

DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5215-2024-1\(37\)-100-108](https://doi.org/10.25140/2411-5215-2024-1(37)-100-108)

УДК 338.432, 004.8

JEL Classification: C23; O21; Q18

Анатолій Борисович Кулик

кандидат фізико-математичних наук, доцент, завідувач кафедри вищої математики Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана (Київ, Україна)

E-mail: ankulyk@kneu.edu.ua. **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-6629-0253>

Ольга Олександрівна Мельник

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри вищої математики Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана (Київ, Україна)

E-mail: melnuk.olha@kneu.edu.ua. **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-4399-176X>

Марія Сергіївна Островська

старший викладач кафедри вищої математики

Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана (Київ, Україна)

E-mail: ostrovska.mar@kneu.edu.ua. **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1156-224X>

ПРОГНОЗУВАННЯ ПОГОЛІВ'Я ПТИЦІ ЗА ДОПОМОГОЮ МОДЕЛІ SARIMAX

Галузь птахівництва відіграє важливу роль у забезпеченні харчової безпеки, економічному розвитку та впровадженні новітніх технологій, що робить її актуальною і в сучасних умовах. Для дослідження прогнозування кількості поголів'я птиці було запропонована модель Sarimax, яка базується на регресивних методах. Дане дослідження дозволяє господарствам і підприємствам у галузі птахівництва розуміти, яка кількість продукції (яєць, м'яса) може бути отримана в майбутньому. Це допомагає зробити необхідні управлінські кроки: планувати потреби в ресурсах, покращити ефективність, збільшити прибуток, знизити витрати й адаптуватися до змін на ринку.

Ключові слова: птахівництво; часові ряди; прогнозування; перевірка гіпотез.

Рис.: 3. Табл.: 2. Бібл.: 14.

Постановка проблеми. Птахівництво є важливою галуззю сільськогосподарського виробництва, вносячи суттєвий внесок у задоволенні базових потреб людей. Актуальність галузі птахівництва в країні визначається такими ключовими факторами, як харчова безпека, економічний внесок, експортні можливості, низька вартість виробництва тощо. Ця галузь забезпечує людей харчовими продуктами з високою енергетичною цінністю, є дуже привабливою для інвестицій, має величезний потенціал економічного розвитку і є мобільною за організаційно-технічними можливостями та окупністю капіталовкладень, відзначається скоростиглістю, високими показниками відтворення та використання кормового протеїну, відносно низькими енерговитратами, високим рівнем механізації та автоматизації виробничих процесів. Сучасний стан птахівництва в Україні характеризується великими обсягами виробництва яєць, які постачаються як на внутрішній, так і на експортні ринки, а також виробництвом м'яса птиці, зокрема курей-бройлерів та інших видів птиці. Цей важливий компонент тваринництва забезпечує населення високоякісним білком. Ферми вирощують курей для отримання яєць в різних системах утримання.

Загалом по Україні спостерігається розвиток галузі птахівництва, присутня тенденція до збільшення поголів'я птиці, обсягів виробництва м'яса птиці та виробництва яєць [1]. Це зумовлено насамперед зростанням попиту з боку населення та підприємств харчової промисловості. Крім того, м'ясо птиці стало заміником для більшості споживачів інших видів м'яса з огляду на те, що останніми роками відбувається суттєве скорочення пропозиції м'яса великої рогатої худоби та свиней, а відповідно зростають і ціни на них [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У [3] встановлено, що птахівничі підприємства практично повністю задовольняють попит на яйця і м'ясо птиці на внутрішньому ринку, характеризуються потужним експортним потенціалом. Для галузі характерний високий рівень концентрації виробництва. Показано залежність розвитку птахівництва в сільськогосподарських підприємствах від місткості внутрішнього ринку та можливостей експорту продукції. У [4] досліджено вплив і показано важливу роль капітальних інвестицій на дохід підприємств, що здійснюють економічну діяльність у галузі птахівництва, а саме, у розведенні сільськогосподарської птиці та виробництві м'яса. Встановлено тісний зв'язок між рівнями інвестування та доходів підприємств, що здійснюють свою діяльність у цій сфері.

У [5] досліджено та структуровано основні фактори, що впливають на конкурентоспроможність птахівничих підприємств всередині країни і на зовнішньому ринку. Проаналізовано експортний потенціал птахівництва. Досліджено питання сучасних проблемних напрямків виробництва відповідної продукції, що стосуються меншої маневреності малих птахофабрик, їх нездатності впливати на кон'юнктуру ринку птахівництва.

Гривківська О. і Красноручський О. в [6] проаналізували виробництво м'яса птиці протягом 2000-2023 рр. та курячих яєць. Проведено детальний огляд пропозиції продукції птахівництва на ринках та причини її зміни протягом 2021-2023 років. Обґрунтовано, що майбутні успіхи визначаються плануванням усіх бізнес процесів на тривалу перспективу.

Фактори формування пропозиції на регіональних ринках продукції птахівництва розглянуто в [7]. З'ясовано, що на розвиток регіональних ринків продукції птахівництва мають суттєвий вплив стан попиту та пропозиція продукції на ринку.

У [8] запропоновано новий і практичний підхід до прогнозування постачання яєць за допомогою алгоритмів машинного навчання (ML) на основі наявних даних, які регулярно збираються в галузі виробництва яєць. Досліджено декілька моделей і надані прогнози постачання яєць з точністю 90 %, що дозволяє приймати як ефективні, так і економічні операційні рішення. У [9] представлено розумну систему, яка використовує Internet of things (IoT) для моніторингу та контролю екологічних умов птахівництва. У [10]

продемонстровано можливість застосування моделей машинного навчання в автоматичному прогнозуванні виробництва яєць у системах птахофабрик. Розробляючи цю модель машинного навчання для прогнозування, автори використовували модель ARIMA під час аналізу часових рядів. У [11] наведено аналіз часових рядів даних про річну врожайність сільськогосподарських культур у шести країнах Східної Африки, використовуючи модель авторегресійної інтегрованої ковзної середньої (ARIMA).

У [12] побудована модель ARIMA для прогнозування споживання продукції тваринництва. Ця стаття визначає перспективи збільшення використання кормів для тварин як ринкової можливості для фермерів шляхом прогнозування споживання продуктів тваринництва, таких як яйця, молоко, курятина та коров'яче м'ясо.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Незважаючи на велику кількість робіт, присвячених прогнозуванню продукції тваринництва загалом, так і продукції птахівництва, проблема динаміки поголів'я птиці залишається актуальною для бізнесу, задіяного в цій галузі.

Мета статті. Метою цієї роботи є прогнозування динаміки розвитку поголів'я птиці на найближчі 36 місяців за допомогою моделі SARIMAX, яка застосовується до дослідження часових рядів.

Виклад основного матеріалу. Дані дослідження про кількість поголів'я птиці в період з 1 січня 2007 року по 31 грудня 2023 року отримані із сайту Головного управління статистики в Полтавській області України.

В основі цього дослідження лежить модель SARIMAX (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average with exogenous factors), яка дозволяє будувати прогнози на основі часових рядів, тобто історичних спостережень в часі.

Для застосування техніки прогнозування часових рядів потрібно перевірити ряд на стаціонарність. Для цього скористаємося тестом Квятковського-Філіпса-Шмідта-Шина [13]. Цей тест виявляє наявність стохастичної поведінки тенденції у часових рядах за допомогою тесту гіпотези:

$$\begin{aligned} H_0 &: \text{процес стаціонарний;} \\ H_1 &: \text{процес нестаціонарний.} \end{aligned}$$

Розглянемо динаміку змін кількості поголів'я птиці у період з 1 січня 2007 року по 31 грудня 2023 року в Полтавській області (рис. 1).

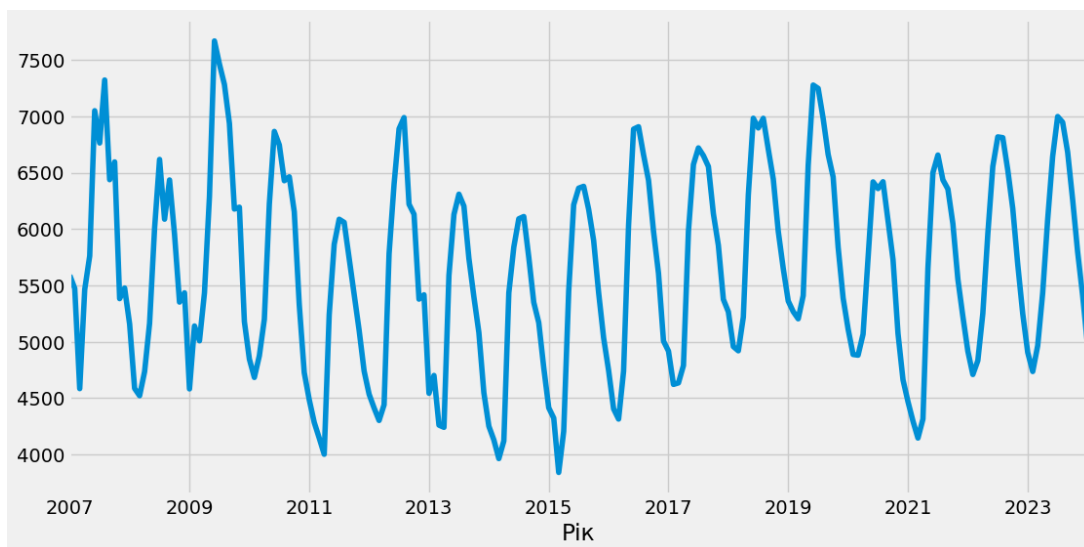


Рис. 1. Динаміка зміни поголів'я птиці (тис. голів)
з 1 січня 2007 року по 31 грудня 2023

Джерело: авторська розробка згідно з [14].

З рис. 1 можна побачити, що за останні 17 років поголів'я птиці має чітко виражені сезонні коливання.

У табл. 1 наведено підсумкові помісячні статистичні дані за вищезазначений період кількості поголів'я птиці.

Таблиця 1

Статистичні дані кількості поголів'я птиці свійської (тис. голів)

Кількість (місяців)	Середнє	Середнє квадратичне відхилення	min	max	Асиметрія	Ексцес
205	5636	875	3841	7669	0,026	-0,952

Джерело: авторська розробка.

Таблиця 1 показує мінімальне, максимальне, середнє значення, асиметрію і ексцес для місячного набору даних, що використовується в цьому дослідженні для характеристики кількості поголів'я птиці.

Так, максимальна кількість поголів'я птиці спостерігалася у червні 2009 року – 7 669 тис. голів. А в березні 2015 року знизилась до свого мінімального значення 3 840 тис. голів. Додатний знак в коефіцієнті асиметрії вказує, що частина даних, більша від середнього, а від'ємний коефіцієнт ексцесу – що крива теоретичного розподілу має нижчу вершину, ніж крива нормального розподілу.

При перевірці на стаціонарність ряду поголів'я птиці за допомогою тесту Квятковського-Філіпса-Шмідта-Шина отримали $p\text{-value} = 0,463$. Це означає, що часовий ряд є стаціонарним.

Найкраща модель SARIMAX для прогнозування поголів'я птиці, використовуючи критерій AIC, буде мати вигляд $Sarimax(1;1;1) \times (1;1;1;12)$.

Діагностика моделі показала, що залишки розподілені правильно. На рис. 3 у верхньому правому графіку KDE знаходиться близько до лінії $N(0,1)$ ($N(0,1)$ –

стандартний нормальний розподіл). Графік q-q в лівому нижньому куті показує, що впорядкований розподіл залишків (сині точки) відповідає лінійному тренду. Залишки з часом (верхній лівий графік) не показують явної сезонності і здаються білим шумом. Це підтверджується графіком автокореляції (знизу справа), який показує, що залишки часових рядів мають низьку кореляцію.

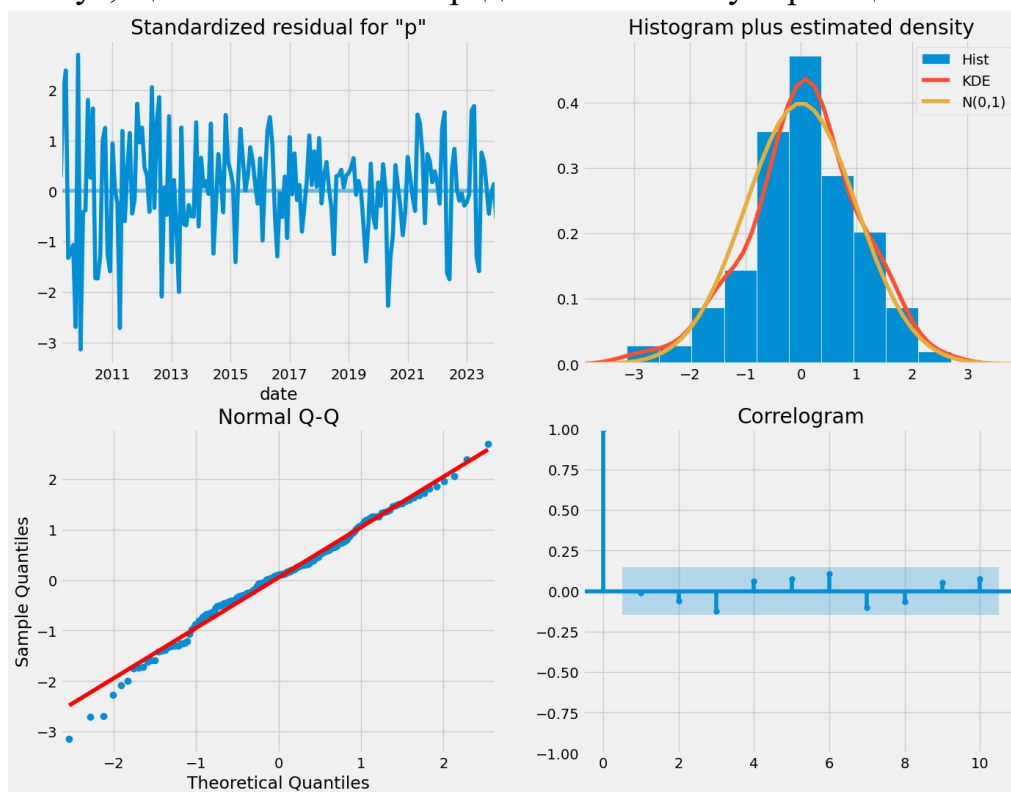


Рис. 2. Діагностика моделі *Sarimax* для часового ряду поголів'я птиці
Джерело: складено авторами.

На рис. 3 зображені фактичні і прогнозовані значення часових рядів (3 роки). Візуально видно, що прогнозовані значення мають таку саму тенденцію, як і фактичні, щодо сезонного коливання (збільшення влітку і зменшення в зимовий період).

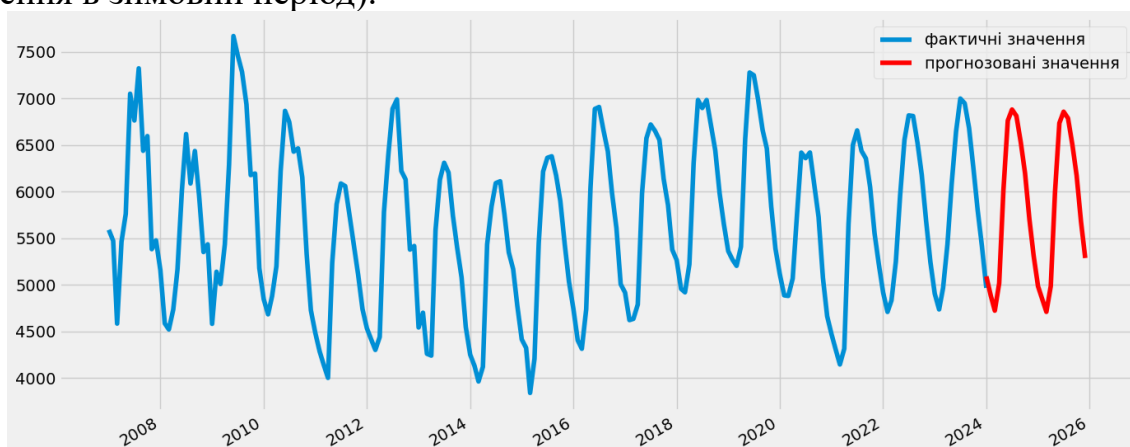


Рис. 3. Фактичні і прогнозовані значення поголів'я птиці (тис. голів)
з 1 січня 2007 року по 31 грудня 2026
Джерело: авторська розробка.

У табл. 2 наведено прогнозні місячні значення чисельності поголів'я птиці, знайденою за допомогою моделі $Sarimax(1;1;1) \times (1;1;1;12)$.

Таблиця 2

Прогнозні щомісячні значення поголів'я птиці, тис. од.

Рік/Міс	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2024	4710	4833	5251	5955	6556	6818	6811	6524	6183	5687	5249	4906
2025	4736	4966	5435	6086	6645	6998	6947	6682	6261	5799	5413	4967
2026	4946	4792	4642	4880	5968	6721	6812	6726	5456	6136	5639	5253

Джерело: авторська розробка.

Прогнозування майбутнього аграрного сектору економіки є складним завданням, оскільки воно залежить від багатьох факторів, таких як кліматичні зміни, технологічний прогрес, зміни в споживчих уподобаннях, економічна політика та інші.

Необхідно також враховувати, що прогнозування може бути неточним, і реальність може виявитися іншою через різноманітні несподівані обставини. З цими тенденціями важливо враховувати гнучкість та здатність до адаптації в сільському господарстві для успішного протистояння майбутнім викликам.

Максимальну ефективність у прогнозуванні за допомогою щомісячних даних можна досягти шляхом оптимізації методів сезонного прогнозування. За допомогою запропонованого методу була спрогнозована місячна зміна поголів'я птиці для України до 2027 року.

Висновки і пропозиції. Результати, отримані в цьому дослідженні показують, що часовий ряд має тенденцію до сезонних коливань.

Для більш інформативного прогнозування кількості поголів'я птиці можна використати ансамбль методів, які враховують не тільки сезонність, а також і специфіку такого бізнесу. Також можна врахувати регіональну приналежність підприємств і кількість поголів'я птиці в цьому регіоні. Коли є інформація про коливання цін на яйця і м'ясо птиці, можна спрогнозувати середню кількість поголів'я птиці. Це допоможе в ухваленні обґрунтованих рішень щодо закупки і виробництва кормів для птиці, торгівлі та зберіганні продукції з тваринництва, маркетингу.

Список використаних джерел

1. Державна служба управління статистики [Електронний ресурс]. – Ресурс доступу: <https://ukrstat.gov.ua>.
2. Полегенька М. А. Аналіз сучасного стану виробництва продукції птахівництва в Україні / М. А. Полегенька // Економіка та держава. – 2019. – № 3. – С. 137–143. DOI: 10.32702/2306-6806.2019.3.137.
3. Яців С. Ф. Стан і перспективи розвитку птахівництва у сільськогосподарських підприємствах України / С. Ф. Яців // Агросвіт. – 2021. – № 16. – С. 26–33. DOI: 10.32702/2306-6792.2021.16.26.
4. Роль капітальних інвестицій в економічному зростанні підприємств-виробників м'яса птиці / В. М. Сахацький, М. О. Гуленко, В. В. Мельник, Н. П. Прокопенко, С. М. Базиволяк // Сучасне птахівництво. – 2023. – № 11-12. – С. 20-24. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/poultry2022.11-12.020>.
5. Дяченко О. В. Перспективи вдосконалення конкурентноспроможності птахівничих підприємств яєчного напрямку / О. В. Дяченко // Економіка. Фінанси. Право. – 2020. – № 7. – С. 18-22. DOI: <https://doi.org/10.37634/efp.2020.7.4>.

6. Гривківська О. Особливості розвитку регіональних ринків продукції птахівництва / О. Гривківська, О. Красноруцький // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. – 2023. – № 4. – С. 125-129. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2023-320-4-18>.
7. Савченко Т. В. Фактори впливу на формування пропозиції продукції птахівництва у регіонах / Т. В. Савченко // Економіка та суспільство. – 2023. – № 47. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-47-69>.
8. Cohen A. Machine Learning Based Egg Supply Forecasting for Sorting and Grading Institutes / A. Cohen, S. Horovitz // J. of Advanced Agricultural Technologies. – 2023. – № 10(2). – Pp. 52-58. DOI: <https://doi.org/10.18178/joaat.10.2.52-58>.
9. Orakwue S. IoT Based Smart Monitoring System for Efficient Poultry Farming / S. Orakwue, H. Al-Khafaji, M. Chabuk // Webology. – 2022. – № 19(1). – Pp. 4105-2112. DOI: <https://doi.org/10.14704/web/v19i1/web19270>.
10. Automatic Prediction of Egg Production in Poultry Farm System. Proceedings of International Conference on Communication and Computational Technologies / V. Tikiwala, S. Khule, C. Nadgauda, S. Thatte // ICCCT 2023. Algorithms for Intelligent Systems. Springer, Singapore. – Pp. 149-159. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-99-3485-0_12.
11. Okorie I. Time series and power law analysis of crop yield in some east African countries / I. Okorie, E. Afuecheta, S. Nadarajah // PLoS ONE. – 2023. – № 18(6). – e0287011. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287011>.
12. Mgaya J. Application of ARIMA models in forecasting livestock products consumption in Tanzania / J. Mgaya // Cogent Food & Agriculture. – 2019. – № 5(1). DOI: <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1607430>.
13. Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root / D. Kwiatkowski, P. Phillips, P. Schmidt, Y. Shin // Journal of Econometrics. – 1992. – Vol. 54, Is. 1–3. – Pp. 159–178. DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(92\)90104-Y](https://doi.org/10.1016/0304-4076(92)90104-Y).
14. Головне управління статистики в Полтавській області [Електронний ресурс]. – Ресурс доступу: <https://www.pl.ukrstat.gov.ua>.

References

1. Derzhavna sluzhba upravlinnia statystyky [State Statistics Service of Ukraine]. (n.d.). <https://ukrstat.gov.ua>.
2. Polehenka, M. (2019). Analiz suchasnoho stanu vyrobnytstva produktsii ptakhivnytstva v Ukraini [An analysis of the current state of poultry production in Ukraine]. *Ekonomika ta derzhava – Economics and the state*, 3, 137–143. <http://dx.doi.org/10.32702/2306-6806.2019.3.137>.
3. Yatsiv, S. (2021). Stan i perspektyvy rozvytku ptakhivnytstva u silskohospodarskykh pidpriemstvakh Ukrainy [State and prospects of poultry development in agricultural enterprises of Ukraine]. *Agrosvit*, 16, 26–33. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2021.16.26>.
4. Sakhatskyi, V., Hulenko, M., Melnyk, V., Prokopenko, N., Bazyvoliak, S. (2022). Rol kapitalnykh investytsii v ekonomichnomu zrostanti pidpriemstv-vyrobnykiv miasa ptytsi [The role of capital investments in the economic growth of poultry producers]. *Suchasne ptakhivnytstvo – Modern poultry*, 12, 20-24. <http://dx.doi.org/10.31548/poultry2022.11-12.020>.
5. Diachenko, O. (2020). Perspektyvy vdoskonalennia konkurentnostpromozhnosti ptakhivnychkykh pidpriemstv yaiechnoho napriamku [Prospects of improving the competitiveness of poultry enterprises in the egg direction]. *Ekonomika. Finansy. Pravo – Economics. Finances. Law*, 7, 18-22. <https://doi.org/10.37634/efp.2020.7.4>.
6. Hryvkivska, O., Krasnorutskyi, O. (2023). Features of the development of regional poultry products markets [Osoblyvosti rozvytku rehionalnykh rynkiv produktsii ptakhivnytstva]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Ekonomichni nauky – Herald of Khmelnytskyi National University. Economic sciences*, 318(4), 125-129. <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2023-320-4-18>.

7. Savchenko, T. (2023). Faktory vplyvu na formuvannia propozytsii produktsii ptakhivnytstva u rehionakh [Factors influencing the formation of supply of poultry products in the regions]. *Ekonomika ta suspilstvo – Economy and Society*, 47. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-47-69>.

8. Cohen, A., Horovitz, S. (2023). Machine Learning Based Egg Supply Forecasting for Sorting and Grading Institutes. *J. of Advanced Agricultural Technologies*, 10, 2, 52-58. <https://doi.org/10.18178/joaat.10.2.52-58>.

9. Orakwue, S., Al-Khafaji, H., Chabuk, M. (2022). IoT Based Smart Monitoring System for Efficient Poultry Farming. *Webology*, 19, 1, 4105-2112. <https://doi.org/10.14704/web/v19i1/web19270>.

10. Tikiwala, V., Khule, S., Nadgauda, C., Thatte, S. (2023). Automatic Prediction of Egg Production in Poultry Farm System. Proceedings of International Conference on Communication and Computational Technologies. *ICCCT 2023. Algorithms for Intelligent Systems. Springer, Singapore* (pp. 149-159). https://doi.org/10.1007/978-981-99-3485-0_12.

11. Okorie, I., Afuecheta, E., Nadarajah, S. (2023). Time series and power law analysis of crop yield in some east African countries. *PLoS ONE*, 18, 6, e0287011. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287011>.

12. Mgaya, J. (2019). Application of ARIMA models in forecasting livestock products consumption in Tanzania. *Cogent Food & Agriculture*. 5, 1. <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1607430>.

13. Kwiatkowski, D., Phillips, P., Schmidt, P., Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. *Journal of Econometrics*, 54, 1-3, 159–178. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(92\)90104-Y](https://doi.org/10.1016/0304-4076(92)90104-Y).

14. Holovne upravlinnia statystyky v Poltavskii oblasti [Main Department of Statistics in Poltava Region]. (n.d.). <https://www.pl.ukrstat.gov.ua>.

Отримано 15.02.2024

UDC 338.432, 004.8

Anatolii Kulyk

PhD in Mathematics, Associate Professor,
Head of the Department of Advanced Mathematics
Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman (Kyiv, Ukraine)
E-mail: ankulyk@kneu.edu.ua. **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-6629-0253>

Olha Melnyk

PhD in Mathematics, Associate Professor,
Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman (Kyiv, Ukraine)
E-mail: melnyk.olha@kneu.edu.ua. **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-4399-176X>

Mariia Ostrovska

Senior Lecturer at the Department of Advanced Mathematics,
Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman (Kyiv, Ukraine)
E-mail: ostrovska.mar@kneu.edu.ua. **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1156-224X>

FORECASTING THE POULTRY POPULATION USING THE SARIMAX MODEL

The agricultural sector is a key part of the country's economy and plays an important role in ensuring food security, creating jobs, developing rural communities and influencing the environment and human health. The poultry industry plays an important role in ensuring food security, economic development and

the introduction of the latest technologies, which makes it relevant even in modern conditions. It is important from various points of view, contributing to food security, economy, science and conservation of natural resources. With the help of forecasts, enterprises can adjust their production activities in such a way as to satisfy demand and deliver products to consumers on time. The Sarimax model, which is based on regression methods, is proposed for the study of forecasting the number of poultry.

Monthly statistical data on the number of poultry are given: average, standard deviation, minimum and maximum values, asymmetry and excess. The dynamics of changes in the poultry population are shown. The studied series is checked for stationarity. Predictive values for time periods (months) were obtained and the change in the number of poultry over the last 17 years was analyzed. Estimates of standard deviation, mean absolute error for different forecasting terms are provided. When comparing these estimates for different time intervals, the optimal time period for the forecast (36 months) was determined. Constructed time series with actual values and predicted values, which is illustrated in the graphs. The results obtained from this study show that the time series tends to fluctuate seasonally.

This study allows farms and enterprises in the poultry industry to understand the amount of products (eggs, meat) that can be obtained in the future. It helps to take the necessary management steps: plan resource needs, improve efficiency, increase profits, reduce costs and adapt to changes in the market.

Key words: *poultry farming; time series; forecasting; hypothesis testing.*

Fig.: 3. Table: 2. References: 14.