

УДК 004.94:338.432

В. Ф. Гамалій ,

д. ф.-м. н, професор, професор кафедри цифрової економіки та системного аналізу,

Державний торговельно-економічний університет

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7544-7470>**А. М. Тарасюк,**

аспірант, Державний торговельно-економічний університет

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0830-1636>

DOI: 10.32702/2306-6792.2023.18.66

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ВИТРАТ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПІДПРИЄМСТВА

V. Gamaliy,

Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Professor of the Department
of Digital Economy and System Analysis, State Trade and Economics University

A. Tarasyuk,

Postgraduate student, State Trade and Economics University

MODELING THE PROCESS OF PRODUCTION COST OPTIMIZATION FOR AGRICULTURAL ENTERPRISES

Ця стаття розглядає моделювання процесу оптимізації виробничих витрат сільськогосподарського підприємства на основі сівозміни та врахування погодних умов. Основною метою цього дослідження є максимізація прибутковості господарства та зниження витрат шляхом раціонального розподілу культур та врахування їх чутливості до погоди та взаємодії між собою.

У статті представлена математична модель, яка допомагає оптимізувати сівозміну та витрати на аграрному підприємстві. Було надано також алгоритм розрахунку добрив, враховуючи всмоктування культур та їх взаємодію, що сприяє більш ефективному використанню ресурсів.

Практичний аспект статті полягає в розробці рекомендацій та стратегій для сільськогосподарських підприємств з метою оптимізації виробничих витрат та підвищення врожайності. Також описано необхідних спеціалістів і системи моніторингу для успішної реалізації моделей. Застосування розроблених підходів може сприяти стабільному розвитку сільськогосподарських підприємств і покращенню їх конкурентоспроможності на ринку.

This article explores the modeling of the process of optimizing production costs for an agricultural enterprise based on crop rotation and considering weather conditions. The primary objective of this research is to maximize the profitability of the farm and reduce expenses by rational allocation of crops and accounting for their sensitivity to weather and interdependence.

Optimizing costs in agriculture is a crucial endeavor for modern farming practices. It involves a strategic approach to managing expenses while maintaining or improving crop yields and overall farm productivity. The optimization process encompasses various aspects, including efficient resource allocation, careful selection of inputs like seeds, fertilizers, and pesticides, as well as adopting advanced farming techniques and technology. Weather patterns, market fluctuations, and environmental considerations further add complexity to this task. By employing data-driven decision-making, precision agriculture, and sustainable practices, farmers can minimize wastage, reduce operational expenditures, and enhance their economic resilience. Ultimately, cost optimization in agriculture is not only essential for the financial health of farming enterprises but also plays a pivotal role in ensuring food security and sustainable agricultural practices for the future.

The article presents three types of models: mathematical, analytical, and descriptive, which help optimize crop rotation and farm expenses. An algorithm for calculating fertilizers, taking into account crop water uptake and interactions, was also provided, enhancing resource utilization.

The practical aspect of the article involves the development of recommendations and strategies for agricultural enterprises to optimize production costs and increase yields. It also describes the necessary specialists and monitoring systems for successful model implementation. The application of the developed approaches can contribute to the stable development of agricultural enterprises and improve their competitiveness in the market.

Ключові слова: аграрне підприємство, управління витратами, управління, моделювання, оптимізація.

Key words: agricultural enterprise, cost management, management, modeling, optimization.

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

Сільськогосподарські підприємства відіграють важливу роль у забезпеченні продовольчої безпеки та економічного розвитку країни. Однак ефективне управління сільськогосподарськими підприємствами стає все більш складним завданням у зв'язку з різноманітністю факторів, що впливають на виробництво і витрати. Однією з ключових проблем, які потребують дослідження, є оптимізація виробничих витрат сільськогосподарських підприємств.

Сільськогосподарські підприємства мають справлятися з низькими маржами при зростаючих витратах на ресурси, які включають в себе паливе, добрива, працю та технічне обладнання. Це ставить під загрозу їх прибутковість та стабільність.

Проблеми, пов'язані з оптимізацією виробничих витрат сільськогосподарських підприємств, включають в себе:

1. Неефективне використання ресурсів: Багато сільськогосподарських підприємств стикаються з проблемою неоптимального використання ресурсів, що призводить до збільшення витрат і зменшення прибутковості.

2. Зміна цін на ресурси: Ринкові ціни на паливе, добрива та інші необхідні матеріали можуть змінюватися швидко та непередбачувано, що створює нестабільність для сільськогосподарських підприємств.

3. Екологічні аспекти: Постійне збільшення виробничих витрат може призвести до негативного впливу на навколишнє середовище. Оптимізація витрат також повинна враховувати екологічні аспекти стосовно використання ресурсів та обробки відходів.

4. Глобальна конкуренція: Сільське господарство стикається з глобальною конкуренцією, і ефективне управління виробничими витратами може допомогти підприємствам зберегти свою конкурентоспроможність на ринку.

5. Технологічний прогрес: З впровадженням нових технологій у сільському господарстві виникають нові можливості для оптимізації процесів та зменшення витрат.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідження А. М. Могильницької "Пріоритетні напрями використання економіко-математичного моделювання в роботі аграрних підприємств" розглядає можливості застосування економіко-математичного моделювання (ЕММ) в аграрному секторі економіки. Авторка зазначає, що ЕММ є ефективним інструментом для вирішення широкого спектру задач, пов'язаних з управлінням аграрними підприємствами [1, с. 40—42].

Н. М. Горобець та І. А. Чорна розглядали питання оптимізації виробничої програми як важливого елементу системи менеджменту аграрних підприємств.

Вони вважають, що виробнича програма є основним плановим документом, який визначає обсяги, асортимент та структуру виробництва продукції, а також необхідні для цього ресурси. Оптимізація виробничої програми передбачає досягнення максимального прибутку при мінімальних витратах [2, с. 50].

Горобець Н. М. у співавторстві з Дьяченко Н. К. продовжили дослідження виробничої програми аграрних підприємств. У своїй роботі вони обґрунтували доцільність використання економіко-математичних методів для вирішення цієї проблеми, оскільки вони дозволяють врахувати складні взаємозв'язки між факторами виробництва та отримати обґрунтовані рішення [3, с. 30—32].

Продовжуючи тему економіко-математичного моделювання варто згадати вклад Г. М. Кавун. У статті "Розробка та дослідження методів економіко-математичного моделювання для оптимального управління аграрного підприємства" розглядає методи економіко-математичного моделювання як інструмент для підвищення ефективності управління аграрними підприємствами.

ствами. У ній досліджено різні підходи до економіко-математичного моделювання. Для кожного підходу автор розглядає основні методи та алгоритми, а також наводить приклади їх застосування в аграрному секторі. Напрямами подальших досліджень у цьому напрямку є розробка нових методів та алгоритмів економіко-математичного моделювання, а також проведення прикладних досліджень ефективності їх застосування в аграрному секторі [4, с. 280—282].

В. В. Дроб'язко здійснив своє дослідження щодо оптимізації витрат агросектору. У статті автор розглядає основні підходи до використання економіко-математичного моделювання для управління витратами сільськогосподарських підприємств. До таких підходів відносяться:

1. Оптимізація структури витрат, яка передбачає визначення оптимального співвідношення між постійними та змінними витратами.

2. Оптимізація обсягів виробництва, яка передбачає визначення оптимального обсягу виробництва продукції, при якому витрати будуть мінімальними.

3. Оптимізація технологічних процесів, яка передбачає розробку технологічних процесів, що дозволяють знизити витрати на виробництво продукції [5, с. 21].

Важливим але менш дослідженим питанням є оптимізації виробничих площ аграрного підприємства. Тут варто відзначити вклад Скляр О. Г., Скляр Р. В., та Григоренко С. М. У своєму дослідженні автори пропонують методологію для оптимізації структури посівних площ сільськогосподарських підприємств. Методологія заснована на використанні методу лінійного програмування для визначення оптимальної структури посівних площ, яка забезпечує максимальний прибуток підприємства за обмежених ресурсів [6, 28].

У контексті дослідження рослинництва варто згадати роботу А. П. Слепцова щодо проблеми оптимізації виробничих витрат у садівництві. Результатом його роботи стала модель, яка забезпечила скорочення виробничих витрат садівничого підприємства на 15% [7, с. 45].

Статті закордонних авторів [10—16] присвячені більш вузьким темам серед яких домінують питання застосування лінійного програмування, створення цифрових двійників чи залучення штучного інтелекту.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ (ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ)

Завдання статті полягає у розгляді та дослідженні методів і стратегій оптимізації витрат, що застосовуються на сільськогосподарських підприємствах.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Сільське господарство є важливою галуззю для забезпечення продовольчої безпеки та стійкості економіки. Однак в умовах зростаючих витрат на ресурси та невизначеності ринкових умов сільськогосподарські підприємства стикаються з викликами, пов'язаними з оптимізацією виробничих витрат. У цій статті ми розглянемо основні цілі моделювання витрат, розглянемо існуючі підходи до оптимізації витрат та сформуємо модель оптимізації витрат на основі сівозмін.

Основною метою моделювання процесу оптимізації виробничих витрат сільськогосподарського підприємства є забезпечення ефективного використання ресурсів та досягнення наступних цілей:

1. Мінімізація виробничих витрат: Основною ціллю є зниження загальних витрат підприємства, включаючи витрати на паливо, добрива, робочу силу та інші ресурси.

2. Максимізація прибутковості: Модель повинна сприяти підвищенню прибутковості підприємства шляхом зменшення витрат та оптимізації виробничих процесів.

3. Стійкість до змін на ринку: Підприємство повинно бути здатним відповідати на зміни цін на ресурси та ринкові умови та швидко адаптуватися до них.

Для досягнення цих цілей існують різні підходи до оптимізації виробничих витрат:

1. Моделювання даних і прогнозування: Використання аналітичних методів та математичних моделей для прогнозування витрат і розробки стратегій їх зниження.

2. Оптимізація виробничих процесів: Покращення ефективності виробничих процесів та раціональне використання ресурсів.

3. Управління сівозмінами: Використання оптимальних сівозмін для зменшення витрат на добрива та підвищення врожайності.

Однією з основних причин надлишкових витрат є некоректні технологічні карти, які використовуються на сільськогосподарському підприємстві. Це може включати в себе надмірне використання добрив, некоректне використання полів або вибір несумісних культур для сівозміни. Такі помилки можуть призводити до зайвих витрат та зниження врожайності.

Для оптимізації витрат на сільськогосподарському підприємстві, ми пропонуємо розробити модель, яка враховуватиме наступні аспекти:

Аналіз ґрунтів: Врахування характеристик ґрунту для вибору найкращих культур для сівозміни та оптимізації витрат на добрива.

Сезонні варіації цін: Модель має враховувати зміни цін на ресурси протягом року та розробляти стратегії планування витрат відповідно до цих змін.

Екологічні аспекти: Модель також повинна враховувати вплив сівозміни на земельні ресурси та навколишнє середовище.

Розглянемо детальний алгоритм оптимізації витрат на сівозміну, розкривши кожен етап.

Етап 1: Збір та аналіз даних

1.1. Збір даних про ґрунт: Збір детальних даних про ґрунт на об'єктах аграрної компанії, включаючи характеристики рН, вміст органічних речовин, структуру ґрунту тощо. Агрономи та агроєкологи відповідають за збір та аналіз даних про ґрунт. Показники: рН ґрунту, вміст органічних речовин, структура ґрунту, наявність недоліків або проблем ґрунту.

1.2. Збір даних про врожайність: Збір історичних даних про врожайність для різних культур на різних ділянках. Агрономи та агробіологи займаються збором даних про врожайність. Показники: кількість врожаю на кожній ділянці, якість врожаю, зміни врожайності протягом років.

1.3. Збір даних про ресурси: Збір даних про доступні ресурси, такі як наявність добрив, насіння, робоча сила і машини. Логістики та фінансові аналітики відповідають за збір даних про ресурси, такі як наявність добрив, насіння, робоча сила і машини. Показники: кількість та вартість ресурсів, їх доступність та стан.

Етап 2: Аналіз імовірних сівозмін

2.1. Визначення культурних груп: Розділення культур на групи з урахуванням їхнього взаємодії на ґрунті. Наприклад, групи можуть бути столові овочі, зернові, бобові рослини тощо. Агрономи та біологи визначають культурні групи та роблять аналіз взаємодії культур на ґрунті. Показники: сумісність культур, можливість відновлення ґрунту, зменшення захворюваності рослин тощо.

2.2. Аналіз імовірних сівозмін: Розробка імовірних сівозмін для кожної ділянки на основі історичних даних та характеристик ґрунту. Мета — максимізувати використання ресурсів та врожайність. Дані з історії вирощування використовуються для аналізу імовірних сівозмін. Показники: історична врожайність культур, попередні сівозміни, найкращі та найгірші комбінації.

Етап 3: Моделювання оптимальних сівозмін

3.1. Врахування обмежень: Визначення обмежень, таких як культурні ротації, агро-технічні вимоги, ліміти на використання добрив та інше. Агрономи та агроєкономісти враховують обмеження та розробляють математичну

модель оптимізації. Показники: витрати на кожну сівозміну, очікувана врожайність, обмеження на сівозміни.

3.2. Математичне моделювання: Розробка математичної моделі, яка оцінює витрати на кожній ділянці при різних сівозмінах. Модель може враховувати витрати на насіння, добрива, пестициди, працю та пальне. Математичні моделі враховують витрати на насіння, добрива, пестициди, працю та пальне. Показники: вартість сівозмін, вартість виробництва, очікувана прибутковість.

3.3. Оптимізація: Застосування алгоритмів оптимізації, таких як лінійне програмування чи генетичні алгоритми, для вибору оптимальних сівозмін для кожної ділянки. Аналітики та програмісти використовують алгоритми оптимізації для визначення оптимальних сівозмін. Показники: найкращі сівозміни для кожної ділянки, розподіл ресурсів.

Етап 4: Вибір оптимальних сівозмін

4.1. Вибір найкращих сівозмін: Вибір сівозмін, які мінімізують витрати та максимізують врожайність для кожної ділянки. Агрономи та керівники ферми вибирають найкращі сівозміни на основі математичної моделі та обмежень. Показники: оптимальні сівозміни для кожної ділянки, план ресурсів.

4.2. Планування ресурсів: Розробка плану ресурсів для кожної сівозміни, включаючи кількість насіння, добрив, робочу силу та інше. Менеджери ферми та фінансові аналітики планують ресурси для втілення обраних сівозмін. Показники: розподіл бюджету, закупівля ресурсів, планування робочої сили.

Етап 5: Відстеження та корекція

5.1. Відстеження виробництва: Постійне відстеження виробництва та врожайності під час сільськогосподарського сезону. Агрономи та сільськогосподарські робітники відстежують виробництво та врожайність під час сезону. Показники: фактична врожайність, стан рослин, витрати на обробку полів.

5.2. Корекція планів: За необхідності коригування планів сівозмін на основі фактичних даних та змін на ринку. Аналітики та менеджери ферми аналізують фактичні результати та коригують плани, якщо необхідно. Показники: відхилення фактичної врожайності від очікуваної, зміни на ринку.

Математична модель описується системою рівнянь та обмежень, які максимізують прибутковість аграрного підприємства за умови обмеження витрат. Припустимо, що є N ділянок, на кожній з яких можна вирощувати M різних видів культур. Ми хочемо знайти оптимальний набір сівозмін, щоб максимізувати прибуток.

Позначення:

x_{ij} — площа, вкладена в культуру і на ділянці j .

p_i — ціна за одиницю продукції культури i .

c_{ij} — витрати на вирощування культури і на ділянці j .

y_{ij} — булева змінна, яка вказує, чи вирощується культура і на ділянці j (1 — так, 0 — ні).

$$\max \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (p_i * x_{ij} - c_{ij} * x_{ij}) \quad (1).$$

Обмеження даної функції:

Сума площ, вкладених в одну ділянку, не може перевищувати загальну площу ділянки:

$$\sum_{i=1}^M x_{ij} \leq A_j \quad (2),$$

де j знаходиться в значенні від 1 до N .

Сума площ, виділених під кожен культуру на всіх ділянках, не може перевищувати загальну площу підприємства:

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} \leq P_j \quad (3),$$

де i знаходиться в значенні від 1 до M .

Булеві обмеження, які вказують, що на кожній ділянці може бути вирощена тільки одна культура:

$$\sum_{i=1}^M y_{ij} = 1 \quad (4),$$

де j знаходиться в значенні від 1 до N .

Не можна вирощувати одну і ту ж культуру на одній ділянці два роки поспіль:

$$y_{ij} + y_{ij} \leq 1 \quad (5),$$

де j знаходиться в значенні від 1 до N .

Наступним етапом варто розглянути внесення добрив в умовах сівозміни. Алгоритм розрахунку добрив в умовах, коли добриво рахується на основі сівозміни та залежить від показників вмокування кожної культури та їх взаємодії між собою, може виглядати наступним чином:

Крок 1: Визначення основних показників:

1.1. Вмокування кожної культури (Water Uptake): Оцінка, як швидко та як ефективно кожна культура вбирає воду з ґрунту.

1.2. Взаємодія між культурами (Crop Interaction): Визначення, як вирощування однієї культури впливає на вмокування та врожайність інших культур.

Крок 2: Розрахунок водних потреб кожної культури:

2.1. Для кожної культури розраховується водний баланс на основі вмокування та погодних умов. Це може включати витрати води на евапотранспірацію рослин, вплив опадів та інші фактори.

2.2. Розраховуються загальні водні потреби для кожної ділянки, яка включає в себе суму водних потреб усіх вирощуваних на ділянці культур.

Крок 3: Розрахунок добрив на основі водних потреб:

3.1. За допомогою даних про водні потреби кожної культури і вмокування, розраховується оптимальна кількість добрива (зокрема, азотних добрив), яке необхідно додати на кожну ділянку.

3.2. Взаємодія між культурами також враховується при розрахунку добрив. Наприклад, якщо одна культура сприяє збереженню вологи в ґрунті для іншої культури, то може бути зменшена потреба в азотних добривах.

Крок 4: Вибір і застосування добрив:

4.1. На основі розрахунків обираються відповідні види та кількість добрив для кожної ділянки та кожної культури.

4.2. Добрива застосовуються на ділянки перед посівом або під час росту культур, дотримуючись рекомендацій щодо кількості та способу застосування.

Крок 5: Моніторинг та корекція:

5.1. Під час вегетаційного періоду ведеться моніторинг стану культур та водного режиму.

5.2. На основі фактичних даних проводять корекцію рівнів добрив та води, якщо це необхідно, зокрема, враховуючи погодні умови та розвиток культур.

Цей алгоритм дозволяє оптимізувати використання добрив в залежності від вмокування культур та їх взаємодії, що може покращити врожайність і знизити витрати на добрива для аграрного підприємства.

Врахування погодних умов при плануванні сівозміни та витрат, а також при поточному догляді за культурами, є критично важливим для досягнення успіху в сільському господарстві. Нами наведено алгоритм, як правильно враховувати погодні умови:

Планування сівозміни з урахуванням погоди:

Збір погодних даних:

1.1. Ведіть постійний моніторинг погодних умов на вашій території. Використовуйте метеорологічні станції та онлайн-джерела для отримання актуальної інформації.

1.2. Збирайте історичні дані про погоду, щоб мати можливість аналізувати погодні тренди та зміни від року до року.

Визначення впливу погоди на культури:

2.1. Аналізуйте, як погодні умови впливають на різні види культур. Для кожної культури визначте чутливість до температурних змін, опадів, вологості, морозів тощо.

2.2. Розробіть моделі, які прогнозують, які види культур будуть найбільш чутливі до передбачуваних погодних умов.

Планування сівозмін:

3.1. Використовуйте аналіз погоди та моделі чутливості культур для визначення оптимальної сівозміни. Наприклад, якщо передбачаються сильні дощі, можливо, краще вибрати культури, які більш стійкі до надмірної вологості.

3.2. Плануйте розміщення культур на ділянках з урахуванням їх чутливості до погоди та історичних даних про погоду.

Поточний догляд і технологічні умови за несприятливої погоди:

Моніторинг погоди в реальному часі:

1.1. Використовуйте сучасні засоби моніторингу для відстеження змін в погодних умовах у реальному часі. Це може включати в себе веб-сервіси, датчики погоди на господарстві, мобільні додатки і т. д.

1.2. Отримуйте попередження про потенційно несприятливі погодні умови, такі як зливи, морози, посухи тощо.

Планування заходів відповідно до погоди:

2.1. Визначте найбільш критичні періоди для культур під час їхнього росту та розвитку, і розробіть план дій в разі несприятливої погоди під час цих періодів.

2.2. Застосовуйте заходи захисту рослин, якщо передбачаються шкідливі погодні умови (наприклад, використання агротехнічних методів, використання антифросту тощо).

Постійний моніторинг і корекція:

3.1. Після відбуваються погодних подій вивчайте їхній вплив на культури та виробництво.

3.2. Проводьте корекцію планів і заходів у вирощуванні культур на основі фактичних даних та аналізу впливу погоди.

Ефективний ресурсний менеджмент:

4.1. Забезпечте наявність необхідних ресурсів (добрива, воду, інвентар і т. д.) для ефективного реагування на погодні умови.

4.2. Визначте оптимальний час та методи внесення добрив та інших ресурсів у відповідь на погоду, щоб максимізувати їхню ефективність.

Реалізація наведених нами алгоритмів дій дозволить аграрному підприємству як забезпечити мінімізацію впливу погодних факторів так і зменшити вартість добрив та урожаю при цьому не перевантажуючи екологічно земельний фонд.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Урахування погодних умов та вимог культур є критичним для сільськогосподарського підприємства. Моделювання сівозміни на основі математичних та аналітичних підходів дозволяє планувати оптимальне використання ре-

сурсів та максимізувати прибуток. Врахування чутливості культур до погоди та їх взаємодії допомагає ефективно розподіляти добрива та інші ресурси. Системи моніторингу та контролю за погодними умовами дозволяють оперативно реагувати на несприятливі ситуації. Застосування рекомендацій та алгоритмів у практиці сільського господарства може забезпечити стійке виробництво та зниження витрат, підвищуючи конкурентоспроможність господарства на ринку.

Література:

1. Могильницька, А. М. (2020). Пріоритетні напрями використання економіко-математичного моделювання в роботі аграрних підприємств. *Агросвіт*, (17—18), 39—44.

2. Горобець, Н. М., & Чорна, І. А. (2019). Оптимізація виробничої програми в системі менеджменту аграрних підприємств. *Агросвіт*, (11), 52—58.

3. Горобець, Н. М., & Дьяченко, Н. К. (2019). Економіко-математичні підходи до оптимізації виробничої програми аграрних підприємств. *Інвестиції: практика та досвід*, (13), 30—34.

4. Кавун, Г. М. (2020). Розробка та дослідження методів економіко-математичного моделювання для оптимального управління аграрного підприємства. *Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка*, (2), 280—286.

5. Дроб'язко, В. В. Використання економіко-математичного моделювання для удосконалення управління витратами сільськогосподарських підприємств. *Актуальні проблеми розвитку обліку, аналізу та фінансів в агропромисловому виробництві України*, 119.

6. Скляр, О. Г., Скляр, Р. В., & Григоренко, С. М. (2023). Методика моделювання та оптимізації структури посівних площ. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*, 13 (1).

7. Слєпцова, А. П. (2023). Економіко-математичне моделювання оптимізації виробничих витрат у садівництві. *Вісник аграрної науки*, 101 (2), 72—78.

8. Кабаченко, Д. В., & Андрєєва, С. В. (2021). Використання економіко-математичного моделювання для оптимізації процесів виробництва. *Підприємництво та інновації*, (20), 67—73.

9. Дьяченко, Н. К. (2020). Особливості застосування математичних методів та моделей в управлінні аграрними підприємствами. *Агросвіт*, (9), 121—126.

10. Mokhnenko, A., Babenko, V., Naumov, O., Perevozova, I., & Fedorchuk, O. (2020, September). *Mathematical-Logistic Model of Integrated*

Production Structure of Food Production. In ICTERI Workshops (pp. 446—454).

11. Alotaibi, A., & Nadeem, F. (2021). A Review of Applications of Linear Programming to Optimize Agricultural Solutions. *International Journal of Information Engineering & Electronic Business*, 13 (2).

12. Shaikh, T. A., Rasool, T., & Lone, F. R. (2022). Towards leveraging the role of machine learning and artificial intelligence in precision agriculture and smart farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 107119.

13. Purcell, W., & Neubauer, T. (2023). Digital Twins in Agriculture: A State-of-the-art review. *Smart Agricultural Technology*, 3, 100094.

14. Nasirahmadi, A., & Hensel, O. (2022). Toward the next generation of digitalization in agriculture based on digital twin paradigm. *Sensors*, 22 (2), 498.

15. Hrustek, L. (2020). Sustainability driven by agriculture through digital transformation. *Sustainability*, 12 (20), 8596.

16. Elahi, E., Zhang, Z., Khalid, Z., & Xu, H. (2022). Application of an artificial neural network to optimise energy inputs: An energy-and cost-saving strategy for commercial poultry farms. *Energy*, 244, 123—169.

17. Nitsenko, V., Mardani, A., Streimikis, J., Mykolaishchenko, M. C., Stoyanovakoval, S., & Arutiunian, R. (2019). Automatic Information System of Risk Assessment for Agricultural Enterprises of Ukraine. *Montenegrin Journal of Economics*, 15 (2), 139—152.

References:

1. Mohyl'nyts'ka, A. M. (2020), "Priority directions for the use of economic and mathematical modeling in the work of agricultural enterprises", *Ahrosvit*, vol. 17—18, pp. 39—44.

2. Horobets', N. M., Chorna, I. A. (2019), "Optimization of the production program in the management system of agricultural enterprises", *Ahrosvit*, vol. 11, pp. 52—58.

3. Horobets', N. M., D'iachenko, N. K. (2019), "Economic and mathematical approaches to the optimization of the production program of agricultural enterprises", *Investytsii: praktyka ta dosvid*, vol. 13, pp. 30—34.

4. Kavun, H. M. (2020), "Development and research of economic-mathematical modeling methods for optimal management of an agrarian enterprise", *Tavrijs'kyj naukovyj visnyk. Seriya: Ekonomika*, vol. 2, pp. 280—286.

5. Drob'iazko, V. V. "The use of economic and mathematical modeling to improve cost management of agricultural enterprises", *Aktual'ni prob-*

lemy rozvytku obliku, analizu ta finansiv v ahro-promyslovomu vyrobnytstvi Ukrainy, pp. 119.

6. Skliar, O. H., Skliar, R. V., and Hryhorenko, S. M. (2023), "Methodology for modeling and optimizing the structure of sown areas", *Naukovyj visnyk Tavrijs'koho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu*, vol. 13 (1).

7. Slietsova, L. P. (2023), "Economic and mathematical modeling of optimization of production costs in horticulture", *Visnyk aharno nauky*, vol. 101 (2), pp. 72—78.

8. Kabachenko, D. V., Andrieieva, S. V. (2021), "Use of economic and mathematical modeling to optimize production processes", *Pidpriemnytstvo ta innovatsii*, vol. 20, pp. 67—73.

9. D'iachenko, N. K. (2020), "Peculiarities of the application of mathematical methods and models in the management of agricultural enterprises", *Ahrosvit*, vol. 9, pp. 121—126.

10. Mokhnenko, A., Babenko, V., Naumov, O., Perevozova, I., and Fedorchuk, O. (2020). "Mathematical-Logistic Model of Integrated Production Structure of Food Production", *ICTERI Workshops*, pp. 446—454.

11. Alotaibi, A. and Nadeem, F. (2021), "A Review of Applications of Linear Programming to Optimize Agricultural Solutions", *International Journal of Information Engineering & Electronic Business*, vol. 13(2).

12. Shaikh, T. A., Rasool, T., and Lone, F. R. (2022), "Towards leveraging the role of machine learning and artificial intelligence in precision agriculture and smart farming", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 198, pp. 107—119.

13. Purcell, W. and Neubauer, T. (2023), "Digital Twins in Agriculture: A State-of-the-art review", *Smart Agricultural Technology*, vol. 3, 100094.

14. Nasirahmadi, A. and Hensel, O. (2022), "Toward the next generation of digitalization in agriculture based on digital twin paradigm", *Sensors*, vol. 22 (2), pp. 498.

15. Hrustek, L. (2020), "Sustainability driven by agriculture through digital transformation", *Sustainability*, vol. 12 (20), pp. 85—96.

16. Elahi, E., Zhang, Z., Khalid, Z., and Xu, H. (2022), "Application of an artificial neural network to optimise energy inputs: An energy-and cost-saving strategy for commercial poultry farms", *Energy*, vol. 244, pp. 123—169.

17. Nitsenko, V., Mardani, A., Streimikis, J., Mykolaishchenko, M. C., Stoyanovakoval, S., and Arutiunian, R. (2019), "Automatic Information System of Risk Assessment for Agricultural Enterprises of Ukraine", *Montenegrin Journal of Economics*, vol. 15 (2), pp. 139—152.

Стаття надійшла до редакції 10.09.2023 р.