УДК 658.8:004; JEL classification M31; O33
DOI: https://doi.org/10.36887/2415-8453-2025-1-70

Хайнус Дмитро Дмитрович[1],
к.е.н., доцент, доцент кафедри управління земельними ресурсами, геодезії та кадастру
Князь Олександр Вікторович[1],
к.е.н., доцент, доцент кафедри управління земельними ресурсами, геодезії та кадастру
Садовий Іван Іванович[1],
к.е.н., доцент, доцент кафедри управління земельними ресурсами, геодезії та кадастру
Сєдов Аркадій Олександрович[1],
старший викладач кафедри управління земельними ресурсами, геодезії та кадастру
Матвєєв Ярослав Володимирович,
магістр, Київ-ський національний університет будівництва і архітектури
[1]*Державний біотехнологічний університет*

Khainus Dmytro[1],
PhD in Economics, Associate Professor,
https://orcid.org/0000-0001-6097-1464
Kniaz Oleksandr[1],
PhD in Economics, Associate Professor,
https://orcid.org/0000-0002-0646-3394
Sadovyy Ivan[1],
PhD in Economics, Associate Professor,
https://orcid.org/0000-0001-8727-0596
Siedov Arkadii[1],
Senior Lecturer,
https://orcid.org/0000-0003-0604-4015
Matvyeyev Yaroslav, Master, Kyiv National University of Construction and Architecture,
https://orcid.org/0009-0004-7547-5577
[1]*State Biotechnological University*

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БПЛА В ГЕОДЕЗИЧНИХ ТА ЗЕМЛЕВПОРЯДНИХ РОБОТАХ: СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ДЛЯ ОЦІНКИ МАЙНА ТА РОБОТИ ОРГАНІВ МІСЦЕВОГО САМОВРЯДУВАННЯ

INCREASING THE EFFICIENCY OF UAV USE IN GEODESIC AND LAND-SURVEYING WORKS: STANDARDIZATION AND OPTIMIZATION FOR PROPERTY EVALUATION AND WORK OF LOCAL GOVERNMENT BODIES

Хайнус Д. Д., Князь О. В., Садовий І. І., Сєдов А. О., Матвєєв Я. В. Підвищення ефективності використання БПЛА в геодезичних та землевпорядних роботах: стандартизація та оптимізація для оцінки майна та роботи органів місцевого самоврядування. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2025. Том 10. № 1. С. 405 – 409.

Khainus D., Kniaz O., Sadovyy I., Siedov A., Matvyeyev Y. Increasing the efficiency of UAV use in geodesic and land-surveying works: standardization and optimization for property evaluation and work of local government bodies. *Ukrainian journal of applied economics and technology*. 2025. Volume 10. № 1, pp. 405 – 409.

Метою дослідження є розробка оптимізованої методики застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у геодезичних і землевпорядних роботах. Описано підходи до планування польотів, розміщення опорних точок (GCP) із застосуванням високоточних GNSS у режимах RTK/PPK, вимоги до перекриття знімків та якості фотоматеріалів, а також алгоритми обробки даних фотограмметрії. Проведено технічні, організаційні й економічні заходи для створення постійної служби БПЛА при органах місцевого самоврядування: рекомендовану структуру персоналу, навчання, технічне оснащення та політики з управління даними. Дослідження показує можливість досягнення позиціонувальної точності 1–3 см та отримання ортофотопланів і цифрових моделей місцевості, придатних для кадастру й оцінки майна. Запропоновано елементи стандартизації процедур збору, обробки й звітності, що підвищують прозорість та сумісність даних.
Ключові слова: *БПЛА, геодезія, землеустрій, GNSS, фотограмметрія, стандартизація, оцінка майна.*

The present study develops an optimized methodology for employing Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in geodetic surveying, land management, cadastral activities and property valuation. It provides a comprehensive framework for mission planning (flight path design, altitude selection, overlap parameters, sensor configuration, and emergency-return procedures), standardized protocols for deploying Ground Control Points (GCPs) and integrating high-precision GNSS equipment operating in RTK/PPK modes, and quality-assurance procedures for photogrammetric image acquisition. The article evaluates hardware and software configurations—from survey-grade UAVs with RTK modules and multispectral or LiDAR sensors to commercial and open-source photogrammetric and GIS processing suites—and analyzes how these choices affect deliverable accuracy, processing time and operational cost. Literature review and applied examples demonstrate that adherence to unified acquisition and processing standards, adequate GCP density and correct application of RTK/PPK corrections enable horizontal and vertical accuracies on the order of 1–3 cm, producing orthophotos and digital elevation models fit for cadastral mapping, land-use monitoring and valuation tasks. Beyond technical prescriptions, the research proposes organizational models and economic strategies to establish a permanent municipal UAV service: recommended staffing (service manager, certified pilots/surveyors, GIS analysts, technical support), equipment redundancy and maintenance schedules, training and certification pathways, data governance and metadata policies, and budget scenarios that illustrate cost savings relative to conventional surveying. A central contribution is a set of standardization recommendations for UAV-enabled property appraisal that specify acquisition parameters, processing workflows, quality-control metrics, metadata and reporting templates, traceability and legal-admissibility considerations. These measures aim to improve transparency, comparability and interoperability of geospatial datasets across regions and agencies, thus supporting evidence-based land administration and urban planning. The article concludes with practical guidance for local authorities to integrate UAV-derived datasets into cadastral systems, implement phased adoption to mitigate technical and legal risks, and pursue further development toward automated mission-planning algorithms and multisensor data fusion for enhanced valuation metrics. Future research directions include automated mission-planning algorithms, fusion of photogrammetric, LiDAR and multispectral

datasets for more robust valuation indicators, and development of national standards and certification schemes for UAV-based geospatial data in land administration.
Keywords: *UAV, geodesy, land management, GNSS, photogrammetry, standardization, property valuation.*

Вступ

У сучасних умовах цифрової трансформації аграрного сектору України значну роль відіграють інноваційні технології, зокрема безпілотні літальні апарати (БПЛА) [7; 8]. Застосування БПЛА у геодезичних і землевпорядних роботах дозволяє суттєво зменшити витрати часу, підвищити точність та оперативність збору просторової інформації [9]. Водночас у практиці територіальних громад спостерігається брак єдиних стандартів використання БПЛА, недосконала організація польових робіт та відсутність системного підходу до технічного й економічного забезпечення таких послуг [1; 4]. Це зумовлює необхідність удосконалення існуючих методик та впровадження нових підходів до експлуатації дронів у сфері землеустрою та геодезії.

Останні дослідження щодо застосування БПЛА у геодезії демонструють значний інтерес до таких аспектів, як планування польотів, використання RTK-технологій та мультиспектральних сенсорів для аналізу рослинності та ґрунтів [2; 3]. Такі публікації, як роботи Smith et al. (2018) та Johnson (2020), аналізують вплив використання автономних систем управління на точність ортофотомапування [4]. Крім того, українські науковці (наприклад, Петров та колеги, 2021) акцентують увагу на економічних аспектах, що дозволяють громадам досягти суттєвих заощаджень [5; 6]. Аналіз літературних джерел свідчить про необхідність інтеграції цих методик у місцеве управління для формування надійної просторової інфраструктури.

Формулювання цілей статті

Основними цілями статті є: розробка оптимальної методики польових робіт за допомогою БПЛА; аналіз технічних, організаційних та економічних заходів, необхідних для створення постійної служби БПЛА при органах місцевого самоврядування; оцінка економічного, екологічного та соціального ефекту впровадження технологій БПЛА; визначення практичних рекомендацій для інтеграції сучасних технологій у геодезичні та землеустрійні проєкти.

Виклад основного матеріалу дослідження

Оптимальна методика польових робіт.

Перед проведенням аерозйомок за допомогою БПЛА необхідно ретельно спланувати місію, використовуючи спеціалізовані додатки (DJI GS Pro, Pix4D Capture). Планування включає формування маршрутів польоту, встановлення меж ділянки, визначення висоти польоту та відсотка перекриття зображень. Налаштування функції «return-to-home» дозволяє уникнути аварійних ситуацій при низькому заряді акумулятора. Ключовим етапом є розміщення опорних точок (GCP), координати яких визначаються високоточним GNSS (RTK/PPK). Ці точки забезпечують абсолютну точність геоприв'язки знімків, що дозволяє досягати точності до 1–3 см при застосуванні 6–8 контрольних точок на 50 га. Чорно-білі квадрати, які використовуються як маркування, сприяють високій контрастності на зображеннях та точній геоприв'язці.

Для візуалізації можна використовувати контрастні маркування – найчастіше чорно-білі квадрати на землі (рис. 1). Такі мітки легко розпізнаються на знімках та забезпечують високу точність геоприв'язки.

DJI Phantom 4 RTK (рис. 2) застосовують для високоточних зйомок RGB. У цьому дроні вбудовано RTK-модуль, який у реальному часі коригує положення.

Рис. 1. Приклад опорної точки (GCP) у вигляді чорно-білого квадрата на місцевості

Рис. 2. DJI Phantom 4 RTK

Це дозволяє досягати горизонтальної точності близько 1 см і вертикальної – ~1.5 см. У результаті абсолютна похибка ортофотоплану становить близько 5 см, навіть за мінімальної кількості додаткових GCP. Важливо використовувати NTRIP-сервіси або власну базову станцію, щоб RTK-корекції були доступні на всій ділянці. Для виконання агрономічних або екологічних задач БПЛА можуть оснащуватись мультиспектральними сенсорами. Наприклад, DJI Phantom 4 Multispectral, Parrot Sequoia або MicaSense RedEdge здатні одночасно знімати в кількох смугах (RGB + NIR) [7; 8], що дозволяє розраховувати індекси NDVI, проводити аналіз рослинності та ґрунтів. Такі датчики є альтернативою гіперспектральним комплексам, однак мають нижчу просторову роздільність і обмежену кількість каналів). Після завершення

польоту проводять контроль якості зображень. Усі фотографії перевіряють на відсутність розмитості та надмірної експозиції. Спеціалізовані ПЗ для фотограмметрії (наприклад, Pix4D) [1; 10] генерують «звіт якості», який відмічає кадри із низьким контентом, сильним розмиттям чи шумом. У разі необхідності під час польових робіт повторюють зйомку проблемних ділянок. Висока якість вихідних зображень забезпечує коректне формування точкових хмар, цифрової моделі місцевості та ортофотоплану.

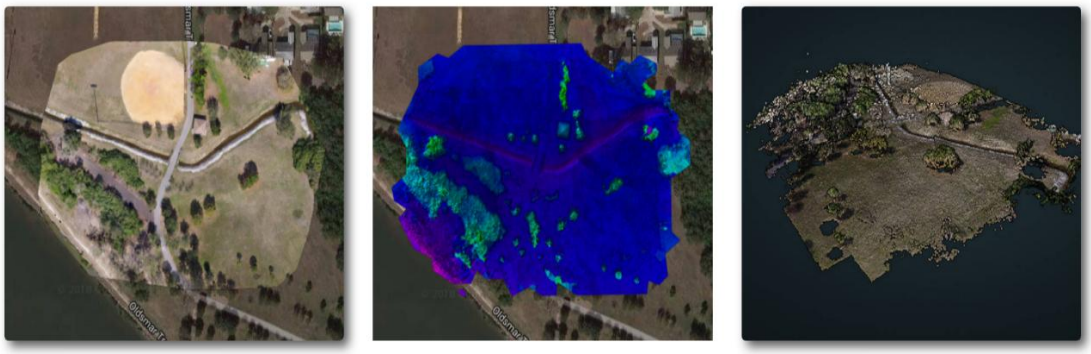

Рис. 3. Ланцюг результатів роботи

Технічні, організаційні та економічні заходи.

Технічні заходи: для покриття великих територій використовуються безпілотники з декількома батареями, портативні джерела живлення та автономні системи повернення (RTH). Застосування додаткового обладнання (запасні гвинти, приводні колеса) мінімізує ризики поломок під час польотів. Використання потужних комп'ютерів та спеціалізованого ПЗ (Pix4D, WebODM, QGIS) дозволяє швидко обробляти отримані дані [9].

Організаційні заходи: побов'язкового інструктажу та погодження польотів за регламентами (EASA) з метою безпеки роботи та ведення електронних журналів польотів. Створення посадових інструкцій, розробка алгоритмів дій у нестандартних ситуаціях, а також регулярне проведення тренінгів допомагають підтримувати високий рівень кваліфікації операторів.

Економічні заходи: облік економічного ефекту свідчить про те, що застосування БПЛА дозволяє зменшити витрати на традиційні методи зйомок [5; 6]. Наприклад, за умовних розрахунків економія на ділянці площею 50 га становить понад 200 тис. грн, а для великих територій – кілька мільйонів гривень. Централізована закупівля обладнання й інтеграція відкритого програмного забезпечення (ODM) також сприяє зниженню бюджетних витрат.

Практична реалізація – постійна служба БПЛА при ОТГ.

Для ефективної інтеграції технологій БПЛА у роботу органів місцевого самоврядування пропонується створення спеціального підрозділу у складі відділу землеустрою чи містобудування. Структура служби має включати:

– керівника служби БПЛА – відповідального за планування робіт та звітність;

– операторів БПЛА (пілотів/геодезистів) – відповідальних за польоти;

– аналітичний відділ (GIS-фахівці) – відповідальних за обробку даних та їх інтеграцію в кадастрову систему;

– технічного спеціаліста – для обслуговування дронів та супутнього обладнання.

Такий розподіл повноважень забезпечує не лише підвищення якості даних, але й створює нові професійні можливості для місцевих спеціалістів.

Технічне оснащення служби. У базовому комплекті – один (мінімум) дрон DJI Phantom 4 RTK для фотограмметрії. Цей БПЛА має гарну камеру 20 Мп і вбудований RTK-модуль, що забезпечує потрібну точність. Для аналізу даних потрібен потужний комп'ютер з SSD-диском, відеокартою та ліцензійним (або відкритим) ПЗ. Можна використовувати Pix4Dmapper (комерційне ПЗ) або безкоштовні рішення: WebODM чи QGIS. Важливий комплект – це GNSS-приймач для засікань базової станції (якщо не вистачає покриття NTRIP) і GPS-вимірювачі для розташування GCP. Також стануть у нагоді змінні акумулятори (мінімум 4–6 шт.), зарядні станції (стаціонарний зарядник, переносні PowerBank) і запасні пропелери/деталі. Мультиспектральний сенсор може доповнити оснащення у разі необхідності агромоніторингу.

Система навчання персоналу. Працівники служби проходять початкову підготовку та подальшу сертифікацію. Рекомендується формальна підготовка за галузевими стандартами: наприклад, навчальні курси для пілотів БПЛА, курси з фотограмметрії та обробки даних. Важливі навички – планування місій, безпека польотів, робота з RTK/GNSS, робота з GIS. Періодично проводяться внутрішні тренінги і практичні заняття з аварійної посадки дронів. Впроваджується система перевірки знань (тести) та записи пройдених курсів. Така підготовка гарантує, що операційний персонал зможе виконувати польоти безпечно й ефективно.

Стандартизація використання БПЛА для оцінки майна.

Однією із ключових проблем сучасних геодезичних та землевпорядних робіт є відсутність єдиних стандартів використання БПЛА, особливо у сфері оцінки майна. Це призводить до розбіжностей у методах збору даних, їх обробки та інтерпретації, що впливає на точність і достовірність оціночних результатів.

Основні аспекти стандартизації.

1. Методика зйомки та обробки даних:

– визначення єдиних вимог до планування польотів, густини точок геоприв'язки (GCP) та точності GNSS-вимірювань;

– стандартизація параметрів аерозйомки (висота польоту, перекриття знімків, роздільна здатність) для різних типів об'єктів нерухомості.

2. Програмне забезпечення:

– використання сертифікованих програмних рішень (наприклад, Pix4D, Agisoft Metashape) для створення цифрових моделей місцевості (DSM, DTM) та ортофотопланів;

– розробка уніфікованих алгоритмів для аналізу даних, зокрема визначення меж земельних ділянок, об'ємів будівель тощо.

3. Калібрування обладнання:

– регулярна перевірка точності сенсорів БПЛА (RGB, мультиспектральних, лідарів) та GNSS-приймачів;

– впровадження протоколів тестування обладнання перед кожним польотом.

4. Юридичні та економічні норми:

– встановлення чітких вимог до звітності та документації, що супроводжує оцінку майна на основі даних БПЛА;

– розрахунок економічної ефективності використання БПЛА порівняно з традиційними методами (наприклад, тахеометричною зйомкою).

Приклад практичного застосування.

Для оцінки вартості земельних ділянок можна використовувати дані БПЛА, отримані за стандартизованою методикою:

– створення ортофотоплану з точністю до 5 см;

– визначення меж ділянок за допомогою GIS-інструментів;

– аналіз якості ґрунтів та рельєфу для обґрунтування ринкової вартості.

Висновки та перспективи подальших розвідок

Проведене дослідження підтверджує, що впровадження сучасних методик аерозйомки за допомогою БПЛА дозволяє суттєво підвищити точність геодезичних вимірювань та значно знизити економічні витрати у порівнянні з традиційними методами. Технічне оснащення, поєднане з ефективними організаційними заходами, створює умови для формування стабільної служби БПЛА на рівні органів місцевого самоврядування. Крім того, дослідження вказує на важливість інтеграції новітніх технологій у практику з метою підвищення екологічної стійкості та підготовки кваліфікованих кадрів. Подальші дослідження можуть бути орієнтовані на вдосконалення алгоритмів автоматизації польотів та розробку універсальних платформ для обробки аероданих. Стандартизація використання БПЛА у сфері оцінки майна дозволить підвищити прозорість процедур, зменшити суб'єктивність у роботі оцінювачів та забезпечити сумісність даних між різними регіонами. Це особливо актуально для органів місцевого самоврядування, які можуть використовувати стандартизовані методики для моніторингу земельних ресурсів та прийняття управлінських рішень.

Література

1. Mugnai F., Longinotti P., Vezzosi F., Tucci, G. Performing low-altitude photogrammetric surveys: A comparative analysis of user-grade unmanned aircraft systems. *Applied Geomatics/* 2022. Vol. 14, pp.211–223. DOI: https://doi.org/10.1007/s12518-022-00421-7.
2. Drone RTK: Everything You Need to Know / Point One Navigation. 2023. URL: https://pointonenav.com/news/drone-rtk.
3. The Role of RTK and PPK in Enhancing Survey Drone Accuracy / Mukdrones.com. 2025. URL: https://www.mavdrones.com/role-of-rtk-and-ppk-in-enhancing-survey-drone/.
4. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for engineering geology applications / D. Giordan et al. // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2020. Vol. 79. P. 3437–3481. DOI: https://doi.org/10.1007/s10064-020-01766-2.
5. Kalynych I., Nychvyd M., Prodanets I., Kablak N., Vash Y. Monitoring of geodynamic processes in the Tysa river basin using AUTEL EVO II PRO RTK UAV. *Geodesy, cartography and aerial photography*. 2022. Iss. 95. pp. 77-93. DOI: https://doi.org/10.23939/istcgcap2022.95.077
6. Sestras P.et al. The use of budget UAV systems and GIS spatial analysis in cadastral and construction surveying for building planning. *Frontiers in Built Environment*. 2023. Vol. 9. Art. 1206947. DOI: https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1206947.
7. Corrigan F. Multispectral Imaging Camera Drones in Farming Yield Big Benefits. DroneZon. 2020. URL: https://www.dronezon.com/learn-about-drones-quadcopters/multispectral-sensor-drones-in-farming-yield-big-benefits/.
8. Могильнии С. Г., Хаи нус Д. Д., Виноградеико С. О. Аналіз точності кадастрових зи омок із застосуванням БПЛА. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2024. Том 9. № 1. С. 146 – 151. DOI: https://doi.org/10.36887/2415-8453-2024-1-24.
9. Agrawal J., Arafat, M. Y. Transforming Farming: A Review of AI-Powered UAV Technologies in Precision Agriculture. *Drones.* 2024. Vol. 8, Iss. 11. Art. 664. DOI: https://doi.org/10.3390/drones8110664.
10. Klag M. Geographic Information Systems (GIS) & Land Surveying: A Guide for Surveyors. McKissock Learning. 2025. URL: https://www.mckissock.com/blog/land-surveyor/geographic-information-systems-gis-land-surveying-a-guide-for-surveyors/.
11. Berra E. F., Peppa M. V. Advances and challenges of UAV SfM-MVS photogrammetry and remote sensing: short review. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-3/W12-2020: [Зб. наук. пр.].* 2020. P. 267–285. DOI: https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W12-2020-267-2020

12. Khainus, D.D., Gurskienė, V., Stupen, R.M., Hoptsii, D.O., Siedov, A.O. The use of GIS technologies for geodetic monitoring. *IOP Conference Series: Earth and Environmental ScienceThis link is disabled*. 2023. Vol. 1254, Iss. 1. Art. 012137. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012137.

References

1. Mugnai, F., Longinotti, P., Vezzosi, F., & Tucci, G. (2022). Performing low-altitude photogrammetric surveys: A comparative analysis of user-grade unmanned aircraft systems. *Applied Geomatics*, 14, 211–223. https://doi.org/10.1007/s12518-022-00421-7.
2. Point One Navigation. (2023). *Drone RTK: Everything you need to know*. Available at: https://pointonenav.com/news/drone-rtk.
3. Mukdrones.com. (2025). *The role of RTK and PPK in enhancing survey drone accuracy*. Available at: https://www.mavdrones.com/role-of-rtk-and-ppk-in-enhancing-survey-drone/.
4. Giordan, D., et al. (2020). The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for engineering geology applications. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 79, 3437–3481. https://doi.org/10.1007/s10064-020-01766-2.
5. Kalynych, I., Nychvyd, M., Prodanets, I., Kablak, N., & Vash, Y. (2022). Monitoring of geodynamic processes in the Tysa river basin using AUTEL EVO II PRO RTK UAV. *Geodesy, Cartography and Aerial Photography*, 95, 77–93. https://doi.org/10.23939/istcgcap2022.95.077.
6. Sestras, P., et al. (2023). The use of budget UAV systems and GIS spatial analysis in cadastral and construction surveying for building planning. *Frontiers in Built Environment*, 9, Article 1206947. https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1206947.
7. Corrigan, F. (2020). Multispectral imaging camera drones in farming yield big benefits. *DroneZon*. Available at: https://www.dronezon.com/learn-about-drones-quadcopters/multispectral-sensor-drones-in-farming-yield-big-benefits/.
8. Mohylnyi, S. H., Khainus, D. D., & Vynohradenko, S. O. (2024). Analiz tochnosti kadastrovykh zjomok iz zastosuvanniam BPLA [Analysis of the accuracy of cadastral surveys using UAVs]. *Ukrainskyi zhurnal prykladnoi ekonomiky ta tekhniky*, vol. 9, no. 1, pp. 146–151. https://doi.org/10.36887/2415-8453-2024-1-24.
9. Agrawal, J., & Arafat, M. Y. (2024). Transforming farming: A review of AI-powered UAV technologies in precision agriculture. *Drones*, 8(11), Article 664. https://doi.org/10.3390/drones8110664.
10. Klag, M. (2025). *Geographic information systems (GIS) & land surveying: A guide for surveyors*. McKissock Learning. Available at: https://www.mckissock.com/blog/land-surveyor/geographic-information-systems-gis-land-surveying-a-guide-for-surveyors/.
11. Berra, E. F., & Peppa, M. V. (2020). Advances and challenges of UAV SfM-MVS photogrammetry and remote sensing: Short review. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-3/W12-2020*, 267–285. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W12-2020-267-2020.
12. Khainus, D. D., Gurskienė, V., Stupen, R. M., Hoptsii, D. O., & Siedov, A. O. (2023). The use of GIS technologies for geodetic monitoring. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1254(1), Article 012137. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012137.

Стаття надійшла до редакції 08.01.2025 р.