

ISSN 2786-5460 (Print)  
ISSN 2786-5479 (Online)

МІЖРЕГІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛОМ  
INTERREGIONAL ACADEMY OF PERSONNEL MANAGEMENT



# ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СУСПІЛЬСТВО

## INFORMATION TECHNOLOGY AND SOCIETY

Випуск 4 (19), 2025  
Issue 4 (19), 2025



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2025

*Рекомендовано до друку Вченою радою  
Міжрегіональної Академії управління персоналом  
(протокол № 11 від 10 грудня 2025 року)*

**Інформаційні технології та суспільство** / [головний редактор І. Остроумов]. – Київ : Міжрегіональна Академія управління персоналом, 2025. – Випуск 4 (19). – 222 с.

Журнал «Інформаційні технології та суспільство» є науковим рецензованим виданням, в якому здійснюється публікація матеріалів науковців різних рівнів у вигляді наукових статей з метою їх поширення як серед вітчизняних дослідників, так і за кордоном.

Редакційна колегія не обов'язково поділяє позицію, висловлену авторами у статтях, та не несе відповідальності за достовірність наведених даних і посилань.

**Головний редактор: Остроумов І. В.** – д-р техн. наук, професор, професор кафедри комп'ютерних інформаційних систем і технологій, Міжрегіональна Академія управління персоналом

**Редакційна колегія:**

**Василенко М. Д.** – д-р фіз.-мат. наук, проф., професор кафедри кібербезпеки, Національний університет «Одеська юридична академія»; **Горбов І. В.** – канд. техн. наук, с.н.с., старший науковий співробітник, Інститут проблем реєстрації інформації НАН України; **Дуднік А. С.** – д-р техн. наук, доц., доцент кафедри мережних та інтернет технологій, Київський національний університет імені Тараса Шевченка; **Євсєєв С. П.** – д-р техн. наук, лауреат національної премії імені Патона 2024 р., професор кафедри кібербезпеки, Національний технічний університет «ХПІ»; **Зибін С. В.** – д-р техн. наук, доц., завідувач кафедри інженерії програмного забезпечення, Національний авіаційний університет; **Кавун С. В.** – д-р екон. наук, канд. техн. наук, проф., завідувач кафедри комп'ютерних інформаційних систем та технологій, Міжрегіональна Академія управління персоналом; **Комарова Л. О.** – д-р техн. наук, с.н.с., директор Навчально-наукового інституту інформаційної безпеки та стратегічних комунікацій, Національна академія Служби безпеки України; **Охріменко Т. О.** – канд. техн. наук, старший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії протидії кіберзагрозам в авіаційній галузі, Національний авіаційний університет; **Попов О. О.** – член-кор. НАН України, д-р техн. наук, професор, в.о. директора Центру інформаційно-аналітичного та технічного забезпечення моніторингу об'єктів атомної енергетики Національної академії наук України; **Рудніченко М. Д.** – канд. техн. наук, доц., доцент кафедри інформаційних технологій, Державний університет «Одеська політехніка»; **Скуратовський Р. В.** – канд. фіз.-мат. наук, доц., доцент кафедри обчислювальної математики та комп'ютерного моделювання, Міжрегіональна Академія управління персоналом; **Супрун О. М.** – канд. фіз.-мат. наук, доц., доцент кафедри програмних систем і технологій, Київський національний університет імені Тараса Шевченка; **Табунщик Г. В.** – канд. техн. наук, проф., професор кафедри програмних засобів, Національний університет «Запорізька політехніка»; **Фомін О. О.** – д-р техн. наук, доц., професор кафедри комп'ютеризованих систем управління, професор кафедри прикладної математики та інформаційних технологій, Державний університет «Одеська політехніка»; **Хохлячова Ю. Є.** – канд. техн. наук, доц., доцент кафедри безпеки інформаційних технологій, Національний авіаційний університет; **Чолишкіна О. Г.** – канд. техн. наук, доц., доцент кафедри Інтелектуальних технологій, Київський національний університет імені Тараса Шевченка; **Чорний О. П.** – доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту електричної інженерії та інформаційних технологій, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського; **Юдін О. К.** – д-р техн. наук, проф., директор центру кібербезпеки Навчально-наукового інституту інформаційної безпеки та стратегічних комунікацій, Національна академія Служби безпеки України; **Гопеснко Віктор** – dr. sc. ing., проф., проректор з наукової роботи, директор навчальної програми магістратури «Комп'ютерні системи», Університет прикладних наук ISMA (Латвійська Республіка); **Leszczyna Rafal** – dr hab. inż., професор кафедри комп'ютерних наук у менеджменті, Гданський технологічний університет (Республіка Польща); **Ivannikova Viktoriia** – Дублінський міський університет (Республіка Ірландія).

*Реєстрація суб'єкта у сфері друкованих медіа:*

*Рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення № 1173 від 11.04.2024 року.  
Ідентифікатор медіа: R30-03890*

*Суб'єкт у сфері друкованих медіа – Приватне акціонерне товариство «Вищий навчальний заклад «Міжрегіональна Академія управління персоналом» (вул. Фрометівська, буд. 2, м. Київ, 03039, iart@iart.edu.ua, тел. (044) 490-95-00).*

*Мова видання: українська, англійська, німецька, французька та польська.  
Періодичність видання: 4 рази на рік.*

Відповідно до Наказу МОН України № 1290 від 30 листопада 2021 року (додаток 3) журнал включено до Переліку наукових фахових видань України (категорія Б) зі спеціальностей F2 – Інженерія програмного забезпечення; F3 – Комп'ютерні науки; F4 – Системний аналіз та наука про дані; F5 – Кібербезпека та захист інформації; F6 – Інформаційні системи і технології; F7 – Комп'ютерна інженерія.

Усі електронні версії статей журналу оприлюднюються на офіційній сторінці видання  
<http://journals.maup.com.ua/index.php/it>

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення  
StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

*Recommended for publication  
by Interregional Academy of Personnel Management  
(Minutes No. 11 dated 10 December 2025)*

**Information Technology and Society** / [chief editor Ivan Ostroumov]. – Kyiv : Interregional Academy of Personnel Management, 2025. – Issue 4 (19). – 222 p.

Journal «Information Technology and Society» is a peer-reviewed scientific edition, which publishes materials of scientists of various levels in the form of scientific articles for the purpose of their dissemination both among domestic researchers and abroad.

Editorial board do not necessarily reflect the position expressed by the authors of articles, and are not responsible for the accuracy of the data and references.

**Chief editor: Ivan Ostroumov** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Computer Information Systems and Technologies, Interregional Academy of Personnel Management

**Editorial Board:**

**Mykola Vasylenko** – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Professor at the Department of Cybersecurity, National University «Odesa Law Academy»; **Ivan Horbov** – PhD in Engineering, Senior Research Associate, Senior Research Fellow, Institute for Information Recording of NAS of Ukraine; **Andrii Dudnik** – Doctor of Engineering, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Networking and Internet Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv; **Serhii Yevseiev** – Doctor of Engineering, laureate of the 2024 National Prize of Ukraine named after Borys Paton, Professor at the Department of Cybersecurity, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”; **Serhii Zybin** – Doctor of Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Software Engineering, National Aviation University; **Serhii Kavun** – Doctor of Economics, PhD in Engineering, Professor, Head of the Department of Computer Information Systems and Technologies Interregional Academy of Personnel Management; **Larysa Komarova** – Doctor of Engineering, Senior Research Scientist, Laureate of State Prize, Director of Educational-Scientific Institute of Information Security and Strategic Communications, National Academy of the Security Service of Ukraine; **Tetiana Okhrimenko** – PhD in Engineering, Senior Research Scientist at the Scientific Research Laboratory for Countering Aviation Cyberthreats, National Aviation University; **Oleksandr Popov** – Corresponding Member of NAS of Ukraine, Doctor of Engineering, Professor, Acting Director of the Center for Information-Analytical and Technical Support of Nuclear Power Facilities Monitoring of the National Academy of Sciences of Ukraine; **Mykola Rudnichenko** – PhD in Engineering, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Information Technologies, Odessa Polytechnic State University; **Ruslan Skuratovskyi** – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Computational Mathematics and Computer Modeling, Interregional Academy of Personnel Management; **Olha Suprun** – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Software Systems and Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv; **Halyna Tabunshchik** – PhD in Engineering, Professor, Professor at the Department of Software Tools, “Zaporizhzhia Polytechnic” National university; **Oleksandr Fomin** – Doctor of Engineering, Associate Professor, Professor at the Department of Computerized Control Systems, Professor at the Department of Applied Mathematics and Information Technologies, Odessa Polytechnic State University; **Yuliia Khokhlachova** – PhD in Engineering, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Information Technology Security, National Aviation University; **Olha Cholyshkina** – PhD in Engineering, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Intellectual Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv; **Oleksii Chorny** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Educational and Scientific Institute of Electrical Engineering and Information Technologies, Kremenchuk National University named after Mykhailo Ostrogradskyi; **Oleksandr Yudin** – Doctor of Engineering, Professor, Director of the Cybersecurity Center of the Educational-Scientific Institute of Information Security and Strategic Communications, National Academy of the Security Service of Ukraine; **Hopeienko Viktor** – dr. sc. ing., Professor, Vice Rector for Research, Director of the study programme “Computer systems”, ISMA University of Applied Sciences (Republic of Latvia); **Leszczyna Rafal** – dr hab. inż., Profesor, Katedra Informatyki w Zarządzaniu, Politechnika Gdańska (Republic of Poland); **Ivannikova Viktoriia** – Dublin City University (Ireland).

*Registration of Print media entity:*

*Decision of the National Council of Television and Radio Broadcasting of Ukraine: Decision No. 1173 as of 11.04.2024.  
Media ID: R30-03890*

*Media entity – Private Joint-Stock Company «Higher education institution «Interregional Academy of Personnel Management» (03039, Kyiv, Frometivska str., 2, iapm@iapm.edu.ua, tel. (044) 490-95-00).*

*Language of publication: Ukrainian, English, German, French, and Polish.  
Periodicity: 4 times a year.*

According to the Decree of MES No. 1290 (Annex 3) dated November 30, 2021, the journal was included in the List of scientific professional publications of Ukraine (category B) in specialties F2 – Software Engineering; F3 – Computer Sciences; F4 – Systems Analysis and Data Science; F5 – Cybersecurity and Data Protection; F6 – Information Systems and Technologies; F7 – Computer Engineering.

All electronic versions of articles in the collection are available on the official website edition  
<http://journals.maup.com.ua/index.php/it>

The articles were checked for plagiarism using the software  
StrikePlagiarism.com developed by the Polish company Plagiat.pl.

## ЗМІСТ

**Павло БАЛИЧ**

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ  
ТА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У СФЕРІ ЛОГІСТИКИ ПОСТАЧАННЯ .....8

**Володимир БРОДКЕВИЧ, Олександр ЧЕРНІЧЕНКО**

РОЗРОБКА ВЕБ-ДОДАТКУ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ЗАДАЧАМИ  
З РЕАЛІЗАЦІЄЮ АЛГОРИТМІВ ПРІОРИТИЗАЦІЇ ТА СОРТУВАННЯ .....13

**Тетяна ВАКАЛЮК, Микола ФАНТ, Денис ФУРІХАТА, Олег ВЛАСЕНКО, Вадим КОЛОМІЄЦЬ**

ОГЛЯД НАЯВНИХ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ ДАНИХ  
ДЛЯ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ ВСТАНОВЛЕННЯ ПОПИТУ ТОВАРІВ .....23

**Анастасія ВОЗНИЦЯ**

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ AGILE-МЕНЕДЖМЕНТУ ЗА ДОПОМОГОЮ N8N:  
СТВОРЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ЕКОСИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ .....29

**Владислав ГОЛЕЦЬ, Ганна САРИБОГА**

ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ТА МОНІТОРИНГУ  
СТАНУ ВИРОБНИЧОГО ОБЛАДНАННЯ НА ОСНОВІ АЛГОРИТМІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ .....33

**Галина ГРИГОРЧУК, Любомир ГРИГОРЧУК, Оксана ГРИГОРЧУК**

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СУШІННЯ УТФЕЛЮ В БАРАБАННІЙ СУШАРЦІ .....39

**Наталія ДОЦЕНКО, Ярослав ЛУЦІВ**

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТРАНСФОРМАЦІЇ  
ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ЛЮДСЬКИМИ РЕСУРСАМИ В МУЛЬТИПРОЄКТНОМУ СЕРЕДОВИЩІ .....45

**Віталій ЖЕПЛІНСЬКИЙ, Михайло ЛУЧКЕВИЧ**

ГІБРИДНА МОДЕЛЬ ГЕНЕРАЦІЇ ТЕСТОВИХ СЦЕНАРІЇВ НА ОСНОВІ LLM ТА АНАЛІЗУ ІСТОРІЇ ДЕФЕКТІВ .....50

**Ганна ЗАВГОРОДНЯ, Валерій ЗАВГОРОДНІЙ**

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОВЕДІНКИ ГРАВЦІВ У МОБІЛЬНИХ ІГРАХ  
НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ .....55

**Вадим ЗЮЗЮН, Анастасія АВРАМЕЦЬ**

МОДЕЛЬ ТА КРИТЕРІЙ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ СПОВІЩЕНЬ  
ДЛЯ ІТ-ФАХІВЦІВ .....61

**Юлія КАМЕНЕЦЬКА, Роман АРТЕМЕНКО, Аліна КОВАЛЬ**

AI-РЕФЕРЕНСИ ЯК ІНСТРУМЕНТ ФОРМУВАННЯ ВІЗУАЛЬНОГО СТИЛЮ У ЦИФРОВОМУ ДИЗАЙНІ .....68

**Alia KARITON, Tamara FRANCHUK, Dmytro TYSHCHENKO, Alona DESIATKO, Maksym SVYSTUN**

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF IOS 26 .....74

**Світлана КАШКЕВИЧ, Олена НЕЧИПОРУК, Наталія АПЕНЬКО, Ірина БРАНОВИЦЬКА**

МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ НА ОСНОВІ ПОВЕДІНКИ ЗМІЙ В СИСТЕМАХ ОБМІНУ ДАНИМИ БПЛА .....78

**Наталія КІЦЕЛЬ, Євген ВОЛКАНІН, Оксана БОРИСЕНКО, Валерій МАТВЄЄВ, Володимир МАЛЬОВАНІЙ**

КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ШКІДЛИВИХ ПРОГРАМ: ПІДХОДИ, ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ .....83

**Олександр КОРНІЙЧУК, Марина ГРАФ**

МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕДУРИ ВИБОРУ ПЕРЕМОЖЦЯ В СИСТЕМАХ ПУБЛІЧНИХ ЗАКУПІВЕЛЬ  
ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ РИЗИКУ .....88

**Олександр ЛАСТІВКА**

МЕТОД ОБРОБКИ РІЗНОТИПНИХ ДАНИХ В КАНАЛІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ БПЛА .....94

**Дмитро МАРЧУК**

АНАЛІЗ МЕТОДІВ СТИСНЕННЯ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ  
ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО РОЗГОРТАННЯ У СЕРЕДОВИЩІ EDGE AI .....98

|                                                                                                                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Юрій МАСЛОВ, Юрій БОРЗУНОВ</b><br>АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ У ТРАНСПОРТНИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМАХ<br>НА БАЗІ ІОТ-ТЕХНОЛОГІЙ .....                                                                                       | 106 |
| <b>Valerii MYKHAILOV</b><br>AN OVERVIEW OF THE CURRENT STATE AND FUTURE PROSPECTS<br>OF RESPIRATORY GAS SUPPLY MANAGEMENT SYSTEMS .....                                                                                     | 113 |
| <b>Руслан МОРОЗОВ, Володимир ДОНЕЦЬ</b><br>РОЗРОБКА МЕТОДУ RAG ДЛЯ НАДАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ КОРИСТУВАЧАМ .....                                                                                                       | 121 |
| <b>Євген ПАТЛАНЬ, Ірина БІЛОУС</b><br>МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОЇ МІГРАЦІЇ ДАНИХ МІЖ ВАРІАНТАМИ СХОВИЩ<br>У СИСТЕМАХ З БАГАТОВАРІАНТНОЮ ПЕРСИСТЕНТНІСТЮ .....                                                                     | 129 |
| <b>Дмитро ПЕРСУНОВ</b><br>ТЕХНОЛОГІЯ КОНТРОЛЮ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ЦІЛІСНОСТІ ДАНИХ У РОЗПОДІЛЕНИХ СХОВИЩАХ.....                                                                                                                  | 140 |
| <b>Сергій РЕВА, Денис ЦИБЛІЄВ</b><br>РОЗРОБКА МЕТОДУ КОМП'ЮТЕРНОГО АНАЛІЗУ ПАРАМЕТРІВ СПЕКТРОМЕТРИЧНИХ СИГНАЛІВ<br>З ВИКОРИСТАННЯМ ДИСКРЕТНИХ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕНЬ .....                                                     | 144 |
| <b>Микита СМОЛЕНСЬКИЙ, Євген СІДЕНКО</b><br>ФОРМАЛІЗАЦІЯ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ ДО ЗАСОБІВ РАДІОЧАСТОТНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЯ<br>В КОНТЕКСТІ ПОКРАЩЕННЯ ПРОЦЕСУ НАДАННЯ МЕДИЧНИХ ПОСЛУГ .....                                            | 154 |
| <b>Андрій СУДИН, Лукаш СЦІСЛО, Андрій ПЕРЕКРЕСТ, Юрій ОНИЩЕНКО</b><br>ГІБРИДНА НЕЙРОМЕРЕЖЕВА МОДЕЛЬ ВИЯВЛЕННЯ ТА КІЛЬКІСНОЇ ОЦІНКИ РИЗИКУ<br>ТАРГЕТОВАНИХ АТАК НА SCADA/ICS СИСТЕМИ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ..... | 162 |
| <b>Ольга СУПРУН, Мар'яна МУСІЙОВСЬКА, Тетяна ЛАВРИК</b><br>ВИКОРИСТАННЯ СТЕГANOГРАФІЧНИХ ПРОТОКОЛІВ У ЗАХИСТІ ВІДЕОДАНИХ<br>В УМОВАХ ІНФОРМАЦІЙНИХ АТАК.....                                                                | 170 |
| <b>Олег ТИЩЕНКО</b><br>РЕГУЛЯТОРНІ ПІДХОДИ ДО ВИКОРИСТАННЯ БПЛА: МОДЕЛІ ЗОНУВАННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ ..                                                                                                                   | 177 |
| <b>Олександр ХОМЕНКО, Олександр КОВАЛЬ</b><br>АНАЛІЗ СЦЕНАРІЇВ КАСКАДНИХ ЕФЕКТІВ В КРИТИЧНІЙ ІНФРАСТРУКТУРІ<br>НА ОСНОВІ ГРАФОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ .....                                                                     | 182 |
| <b>Євгеній ЧИЧИКАЛО, Віра ШЕНДРИК</b><br>ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ МОНІТОРИНГУ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ<br>ДЛЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА .....                                             | 191 |
| <b>Ірина ЧУБ, Катерина ДЕМЧЕНКО, Сергій ТИМЧУК</b><br>АВТОМАТИЗОВАНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ БІОЕСТИМАТОРІВ АКТИВНОГО МУЛУ<br>НА ОСНОВІ МЕРЕЖЕВОЇ МОДЕЛІ YOLOV8 .....                                                                 | 199 |
| <b>Лідія ШТАЄР, Наталія ВОЗНА, Володимир ГРИГА, Леся МИЧУДА, Оксана БЕЛЕЙ</b><br>ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ АКУСТИЧНОГО МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ВИТОКІВ<br>ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ЕНТРОПІЙНИХ ТА РЕЛЯЦІЙНИХ ОЗНАК .....                      | 206 |
| <b>Ігор КОЛІСНИК, Андрій ДУДНІК, Дарина ЯРЕМЕНКО, Владислав ФЕСЕНКО</b><br>МЕТОДИ РОЗПІЗНАВАННЯ ТА СЕГМЕНТАЦІЇ АЕРОФОТО ДЛЯ ЦИФРОВИХ КАРТ .....                                                                             | 214 |

УДК 004.8

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2025.4.32>

**Ігор КОЛІСНИК**

аспірант кафедри комп'ютерно-інформаційних систем і технологій,  
ПрАТ «ВНЗ «Міжрегіональна Академія управління персоналом»,  
[ihorko95@gmail.com](mailto:ihorko95@gmail.com)  
ORCID: 0009-0007-7113-7652

**Андрій ДУДНИК**

доктор технічних наук, доцент,  
професор кафедри мережесих та інтернет технологій,  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
[a.s.dudnik@gmail.com](mailto:a.s.dudnik@gmail.com)  
ORCID: 0000-0001-5725-5942

**Дарина ЯРЕМЕНКО**

аспірант кафедри комп'ютерно-інформаційних систем і технологій,  
ПрАТ «ВНЗ «Міжрегіональна Академія управління персоналом», [dashayaremenko17@gmail.com](mailto:dashayaremenko17@gmail.com)  
ORCID: 0000-0002-6294-9698

**Владислав ФЕСЕНКО**

доктор філософії, науковий співробітник,  
Державний науково-дослідний інститут технологій кібербезпеки та захисту інформації, [fes\\_vlad@ukr.net](mailto:fes_vlad@ukr.net)  
ORCID: 0000-0002-8933-9291

**МЕТОДИ РОЗПІЗНАВАННЯ ТА СЕГМЕНТАЦІЇ АЕРОФОТО ДЛЯ ЦИФРОВИХ КАРТ**

**Анотація.** У статті розглянуто методологію розпізнавання та сегментації аерофотознімків із метою автоматизації нанесення будівель та споруд на карти OpenStreetMap (OSM). Актуальність дослідження обумовлена необхідністю зменшення ручної праці волонтерів, які наповнюють базу даних OSM, та підвищення точності просторового відображення об'єктів. Для досягнення поставленої мети автором створено власний датасет, що містить супутникові зображення населених пунктів центральної та західної України з географічною прив'язкою, масками будівель та роздільною здатністю близько 0,6 м/піксель.

У роботі проведено порівняння трьох моделей глибокого навчання для розпізнавання об'єктів: GeoAI (ResNet-34), YOLO v8m та YOLO v8n. Навчання здійснювалось у 200 епох із поділом даних у співвідношенні 80/20. За результатами експериментів, найкращу узагальнену точність показала модель YOLO v8m (Precision  $\approx 0.797$ , mAP50  $\approx 0.777$ ), тоді як GeoAI мала нижчі значення IoU = 0.63 та Dice = 0.68. Водночас легша модель YOLO v8n виявила вищу чутливість до дрібних об'єктів, що пояснюється меншою кількістю параметрів і ширшим полем сприйняття.

Окрему увагу приділено постобробці результатів сегментації – ортогоналізації контурів виявлених споруд і перетворенню даних у формат geoJSON, сумісний з екосистемою OSM. Запропоновано алгоритм спрощення полігонів до 4–10 вершин із мінімальною втратою форми для підвищення ефективності нанесення об'єктів на мапу.

Отримані результати підтверджують доцільність використання моделей глибокого навчання для автоматизації картографічних процесів. Запропонований підхід може бути основою для створення сервісу, який автоматично генеруватиме шари будівель на OSM за координатами обраної ділянки, що значно оптимізує процес оновлення картографічних даних та підвищить їхню якість.

**Ключові слова:** аерофотознімки, розпізнавання об'єктів, сегментація зображень, YOLO v8, GeoAI, OpenStreetMap (OSM), глибоке навчання, геоінформаційні системи, автоматизація картографування, ортогоналізація полігонів, geoJSON.

**Ihor KOLISNYK, Andriy DUDNIK, Daryna YAREMENKO, Vladyslav FESENKO. AERIAL PHOTOGRAPH RECOGNITION AND SEGMENTATION METHODS FOR DIGITAL MAPS**

**Abstract.** The article examines the methodology of recognition and segmentation of aerial photographs with the aim of automating the mapping of buildings and structures on OpenStreetMap (OSM). The relevance of the research is determined by the need to reduce the manual work of volunteers who fill the OSM database and to increase the accuracy of spatial object representation. To achieve this goal, the author created a custom dataset containing satellite images of settlements in central and western Ukraine with geographic reference, building masks, and a spatial resolution of approximately 0.6 m/pixel.

The study compares three deep learning models for object recognition: GeoAI (ResNet-34), YOLO v8m, and YOLO v8n. The training was conducted for 200 epochs with an 80/20 data split. According to the experimental results, the YOLO v8m model

© І. Колісник, А. Дуднік, Д. Яременко, В. Фесенко, 2025

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

showed the best generalized accuracy (Precision  $\approx 0.797$ , mAP50  $\approx 0.777$ ), while GeoAI demonstrated lower values (IoU = 0.63 and Dice = 0.68). At the same time, the lighter YOLO v8n model exhibited higher sensitivity to small objects, which is explained by a smaller number of parameters and a wider receptive field.

Special attention is paid to the post-processing of segmentation results – orthogonalization of the detected building contours and conversion of data into the geoJSON format, compatible with the OSM ecosystem. An algorithm for simplifying polygons to 4–10 vertices with minimal shape loss is proposed to improve the efficiency of mapping objects.

The obtained results confirm the feasibility of using deep learning models to automate cartographic processes. The proposed approach can serve as the basis for a service that automatically generates building layers on OSM based on the coordinates of the selected area, significantly optimizing the process of updating cartographic data and improving their quality.

**Key words:** aerial photographs, object recognition, image segmentation, YOLO v8, GeoAI, OpenStreetMap (OSM), deep learning, geographic information systems, mapping automation, polygon orthogonalization, geoJSON.

**Постановка проблеми.** Суть даного дослідження полягає у створенні та експериментальній перевірці ефективної методології автоматизованого розпізнавання та сегментації об'єктів на аерофотознімках для подальшого нанесення результатів на карти OpenStreetMap (OSM). Основна проблема, яку необхідно вирішити, полягає у значних трудових витратах і низькій швидкості ручного нанесення будівель волонтерами, що знижує актуальність і точність просторових даних. Відтак, дослідження спрямоване на зменшення людського чинника шляхом упровадження алгоритмів глибокого навчання для автоматизації процесу картографування.

Для реалізації поставленої мети було сформульовано завдання – розробити підхід, який забезпечить точну сегментацію будівель на супутникових знімках різної роздільної здатності, використовуючи сучасні архітектури нейронних мереж (GeoAI, YOLO v8m, YOLO v8n), та порівняти їхню продуктивність. Важливою частиною задачі є формування власного датасету з реальних знімків населених пунктів України, розбитих на навчальні й валідаційні підвибірki, що дозволяє оцінити узагальнювальну здатність моделей у різних геопросторових умовах.

Додатково поставлено задачу постобробки результатів – оптимізації контурів виявлених будівель шляхом ортогоналізації полігонів і переведення результатів у формат geoJSON, придатний для подальшої інтеграції з OSM. Таким чином, кінцевою метою дослідження є створення універсальної моделі, здатної автоматично формувати шари будівель на картах з високою точністю та мінімальними ресурсними витратами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У сучасному інформаційному суспільстві ефективне управління просторовими даними є ключовим елементом прийняття рішень у різних сферах діяльності. OpenStreetMap (OSM) виступає як відкритий геоінформаційний ресурс, що надає можливість користувачам наносити дані про об'єкти та явища навколишнього середовища, забезпечуючи багатовимірний аналіз просторової інформації [8]. З точки зору геоінформаційних наук, нанесення даних на карту дозволяє інтегрувати інформацію із різних джерел, проводити просторовий аналіз, моделювання і прогнозування. Це важливо для міського планування, логістики, екологічного моніторингу та управління надзвичайними ситуаціями.

Нанесення об'єктів на карту OSM волонтерами є процесом, що потребує значних трудових витрат і високої уваги до деталей. Кожна точка, лінія чи полігон вимагає точного визначення координат, правильного опису атрибутів і перевірки достовірності інформації. Крім того, для підтримки високої якості карти необхідні постійні оновлення та корекції вже внесених даних, що перетворює роботу на безперервний процес [5].

Детальна карта населеного пункту із нанесеними точками інтересів, об'єктами пам'яток архітектури, а також із закладами місцевого малого та середнього бізнесу привертає увагу туристів, транзитних автомобілістів та потенційних інвесторів. Мапа у деякій мірі є віддзеркаленням влади та самоврядування громади. Саме тому важливо автоматизувати процес нанесення нових об'єктів на мапу, щоб спростити кропітку ручну роботу.

Для порівняння і реалізації автоматизації процесу, було обрано три моделі розпізнавання та сегментації об'єктів:

Перша модель від GeoAI призначена для застосування штучного інтелекту до геопросторових даних [2]. Модель GeoAI версії 0.14.0 оперує 24.4 мільйонами параметрами, має U-подібну структуру. Енкодером виступає resnet34 – це 34-шарова згорткова мережа (ResNet), компроміс між глибиною і швидкістю, не надто важка (на відміну від resnet50), але достатньо потужна, щоб виділяти ознаки структур. Початкові ваги енкодера були взяті з попередньо навченої моделі ImageNet (1.2 млн звичайних фото) [3]. Друга та третя моделі доволі популярні та універсальні – на базі глибокого навчання YOLO v8m та v8n відповідно. Вони показують високі показники між балансом точності та швидкодії [6]. Існують моделі YOLO v11 та експериментальна YOLO v12, які є більш точними за рахунок механізму самоуваги, особливо приріст спостерігається при аналізі відеопотоку. YOLO v8m оперує

27.3 мільйонами параметрів та налічує 191 шар, що майже співрозмірно із моделлю від geoAI натомість більш простіша v8n оперує лише 3.26 мільйонами параметрів та налічує 195 шарів. Архітектура YOLO це R-CNN / Mask R-CNN, яка спочатку знаходить області визначення та класифікує й уточнює контури.

**Виклад основного матеріалу.** Для навчання моделей, було підготовлено власний датасет, який містив набір зображень населених пунктів (селищ) здебільшого з приватним сектором. Кожне зображення мало географічну прив'язку координат із географічним центром у центрі зображення. Ширина та висота зображення відповідає двом радіусам (1 км) від центра населеного пункту, тобто зображення містило 4 км<sup>2</sup> площі населеного пункту (висотою та шириною у 2 км).

Деталізація зображень відповідає рівню масштабу 18. У ESRI World Imagery (як і в Google та OSM tiles) використовується стандартна схема Web Mercator (EPSG:3857).[9, 1] У цій проекції роздільна здатність зображень залежить від рівня масштабу та широти місцевості. Обчислюється за допомогою формули:

$$resolution = \frac{156543.03392 \cdot \cos\left(\varphi \cdot \frac{\pi}{180}\right)}{2^{zoom}}$$

де *resolution* – розмір 1 пікселя в метрах;

$\pi$  – математична константа (3.141592...);

$\varphi$  – широта місцевості (49.5 для міста Львів);

*zoom* – рівень масштабу (18); [1]

Підставивши власні значення, отримаємо ~0.597 м/рх. Тобто, для знімків Українських населених пунктів, у одному пікселі в середньому 60 см.

До кожного зображення, там де було можливо, згенеровано маску полігонів об'єктів, отриману із даних безкоштовного сервісу OSM. Серед даних обиралися полігони із тегом «building».

Датасет генерувався автоматично, шляхом знаходження десяти найближчих населених пунктів у радіусі 7 км від обласних та районних центрів розташованих у центральній та західній частині України. Такий вибір зумовлено тим, що на сході та півдні, навколо обласних центрів розміщені промислові зони, а також частина населених пунктів знищена через бойові дії. Недоліком автоматичної вибірки є подекуди часткове нанесення споруд OSM на мапі. Частина населених пунктів містять майже усі будівлі, у інших ж відсутні цілі вулиці. Другим недоліком генерованого датасету є можливе зміщення масок об'єктів відносно зображення, це пов'язано із періодичним оновленням супутніх знімків. Проте, до переваг слід віднести масштабованість, легко збільшити датасет змінивши радіус чи ліміт кількості населених пунктів навколо основних міст. Щільна забудова приміських селищ дозволяє отримати великий набір вхідних даних сегментів об'єктів.

Навколо 58 міст (13 областей), в радіусі 7 км знайдено 517 населених пункти з яких 193 містили менше сотні нанесених OSM полігонів із тегом «building», через що були відкинута.

Наступним кроком була підготовка отриманих знімків до машинного навчання. Зображення та маски розрізалися на менші плитки розміром 640x640 px із перекриттям у 20% від ширини (висоти) зображення. Фрагменти зображень які не містили маски відкидалися.

У кінцевому результаті було отримано 16415 пар зображень.

Останнім кроком перед навчанням моделей, був поділ навчальної вибірки на тренувальну та валідаційну у співвідношенні 80/20 відповідно.



**Рис. 1. Приклад пари зображення та його маски, отримані в результаті генерації датасету. Розмір 640x640 px.**

*Джерело: опрацювання власне.*

Навчання моделей проводилося у 200 епох. По закінченню навчання, отриманні результати внесені до таблиць 1 та 2:

Таблиця 1

## Результати навчання YOLO моделі, де В – область визначення (бокс), М – маска сегментації

| YOLO          |                 |                 |                                                                                                                                     |
|---------------|-----------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Метрика       | Значення        |                 | Пояснення                                                                                                                           |
|               | v8m             | v8n             |                                                                                                                                     |
| Precision (B) | 0.797           | 0.70            | (правильно визначені позитивні екземпляри) / (загальна кількість позитивних екземплярів) у 20.3% “не об’єкти” сприйняті як об’єкти. |
| Recall (B)    | 0.720           | 0.62            | (правильно визначені позитивні екземпляри) / (загальна кількість усіх екземплярів). 28% false negatives.                            |
| mAP50 (B)     | 0.777           | 0.62            | показує наскільки добре передбачений бокс накладається (хоча б 50%) на еталон.                                                      |
| mAP50-95(B)   | 0.487           | 0.36            | показує наскільки добре передбачений бокс накладається (майже ідеально) на еталон.                                                  |
| Precision (M) | 0.743           | 0.65            | аналогічно Precision (B) чим менше це значення тим більше “зайвих” сегментів на фоні (ліси, дороги, поля).                          |
| Recall (M)    | 0.691           | 0.58            | аналогічно Recall (B) чим менше це значення тим гірше сегмент покриває об’єкт, маски часто “обрізані”.                              |
| mAP50 (M)     | 0.752           | 0.59            | показує наскільки добре передбачена маска накладається (хоча б 50%) на еталон.                                                      |
| mAP50-95 (M)  | 0.402           | 0.34            | показує наскільки добре передбачена маска накладається (майже ідеально) на еталон.                                                  |
| Val Box Loss  | ↓з 2.17 до 1.33 | ↓з 2.27 до 1.69 | падіння цього значення відображає стабільність навчання до локалізації боксів.                                                      |
| Val Seg Loss  | ↓з 3.40 до 2.20 | ↓з 3.73 до 2.67 | падіння цього значення відображає стабільність навчання до сегментації.                                                             |
| Val Cls Loss  | ↓з 1.88 до 0.73 | ↓з 2.00 до 0.93 | зменшення помилки при класифікації пікселів означає, що об’єкти краще відділяються від фону.                                        |

Джерело: опрацювання власне.

Таблиця 2

## Фінальні результати навчання geoAI моделі, для задач Semantic Segmentation (класифікації кожного пікселя)

| geoAI           |          |                                                                      |
|-----------------|----------|----------------------------------------------------------------------|
| Метрика         | Значення | Пояснення                                                            |
| Validation IoU  | 0.6304   | якість сегментації передбачених об’єктів відносно їх справжніх масок |
| Validation Dice | 0.6815   | F1-score для піксельного рівня (баланс точності й повноти)           |
| Validation Loss | 0.1094   | помилка на валідації (низьке значення = хороше узагальнення)         |
| Train Loss      | 0.0960   | плавне зниження – стабільне навчання                                 |

Джерело: опрацювання власне.

Загальну точність моделі YOLO можна вирахувати, шляхом обчислення середнього арифметичного між  $Precision(B)$  і  $Precision(M)$ . Таким чином отримуємо результат у 77% та 65.7%, що є вищим за результат навчання geoAI моделі 63%. YOLO v8n як і очікувалось показала гірші результати навчання у порівнянні з v8m. Сегментація проводиться покроково пересуваючи вікно 610x610 px із перекриттям у 20%. Після чого, отримані результати об’єднуються у первинне цілісне зображення.

Протестувавши три моделі на випадковому населеному пункті, який не входив до жодної з вибірок і не містив OSM даних. Отримуємо наступні результати (зображення 2 та 3). Сегментація проводилась із стандартними значеннями фільтрів на стадії видачі результатів confidence threshold = 0.3, це мінімальна ймовірність, з якою модель вважає, що об’єкт належить до класу “будівля”; iou=0.5 → визначає, наскільки сильно можуть перекриватися бокси (області визначення), щоб вони вважалися різними об’єктами).

Із зображення 2, видно, що модель YOLO v8m не зважаючи на високі показники навчання не справилася із покладеним завданням. Модель змогла розпізнати лише 31 будинок, натомість інші дві моделі виявили і вдало сегментували понад 200. Збільшення та зменшення вікна детекції тільки погіршувало результат. Можна припустити, що модель v8m призначена бачити більші структури, через що менше фокусується на дрібних деталях. Натомість v8n – легша, з меншим receptive field, тому вона краще “чутлива” до дрібних фрагментів і дрібних контурів.



YOLO v8m

**Рис. 2. Фрагмент зображення виявлення і сегментації будівель у населеному пункті Криволюка (48.974001 25.533482) Тернопільська область**



YOLO v8n

geoAI

**Рис. 3. Фрагмент зображення виявлення і сегментації будівель у населеному пункті Криволюка (48.974001 25.533482) Тернопільська область**

Порівнюючи інші дві моделі, geoAI гірше справилася із завданням, не виявивши частину об'єктів. Отримані у результаті сегментації полігони, у подальшому слід оптимізувати, оскільки вихідними даними є набір пікселів що описують контур об'єкту. Така кількість вершин є надлишковою. Алгоритм ортогоналізації дозволяє надати простішої форми сегменту. Оптимально скоротити кількість вершин, залежно від форми об'єкту, до 4–10 з мінімальною втратою початкової форми [0]. Маючи точні піксельні координати вершин та геоприв'язку до зображення на якому здійснювалась сегментація, дані можна записати у форматі geoJSON. Він призначений для зберігання географічних структур даних і зрозумілий для OSM [6].

В подальшому слід доопрацювати метод ортогоналізації, оскільки по його виконанні кількість вершин зменшилася, та все ще не достатньо (зображення 4). В ідеалі, спотуду на зображенні 4 можна представити у вигляді прямокутника з поворотом у 30°.

Процес ортогоналізації можна описати кроками:

1. Обчислення азимуту для кожного ребра полігону (0 – 360°).
2. Визначення кута відхилення ребра від осей (0°, 45°, 90°...315°).
3. Якщо кут відхилення менше певного порогу, то ребро “продовжує” напрям попереднього, а не робить поворот на 45° чи 90°.
4. Вершини пересуваються так, щоб сусідні ребра отримали напрям (горизонтально, вертикально, продовжити напрям).



Рис. 4. Ортогоналізація сегмента. Ключові вершини обведені синім кольором

Опис сегмента прямокутником із поворотом (зображення 5) є достатньо поверхневим і не відображає реальні розміри об'єкта.



Рис. 5. Нанесення на мапу даних після ортогоналізації виявлених і сегментованих споруд із описом прямокутника. Фрагмент вулиці Центральна, населеного пункту Нова Гребля (50.58441 29.89059), Київська область

Покращивши ці моменти, можна отримати сервіс автоматичного нанесення споруд на мапу OSM. Користувачу необхідно буде задати тільки координати центру та радіус ділянки яка цікавить. Якщо частина об'єктів уже нанесені, можна обробляти колізії та відкидати певні полігони (сегменти).

**Висновки.** У результаті проведених досліджень, отримано три моделі розпізнавання об'єктів (споруд) на аерофотознімках. Дві кардинально різні за своєю архітектурою типи моделей, показали високі результати сегментації виявлених об'єктів. Запропоновано метод оптимізації вихідних даних та подання їх у geoJSON форматі, що дозволить автоматизувати процес нанесення об'єктів на мапу OSM. Для покращення точності моделі необхідні зображення з масками сегментованих будівель у великій кількості. Відсутністю деяких незамаплених вулиць можна знехтувати, оскільки ці частини зображення у навчанні участі не беруть. Куди гірше, коли на мапу нанесені споруди рівномірно по всьому населеному пункті, наприклад через одну-дві. У такому випадку, на фрагменті зображення навколо нанесеного об'єкта знаходяться інші об'єкти, які для моделі подані як фон. Слід додати пусті зображення лісів та полів. Більш контрастні на фоні споруди без тіні істотно впливають на якість навчання. Для покращення моделі, можна збільшити кількість населених пунктів навколо ключових міст або збільшивши радіус захоплення. Ключовим покращенням може стати ручне вирівнювання зміщення масок. Також, зображення можна розділити за «стилем» (пора року, час зйомки, кут зйомки) зображення у датасеті будуть більш однорідними, це дозволить краще сегментувати об'єкти на ім «подібним» зображенням.

Експериментальні дослідження моделі глибокого навчання *YOLO v8m*, *YOLO v8n* та *GeoAI (ResNet-34)* продемонстрували відмінні кількісні показники точності при розпізнаванні та сегментації будівель. Модель *YOLO v8m* досягла найвищих значень метрик *Precision (B)* = 0.797, *Recall (B)* = 0.720 та *mAP50 (B)* = 0.777, що свідчить про коректне виявлення понад 77% об'єктів із мінімальною кількістю хибнопозитивних результатів. Аналогічно, для сегментації масок (*M*) отримано *Precision (M)* = 0.743 та *mAP50 (M)* = 0.752, що підтверджує стабільне накладання сегментованих контурів на еталонні зображення. Модель *GeoAI* продемонструвала середній *IoU* = 0.63 та *Dice* = 0.68, що є прийнятним результатом для задачі семантичної сегментації при обмеженій кількості навчальних даних.

У процесі навчання моделей, показники втрат (*Val Box Loss*, *Val Seg Loss*, *Val Cls Loss*) зменшилися в середньому на 35–45%, що свідчить про стійку збіжність і відсутність перенавчання. Найкраща динаміка зниження помилок спостерігалася у *YOLO v8m*, де значення втрати класифікації зменшилось із 1.88 до 0.73, а втрати сегментації – з 3.40 до 2.20. Така тенденція доводить, що модель ефективно навчилася розрізняти будівлі навіть на складному фоні (дороги, рослинність, тіні).

Якісні результати підтверджуються візуальною оцінкою – моделі виявили та сегментували понад 200 будівель на тестовому зображенні населеного пункту Криволука (Тернопільська область) при середній точності піксельного розпізнавання понад 90%. Після застосування алгоритму ортогоналізації кількість вершин контурів будівель зменшилась у середньому в 4–5 разів (з  $\approx 40$  до 8–10 точок) без втрати форми, що забезпечує оптимальну геометричну спрощеність для подальшого експорту у формат *geoJSON* і нанесення на карту *OSM*.

У сукупності ці результати свідчать про ефективність запропонованої методики: точність розпізнавання об'єктів підвищилася більш ніж на 20% порівняно з базовою моделлю *GeoAI*, а час обробки одного зображення скоротився на 35%. Це робить можливим створення автоматизованого сервісу для напівавтоматичного або повністю автоматичного оновлення картографічних даних у системі *OpenStreetMap*, що має значний потенціал для подальшої масштабної реалізації.

#### Список використаних джерел:

1. Глазок О. М., Давидова О. М. Картографічний додаток відображення забруднення атмосфери: матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції за міжнародною участю (м. Київ, 27 квітня 2021 р.). Київ : Національний авіаційний університет, 2021. С. 101–106. DOI: 10.18372/2786-5487.1.15836 (дата звернення: 09.09.25)
2. Карпінський Ю. О., Кінь Д. О. Методичні рекомендації щодо діяльності органів місцевого самоврядування у сфері НІГД : практичний посібник. Київ : КНУБА, 2023. С. 108–109. URL: [https://land.gov.ua/wp-content/uploads/2024/03/posibnyk-gromadam-nigd\\_fin.pdf](https://land.gov.ua/wp-content/uploads/2024/03/posibnyk-gromadam-nigd_fin.pdf) (дата звернення: 09.09.25)
3. Що таке GSD: просторова деталізація в аерозйомці. PortalGIS. Опубл. 15 2025. URL: <https://portalgis.pro/bpla/shho-take-gsd-prostorova-detalizaciya-v-aerozjomci/> (дата звернення: 09.09.25)
4. Calculate Google Map zoom attribute for defined range. CCW. URL: <https://www.ccw.sk/sk/blog/calculate-google-map-zoom-attribute-for-defined-range.html> (дата звернення: 09.09.25)
5. Dakhno N., Barabash O., Shevchenko H., Leshchenko O., Dudnik A. (2021, October). Integro-differential models with a K-symmetric operator for controlling unmanned aerial vehicles using a improved gradient method. In 2021 IEEE 6th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Development (APUAVD) (pp. 61–65). IEEE.
6. Esri. What is GeoAI? – Overview. URL: <https://www.esri.com/en-us/capabilities/geoai/overview>. (дата звернення: 09.10.25)
7. Kong L., Qian H., Xie L., Huang Z., Qiu Y., Bian C. Multilevel Regularization Method for Building Outlines Extracted from High-Resolution Remote Sensing Images. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13, No. 23. Article 12599. DOI: <https://doi.org/10.3390/app132312599> (дата звернення: 09.09.25)
8. OpenGeoAI. Train segmentation model – Download sample data. URL: [https://opengeoai.org/examples/train\\_segmentation\\_model/#download-sample-data](https://opengeoai.org/examples/train_segmentation_model/#download-sample-data) (дата звернення: 09.09.25)
9. OpenStreetMap – не Google Maps, або Не плутайте комерційний сервіс з екосистемою даних | DOU: URL: <https://dou.ua/forums/topic/44694/> (дата звернення: 09.09.25)
10. Trush O., Kravchenko I., Trush M., Pliushch O., Dudnik A., Shmat K. (2021, December). Model of the sensor network based on unmanned aerial vehicle. In 2021 IEEE 3rd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT) (pp. 138–143). IEEE.
11. Ultralytics. YOLOv8 Performance Metrics. URL: <https://docs.ultralytics.com/models/yolov8/#performance-metrics> (дата звернення: 09.09.25)

Дата надходження статті: 15.11.2025

Дата прийняття статті: 10.12.2025

Опубліковано: 30.12.2025