

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Нижник Я. В., Чередніков О. М., Журахов О. В., Захарченко Д. С. Аналіз тактико-технічних характеристик наземних роботизованих комплексів очищення територій, забруднених вибухонебезпечними предметами. Випробування та сертифікація. 2025. Вип. 2(8). С. 104–117. URL: <https://nddivsovt.com/index.php/ts/article/view/590/560> (дата звернення: 13.04.2026).
2. Лисий О. О., Руснак В. М., Хоменко Є. В., Руснак В. В. Перспективи і принципи розвитку безпілотних наземних комплексів. Проблемні питання розробки та експлуатації систем озброєння та військової техніки. 2025. Вип. 23. С. 45–55. URL: <https://nddivsovt.com/index.php/journal/article/view/552/522> (дата звернення: 13.04.2026).
- 3 Руснак В. М., Хоменко Є. В., Лисий О. О. Інноваційний підхід щодо науково-технічного супроводу експериментальних досліджень роботизованих комплексів (систем) в бойових умовах, проблеми та шляхи вирішення. Scientific Works of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification. 2024. Iss. 2(20). С. 72–82. URL: <https://nddivsovt.com/index.php/journal/article/view/396/367/> (дата звернення: 13.04.2026).
4. Дачковський В., Каламурза О. Аналіз розвитку наземних роботизованих комплексів. Social Development and Security. 2025. Т. 15, № 3. С. 223–236. URL: <https://paperssds.eu/index.php/JSPSDS/article/view/887/1046> (дата звернення: 13.04.2026).
5. Інформаційний бюлетень № 3 «Досвід застосування підрозділами російської федерації наземних роботизованих систем». Жовт. 2024. 23 с.
6. Кравчук О., Симоненков В., Симоненкова І., Григор'єв О. Деякі питання автономного руху і управління наземних роботизованих комплексів для потреб Сухопутних військ Збройних Сил України. Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса). 2021. № 2(18). С. 85–93. URL: <http://zbirnyk.vaodessa.org.ua/index.php/uk/i-kravchuk/82-kategory1/162-kravchuk> (дата звернення: 13.04.2026).
7. Доктрина «Застосування безпілотних систем у силах оборони України»: доктрин. публ. / затв. Головнокомандувачем Збройних Сил України від 01 січ. 2024 р. № 49/НВГШ. Київ : Генеральний штаб Збройних Сил України, 2024. 55 с.

БАБАРИЦЬКИЙ ДМИТРО ОЛЕКСАНДРОВИЧ
студент кафедри підготовки офіцерів запасу
Військово-юридичний інститут Національного
юридичного університету імені Ярослава Мудрого

КУРТОВ АНАТОЛІЙ ІГОРОВИЧ
кандидат технічних наук, доцент
завідувач кафедри підготовки офіцерів запасу
Військово-юридичний інститут Національного
юридичного університету імені Ярослава Мудрого

**КВАНТИЗАЦІЯ МОДЕЛЕЙ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ ЗАДАЧ
АВТОНОМНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ЦІЛЕЙ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНИХ
ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ПОТУЖНОСТЕЙ**

В умовах інтенсивного застосування систем РЕБ управління FPV-дронами суттєво ускладнюється, а втрата відеозв'язку на термінальній ділянці польоту призводить до хиб. Тому критично важливою є розробка систем автономного наведення з бортовою обробкою відеопотоку. Проте доступні для масових і недорогих FPV-дронів обчислювальні платформи мають жорсткі обмеження щодо ваги, енергоспоживання та потужності процесора [1].

Для вирішення цієї проблеми необхідно визначити ефективність використання квантованих нейромереж для класифікації військової техніки в реальному часі на апаратно обмежених платформах. Для експерименту використано набір даних «Military Vehicles» [2] та базову архітектуру YOLOv8-nano [3], яка демонструє оптимальне співвідношення швидкодії та точності. Для адаптації моделі під слабке апаратне забезпечення застосовано посттренивальну квантизацію, що переводить ваги моделі з формату FP32 у цілочисельний формат INT8, суттєво зменшуючи вимоги до об'єму пам'яті.

Математично процес квантизації полягає у лінійному відображенні масиву дійсних чисел у цілочисельний діапазон. Перетворення оригінального значення ваги r у квантоване значення q відбувається за формулою афінної квантизації [4]:

$$q = \text{round}\left(\frac{r}{S} + Z\right)$$

де S – коефіцієнт масштабування, що визначає крок квантування, а Z – точка нуля, яка забезпечує точне відображення дійсного нуля без втрати точності.

Зворотне відновлення значень під час інференсу обчислюється як:

$$r \approx S(q - Z)$$

Цей підхід дозволяє зменшити обсяг необхідної оперативної пам'яті та прискорити матричні обчислення на центральному процесорі. Головною інтегральною метрикою для оцінки ефективності виявлення об'єктів після квантизації обрано середню точність при порозі перекриття 50% ($mAP@0.5$).

У ході експерименту проведено навчання базової моделі YOLOv8-nano протягом 50 епох. Динаміка навчання та збіжність функції втрат разом із поступовим зростанням метрики $mAP@0.5$ на валідаційній вибірці зображені на рисунку 1 свідчать про успішне вилучення ознак без ефекту перенавчання.

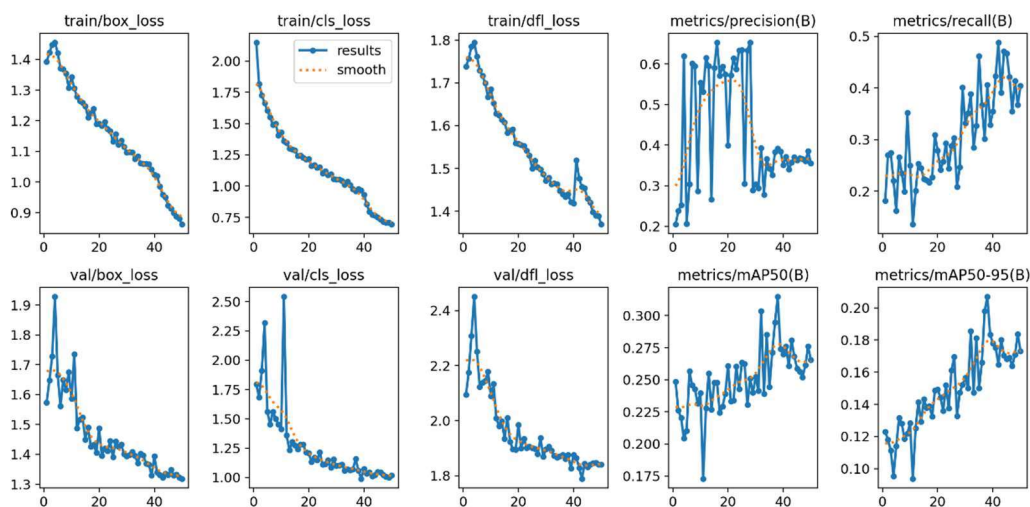


Рисунок 1 – Графік кривих навчання та метрики $mAP@0.5$ від кількості епох

Після оптимізації моделі методом посттренивальної квантизації проведено порівняльний аналіз оригінальної та квантованої версії алгоритму на цільовій платформі Raspberry Pi 4 / CPU. Результати тестування, наведені у таблиці 1, демонструють вплив квантизації на загальну продуктивність.

Таблиця 1 – Порівняння характеристик оригінальної та оптимізованої моделей комп'ютерного зору

Модель	Розмір файлу, Мб	Точність $mAP@0.5$	Швидкість, FPS (CPU)
YOLOv8n (FP32)	6.0	0.31	4.92
YOLOv8n (INT8)	3.2	0.27	6.2

Для оцінки роботи моделі комп'ютерного зору проаналізовано візуальні результати інференсу на тестовій вибірці. Як продемонстровано на рисунку 2, квантована модель успішно справляється із задачею виявлення та класифікації пріоритетних цілей типу «Heavy_Armor» та «Infantry» навіть за складних ракурсів зйомки.



Рисунок 2 – Приклад роботи квантованої моделі YOLOv8n (INT8) з виявлення та класифікації цілі на тестовому зображенні

Важливо зазначити, що рівень впевненості моделі на рисунку 2 при ідентифікації важкої бронетехніки сягає 80-90%. Це є високим показником для нано-архітектури моделі, ваги якої додатково стиснуто до 8-бітного цілочисельного формату.

Таким чином, за результатами дослідження підтверджено доцільність використання квантованих моделей комп'ютерного зору на апаратно обмежених платформах. Попри очікуване зниження загальної метрики $mAP@0.5$, модель правильно виявляє ключові цілі з високою впевненістю. Застосування INT8 квантизації зменшило розмір файлу майже вдвічі – з 6.0 до 3.2 Мб, уможлививши його завантаження в пам'ять мікрокомп'ютерів БПЛА. Крім того, оптимізована модель працює швидше: понад 6 кадрів на секунду на базовому процесорі (CPU), що може досягти показників реального часу при використанні плат із нейроприскорювачами (NPU).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bemposta Rosende, S., Ghisler, S., Fernández-Andrés, J., & Sánchez-Soriano, J. (2023). Implementation of an edge-computing vision system on reduced-board computers embedded in uavs for intelligent traffic management. *Drones*, 7(11), 682. <https://doi.org/10.3390/drones7110682>
2. Military Vehicles Dataset [Електронний ресурс] / Roboflow Universe. – Режим доступу: <https://universe.roboflow.com/military-artillery-academia/military-vehicles-6nrej>
3. Jocher G. YOLO by Ultralytics [Електронний ресурс] / Glenn Jocher, Ayush Chaurasia, Jing Qiu. – 2023. – Режим доступу: <https://github.com/ultralytics/ultralytics>

4. Jacob B. Quantization and training of neural networks for efficient integer-arithmetic-only inference / B. Jacob, S. Kligys, B. Chen [et al.] // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2018. – P. 2704-2713.

БОРИСЮК ОЛЕКСІЙ СЕРГІЙОВИЧ

магістр Київський інституту Національної гвардії
України

БПЛА ЯК ЗАСОБИ ОХОРОНИ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ДЕРЖАВНОЇ БЕЗПЕКИ

Сучасний стан безпекового середовища України характеризується зростанням кількості загроз для об'єктів критичної інфраструктури, зокрема енергетичних систем, транспортних вузлів, об'єктів зв'язку, водопостачання та оборонної промисловості [1]. В умовах воєнного стану та активного використання противником диверсійних, ракетних і безпілотних засобів ураження особливого значення набуває вдосконалення систем охорони та моніторингу таких об'єктів. Одним із перспективних інструментів забезпечення державної безпеки є безпілотні літальні апарати (БПЛА).

БПЛА являють собою сучасні авіаційні комплекси, здатні виконувати широкий спектр завдань без безпосередньої участі людини на борту. Їх використання у сфері охорони критичної інфраструктури дозволяє здійснювати оперативний моніторинг територій, виявляти потенційні загрози, контролювати периметр безпеки та забезпечувати швидке реагування сил охорони на надзвичайні ситуації [2].

Особливого значення БПЛА набувають під час забезпечення безпеки особливо важливих об'єктів, до яких належать атомні електростанції, гідротехнічні споруди, військові арсенали, командні пункти, аеродроми, урядові установи, об'єкти оборонно-промислового комплексу та критичні елементи транспортної інфраструктури. Вказані об'єкти є потенційними цілями диверсійних груп, терористичних організацій та засобів повітряного нападу противника, що обумовлює необхідність створення багаторівневої системи їх охорони.

Використання БПЛА у системі захисту особливо важливих об'єктів дозволяє забезпечити:

- цілодобове повітряне патрулювання території;
- оперативне виявлення несанкціонованого проникнення;
- контроль важкодоступних ділянок периметра;
- моніторинг повітряної та наземної обстановки;
- супровід сил реагування;
- оперативну передачу інформації до ситуаційних центрів.

Сучасні безпілотні комплекси можуть працювати як автономно, так і у взаємодії з іншими технічними засобами охорони: системами відеоспостереження, датчиками руху, тепловізійними комплексами, системами контролю доступу та автоматизованими пунктами управління. Така інтеграція дозволяє створити єдиний інформаційний простір безпеки та значно скоротити час реагування на загрози.

Основними перевагами використання БПЛА є висока мобільність, можливість роботи у важкодоступних районах, відносно невисока вартість експлуатації, автономність та здатність здійснювати цілодобове спостереження. Сучасні БПЛА оснащуються тепловізійними камерами, системами нічного бачення, засобами відеофіксації, лазерного сканування та геолокації, що значно підвищує ефективність охорони об'єктів інфраструктури.

Особливо актуальним є використання БПЛА для:

- моніторингу об'єктів енергетичної інфраструктури;
- охорони військових складів та арсеналів;
- контролю державного кордону;