

УДК 004.94:339.1:631.1

[https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-2\(43\)-1333-1347](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-2(43)-1333-1347)

Мазур Юрій Павлович кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій, Уманський національний університет садівництва, м. Умань, <https://orcid.org/0000-0003-1146-4145>

Корман Ірина Іванівна кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри маркетингу, Уманський національний університет садівництва, м. Умань, <https://orcid.org/0000-0003-1743-1213>

Транченко Олександр Михайлович кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій, Уманський національний університет садівництва, м. Умань, <https://orcid.org/0000-0002-0639-5109>

ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ ОПТИМІЗАЦІЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА РИНКУ ПРОДУКЦІЇ РОСЛИННИЦТВА

Анотація. В статті проведено аналіз існуючих економіко-математичних моделей, які використовуються для оптимізації виробництва, зберігання та реалізації продукції рослинництва, що є складним, але необхідним процесом, який дозволить Україні зміцнити свої позиції на світовому ринку зерна та забезпечити сталий розвиток аграрного сектору.

Глобалізація та інтеграція аграрних ринків вимагають від українських підприємств та галузі в цілому постійного підвищення конкурентоспроможності. Комплексний аналіз дозволяє виявити конкурентні переваги та слабкі місця, розробити стратегії адаптації до змін та забезпечити сталий розвиток.

Аналітика функціонування агропромислового сектора в структурі національної економіки України в умовах воєнного стану і подальшого відновлення підтверджує потребу у постійних дослідженнях. В статті розглянуто теоретичну базу, підходи вітчизняних та іноземних вчених, що дозволило проаналізувати основні аспекти застосування моделей, існуючі переваги та недоліки.

Аграрний сектор економіки є фактично провідною галуззю національної економіки України. Протягом всього періоду незалежності України сільське господарство показує стабільний приріст основних економічних показників, збільшує частку у структурі валового внутрішнього продукту (ВВП), продукує нові надходження до бюджетів всіх рівнів та стимулює економіку. Частка сільського господарства у ВВП України за період з 2020 по 2024 роки складала

10,9 (2021р.) до 7,6% (2021р.). Збільшення цієї частки може сприяти розвитку економіки країни та підтримці стабільності зовнішньоторговельного балансу. Однак для цього необхідно продовжувати модернізацію аграрного сектору та забезпечувати йому достатній рівень інвестицій та підтримки з боку держави [1]. Для реалізації цього потенціалу необхідно розвивати ринок рослинницької продукції, активно впроваджувати сучасні технології, залучати інвестиції та розвивати інфраструктуру.

Суттєвою складовою ефективного функціонування ринку є наявність розвиненої інфраструктури, що забезпечує стабільність і прозорість ринкового товарообміну в процесі руху продукції від виробника до кінцевого споживача. Саме відсутність останньої та потреба невеликих товаровиробників у вільних коштах для подальшого відтворення виробництва створюють умови для реалізації значної частини продукції одразу після збирання врожаю за заниженими ринковими цінами (особливо актуально це питання стоїть на початку маркетингового року у серпні-вересні). Зараз більшу частку продукції зерновиробники реалізують комерційним структурам-посередникам (50- 70 %), а на переробні підприємства та елеватори перепадає лише 2-6 % [2].

Досліджуючи економічну політику в аграрному секторі, можна зробити попередні висновки, що в найближчому майбутньому основними постачальниками продукції сільськогосподарського виробництва на ринок будуть великі сільськогосподарські підприємства з приватною власністю на засоби виробництва і колективною формою господарювання. Із зміцненням та розширенням сільськогосподарських підприємств та економіки країни в цілому, виробництво зернових в невеликих господарствах населення скорочуватиметься. Укрупнення неминуче призведе до інтегрованого агропромислового виробництва, яке включатиме передбачає комплексний розвиток різних напрямків діяльності – від вирощування, зберігання, переробки, реалізації до відновлення тваринницької галузі.

Ключові слова: агропромисловий комплекс, економіко-математичне моделювання, лінійне програмування, регресія, критерій, прийняття рішень

Mazur Yurii Pavlovych Ph.D., Associate professor of the department of information technologies, Uman National University of Horticulture, Uman, <https://orcid.org/0000-0003-1146-4145>

Korman Iryna Ivanivna Candidate of Economic Sciences, Associate professor, Associate professor of department Marketing, Uman National University of Horticulture, Uman, <https://orcid.org/0000-0003-1743-1213>

Tranchenko Oleksandr Mihailovich Ph.D., Associate professor of the department of information technologies, Uman National University of Horticulture, Uman, <https://orcid.org/0000-0002-0639-5109>

RESEARCH OF OPTIMIZATION MODELS OF ACTIVITY ON THE MARKET OF CROP PRODUCTS

Abstract. The article analyzes existing economic and mathematical models used to optimize the production, storage and sale of crop products, which is a complex but necessary process that will allow Ukraine to strengthen its position in the world grain market and ensure sustainable development of the agricultural sector.

Globalization and integration of agricultural markets require Ukrainian enterprises and the industry as a whole to constantly increase their competitiveness. A comprehensive analysis allows you to identify competitive advantages and weaknesses, develop strategies for adapting to changes and ensure sustainable development.

Analytics of the functioning of the agro-industrial sector in the structure of the national economy of Ukraine under martial law and subsequent restoration confirms the need for ongoing research. The article examines the theoretical basis, approaches of domestic and foreign scientists, which allowed us to analyze the main aspects of the application of models, existing advantages and disadvantages.

The agricultural sector of the economy is actually the leading sector of the national economy of Ukraine. Throughout the period of Ukraine's independence, agriculture has shown stable growth in key economic indicators, increasing its share in the structure of gross domestic product (GDP), generating new revenues for budgets of all levels, and stimulating the economy. The share of agriculture in Ukraine's GDP for the period from 2020 to 2024 was 10.9 (2021) to 7.6% (2021). An increase in this share can contribute to the development of the country's economy and maintaining the stability of the foreign trade balance. However, for this to happen, it is necessary to continue the modernization of the agricultural sector and provide it with a sufficient level of investment and support from the state [1]. To realize this potential, it is necessary to develop the market for crop products, actively introduce modern technologies, attract investments, and develop infrastructure. An essential component of the effective functioning of the market is the presence of a developed infrastructure that ensures stability and transparency of market trade in the process of moving products from the producer to the end consumer. It is the lack of the latter and the need of small commodity producers for free funds for further reproduction of production that create the conditions for the sale of a significant part of the products immediately after harvesting at reduced market prices (this issue is especially relevant at the beginning of the marketing year in August-September). Currently, grain producers sell a larger share of their products to commercial intermediary structures (50-70%), and processing enterprises and elevators account for only 2-6% [2].

Consolidation will inevitably lead to integrated agro-industrial production, which will include the comprehensive development of various areas of activity - from cultivation, storage, processing, sales to the restoration of the livestock industry.

Keywords: agro-industrial complex, economic and mathematical modeling, linear programming, regression, criterion, decision-making

Постановка проблеми. З метою дослідження ефективності виробництва продукції рослинництва та функціонування аграрного сектору в цілому, виникла необхідність здійснення наукових фундаментальних та прикладних досліджень, а також застосування прогресивних та ефективних методів, таких як економіко-математичне моделювання, яке враховує мінливість та динамічність факторів зовнішнього середовища та дозволяє застосувати при цьому як класичні моделі так й нестандартні. Саме застосування математичних моделей дає більш якісні та надійні результати, дозволяє обґрунтовано приймати управлінські рішення та прогнозувати результати діяльності, є ефективним інструментом для управління розвитком галузі та підвищення її конкурентоспроможності.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання управління сільськогосподарськими підприємствами та застосування підходів економіко-математичного моделювання для аналізу економічних систем та їх складових розглядають в наукових роботах вітчизняні та зарубіжні вчені: В. Вітлінський, Б. Грабовецький, М. Власов, О. Бакаєв, С. Гамецька, О. Ястремський, О. Черняк, М. Зубець, Н. Васильєва, А. Пугач, П. Грицюк, М. Хольт, Д. Беслер та інші.

Теоретико-методологічні засади функціонування ринків зерна та сільськогосподарської продукції знайшли відображення в працях Алтухова А., Бойко Ю., Ганганова В., Кузнецової І., Самаріна І., Сікало М., Черненко С. та інших науковців. Проте завдання ефективного виробництва, зберігання та реалізації продукції рослинництва потребує постійного вдосконалення.

Метою статті є дослідження моделей оптимізації діяльності на ринку продукції рослинництва підприємств аграрного сектору в умовах сучасного та післявоєнного розвитку.

Виклад основного матеріалу. Розвиток виробництва продовольства сільськогосподарським сектором економіки в післявоєнний період вимагає особливої уваги. Майже 24,7 млрд доларів скала виручка аграрного сектору в 2024 році. Це другий показник за всю історію України. Більше того, аграрії у воєнний рік змогли забезпечити 59% валютної виручки в країні [3].

Очікуване збільшення виробництва і як наслідок експорту зернових, значно покращить позиції України в світовій торгівлі. Така тенденція безумовно позитивно вплине на внутрішній ринок України та на добробут населення[4].

Таблиця 1.

**Обсяг виробництва (валовий збір) сільськогосподарських культур,
тис.т [5]**

| рік | Культури зернові та зернобобові ¹ | у % до попереднього року | Буряк цукровий фабричний | у % до попереднього року | Соняшник ¹ | у % до попереднього року | Картопля | у % до попереднього року | Культури овочеві | у % до попереднього року |
|-------------------|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|----------|--------------------------|------------------|--------------------------|
| 2019 ² | 75143 | 107,3 | 10205 | 73,1 | 15254 | 107,7 | 20269 | 90,1 | 9688 | 102,6 |
| 2020 ² | 64933 | 86,4 | 9150 | 89,7 | 13110 | 85,9 | 20838 | 102,8 | 9653 | 99,6 |
| 2021 ² | 86010 | 132,5 | 10854 | 118,6 | 16392 | 125,0 | 21356 | 102,5 | 9935 | 102,9 |
| 2022 ³ | 53864 | 62,6 | 9942 | 91,6 | 11329 | 69,1 | 20900 | 97,9 | 7512 | 75,6 |
| 2023 ³ | 59772 | 111,0 | 13130 | 132,1 | 12760 | 112,6 | 21359 | 102,2 | 8297 | 110,4 |

¹ У масі після доробки² Дані наведено без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, м. Севастополя та частини тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях.³ Дані наведено без урахування тимчасово окупованих російською федерацією територій та частини територій, на яких ведуться (велися) бойові дії.

Аналіз даних таблиці 1 показує найбільше виробництво, за період 1991-2023 роки, зернових і зернобобових, насіння соняшника. На значному рівні знаходилися показники вирощуванні цукрового буряка, картоплі та овочевих культур. Вторгнення та захоплення південних регіонів в 2022 році призвело до значного скорочення валового збору зернових, соняшника та овочевих культур. Проте із 2023 року відбувається поступове відновлення виробництва продукції рослинництва. Якщо тимчасова втрата земельних ресурсів південних регіонів не дає змоги повернутися до показників повноцінного виробництва зернових культур (69,5% відносно 2021 року), насіння соняшника (77,8%), овочевих культур (83,5%), то вирощування буряка цукровий зросло на 21,0%, а картоплі – повністю відновлено до рівня 2021 року.

Незважаючи на труднощі воєнного стану, аграрний бізнес продовжує розвиватися і шукаю різноманітні моделі подальшого розвитку. Тому постійний аналіз та прогноз розвитку дозволяє враховувати безліч факторів, що впливають на діяльність галузі, таких як погодні умови, ціни на ресурси, державна політика тощо. Одним із важливих інструментів для такого аналізу є використання сучасних статистичних та економіко-математичних методів і моделей, які дозволяють визначити основні тенденції, значно підвищити якість досліджень, а також ефективність прогнозування показників розвитку аграрного сектору, транспортування, зберігання, реалізації тощо.

Формування цілей статті (постановка завдання). Метою статті є узагальнення сучасних економіко-математичних методів та моделей організації виробництва, транспортування, зберігання та реалізації зерна та продукції

рослинництва у аграрному секторі економіки та основних аспектів їх застосування.

Виклад основного матеріалу. Система прийняття рішень у виробництві продукції рослинництва є складним та багатогранним процесом, що охоплює широкий спектр питань - від вибору культур та сортів до управління посівами, збирання врожаю та реалізації продукції. Ефективність цієї системи залежить від технологічних, економічних, організаційних та зовнішніх факторів. Тому перед виробниками, не зважаючи на величину земельних ресурсів, щорічно постає традиційні питання щодо вирощування сільськогосподарської продукції. Прийняття рішення, як правило, має базуватися на достовірній інформації, ретельній аналітиці отриманої інформації, прогнозування можливих варіантів розвитку подій та їх наслідків, оцінці можливих ризиків та розробка заходів щодо їх мінімізації та прийнятті рішень на основі об'єктивного аналізу та з урахуванням усіх факторів.

Ефективна система прийняття рішень у рослинництві є критично важливою для сільськогосподарського виробництва. Вона дозволяє оптимізувати використання ресурсів, мінімізувати ризики та максимізувати прибуток.

Важливим фактором, при прийнятті рішення про вирощуванні продукції рослинництва є ефективна комунікація та обмін інформацією між різними учасниками процесу, такими як наукові установи, консультанти, експерти, практикуючі агрономи, фермери та інші спеціалісти, що є важливим фактором успіху. На основі загальної оцінки обирається оптимальний варіант, який забезпечує досягнення поставлених цілей з мінімальними витратами та ризиками.

Серед ключових аспектів, на яких базується така система, доцільно виділити прогнозування та моделювання ситуацій. Починаючи від вибору виду культури, сорту, добрив, технології вирощування і закінчуючи термінами і методами реалізації продукції. Кожен варіант необхідно оцінити з точки зору його ефективності враховуючи економічні, екологічні та інші фактори. Крім того, система прийняття рішень повинна бути гнучкою та адаптуватися до змін умов, рішення повинні прийматися своєчасно, запобігти негативним наслідкам та отримати можливості.

Для прийняття обґрунтованих рішень необхідно мати доступ до актуальної та достовірної інформації. Це можуть бути дані про ґрунт, клімат, погоду, стан посівів, наявність шкідників та хвороб, ціни на ринку тощо.

Не менш важливим є технологічне забезпечення виробництва рослинницької продукції. Крім власного обладнання, менеджер повинен володіти інформацією про такі сучасні технології як дрони (БПЛА), супутникова інформація, дані метеостанції, датчики температури, вологості ґрунту та інших показників, що дозволяє отримувати великі обсяги даних в режимі реального часу. Оскільки зібрані дані необхідно аналізувати та інтерпрету-

вати, щоб виявити тенденції, закономірності та проблеми, то необхідно застосувати спеціальні алгоритми та програмні продукти. Моделювання різних ситуацій, таких як зміна погодних умов, поява шкідників або коливання цін на ринку, дозволяє оцінити можливі ризики та розробити стратегії реагування.

Як бачимо з наведеної інформації, для прийняття рішення про вибір культури для вирощування, необхідна значна кількість даних для обробки. Для проведення якісної аналітики необхідний подальший збір даних, за допомогою можна прогнозувати врожайність культур, планувати збирання, зберігання та реалізацію продукції.

Моделювання є важливим методом наукового дослідження, який використовується для аналізу та синтезу систем управління. Воно передбачає використання моделі, тобто спрощеного представлення реального об'єкта, для вивчення його властивостей та поведінки, а отримані результати спряють перенесенню на реальний досліджуваний об'єкт.

Моделювання процесів та аналітика є важливими інструментами для підвищення ефективності та конкурентоспроможності сучасного аграрного бізнесу. Моделювання процесів є основою для аналітики, оскільки воно дозволяє отримати детальну інформацію про те, як функціонує бізнес. Аналітика, в свою чергу, використовується для оцінки ефективності процесів та виявлення можливостей для їх оптимізації [6, с. 82-83]. Аналітика - це процес збору, обробки та аналізу даних з метою отримання корисної інформації, яка може бути використана для прийняття рішень і дозволяє оцінити ключові показники діяльності компанії, такі як обсяг продажів, прибуток, витрати тощо.

Аналітика виробництва зерна дійсно потребує комплексного підходу, охоплюючи різні рівні дослідження - від окремих підприємств до галузі в цілому. Це дозволяє отримати цілісну картину стану справ, тоді як аналіз діяльності окремих підприємств допомагає зрозуміти їхні сильні та слабкі сторони, виявити проблеми та можливості для зростання. Водночас, дослідження на рівні галузі дозволяє оцінити загальні тенденції, виявити системні проблеми та розробити ефективні стратегії розвитку.

Моделювання процесів вирощування зернової продукції, вирішення економіко-математичної моделі задачі дає можливість встановити оптимальні площі вирощування продукції рослинництва в аграрному формуванні та вискоелективне використання наявних виробничих ресурсів.

В даній моделі необхідно знайти x_j ; x_{iu} ; x_t ; x_s ; y , при яких досягається максимальне значення F_{max} - загальної суми прибутку:

$$F_{max} = \sum_{j \in J} c_j x_j - x_s$$

Змінні величини:

x_j - розмір j - ої галузі рослинництва;

x_{iu} - розмір трансформованої площі i -го виду земель u - м методом для більш ефективного її використання;

x_i – можливі обсяги залучення додаткових трудових ресурсів сільськогосподарським підприємством;

x_s – сума витрат, пов'язаних з виробництвом та реалізацією продукції в аграрному формуванні;

y – вартість валової продукції.

При наступних обмеженнях:

1. Використання земельних угідь:
$$\sum_{j \in J_1} \alpha_{ij} x_j + \sum_{u \in U} \alpha_{iu} x_{iu} \leq A_i (i \in I_1)$$

a)
$$\sum_{j \in I_1} \alpha_{ij} x_j \leq \lambda_j A_j (i \in I_2)$$

б)
$$\underline{B}_j \leq x_j \leq \overline{B}_j$$

2. Використання трудових ресурсів:

$$\sum_{j \in J_1} b_{tj} x_j - x_t \leq B_t (t \in I_3)$$

3. Витрати на виробництво продукції:

$$\sum_{j \in J_1} a_{sj} x_j = x_s (s \in I_4)$$

4. Виробництво окремих видів продукції:

$$\sum_{j \in J} v_{pj} x_j \geq M_p (p \in I_5)$$

5. Вартість валової продукції:

$$\sum_{j \in J_1} c_j' x_j - y = 0$$

6. Умова невід'ємності змінних:

$$x_j \geq 0; x_{iu} \geq 0; x_t \geq 0; x_s \geq 0; y \geq 0$$

7. Вказані в математичній моделі множини не перетинаються.

Для формування математичної моделі використані наступні умовні позначення:

j – галузі рослинництва;

J_1 – множина видів галузей рослинництва;

U – множина видів трансформації земельних угідь;

I_1 – множина видів земельних угідь;

I_2 – множина обмежень, що показують питому вагу окремих сільськогосподарських культур;

I_3 – обмеження по використанню трудових ресурсів та їх залучення до виконання поставленої стратегії;

I_4 – обмеження, елементи якого – номери змінних, що визначають суму витрат;

I_5 – множина, елементи номера змінних якої визначають обсяги виробництва окремих видів продукції різних галузей підприємства.

Визначені, в результаті рішення економіко–математичної задачі значення змінних (x та y), дають можливість встановити оптимальні параметри кожної галузі (окремого виду діяльності) та отримати оптимальні фінансові результати. Рішення задачі проводилося за допомогою надбудови «Пошук розв’язання» табличного процесору Excel, що дало можливість встановити оптимальну структуру рослинництва. При цьому був розрахований максимальний прибуток від виробничо–фінансової діяльності підприємства при даному виробничому потенціалі.

Наступним, після вирощування, кроком необхідним для успішного функціонування зернової галузі, є збереження і успішна реалізація виробленої продукції. На ринку зерна спостерігається сезонна циклічність цін, яка пов’язана зміною в його запасах – при зменшенні запасів, попит залишається відносно стабільним, а пропозиція зменшується і закупівельні ціни зростають. Після збирання врожаю, коли на ринок надходить велика кількість зерна, пропозиція зростає і ціни на нього знижуються.

На вітчизняному ринку зерна, при відсутності можливостей зберігання, багато виробників змушені продавати його відразу після збирання, навіть за нижчими цінами. Доцільно відмітити, що значна кількість фермерських господарств вже створили на базі колишніх агропідприємств зерносховища, функціонують сушарки та склади для зберігання. Це дає їм змогу скуповувати зернопродукцію у одноосібників та малих фермерів, доводити її до відповідної якості та реалізовувати її за більш вигідними цінами, виступаючи на ринку в статусі зернотрейдерів. Цінова сезонність на ринку зерна є складним явищем, на яке впливає багато факторів, серед яких погодні умови, державна політика, світові тенденції та інші.

Моделювання та аналітика процесів реалізації зерна дозволяють виявити та усунути неефективні операції, скоротити час виконання процесів та зменшити витрати, збільшити прибутки компанії і отримати інформацію, необхідну для прийняття обґрунтованих управлінських рішень [7, с. 21].

Якщо взяти за основу послуги з продажу зерна великими партіями, то одним з перших завдань є вибір економічно вигідних перевезень великих партій. Актуальною стає задача оптимізації транспортних перевезень вантажів в умовах невідповідності обсягів його пропозиції обсягами його попиту. У цьому випадку можуть допомогти відкриті або не збалансовані транспортні задачі лінійного програмування [8, с. 41].

На базі класичної розподільчої транспортної задачі може бути реалізована наступна математична модель:

$$F = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m C_{ij} x_{ij} \rightarrow \min$$

при попиті на зернопродукцію:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = a_j$$

при пропозиції:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq b_i$$

за умови невід'ємності змінних: $x_{ij} \geq 0$

та $\forall i = \overline{1, n}$ та $\forall j = \overline{1, m}$;

де x_{ij} - кількість товару, що перевозяться від i -го постачальника до j -го споживача ($i = \overline{1, n}$; $j = \overline{1, m}$);

b_i - можливості постачальника, тобто обсяг наявних товарів у постачальника;

a_j - попит споживача, тобто потреби споживача в певних обсягах певних товарів;

C_{ij} - вартості перевезень з пункту i в пункт j ;

F - значення цільової функції, має бути мінімальним.

На величину витрат за напрямками перевезень впливає не тільки відстань та стан доріг, але і ряд інших експлуатаційно-технічних і соціально-економічних чинників. Комплексними показниками, в яких найкращим чином можуть бути відображені всі найважливіші характеристики народногосподарського критерію оптимізації при розробці планів вантажних перевезень, є вартісні показники. Їх використання при вирішенні транспортних задач оптимізації повністю відповідає сучасним вимогам підвищення якості планування і регулювання перевезень.

В якості методу вирішення оптимізаційної задачі може бути обрано симплекс-метод, який дозволяє вирішувати задачі великої розмірності.

Проблема оптимізації календарного плану реалізації запасів сільськогосподарської продукції є надзвичайно важливою та актуальною як для окремих сільськогосподарських виробників, так і для економіки країни в цілому. Виробникам ефективний план реалізації дозволяє максимізувати прибуток від продажу продукції, враховуючи коливання цін на ринку та інші фактори, а для економіки оптимальне використання запасів сільськогосподарської продукції сприяє стабільності ринку, забезпеченню продовольчої безпеки та ефективному використанню ресурсів.

Формування плану реалізації зернової продукції дозволяє власнику максимально захистити його економічні інтереси за умов невизначеності цін. Такий план може включати в себе визначення оптимальних термінів продажу продукції, вибір оптимальних каналів збуту, прорахувати можливі витрат на зберігання та транспортування зерна і оцінити можливі ризики.

Проблема визначення оптимального календарного плану реалізації запасів сільськогосподарської продукції є актуальною як на мікро-, так і на макрорівні. Оптимальний календарний план реалізації запасів сільськогосподарської продукції - це стратегічний документ, який визначає найкращий час та обсяги продажу сільськогосподарської продукції для отримання максимального прибутку [9].

Серед основних факторів, які впливають на формування оптимального календарного плану реалізації, доцільно виділити операції з прогнозу майбутнього врожаю, визначення вартості витрат на зберігання, транспортування та інші логістичні операції, знати орієнтовану ціною на сільськогосподарську продукцію.

Разом із цим, жодна економічна модель не може передбачити складнощі функціонування ринку сільськогосподарської продукції в сучасних вітчизняних реаліях. Через складнощі, пов'язані із війною: знищення портової інфраструктури та часткова призупинення морського транспортування в 2022 році, блокування західних кордонів з листопада 2023 року до квітня 2024 року, сформувалися негативні умови діяльності. Проте ринок діяв – продукція скуповувалася, зберігалася, частково перероблялася та експортувалася, бізнес-структури змогли упоратися із проблемами.

Оптимальний календарний план реалізації запасів сільськогосподарської продукції - це стратегічний документ, який визначає найкращий час та обсяги продажу сільськогосподарської продукції для отримання максимального прибутку.

До переваг оптимального календарного плану доцільно віднести максимізацію прибутку, мінімізацію витрат, зменшення витрат на зберігання та транспортування, сприяння оптимальному використанню складських приміщень та інших ресурсів, що дозволяє виробникам бути більш конкурентоспроможними на ринку.

Особливістю формування цін на ринку сільськогосподарської продукції є вплив світового попиту, який зростає із чисельністю населення, та пропозиції, яка залежить від виробництва в різних півкулях планети, континентах, країнах. Проте, вже на початку вегетаційного періоду, завдяки супутникових знімкам, можна прогнозувати майбутній врожай, відповідно, ціну.

При застосуванні економіко-математичного моделювання оптимізації календарного плану реалізації запасів сільськогосподарської продукції модель розглядається з позиції детермінованих цін на продукції (ціни, які встановлюються на основі чітко визначених факторів і піддаються точному прогнозуванню) та за умов імовірнісного характеру майбутніх ринкових цін.

Для побудови числової моделі задачі реалізації зерна необхідна інформація про ціни реалізації та вартість зберігання зернових культур. Прогнозні значення знаходимо на основі простої лінійної економетричної

моделі за статистичними вибірками. Достовірність моделі визначається за коефіцієнтом детермінації або на основі F-критерію Фішера згідно теорії перевірки статистичних гіпотез [10].

За детермінованих умов календарний плану реалізації продукції визначається розв'язанням задачі лінійного програмування. Відомі величини в даній моделі:

a - обсяг наявних у власника запасів деякої однорідної сільськогосподарської продукції i -го виду;

p_t - ціна реалізації одиниці продукції i -го виду в момент часу t ;

c_t - витрати, пов'язані із зберіганням продукції i -го виду до часу t ($t = 1, T$);

T - тривалість запланованого періоду;

t - час реалізації продукції, він становить T періодів $t = \overline{1, T}$.

Невідомі величини: $X = (x_1, \dots, x_T)$ календарний план реалізації продукції., $i = \overline{1, T}$.

За детермінованих умов календарний план $X = (x_1, \dots, x_T)$ реалізації продукції визначатиметься розв'язуванням задачі лінійного програмування:

$$C = \sum_{t=1}^T (p_t - c_t) * x_t \rightarrow \max$$

$$x_t \geq 0, \quad \sum_{t=1}^T x_t = a, \quad t = \overline{1, T}$$

Система обмежень складається з обмеження обсягу наявних у власника запасів. Якщо ж майбутні ринкові ціни вважати недетермінованими, тоді товаровиробник ризикує отримати у майбутньому дохід від реалізації продукції менший від очікуваного.

У детермінованому випадку загальний чистий дохід C (значення цільової функції, має бути максимальним) від реалізації продукції буде максимальним, якщо весь запас продукції a реалізовуватиметься у такий момент часу t_i^* , коли різниця між ринковою ціною p_t та накопиченими витратами на зберігання одиниці продукції c_t буде найбільшою.

Обмеженість наведеного підходу до визначення календарного плану реалізації запасів зернових полягає у припущенні про детермінованість ринкових цін. Заздалегідь майбутні ціни слід вважати випадковими, визначеними, визначеними з точністю до статистичних характеристик, таких як математичне сподівання та середньоквадратичне відхилення

Економетричні моделі мають слабкі екстрополіційні властивості, тому прогноз можна утворювати тільки короткостроковий. При збільшенні кількості критеріїв, які впливають на прийняття рішення, модель буде багатокритеріальною та нелінійною. Багатокритеріальні моделі використовуються для прийняття рішень в умовах, коли необхідно враховувати кілька критеріїв, що інколи суперечать один одному [11].

Особливістю використання математичного моделювання для прийняття аналітичних рішень в аграрному виробництві є володіння математичним апаратом (знаннями) користувачем. Для підтримання ефективної роботи необхідно розробити базу даних, яка містить інформацію для прогнозування врожаю, наявність матеріалів і механізмів для проведення технологічних операцій виробництва продукції рослинництва, її розміщення, зернотрейдерів, перевізників, елеватори, ціни на продукцію рослинництва на вітчизняних і світових біржах, в портах, світові ціни і тенденції до їх змін та інша необхідна інформація. Розроблена модель та алгоритм можуть бути реалізовані у складі програмної системи з використанням MS SQL SERVER, .NET фреймворку, JavaScript та різноманітні бібліотеки для розробки інтерфейса користувача.

Інструментами для аналізу даних можуть бути найпростіші пакети і надбудови від Microsoft Excel та Power BI і закінчуючи високовартісними інструментами для BI та аналізу даних SAS, Zoho Analytics та інші. Поки що не існує єдиного інструменту для аналізу даних, який би вирішував усі проблеми. Тому при виборі інструментів аналізу даних доцільно визначитися, хто буде ними користуватися і може він бути використаний для моделювання. Не менш важливим є аспект ціни та ліцензування таких інструментів.

Важливо зазначити, що створення повноцінної математичної моделі є складним процесом, який потребує збору великого обсягу даних, проведення аналізу та залучення фахівців у галузі математичного моделювання та аграрної економіки. Проте, використання математичних методів дозволяє оптимізувати діяльність на ринку рослинницької продукції та прийняти обґрунтовані управлінські рішення.

Висновки. У даній статті було розглянуті економіко-математичні моделі, які можуть бути використані для аналітики при виробництві, зберіганні та реалізації продукції рослинництва. Моделі та потужний інструментарій для їх розв'язання є надзвичайно важливими для ефективної аналітики в сучасному світі, особливо в сільському господарстві. При цьому, модель має бути унікальною, оскільки умови вирощування, зберігання, переробки та реалізації продукції є своєрідними, тому. Універсальна модель, яка б підходила для всіх випадків, є неможливою. Кожна модель повинна бути адаптована до конкретних умов, враховувати всі особливості та обмеження.

Література:

1. Реальний ВВП України в 2023 році зріс на 5,3% – Держстат. URL:<https://forbes.ua/news/realniy-vvp-ukraini-u-2023-rotsi-zris-na-53-derzhstat-28032024-20191> (дата звернення 10.01.2025).
2. Валовий внутрішній продукт за 2022 рік. URL:<https://voxukraine.org/valoviy-vnutrishnij-produkt-za-2022-rik> (дата звернення 10.01.2025).
3. Віталій Коваль: Завдяки агровиробникам та переробникам ми закінчили минулий рік з кількома рекордами. URL:<https://uga.ua/news/vitalij-koval-zavdyaky-agrovyrobnykam-ta-pererobnykam-my-zakinchyly-mynulyj-rik-z-kilkoma-rekordamy/>(дата звернення 11.01.2025).

4. Які перспективи зернового ринку України до 2030 року. URL:<https://uga.ua/news/yaki-perspektivi-zernovogo-rinku-ukrayini-2030-roku/>(дата звернення 15.01.2025).
5. Рослинництво в 1991-2023 роках:статистичний збірник. Державна служба статистики України-2024. URL:https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/cg.htm. (дата звернення 20.01.2025).
6. Оптимізаційні методи та моделі в підприємницькій діяльності: навч. посіб./ Волонтир Л. О, Потапова Н. А., Ушкаленко І. М., Чіков І. А. Вінниця: ВНАУ, 2020. 404 с.
7. Методи прийняття рішень: навч. посіб. Наконечний О.Г., Гребенник І. В., Романова Т. Є., Тевяшев А. Д. Харків : ХНУРЕ, 2016. 132 с. : іл. – ISBN 978- 966-659-212-88.
8. Ларіонов Ю. І. Математичні методи системного аналізу і дослідження операцій. К.: ІСДО, 1994. 128 с.
9. Волонтир Л.О., Михальчишина Л.Г. Організаційно-економічний механізм збуту зерна: інформаційна складова. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького*. Серія: Економічні науки, 2019, т. 21, № 92. С. 81-89.
10. Колодійчук В.А. Концептуальна модель оптимізації логістичної системи у зернопродуктовому підкомплексі АПК України // *Економіка АПК*. 2016. № 5. С. 60 -68.
11. Степенко С., Лазаренко І. Застосування економіко-математичного моделювання для аналізу у галузі сільського господарства. *Економіка та суспільство*, 2021, №33. URL:<https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-33-33>.

References:

1. Real'nyj VVP Ukrainy v 2023 rotsi zris na 5,3% – Derzhstat. [Ukraine's real GDP grew by 5.3% in 2023 – State Statistics Service]. Available at : <https://forbes.ua/news/realniy-vvp-ukraini-u-2023-rotsi-zris-na-53-derzhstat-28032024-20191> (accessed 10 January 2025).
2. Valovyj vnutrishnij produkt za 2022 rik. [Gross domestic product for 2022]. Available at: <https://voxukraine.org/valovyj-vnutrishnij-produkt-za-2022-rik> (accessed 10 January 2025).
3. Vitalij Koval': Zavdiaky ahrovyrobnykam ta pererobnykam my zakinchyly mynulyj rik z kil'koma rekordamy. [Vitaliy Koval: Thanks to agricultural producers and processors, we ended last year with several records]. Available at :<https://uga.ua/news/vitalij-koval-zavdyaky-agrovyrobnykam-ta-pererobnykam-my-zakinchyly-mynulyj-rik-z-kilkoma-rekordamy/>(Accessed 11 January 2025).
4. Yaki perspektivy zernovoho rynku Ukrainy do 2030 roku.[What are the prospects for the grain market of Ukraine until 2030?]. Available at:<https://uga.ua/news/yaki-perspektivi-zernovogo-rinku-ukrayini-2030-roku/>(Accessed 15 January 2025).
5. *Rosly`nny`cztvo v 1991-2023 rokax: statystychnyi zbirnyk [Crop production in 1991-2023: Statistical Yearbook]*.(2024). Derzhavna sluzhba statystyky Ukraїny. Available at : https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/cg.htm (accessed 20 January 2025).
6. Volontyr L. O, Potapova N. A., Ushkalenko I. M., & Chikov I. A.(2020). *Optimizatsijni metody ta modeli v pidpriemnyts'kij diial'nosti.[Optimization methods and models in business activities]*. Vinnytsia: VNAU [in Ukrainian].
7. Nakonechnyj O.H., Hrebennik I. V., Romanova T. Ye.,&Teviashev A. D (2016). *Metody pryjniattia rishen'.*[*Decision-making methods*]. Kharkiv : KhNURE [in Ukrainian].
8. Larionov Yu. I.(1994). *Matematychni metody systemnoho analizu i doslidzhennia operatsij.* [Mathematical methods of systems analysis and operations research]. Kyiv: ISDO [in Ukrainian].
9. Volontyr L.O., & Mykhal'chyshyna L.H.(2019). Orhanizatsijno-ekonomichnyj mekhanizm zbutu zerna: informatsijna skladova [Organizational and economic mechanism of grain sales: information component]. *Naukovyj visnyk LNUVMB imeni S.Z. Gzhyts'koho. Seria: Ekonomichni nauky - Scientific Bulletin of the S.Z. Gzhytskyi Lviv National University of Biomedical Sciences. Series: Economic Sciences, vol. 21, 92.* 81-89. [in Ukrainian].

10. Kolodijchuk V.A.(2016).Kontseptual'na model' optymizatsii lohistychnoi systemy u zernoproduk-tovomu pidkompleksi APK Ukrainy [Conceptual model of logistics system optimization in the grain-product subcomplex of the Ukrainian agro-industrial complex]. *Ekonomika APK - Agriculture and Industrial Complex Economics*,5, 60 -68. [in Ukrainian].

11. Stepenko, S., & Lazarenko, I. (2021). Zastosuvannia ekonomiko-matematichnoho modeliuvan-nia dlia analizu u haluzi sil'skoho hospodarstva [Application of economic and mathematical modeling for analysis in the agricultural sector]. *Ekonomika ta suspil'stvo- Economy and society*, 33. Retrieved from <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-33-33>. [in Ukrainian].