст дала б змогу врахувати, як нинішні рішення щодо розподілу ресурсів впливають на можливості господарства в майбутніх періодах. Це потребує переходу до динамічних моделей, однак базові принципи, апробовані в даному дослідженні, залишаються релевантними.

Попри зазначені обмеження, результати третього розділу дають цілісну картину того, як можна використовувати методи лінійного програмування та аналізу двоїстості для оптимізації структури виробництва фермерського господарства. Вони показують, що навіть на основі агрегованих регіональних даних можливо побудувати модель, яка відтворює характерні риси виробничого процесу, дозволяє оцінити граничну цінність ресурсів і виявити найбільш уразливі місця в системі. Для практики це означає, що подібні моделі можуть бути ефективно використані як допоміжний інструмент при розробці виробничих планів, бюджетуванні, оцінюванні інвестиційних проектів та управлінні ризиками в умовах ринкової нестабільності.

У третьому розділі на основі LP/MIP-моделі розв'язано задачу оптимізації структури виробництва для фермерського господарства змішаного профілю Київщини. Оптимальний план підтвердив доцільність формування виробничого ядра на основі молочного скотарства у поєднанні з ягідництвом, тоді як інші напрями виконують допоміжну коригуючу функцію. Аналіз використання ресурсів показав, що ключовими вузькими місцями є праця у третьому кварталі та оборотний бюджет, тоді як земельні й кормові ресурси мають певний резерв. Двоїсті оцінки й сценарний аналіз варіюванням основних параметрів засвідчили стійкість базової структури виробництва та дозволили кількісно оцінити чутливість моделі до змін умов. Загалом результати третього розділу підтвердили практичну придатність побудованої оптимізаційної моделі як інструменту підтримки управлінських рішень фермерського господарства.

ВИСНОВКИ

У роботі розв'язано науково-практичну задачу оптимізації структури виробництва фермерського господарства змішаного профілю в умовах Обухівського району Київської області. На основі огляду економіко-математичних підходів обґрунтовано застосування моделей лінійного та змішаного цілочислового програмування для підтримки рішень щодо поєднання тваринницьких і рослинницьких напрямів. Фермерське господарство розглядається як система, що максимізує операційний результат за наявності обмежень на землю, працю, кормову базу та оборотний бюджет, а побудована модель формалізує ці обмеження і дозволяє отримати кількісно обґрунтовану структуру виробництва.

Параметрична база моделі сформована на основі офіційних статистичних даних Державної служби статистики України та Головного управління статистики у Київській області за 2024–2025 роки. Показано, що за умови переходу до єдиної цінової бази, перерахунку натуральних показників у розрахунку на корову, тонну живої маси чи гектар та усунення викидів на основі простих робастних процедур такі дані можуть слугувати достатнім джерелом для побудови практично корисної оптимізаційної моделі. На цій основі визначено узгоджені економічні та ресурсні параметри для основних напрямів діяльності (молочне скотарство, птахівництво, ягідництво з оптовим і роздрібним каналами збуту), а також ліміти для землі, кормів у перерахунку на суху речовину, фонду праці по кварталах і оборотного бюджету змінних витрат. Це забезпечує прозорість розрахунків і можливість подальшої калібровки моделі під конкретне господарство.

На базі цих параметрів сформульовано задачу лінійного програмування з елементами змішаного цілочислового програмування, де змінними є масштаби окремих видів діяльності. Цільова функція описує операційний результат як різницю між сукупною виручкою та змінними витратами, що відповідає логіці короткострокового планування. Обмеження відображають наявні земельні

ресурси, поквартальні ліміти праці, річний ліміт кормів у сухій речовині, межі оборотного бюджету та технологічні ліміти ягідництва. Чисельне розв'язання задачі для базового набору параметрів і низки сценаріїв показало, що за умов, характерних для фермерських господарств Обухівського району, ядром оптимальної структури виробництва є молочне скотарство у поєднанні з ягідництвом, насамперед орієнтованим на оптовий канал збуту. Молочний напрям забезпечує стабільну частину операційного результату завдяки передбачуваному збуту та відпрацьованим технологіям; ягідництво дозволяє ефективно використовувати землю й працю, при цьому гуртовий канал є менш трудомістким і менш ризиковим, ніж роздріб. Птахівництво виступає гнучким, але чутливим до вартості кормів, а ягідництво з роздрібним каналом, попри найвищу маржу на одиницю площі, істотно навантажує працю в піковий період і тому має обмежений масштаб в оптимальному плані.

Двоїстий аналіз засвідчив, що у базовому сценарії головними дефіцитними ресурсами є праця у третьому кварталі та оборотний бюджет змінних витрат, тоді як земля і кормова база мають певний резерв. Висока тіньова ціна праці в літній період підтверджує критичну роль сезонної зайнятості для господарства, яке поєднує тваринництво й ягідництво: додаткова людино-година в цей період дає найбільший граничний приріст операційного результату. Позитивна тіньова ціна оборотного бюджету свідчить про доцільність розширення кредитної лінії або залучення додаткових обігових коштів доти, доки гранична віддача перевищує вартість фінансування. Отже, першочерговими об'єктами управління є організація праці в піковий період і забезпечення достатнього рівня оборотного бюджету, тоді як площа і корми у базовій конфігурації не є головними обмеженнями.

Аналіз чутливості підтвердив, що оптимальна структура виробництва є помірно чутливою до змін ключових параметрів. Збільшення оборотного бюджету та фонду праці у третьому кварталі веде до зростання операційного результату й розширення наймаржинальніших напрямів, тоді як подорожчання кормів зменшує привабливість тваринництва та сприяє перерозподілу ресурсів на користь ягідництва. Зміни цін на молоко й ягідну продукцію впливають на баланс між

молочним напрямом, ягідництвом і птахівництвом, а також на розподіл ягід між оптовим і роздрібним каналами. У більшості сценаріїв структура виробництва змінюється еволюційно; різкі перебудови спостерігаються лише тоді, коли одночасно погіршується кілька ключових параметрів, що свідчить про певну стійкість моделі до помірних шоків.

На основі отриманих результатів сформульовано практичні орієнтири для фермерських господарств змішаного профілю. При плануванні структури виробництва доцільно розглядати молочне скотарство як стрижневий напрям, що забезпечує стабільну частину маржі, а ягідництво та птахівництво – як гнучкі доповнення, масштаб яких має узгоджуватися з доступністю праці та фінансових ресурсів. Організацію сезонної праці в піковий період слід вважати пріоритетним напрямом управління: необхідне завчасне формування бригад, оптимізація технологічних карт і механізація найтрудомісткіших операцій. Рішення щодо розширення оборотного бюджету мають ґрунтуватися на порівнянні тіньової ціни бюджету з реальною вартістю кредитних ресурсів, а вибір між оптовим та роздрібним каналами збуту ягід – на зіставленні не лише цін, а й додаткових трудових та логістичних витрат.

Запропонований у роботі підхід, що поєднує лінійне програмування, двоїстий аналіз і сценарне моделювання на базі офіційних регіональних даних, може бути адаптований для інших фермерських господарств за умови відповідної калібровки параметрів. Водночас дослідження має обмеження, пов'язані з лінійністю моделі, агрегованим характером даних і відсутністю явного врахування невизначеності, що відкриває перспективи подальшого розвитку: розширення моделі у міжперіодному вимірі, включення інвестиційних рішень та побудову стохастичних або робастних варіантів. Уже на нинішньому етапі отримані результати свідчать, що застосування економіко-математичних методів здатне суттєво підвищити обґрунтованість управлінських рішень у фермерських господарствах змішаного профілю та може стати важливою складовою сучасної системи планування й управління в аграрному секторі [3; 56; 57; 58].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bazaraa M. S., Jarvis J. J., Sherali H. D. *Linear Programming and Network Flows*. 4th ed. Hoboken: Wiley, 2010, 784 p. URL: <https://books.google.com/books?id=AW9v7GyuncsC> Дата звернення: 29.11.2025.
2. Hillier F. S., Lieberman G. J. *Introduction to Operations Research*. 10th ed. New York: McGraw-Hill, 2014, 1048 p. URL: <https://s23.middlebury.edu/MATH0318A/Hillier10th.pdf> Дата звернення: 29.11.2025.
3. Hazell P., Norton R. *Mathematical Programming for Economic Analysis in Agriculture*. New York: Macmillan, 1986, 400 p. URL: <https://hdl.handle.net/10568/170556> Дата звернення: 29.11.2025.
4. Vanderbei R. *Linear Programming: Foundations and Extensions*. 4th ed. Springer, 2014, 441 p. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4614-7630-6> Дата звернення: 29.11.2025.
5. OECD. *Agricultural Policy Monitoring and Evaluation 2024*. URL: <https://www.oecd.org> Дата звернення: 29.11.2025.
6. Baci, L. Emilia; Vereş, Vincențiu; Mortan, Maria; Micu, Angela-Eliza. An Empirical Approach for Optimizing the Production Structure of a Farm Using the Linear Programming Model. *Economics and Applied Informatics*, 2023, No. 3. URL: <https://doi.org/10.35219/eai15840409366> Дата звернення: 29.11.2025.
7. OECD–FAO. *Agricultural Outlook 2024–2033*. URL: <https://www.oecd.org> Дата звернення: 29.11.2025.
8. Kanellopoulos A., et al. A generic bio-economic farm model for environmental and economic sustainability analysis. *Ecological Economics*, 2014, 107: 311–323. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00267-010-9588-x> Дата звернення: 29.11.2025.
9. Taha H. A. *Operations Research: An Introduction*. 10th ed. Pearson, 2017, 848 p. URL: <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/operations-research%3A-an-introduction/P200000003528/9780137526567> Дата звернення: 29.11.2025.

10. Bertsimas D., Tsitsiklis J. *Introduction to Linear Optimization*. Belmont, MA: Athena Scientific, 1997, 587 p. URL: <https://books.google.com/books?id=GAFsQgAACAAJ> Дата звернення: 29.11.2025.
11. Paris Q. *An Economic Interpretation of Linear Programming*. Iowa State University Press, 2015, 320 p. URL: <https://link.springer.com/book/10.1057/9781137573926> Дата звернення: 29.11.2025.
12. Liu S., Zhang C. Robust optimization of agriculture products urban distribution path considering demand uncertainty. *Alexandria Engineering Journal*. 2023. Vol. 66. P. 155–165. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.12.004> Дата звернення: 29.11.2025.
13. Міністерство аграрної політики та продовольства України. Огляд аграрних ринків 2024–2025. URL: <https://minagro.gov.ua> Дата звернення: 29.11.2025.
14. Міністерство економіки України. Цінові огляди продовольчих ринків (молоко, м'ясо, ягоди). URL: <https://www.me.gov.ua> Дата звернення: 29.11.2025.
15. Міністерство аграрної політики та продовольства України. Про затвердження Вимог до безпечності та якості молока і молочних продуктів : Наказ від 12.03.2019 № 118 (у ред. від 09.09.2024). <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0593-19> Дата звернення: 29.11.2025.
16. ДСТУ 3662:2018. Молоко-сировина коров'яче. Технічні умови. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=77350 Дата звернення: 29.11.2025.
17. Інститут садівництва НААН. Технологічні карти вирощування ягідних культур (трудомісткість і доробка). URL: <https://sad-institut.com.ua> Дата звернення: 29.11.2025.
18. Міністерство аграрної політики та продовольства України. Плодоовочевий ринок: аналітика і сезонність (огляди). URL: <https://minagro.gov.ua> Дата звернення: 29.11.2025.
19. Міністерство аграрної політики та продовольства України. Аналітика по молочному ринку (якість, канали збуту). URL: <https://minagro.gov.ua> Дата звернення: 29.11.2025.

20. Гуцуляк Г. Д., Гуцуляк Ю. Г., Височанська М. Я., Дорошук В. В. Використання та охорона земельноресурсного потенціалу України. Збалансоване природокористування. 2024. № 3. С. 41–43. URL: <https://journals.uran.ua/bnusing/article/download/314828/308448> Дата звернення: 29.11.2025.
21. Риковська О., Фраєр О., Михайленко О. Аналіз стану сільського господарства України та імплементація нормативно-правових актів ЄС, дотичних до аграрних та довкіллевих питань : аналітичний звіт. Київ : ГО «Екодія», 2024. 22 с. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2024/03/analiz-stanu-sg-ua-ta-implement-es2024.pdf> Дата звернення: 29.11.2025.
22. Bogonos M., Chmil A., Martyshev P., Nazarkina R., Nykolyuk O., Pyvovar P., Stolnikovych H. Agricultural Outlook Ukraine 2024–2033. Kyiv : Kyiv School of Economics, 2024. 115 p. URL: <https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/04/Outlook-2024-2033.pdf> Дата звернення: 29.11.2025.
23. Державна служба статистики України. Методичні положення з обчислення валової продукції сільського господарства. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua> Дата звернення: 29.11.2025.
24. Державна служба статистики України. Індекси споживчих цін (дефлятори) 2023–2025. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua> Дата звернення: 29.11.2025.
25. Державна служба статистики України. Методологічні пояснення до показників сільського господарства. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua> Дата звернення: 29.11.2025.
26. Державна служба статистики України. *Сільське господарство України 2022: статистичний збірник*. Київ: 2022. URL: <https://stat.gov.ua/uk/publications/silske-hospodarstvo-ukrayiny-2022> Дата звернення: 29.11.2025.
27. Державна служба статистики України. Короткі статистичні довідники з аграрної тематики (2024–2025). URL: <https://www.ukrstat.gov.ua> Дата звернення: 29.11.2025.

28. Eurostat. *Agriculture, forestry and fishery statistics 2024*. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat> Дата звернення: 29.11.2025.
29. Національний банк України. Інфляційні звіти та індикатори цін (для порівняльних оцінок). URL: <https://bank.gov.ua> Дата звернення: 29.11.2025.
30. Державна служба статистики України. *Регіони України. Соціально-економічні показники 2024*. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua> Дата звернення: 29.11.2025.
31. Головне управління статистики у Київській області. *Основні показники економічного і соціального розвитку Київської області у 2023–2024 роках : статистичні матеріали. Київ, 2025*. URL: <https://kor.gov.ua/wp-content/uploads/2025/03/Dodatok-1.pdf> Дата звернення: 29.11.2025.
32. OR-Tools (Google). *Linear and Mixed-Integer Programming Guide (v.9.x)*. URL: <https://developers.google.com/optimization> Дата звернення: 29.11.2025.
33. Державна служба статистики України. Сільське господарство України : статистична інформація (кількість сільськогосподарських тварин, виробництво продукції тваринництва, середні ціни реалізації продукції сільського господарства) за регіонами, щомісячні ряди за 2019–2025 роки. Київ: ДССУ, 2025. URL: <https://stat.gov.ua/uk/topics/silske-lisove-ta-rybne-hospodarstvo> Дата звернення: 29.11.2025.
34. Державна служба статистики України. Продукція тваринництва (виробництво за видами, підприємства/господарства населення). URL: <https://www.ukrstat.gov.ua> Дата звернення: 29.11.2025.
35. Winston W. *Operations Research: Applications and Algorithms*. 4th ed. Belmont: Thomson, 2004, 1328 p. URL: <https://books.google.com/books?id=tg5DAQAAIAAJ> Дата звернення: 29.11.2025.
36. Державна служба статистики України. Статистичні класифікації та глосарії (визначення показників). URL: <https://www.ukrstat.gov.ua> Дата звернення: 29.11.2025.
37. Державна служба статистики України. *Україна у цифрах 2022: статистичний збірник*. Київ: ДССУ, 2024, 240 с. URL: <https://stat.gov.ua/sites/default/files/2024-02/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%>

[D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%B7%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%C2%AB%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B0%20%D1%83%20%D1%86%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%B0%D1%85%C2%BB%202022%20%D1%80%D1%96%D0%BA_0_0.pdf](#) Дата звернення: 29.11.2025.

38. Державна служба статистики України. Площі, валові збори та урожайність сільськогосподарських культур (річні підсумки, у т. ч. плодово-ягідні). URL: <https://www.ukrstat.gov.ua> Дата звернення: 29.11.2025.
39. Державна служба статистики України. Середні ціни продукції, реалізованої підприємствами (щомісячні дані, регіональний розріз). URL: <https://www.ukrstat.gov.ua> Дата звернення: 29.11.2025.
40. Державна служба статистики України. Методологія формування показників цін реалізації продукції сільського господарства. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua> Дата звернення: 29.11.2025.
41. Національна академія аграрних наук України. Норми годівлі великої рогатої худоби (перерахунок у суху речовину): методичні рекомендації. URL: <https://naas.gov.ua> Дата звернення: 29.11.2025.
42. Державна служба статистики України. Надходження молока на переробні підприємства: державне статистичне спостереження за 2019–2025 роки. URL: <https://stat.gov.ua/uk/datasets/nadkhodzhennya-moloka-na-pererobni-pidpryyemstva> Дата звернення: 29.11.2025.
43. Державна служба статистики України. Експрес-випуски з питань сільського господарства (щомісячні та квартальні публікації). Київ : Державна служба статистики України, 2023–2025. URL: <https://stat.gov.ua/uk/topics/silske-lisoveta-rybne-hospodarstvo> Дата звернення: 29.11.2025.
44. Державна служба статистики України. Офіційний вебпортал статистичної інформації: плодоовочевий сегмент (урожайність та ціни реалізації, 2023–2025). URL: <https://stat.gov.ua> Дата звернення: 29.11.2025.
45. OECD. Producer and Consumer Support Estimates (PSE/CSE): методологія. URL: <https://www.oecd.org> Дата звернення: 29.11.2025.

46. Державна служба статистики України. Короткотермінові статистичні публікації з тваринництва (щомісячні випуски, 2024–2025). URL: <https://www.ukrstat.gov.ua> Дата звернення: 29.11.2025.
47. FAOSTAT. *Crops and livestock products: prices, yields, production (metadata & data)*. URL: <https://www.fao.org/faostat> Дата звернення: 29.11.2025.
48. FAO. Guidelines on measuring agricultural productivity and prices. URL: <https://www.fao.org> — Дата звернення: 29.11.2025.
49. FAO. *Dairy market review 2024/2025*. URL: <https://www.fao.org> Дата звернення: 29.11.2025.
50. Державна служба статистики України. Класифікація видів економічної діяльності (КВЕД-2010): методологічні матеріали. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua> Дата звернення: 29.11.2025.
51. pandas: документація. *Data Cleaning and Aggregations*. URL: <https://pandas.pydata.org> Дата звернення: 29.11.2025.
52. Pyomo Python Optimization Modeling Objects: документація (v.6.x). URL: <https://pyomo.readthedocs.io> Дата звернення: 29.11.2025.
53. NumPy: документація. *Vectorization and Linear Algebra*. URL: <https://numpy.org> Дата звернення: 29.11.2025.
54. SciPy: документація. *Optimization & Linear Algebra modules*. URL: <https://scipy.org> Дата звернення: 29.11.2025.
55. Röhm O., Dabbert S. Integrating agri-environmental programs into regional production models: an extension of Positive Mathematical Programming. *American Journal of Agricultural Economics*. 2003. Vol. 85, No. 1. P. 254–265. URL: <http://hdl.handle.net/10.1111/1467-8276.00117> Дата звернення: 29.11.2025.
56. World Bank. *Commodity Markets Outlook 2025 (Food & Fertilizers)*. URL: <https://www.worldbank.org> Дата звернення: 29.11.2025.
57. PuLP Python Linear Programming Modeler: документація (v.2.x) URL: <https://coin-or.github.io/pulp/> — Дата звернення: 29.11.2025.
58. OR-Tools (Google). *Linear and Mixed-Integer Programming Guide* (v.9.x). URL: <https://developers.google.com/optimization> Дата звернення: 29.11.2025.

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А.1. Фрагмент словника полів для параметрів моделі (база ІV кв. 2025 р.)

Поле	Опис	Одиниця (джерело)	Одиниця (модель)	Перетворення /агрегація	Гео/період	Джерела	Дата звернення	Статус
milk_price_median	Закупівельна ціна молока (медіана)	грн/л, місячно	грн/л, сезонна медіана (база ІV кв. 2025)	Дефляція → сезонна медіана	Київська обл., 2024–2025	[7; 16; 38]	2025-11-29	прямий
milk_yield_annual	Річний надій на корову (товарний)	л/рік, річно	л/рік	Пряме річне значення або «розрахунок автора за ...»	Київська обл., 2024–2025	[6; 7; 18]	2025-11-29	прямий/похідний*
feed_dm_price	Ціна 1 т сухої речовини	грн/т (за видами), місячно	грн/т СР	Конверсія за ДМ-коеф. → дефляція → медіана	Україна/Київська обл., 2024–2025	[5; 8; 10; 14; 21; 30]	2025-11-29	похідний
poultry_price_median	Ціна реалізації птиці (медіана)	грн/кг, місячно	грн/кг, сезонна медіана	Дефляція → сезонна медіана	Київська обл., 2024–2025	[5; 6; 42]	2025-11-29	прямий
berries_price_opt	Ціна ягід у каналі «ОПТ»	грн/т, сезонно	грн/т (сезонна медіана)	Дефляція → сезонна медіана	Київська обл., 2024–2025	[7; 43]	2025-11-29	прямий

berries_price_ret	Ціна ягід у каналі «роздріб»	грн/т, сезонно	грн/т (сезонна медіана)	Дефляція → сезонна медіана	Київська обл., 2024–2025	[8; 42; 43]	2025-11-29	прямий
berries_yield	Товарний вихід ягід	т/га, річно	т/га	Пряме річне значення	Київська обл., 2024–2025	[7]	2025-11-29	прямий
labor_qI_qI_V	Ліміт праці за кварталами	люд.-год/кв., модель	люд. - год/кв.	Розклад річного фонду на квартали	Київська обл., 2024–2025	[7; 32]	2025-11-29	похідний
area_total	Доступна площа (інтервал)	га (модель не припущення)	га	Інтервал 100–140; узгоджено зі структурою регіону	Київська обл., 2024–2025	[7]	2025-11-29	припущення
working_cap	Оборотний бюджет (інтервал)	тис. грн/рік	тис. грн/рік (база 2025)	Інтервал 5 500–6 500; дефляція витрат	Київська обл., 2025	[5; 18]	2025-11-29	припущення

Додаток Б

Фрагменти програмної реалізації оптимізаційної моделі

```
import pandas as pd
import pulp as pl

# 1. Вихідні дані по активностях (табл. 3.1, умовно в тис. грн та люд.-год)
activities = pd.DataFrame(
    {
        "name": ["milk", "poultry", "berries_opt", "berries_retail"],
        "margin": [52.5, 18.0, 40.2, 62.8], # тис. грн на одиницю активності
        "land_ha": [0.0, 0.0, 1.0, 1.0], # потрібна площа, га
        "lab_q1": [120, 40, 80, 100], # люд.-год у I кварталі на одиницю
        "lab_q2": [130, 45, 120, 140], # люд.-год у II кварталі
        "lab_q3": [140, 35, 160, 220], # люд.-год у III кварталі
        "lab_q4": [120, 30, 40, 60], # люд.-год у IV кварталі
        "feed_tsr": [6.0, 1.2, 0.0, 0.0], # т сухої речовини кормів
        "budget": [95.5, 35.0, 105.0, 120.0] # тис. грн змінних витрат на одиницю
    }
)

# 2. Ресурсні ліміти (табл. 3.2, умовні приклади)
land_limit = 20.0 # доступна площа, га

lab_limits = {
    1: 12000, # фонд праці у I кварталі, люд.-год
    2: 13000, # у II кварталі
    3: 15000, # у III кварталі
    4: 11000, # у IV кварталі
}

feed_limit = 900.0 # т сухої речовини кормів
budget_limit = 2400.0 # тис. грн змінних витрат

# 3. Оголошення задачі лінійного програмування
model = pl.LpProblem("farm_optimization", pl.LpMaximize)

# 4. Змінні моделі: масштаб кожної активності (в умовних одиницях)
x = {
    row["name"]: pl.LpVariable(f"x_{row['name']}", lowBound=0)
    for _, row in activities.iterrows()
}

# 5. Цільова функція: максимізація операційного результату
model += pl.lpSum(
    activities.loc[i, "margin"] * x[activities.loc[i, "name"]]
    for i in activities.index
), "Objective_operating_result"

# 6. Обмеження по землі
model += pl.lpSum(
```

```

activities.loc[i, "land_ha"] * x[activities.loc[i, "name"]]
for i in activities.index
) <= land_limit, "Land_limit"

# 7. Обмеження по праці в кожному кварталі
for q in [1, 2, 3, 4]:
    col = f"lab_q{q}"
    model += (
        pl.lpSum(
            activities.loc[i, col] * x[activities.loc[i, "name"]]
            for i in activities.index
        )
        <= lab_limits[q],
        f"Labour_Q{q}_limit",
    )

# 8. Обмеження по кормовій базі (т сухої речовини)
model += pl.lpSum(
    activities.loc[i, "feed_tsr"] * x[activities.loc[i, "name"]]
    for i in activities.index
) <= feed_limit, "Feed_limit"

# 9. Обмеження по оборотному бюджету змінних витрат
model += pl.lpSum(
    activities.loc[i, "budget"] * x[activities.loc[i, "name"]]
    for i in activities.index
) <= budget_limit, "Budget_limit"

# 10. Розв'язання моделі
model.solve(pl.PULP_CBC_CMD(msg=False))

# 11. Зчитування результатів
solution = []
for _, row in activities.iterrows():
    name = row["name"]
    value = x[name].value()
    solution.append(
        {
            "activity": name,
            "x_opt": value,
            "margin_per_unit": row["margin"],
            "contribution": row["margin"] * value,
        }
    )

solution_df = pd.DataFrame(solution)
total_result = pl.value(model.objective)

print(solution_df)
print("Оптимальний операційний результат, тис. грн: ", total_result)

```