

УДК 004.8:004.9

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ПРИ ФОТОГРАММЕТРИЧНОМУ ОПРАЦЮВАННІ ЦИФРОВИХ ДАНИХ

Є. В. Бутенко, кандидат економічних наук, доцент

E-mail: butenko@nubip.edu.ua

<https://orcid.org/0000-0002-5923-5838>

Національний університет біоресурсів і природокористування України

А. В. Волонтир, старший викладач

E-mail: a.volontyr@chdtu.edu.ua

<https://orcid.org/0000-0001-5609-4569>

Черкаський державний технологічний університет

О. О. Куценко, здобувач третього освітньо-наукового
рівня вищої освіти

E-mail: kutsenkijob@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-5814-8389>

Національний університет біоресурсів і природокористування України

У статті розглядається вплив алгоритмів нейромереж штучного інтелекту на процес фотограмметричного опрацювання цифрових знімків та формування щільних хмар точок.

Зазначено, що інтеграція алгоритмів машинного навчання, зокрема глибокого навчання, дозволяє автоматизувати ключові етапи опрацювання, підвищити точність класифікації об'єктів, оптимізувати геометричну корекцію зображень та покращити якість кінцевих геопросторових продуктів у вигляді ортофотоплана місцевості.

Описано основні етапи фотограмметричного процесу: від збору первинних даних до формування ортофотопланів та тривимірних моделей місцевості. Особлива увага приділяється ролі нейромережі у покращенні

щільності хмари точок за рахунок правильної інтерпретації точок на цифрових знімках, класифікації об'єктів та зменшенні впливу людського фактора.

Визначено виклики, пов'язані з потребою у великих обсягах якісних навчальних даних. Обґрунтовано перспективність застосування нейромереж штучного інтелекту у фотограмметрії та необхідність подальших досліджень у цьому напрямку.

Ключові слова: *нейромережа, штучний інтелект, фотограмметрія, машинне навчання, хмара точок, ортофотоплан, 3D-модель, цифровий знімок.*

Постановка проблеми. У сучасному цифровому середовищі штучний інтелект відіграє ключову роль у трансформації багатьох сфер людської діяльності.

Однією з актуальних проблем є підвищення ефективності фотограмметричного опрацювання цифрових знімків та даних 3D сканування території. Традиційні алгоритми мають обмеження щодо продуктивності, точності, швидкості та автоматизації процесів. Водночас, інтеграція елементів штучного інтелекту, таких як нейромережі і методи глибокого машинного навчання дозволяють значно покращити класифікацію, інтерпретацію, визначення форм, розмірів і просторового положення об'єктів місцевості [10].

Це відкриває нові можливості для створення високоточних ортофотопланів місцевості та 3D моделей, зменшення похибок та оптимізації опрацювання великих обсягів даних дистанційного зондування [7,9].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні наукові дослідження демонструють активне використання безпілотних літальних апаратів у фотограмметричних роботах у процесі отримання цифрових знімків та подальшої їх опрацювання.

Вітчизняні автори, зокрема Бутенко Є.В. та Красносільська А.А. [12], акцентують увагу на інтеграції нейромереж для автоматизації класифікації та інтерпретації об'єктів місцевості. У роботах Шевченка А.І. [13] та Гуралюк А.

[14] розглядається роль штучного інтелекту в цифровій трансформації геоінформаційних технологій.

Авторський колектив Butenko та Kulakovskyi свої дослідження присвятили вивченню питання ефективності використання безпілотних літальних апаратів для вирішення різних завдань геодезії та землеустрою [1].

Аналіз наукових праць зарубіжних вчених демонструє активне впровадження штучного інтелекту у фотограмметричні процеси обробки цифрових даних, зокрема в автоматизоване 3D-моделювання, класифікацію об'єктів та опрацювання хмар точок.

У роботі Rongjun Qin та Armin Gruend розглядається застосування машинного навчання для семантичної інтерпретації просторових даних, що дозволяє підвищити точність цифрових моделей місцевості, а саме застосування машинного навчання в різних етапах фотограмметричного процесу: від збору даних і калібрування камер до генерації цифрових моделей поверхні та семантичної інтерпретації. Автори аналізують, як штучний інтелект може автоматизувати традиційно ручні процеси, підвищуючи точність і ефективність 3D-моделювання [16].

Shahad Abbood [15] та колеги аналізують алгоритми глибокого навчання, які оптимізують процеси реконструкції зображень та калібрування у процесі калібрування цифрового сенсора. Їх дослідження відкривають нові можливості для мультисенсорної інтеграції та інтелектуального аналізу зображень.

Стаття Mi Wang [18] обґрунтовує теоретичну основу для переходу до інтелектуальних геоінформаційних систем, де великі моделі відіграють ключову роль у 3D-реконструкції, семантичному аналізі та автоматизації фотограмметричних процесів..

Стаття Fabio Remondino [17] підтверджує, що штучний інтелект здатен автоматизувати складні фотограмметричні завдання, зменшуючи потребу в ручному втручанні. Загалом, ці дослідження свідчать про трансформацію фотограмметрії в напрямку інтелектуальних геоінформаційних систем.

Hlotov і Hunina аналізують можливості застосування безпілотних літальних апаратів у різних видах аерознімальних робіт та їх ефективність [2].

Праці Irschara et al. [3], Remondino et al. [5] та Sauerbier et al. [6] обґрунтовують необхідність повної автоматизації фотограмметричного опрацювання цифрових зображень, отриманих з безпілотних літальних апаратів.

Особливу увагу варто приділити дослідженням авторів Butenko і Poshtar [7] та Rokatajev [9] які досліджують інтеграцію нейромереж до алгоритмів фотограмметричного програмного забезпечення та акцентують увагу на ролі штучного інтелекту в управлінні територіальними комплексами в Україні, особливо підкреслюючи їх потенціал для цифрової трансформації міської інфраструктури.

Практичні аспекти використання штучного інтелекту у процесі аналізу цифрових даних наведено у публікаціях Probesto [10] та Gigacloud [11], де описано принципи машинного навчання та його застосування у геоінформаційних системах.

Таким чином, огляд наукових джерел підтверджує актуальність обраного напрямку наукового дослідження щодо використання штучного інтелекту для автоматизації, підвищення точності та ефективності фотограмметричного опрацювання цифрових даних.

Мета дослідження. Метою статті є дослідження перспектив застосування штучного інтелекту для автоматизації, підвищення точності та оптимізації процесів фотограмметричного опрацювання цифрових знімків.

Матеріали і методи наукового дослідження. У ході наукового дослідження на тему застосування штучного інтелекту при фотограмметричному опрацюванні цифрових даних були використані наступні методи наукового дослідження: аналітичний, абстрактно-логічний, структурно-функціональний та порівняльний.

Аналітичним методом досліджено сучасні технології фотограмметричного опрацювання цифрових знімків, що використовуються для створення ортофотопланів, цифрових моделей рельєфу та тривимірних моделей місцевості.

Абстрактно-логічний метод дозволив оцінити перспективи інтеграції штучного інтелекту у фотограмметричне програмне забезпечення, зокрема алгоритмів глибокого навчання, які сприяють автоматизації процесів класифікації, геометричної корекції та інтерпретації об'єктів.

Структурно-функціональним методом було проаналізовано етапи фотограмметричного опрацювання: покращення знімків, формування та класифікація хмари точок, створення кінцевого продукту у вигляді ортофотоплану місцевості.

Порівняльний метод застосовано для оцінки ефективності використання штучного інтелекту у фотограмметрії порівняно з традиційними підходами, з урахуванням точності, швидкості опрацювання та якості кінцевих даних.

Результати дослідження та їх обговорення. В інформаційних технологіях штучний інтелект – це нейронна мережа систем апаратного або програмного забезпечення, побудована за принципом роботи нейронів у людському мозку. Фактично, це обчислювальна система поступових дій, що ґрунтується на сукупності з'єднаних вузлів, які взаємопов'язані між собою.

У свою чергу сучасна технологія фотограмметричного опрацювання цифрових знімків, формування щільних хмар точок є ключовим етапом для створення високоточних геопросторових та картографічних продуктів, таких як ортофотоплани, цифрові моделі рельєфу та тривимірні моделі місцевості, що знаходять широке застосування в різноманітних галузях, включаючи картографію, землеустрій, екологічний моніторинг, сільське господарство та міське планування [2,3].

Сутність фоторгамметричного опрацювання полягає у використанні цифрових знімків для створення планово-картографічних матеріалів. Основними його етапами виступають: збір та поліпшення зображень, формування щільної хмари точок, її класифікація, створення ортофотоплану та цифрових моделей.

Одним із найбільш перспективних напрямків у цьому контексті є інтеграція технологій штучного інтелекту у програмне забезпечення для фотограмметричного опрацювання даних. Стрімкий прогрес у галузі машинного

навчання, зокрема методів глибокого навчання, відкриває принципово нові можливості для автоматизації складних процесів, підвищення точності розпізнавання та класифікації об'єктів, оптимізації геометричної корекції зображень та загального підвищення ефективності фотограмметричного виробництва [1,10].

До основних етапів інтеграції штучного інтелекту у програми фотограмметричної опрацювання даних відносять: поліпшення вихідних цифрових знімків; формування хмари точок та її поліпшення; класифікація щільної хмари точок; формування кінцевого продукту обробки, ортофотоплану [6,7].

Фотокорекція цифрових зображень є важливим етапом у процесі обробки візуальних матеріалів, спрямованим на поліпшення їхньої якості та усунення різноманітних дефектів. Цей процес складається з кількох послідовних кроків, кожен з яких відіграє свою роль у досягненні бажаного результату.

1. Аналіз зображення: На початковому етапі необхідно ретельно дослідити зображення для виявлення наявних недоліків. До них можуть належати:

2. Помилки експонування: недостатня або надмірна освітленість зображення.

3. Помилки балансу білого: некоректне відображення кольорів, що призводить до їхньої неприродності.

4. Низька контрастність: недостатня різниця між світлими та темними ділянками, що робить зображення тьмяним.

5. Цифровий шум: наявність зернистості або інших артефактів.

6. Геометричні спотворення: викривлення зображення, спричинені особливостями оптики або кутом зйомки.

7. Корекція експозиції: У випадку недостатньої освітленості зображення необхідно збільшити його яскравість. Якщо ж зображення занадто яскраве, слід зменшити цей показник [19].

Одним із прикладів застосування штучного інтелекту у сфері фотограмметрії є програмне забезпечення Luminar Neo від компанії Skylum. Ця програма використовує можливості штучного інтелекту для покращення якості зображень та редагування фотографій [12].

На початковій стадії здійснюється збір необхідних первинних даних, таких як цифрові знімки отримані з безпілотних літальних апаратів. Ключовими вимогами до знімків є їх висока якість, відсутність змазів, тіней та наявність достатнього взаємного перекриття для забезпечення можливості подальшої обробки (Рис.1).



**Рис. 1. Фрагмент неоднорідного цифрового знімка,
що потребує корекції**

Наступним етапом є пошук відповідних точок на знімках на основі ідентифікації спільних характерних точок, які відображені на різних знімках, для встановлення взаємних зв'язків між ними, виконання комплексу геометричних розрахунків для визначення тривимірних координат кожної точки на основі її проекцій на різних знімках, які може поліпшити алгоритм штучного інтелекту [7,11].

На цьому етапі проводиться просторова орієнтація знімків відносно один одного та їх прив'язка до визначеної системи координат. Визначаються параметри, що характеризують положення та кут нахилу кожного знімка в тривимірному просторі. Для виконання цього завдання можуть використовуватися опорні точки, координати яких відомі з високою точністю.

Формування щільної хмари точок, на основі попередньо зорієнтованих знімків, відбувається шляхом піксельного аналізу цифрових знімків. Кількість точок у хмарі визначає рівень деталізації (щільність хмари) та точність створюваної з неї 3D-моделі місцевості [2,7].

Отримана щільна хмара тривимірних точок підлягає подальшому аналізу та опрацюванню. На цьому етапі можуть бути виконані процедури видалення небажаних шумів (Рис. 2.), уточнення просторових координат точок, а також інші операції, спрямовані на підвищення якості кінцевої моделі [1,4,9].

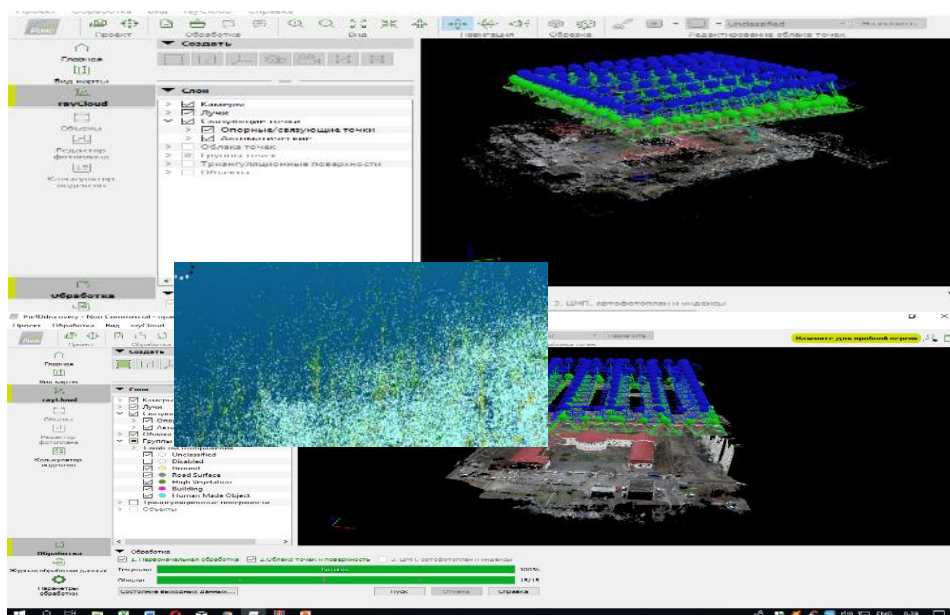


Рис. 2 . Формування щільної хмари точок та її поліпшення шляхом усунення шумів

На основі опрацьованої щільної хмари точок створюється об'ємна модель досліджуваної місцевості. Ця модель може бути використана для широкого спектра завдань, включаючи візуалізацію, проведення різноманітних моделювань геодезичних і землепорядних робіт [1,4].

Використання машинного навчання також сприяє створенню більш деталізованих та інформативних ортофотопланів. Здатність алгоритмів штучного інтелекту аналізувати складні спектральні характеристики об'єктів та враховувати контекстуальну інформацію дозволяє виявляти закономірності та залежності, які можуть бути не помітні при традиційних методах обробки. Це відкриває можливості для отримання не лише геометрично точних, але й

семантично збагачених ортофотопланів, які можуть містити додаткову інформацію про властивості та характеристики об'єктів місцевості.

Незважаючи на значні переваги, застосування машинного навчання у створенні ортофотопланів також пов'язане з певними викликами. Для ефективного навчання алгоритмів потрібні великі обсяги якісних просторових даних, якісна класифікація хмари з детальним поділом хмари за різними класами об'єктів (Рис. 3).



Рис. 3. «Розриви» зображення ортофотоплана при застосуванні різних алгоритмів його побудови

Якість отриманих результатів безпосередньо залежить від якості та репрезентативності даних, а також від правильності вибору та налаштування архітектури моделі машинного навчання [11].

Варто також відзначити, що автоматизація значної частини процесу створення ортофотопланів за допомогою машинного навчання призводить до значного скорочення часу обробки даних та зменшення необхідності у ручній праці. Це особливо актуально при роботі з великими територіями або при необхідності оперативного оновлення картографічної інформації.

Аналізуючи переваги використання штучного інтелекту у програмах фотограмметричного опрацювання даних, доцільно виділити наступні: виявлення специфічних об'єктів на зображеннях, що може бути корисним для визначення конкретних ландшафтних особливостей або структур на цифрових

знімках; покращення якості зображень шляхом видалення шуму, покращення контрасту або відновлення втрачених деталей; швидке створення ортофотопланів та 3D-моделей на основі хмар точок; класифікація зображень на основі їх вмісту для автоматичного визначення типу місцевості або ідентифікації конкретних об'єктів; семантична сегментація зображень, що дозволяє визначати, до якого виду належить кожен піксель зображення.

Висновки. Інтеграція штучного інтелекту у фотограмметричні технології відкриває нові можливості для підвищення ефективності та точності обробки цифрових даних. Використання нейромереж дозволяє автоматизувати ключові етапи процесу, що раніше вимагали значних людських ресурсів, а також значно покращує точність визначення об'єктів на знімках. Це позитивно впливає на якість кінцевих геопросторових продуктів, таких як ортофотоплани та 3D-моделі. Штучний інтелект забезпечує можливість аналізу великих обсягів даних, класифікації об'єктів та виправлення геометричних викривлень, що підвищує загальну ефективність фотограмметричного виробництва. Водночас для досягнення високих результатів необхідно забезпечити достатні обсяги якісних даних та коректну архітектуру моделей машинного навчання.

Попри значні досягнення, слід зазначити, що інтеграція штучного інтелекту у фотограмметричне опрацювання даних все ще перебуває на етапі активного розвитку і потребує вдосконалення.

Список використаних джерел

1. Butenko E., Kulakovskiy O. Zastosuvannia bezpilotnykh litaiuchukh system pry vyrishenni zadach zemleustroi [The use of unmanned flying systems to solve the land management problems]. Land Management, Cadastre and Land Monitoring, 2018, 4, С. 68-73 DOI: <http://doi.org/10.31548/zemleustriy2018.04.09>.

2. Hlotov, V., Hunina, A. Analiz mozhlyvostei zastosuvannia bezpilotnykh litalnykh aparativ dlia aeroznimalnykh protsesiv [Analysis of the possibility of using unmanned aerial vehicles for surveying processes]. Fotogrammetriia, heoinformatsiini

systemy ta kartohrafiia, 2014. URL: <http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/25100/1/16-65-70.pdf> (дата звернення: 20.10.2025).

3. Irschara, A., Kaufmann, V., Klopschitz, M., Bischof, H., Leberl, F. Towards fully automatic photogrammetric reconstruction using digital images taken from UAVs. Proc. ISPRS Symposium, 100 Years ISPRS - Advancing Remote Sensing Science, 2010.

4. Dorosh, O., Butenko, Y., Kolisnyk, H., Dorosh, A., Kupriianchyk, I. The use of UAVs: development, perspectives and application. AgroLife Scientific Journal, 2021, 10(2), 172-182. DOI: <https://doi.org/10.17930/AGL202127>

5. Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M. UAV photogrammetry for mapping and 3D modelling - Current status and future perspectives. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2011, XXXVIII-1/C22. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-25-2011>.

6. Sauerbier, M., Siegrist, E., Eisenbeiss, H., Demir, N. The practical application of UAV-based photogrammetry under economic aspects. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2012, XXXVIII-1/C22. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-45-2011>.

7. Бутенко Є. В., Поштар А. М. Інтеграція нейромереж у програми фотограмметричної обробки. Сучасні виклики в управлінні земельними ресурсами: матеріали І Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 7 червня 2024 р.). Київ: Редакційно-видавничий відділ НУБіП України, 2024, С. 152-155. URL: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u254/materiali_i_mizhnarodnoyi_naukovo_pra ktichnoyi_konferenciyi_suchasni.pdf (дата звернення: 20.10.2025).

8. Vacca, G., Furfaro, G., Dessi, A. The use of the UAV images for the building 3D model generation. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2018, XLII-4/W8. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W8-217-2018>.

9. Покатаєв П. Інтеграція штучного інтелекту в управління процесами урбанізації в Україні. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Публічне управління та адміністрування. Том 34 (73), 2021, С. 203-207.

10. Посібник з використання штучного інтелекту в аналізі даних - Probesto. URL: <https://probesto.com/ua/посібник-з-використання-штучного-інт/> (дата звернення: 3.11.2025).

11. Що таке машинне навчання: як працює та де використовується. URL: <https://gigacloud.ua/articles/shho-take-mashynne-navchannya-yak-praczuuye-ta-de-vykorystovuyetsya/> (дата звернення: 20.10.2025).

12. Бутенко Є. В., Красносільська А. А. Інтеграція штучного інтелекту у процеси фотограмметричної обробки даних // Сучасні виклики в управлінні земельними ресурсами: матеріали І міжнар. наук.-практ. конф. — Київ: НУБіП України, 2024., С. 45–48. URL: <https://dglb.nubip.edu.ua/items/2ca7fb75-65b8-496d-9aa3-64bdaaccd0ab>

13. Шевченко А. І., та ін. Стратегія розвитку штучного інтелекту в Україні. Монографія. - Київ: ІПШ, 2023. 305 с. URL: https://jai.in.ua/index.php/en/issues?paper_num=1545

14. Гуралюк А. Штучний інтелект як інноваційна технологія в педагогічних дослідженнях // Вісник НАПН України. - 2023, №18, С. 67–79. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/739798/1/VNIASO-AHS%20of%20Edu%26Sci-RB-18-2023-67-79.pdf>

15. Abbood S. A., et al. Artificial intelligence techniques in photogrammetry application: A review // AIP Conference Proceedings. 2024, Vol. 3105. Article 050057. URL: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article/3105/1/050057/3308891>

16. Qin, R., Gruen, A. The role of machine intelligence in photogrammetric 3D modeling – an overview and perspectives // International Journal of Digital Earth. – 2021. – Vol. 14, No. 1., С. 15–31. – URL: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/17538947.2020.1805037>

17. Remondino F., Qin R. Photogrammetry Meets AI — Special Issue // Remote Sensing. — MDPI. URL: https://www.mdpi.com/journal/remotesensing/special_issues/W5GGJN7OUH
18. Wang M., et al. Large Models Enabling Intelligent Photogrammetry // Acta Geodaetica et Cartographica Sinica. — 2024. URL: <http://xb.chinasmp.com/EN/10.11947/j.AGCS.2024.20240068>
19. Григор'єв О. В., Колесникова Т. А., Яценко Л. О. Корекція колірного балансу цифрового зображення на основі статистичних характеристик // Харківський національний університет радіоелектроніки. URL: <https://openarchive.nure.ua/bitstreams/f29af054-3ef7-4e08-980e-9b999b12ef67/download>

References

1. Butenko, E., & Kulakovskiy, O. (2018). Zastosuvannia bezpilotnykh litaiuchukh system pry vyrishenni zadach zemleustroi [The use of unmanned flying systems to solve the land management problems]. *Land Management, Cadastre and Land Monitoring*, 4, 68-73. DOI: <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2018.04.09>
2. Hlotov, V., & Hunina, A. (2014). Analiz mozhlyvostei zastosuvannia bezpilotnykh litalnykh aparativ dlia aeroznimalnykh protsesiv [Analysis of the possibility of using unmanned aerial vehicles for surveying processes]. *Fotogrammetriia, heoinformatsiini systemy ta kartohrafiia*. Available at: <http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/25100/1/16-65-70.pdf>
3. Irschara, A., Kaufmann, V., Klopschitz, M., Bischof, H., & Leberl, F. (2010). Towards fully automatic photogrammetric reconstruction using digital images taken from UAVs. In *Proceedings of ISPRS Symposium, 100 Years ISPRS - Advancing Remote Sensing Science*.
4. Dorosh, O., Butenko, Y., Kolisnyk, H., Dorosh, A., & Kupriianchuk, I. (2021). The use of UAVs: development, perspectives and application. *AgroLife Scientific Journal*, 10(2), 172–182. DOI: <https://doi.org/10.17930/AGL202127>

5. Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., & Scaioni, M. (2011). UAV photogrammetry for mapping and 3D modelling – Current status and future perspectives. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII-1/C22. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-25-2011>
6. Sauerbier, M., Siegrist, E., Eisenbeiss, H., & Demir, N. (2012). The practical application of UAV-based photogrammetry under economic aspects. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII-1/C22. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-45-2011>
7. Butenko, Ye. V., & Poshtar, A. M. (2024). *Intehratsiia neiromerezh u prohramy fotogrammetrychnoi obrobky* [Integration of neural networks into photogrammetric processing programs]. In *Suchasni vyklyky v upravlinni zemelnymy resursamy: Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference* (Kyiv, June 7, 2024) (pp. 152–155). Kyiv: Editorial and Publishing Department of NUBiP of Ukraine. Available at: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u254/materiali_i_mizhnarodnoyi_naukovo_pra ktichnoyi_konferenciyi_suchasni.pdf
8. Kyiv: Editorial and Publishing Department of NUBiP of Ukraine. Available at: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u254/materiali_i_mizhnarodnoyi_naukovo_pra ktichnoyi_konferenciyi_suchasni.pdf
9. Pokataiev, P. (2021). *Intehratsiia shtuchnoho intelektu v upravlinnia protsesamy urbanizatsii v Ukraini* [Integration of artificial intelligence into urbanization process management in Ukraine]. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Taurida National University. Series: Public Administration and Administration*, 34(73), 203–207.
10. Probesto. (n.d.). *Guide to using artificial intelligence in data analysis*. Available at: <https://probesto.com/ua/posibnyk-z-vykorystannia-shtuchnoho-int/>

11. Gigacloud. (n.d.). *What is machine learning: how it works and where it is used*. Available at: <https://gigacloud.ua/articles/shho-take-mashynne-navchannya-yak-praczyuye-ta-de-vykorystovuyetsya/>
12. Butenko, Ye. V., & Krasnosilska, A. A. (2024). *Intehratsiia shtuchnoho intelektu u protsesy fotogrammetrychnoi obrobky danykh* [Integration of artificial intelligence into photogrammetric data processing]. In *Suchasni vyklyky v upravlinni zemelnymy resursamy: Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference*. 45–48. Kyiv: NUBiP of Ukraine. Available at: <https://dglib.nubip.edu.ua/items/2ca7fb75-65b8-496d-9aa3-64bdaaccd0ab>
13. Shevchenko, A. I., et al. (2023). *Stratehiia rozvytku shtuchnoho intelektu v Ukraini* [Strategy for the development of artificial intelligence in Ukraine]. Monograph. Kyiv: IPSHI. Available at: https://jai.in.ua/index.php/en/issues?paper_num=1545
14. Huraliuk, A. (2023). *Shtuchnyi intelekt yak innovatsiina tekhnolohiia v pedahohichnykh doslidzhenniakh* [Artificial intelligence as an innovative technology in pedagogical research]. *Visnyk NAPN Ukrainy*, (18), 67–79. Available at: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/739798/1/VNIASO-AHS%20of%20Edu%26Sci-RB-18-2023-67-79.pdf>
15. Abbood, S. A., et al. (2024). Artificial intelligence techniques in photogrammetry application: A review. *AIP Conference Proceedings*, 3105, Article 050057. Available at: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article/3105/1/050057/3308891>
16. Qin, R., & Gruen, A. (2021). The role of machine intelligence in photogrammetric 3D modeling – an overview and perspectives. *International Journal of Digital Earth*, 14(1), 15–31. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/17538947.2020.1805037>
17. Remondino, F., & Qin, R. (Eds.). (n.d.). *Photogrammetry meets AI – Special Issue. Remote Sensing*. MDPI. Available at: https://www.mdpi.com/journal/remotesensing/special_issues/W5GGJN7OUH
18. Wang, M., Cheng, X., Pan, J., Pi, Y., & Xiao, J. (2024). Large models enabling intelligent photogrammetry. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*,

53(10), 1955–1966. Available at:
<http://xb.chinasmp.com/EN/10.11947/j.AGCS.2024.20240068>

19. Hryhoriev, O. V., Kolesnykova, T. A., & Yatsenko, L. O. (n.d.). *Korektsiia kolirnoho balansu tsyfrovoho zobrazhennia na osnovi statystychnykh kharakterystyk* [Correction of digital image color balance based on statistical characteristics]. Kharkiv National University of Radio Electronics. Available at: <https://openarchive.nure.ua/bitstreams/f29af054-3ef7-4e08-980e-9b999b12ef67/download>

Ye. Butenko, A. Volontyr, O. Kutsenko

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PHOTOGRAMMETRIC PROCESSING OF DIGITAL DATA

The article considers the impact of artificial intelligence neural network algorithms on the process of photogrammetric processing of digital images and the formation of dense point clouds.

It is noted that the integration of machine learning algorithms, in particular deep learning, allows you to automate key processing stages, increase the accuracy of object classification, optimize geometric correction of images and improve the quality of final geospatial products in the form of an orthophotomap of the terrain.

The main stages of the photogrammetric process are described: from collecting primary data to forming orthophotomaps and three-dimensional terrain models. Particular attention is paid to the role of the neural network in improving the density of the point cloud due to the correct interpretation of points on digital images, object classification and reducing the influence of the human factor.

The challenges associated with the need for large volumes of high-quality training data are identified. The prospects for the application of artificial intelligence neural networks in photogrammetry and the need for further research in this direction are substantiated.

Keywords: neural network, artificial intelligence, photogrammetry, machine learning, point cloud, orthophotomap, 3D model, digital image.