

Я.М. Кожушко¹, О.М. Гричанюк¹, М.Г. Саморок², О.С. Балабуха¹

¹ Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

² Національна академія Національної гвардії України, Харків

АНАЛІЗ МОЖЛИВОГО БОРТОВОГО ОСНАЩЕННЯ РАДІОТЕХНІЧНИМИ ТА ТЕЛЕВІЗІЙНИМИ СИСТЕМАМИ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА

Пропонуються варіанти використання засобів спостереження, які доцільно розглянути у якості устаткування безпілотного літального апарата (БПЛА). Представлене комерційне устаткування, яке дозволяє здійснювати одночасну зйомку у різних спектрах, що повинно збільшити імовірність виявлення об'єктів, що визивають зацікавленість. Окрім вказаного обладнання представлені інші технічні засоби та рішення, які вже мають місце та застосовуються у інших державах та які можливо розглянути як варіант оснащення (в інтересах збройних сил) спеціалізованого БПЛА.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, комбіновані системи, дистанційне зондування землі, фотокамера, інфрачервона камера, нейромережа.

Вступ

Постановка проблеми. Одним з головних елементів безпілотного літального апарата (БПЛА), є бортове спеціальне устаткування, яке забезпечує рішення основних завдань, що покладаються на цей комплекс. Залежно від призначення БПЛА, таке бортове спеціальне устаткування може бути, за своєю суттю, різним і мати різні тактико-технічні характеристики. Виходячи з аналізу сфер практичного застосування відомих реалізацій проектів БПЛА, в якості типового бортового спеціального устаткування наприклад, малогабаритних БПЛА, найчастіше використовуються різного роду оптико-електронні системи зондування наземного (надводного) простору – як правило, телевізійні, інфрачервоні і лазерні системи.

Для більшості оптико-електронних систем (ОЕС) важливо забезпечити добре просторове, енергетичне й часове розрізнення. Для автоматичного розпізнавання образів об'єктів необхідно мати добре спектральне розрізнення в порівняно широкому оптичному діапазоні або одночасно в декількох спектральних піддіапазонах.

Аналіз останніх досягнень та публікацій. Існує значна кількість робіт присвячених проблемам комплексованих та комбінованих систем, наприклад [1], об'єднаних метою, що використання комбінованих оптико-електронних засобів спостереження на борту БПЛА дозволить використовувати додаткові різноспектральні ознаки об'єктів, що спостерігаються або навпаки – приховані від спостереження.

Мета статті. В теперішній час, внаслідок постійного росту можливостей противника з маскування, постійного вдосконалення існуючих позицій та укриттів, виникає необхідність розширення спектру спостереження.

З іншого боку, великий обсяг інформації, що спостерігається, впродовж тривалого часу, в інтенсивних умовах ведення бойових дій, призводить до втоми оператора та у подальшому у пропуску можливих цілей або у тлумаченні хибних цілей як реальних.

Забезпечення споживача надійною та максимально точною інформацією призводить до необхідності постійного вдосконалення БПЛА та пошуку нових варіантів його корисного навантаження.

Виклад матеріалів дослідження

Розглянемо різні типові цільові навантаження на прикладах ОЕС, якими оснащуються БПЛА [2]. Питання радіоелектронної боротьби розглядатися не будуть, але цей напрямок є перспективним [3].

На теперішній час широко використовуються різні фотокамери високої якості з просвітленою оптикою і повнорозмірною матрицею, кольорові відеокамери, що стабілізовані в двох осях з оглядом будь-якої точки нижньої півсфери, з плавною зміною кута поля зору будь-якої точки нижньої півсфери, з плавною зміною кута поля зору.

Але, слід відмітити, що спільна установка телевізійних (ТВ) та інфрачервоних (ІЧ) камер на БПЛА дозволяє істотно підвищити інформативність отриманого зображення, а доповнення у вигляді лазерного далекоміра – цільказівника, до того ж, забезпечить можливість точного визначення відносних координат спостережуваного об'єкта. Тому комбіновані (поєднані) ОЕС дистанційного зондування отримали широке поширення в якості бортового спеціального устаткування малогабаритних БПЛА.

Поєднана кольорова відеокамера й тепловізор, гіростабілізовані з оглядом будь-якої точки нижньої півсфери представлені на рис. 1 [5].

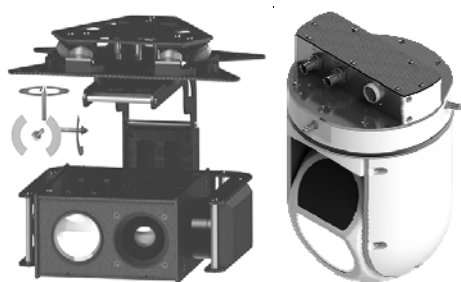


Рис. 1. Поєднані кольорова відеокамера та тепловізор

Розвитком устаткування для телевізійного спостереження з борту БПЛА слід вважати появу камер із вбудованим розпізнаванням на основі нейромереж.

Так, компанія Google представила бюджетний комплект AIY Vision Kit, в який входять камера та спеціальний чіп для проектування штучного інтелекту (рис. 2). До комплекту увійшла плата VisionBonnet з чіпом Intel Movidius, що відповідає за роботу з алгоритмами нейромереж. Для роботи не потрібно додаткове устаткування або програми. На платі є три моделі, які прошиті апаратно для розпізнавання їх вбудованою нейромережею [6].

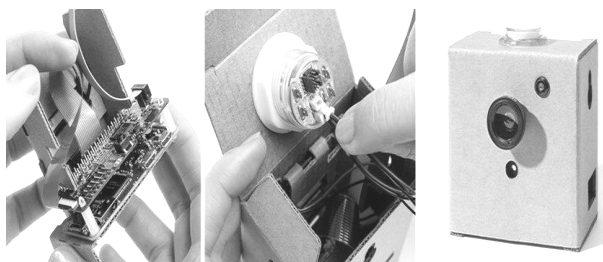


Рис. 2. AIY Vision Kit із вбудованою нейромережею

Застосування таких комплектів стає можливим завдяки успіхам електроніки. Так, наприклад, підрозділ Movidius, що належить Intel представило рішення — візуальний процесор Myriad X, оснащений обчислювальною системою для нейронних систем Neural Compute Engine, які підтримують глибоке навчання на кінцевих пристроях [7]. Він спеціально розроблений для запуску глибоких нейронних мереж, має високу швидкодію (приблизно 1 трлн операцій за секунду), низьке енергоспоживання, низьке енергоспоживання та призначений в тому числі для дронів. На додаток він оснащений програмуємим 128-бітним процесором із архітектурою VLIW і 16 лініями шини MIPI, 2,5 МБ уніфікованої вбудованої пам'яті, має в комплекті компілятор нейронних мереж.

Аналогічно пристрій Neural Compute Stick із інтерфейсом USB 3.0 та габаритами $72,5 \times 27 \times 14$ мм має в основі обчислювальний вузол Movidius Vision Processing Unit (VPU) та споживає менш 1 Вт (рис. 3). При цьому вказана продуктивність до 100 гігафлопс та пасивна система охолодження.



Рис. 3. Комплект мікрокомп'ютера із камерою та пристроєм Neural Compute Stick

В якості потенційних сфер застосування заявлене в тому числі створення інтелектуальних камер для дронів з розширеними можливостями розпізнавання об'єктів [7].

Такі камера та процесори вже використовуються промисловістю. Так, під час роботи БПЛА DJI Phantom 4, у пригороді Кіото, було відзнято приблизно 47 га лісу. Алгоритм ідентифікації видів розпізнав 7 класів об'єктів — 6 різних видів дерев та об'єкти — окремий клас, що включав, наприклад, землю між деревами чи неприродні структури, в тому числі будівлі). В результаті нейромережа навчилася ідентифікувати види дерев із середньою точністю 89 % [8].

Особливістю корисних навантажень БПЛА у вигляді лазерних систем є можливість їх використання не лише для моніторингу довкілля і виміру дальності, але і для попередження зіткнення безпілотних ЛА з різними повітряними і наземними об'єктами, а також для наведення засобів поразки на різні об'єкти, в тому числі за допомогою наприклад методів кореляційно-екстремальних систем [4]. У перспективі можливе використання таких систем для вирішення завдань вибіркового оптико-електронного пригнічення супротивника.

Лазерний сканер RIEGL LMS – Q240i (рис. 4) виробництва компанії "Пергам" [9] характеризується широким кутом сканування, великою максимальною дальністю дії і високою точністю вимірів. Принцип дії RIEGL LMS – Q240i заснований на далекомірних вимірах часу проходження імпульсів і скануванні променя за допомогою оптико-механічного сканувального пристрою, що забезпечує практично лінійні, однонаправлені й паралельні лінії сканування. Прилад має високу механічну міцність, компактний, малу вагу, забезпечує сканування через інтегрований інтерфейс Ethernet LAN. Технічні характеристики такого лазерного сканера представлені в табл. 1.



Рис. 4. Лазерний сканер RIEGL LMS-Q240i

Бортовий лазерний сканер RIEGL VQ-480 виробництва компанії «Пергам» забезпечує високошвидкісний, безконтактний збір даних на основі використання інфрачервоного лазера і швидкодіючого механізму рядкової розгортки.

Таблиця 1

Технічні характеристики лазерного сканера RIEGL LMS-Q240i

Максимальна дальність до об'єкта	650 м
Погрішність виміру дальності	20 мм
Швидкість збору даних	10000 вимірів/с
Частота сканування	до 80 розгорток/с
Сектор сканування	до 80°
Міра захисту	IP64

Сканер RIEGL VQ-480, (рис. 5), характеризується легкістю монтажу при будь-якому його положенні, при цьому для роботи потрібне тільки одне джерело живлення. Висока точність виміру дальності базується на технології оцифрування ехо-сигналів і постійному аналізі форми сигналів. Бортовий лазерний сканер RIEGL VQ-480 має високу частоту повторення лазерних імпульсів, високу лінійність смуг сканування і здатний працювати по необмеженому числу об'єктів.



Рис. 5. Лазерний сканер RIEGL VQ-480

Розвитком застосування лазерних систем є використання технології LIDAR (Light Identification and Ranging) [10], що призначена для отримання даних про віддалені об'єкти за допомогою обробки сигналу відбитого світла (рис. 6).



Рис. 6. Обладнання LIDAR

За допомогою технології та обладнання LIDAR закордонним ученим при пошуку старовинних будівель під зеленим покривом вдалося видалити на зображенні полог джунглів (рис. 7) і створити тривимірне зображення старовинного міста, під деревами (рис. 8).

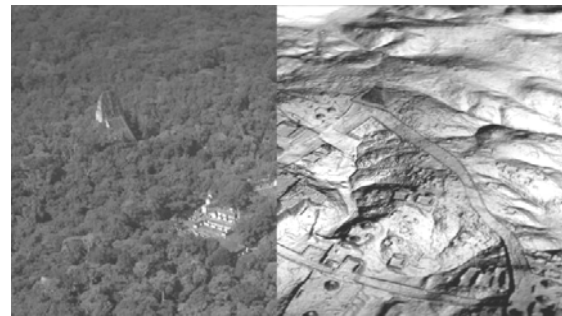


Рис. 7. Земна поверхня, що скрита лісом

Місто було обстежено за допомогою високоточного радару з літака протягом всього 38 годин. Вечером вдалося скласти карти більше 2000 квадратних кілометрів місцевості. У цій частині джунглів були знайдені будинки, дороги і оборонні споруди [11].

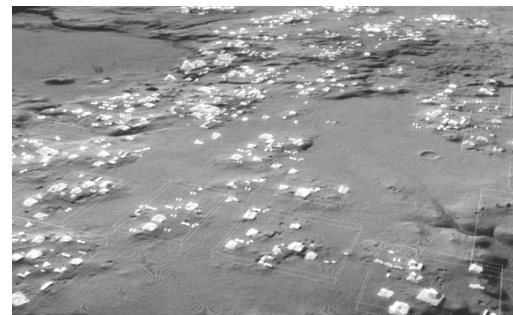


Рис. 8. Зображення знайденого міста

Дана технологія може бути корисною при веденні глибинного спостереження районів, що викликають зацікавленість, але накладає додаткові вимоги до розмірів БПЛА.

Ще одним шляхом використання нових джерел інформації є використання акустичних датчиків (рис. 9).

Датчик «Microflown Avisia» має спеціальне програмне забезпечення і невеликий стержень з декількома мінімікрофонами. Його вага не перевищує

200 грамів. Мініелектромеханічний високотехнологічний датчик (MEMS) компанії «Microflow» являє собою два сенсорні дроти, що підігріваються, які вимірюють швидкість звуку від снарядів і куль.

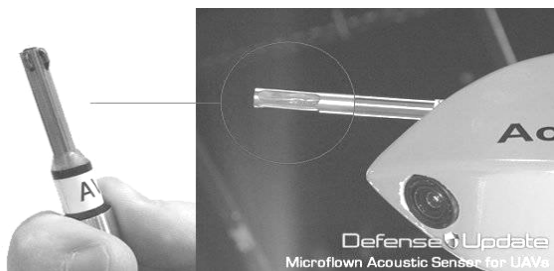


Рис. 9. Акустичний датчик «Microflown Avisa» на борту БПЛА

Компонування трьох ортогонально розташованих датчиків дуже компактне і в змозі визначати напрям пострілу на вогневу позицію з точністю до 0,25–2°. Після цього програма за допомогою додаткових звукових датчиків та триангуляційних методів проводить розрахунок відстані до позицій супротивника. БПЛА, що ним оснащені, відстежують постріли з автоматичної і стрілецької зброї на відстані до 7 км.

Робота нового датчика та його ефективність залежать від вологості повітря і погоди, проте, згідно з технічними характеристиками, він в змозі працювати при 100 % вологості повітря і низьких або високих температурах.

В той же час пристрій здатний виявляти одночасно до декількох вогневих точок супротивника, притому в таких складних акустичних ситуаціях, як з борту БПЛА або в міському середовищі.

Акустичний датчик, значно збільшує потенційну можливість по швидкому виявленню і знищенню супротивника, який веде вогонь по військах, та, наприклад при веденні контрснайперської боротьбі [12].

Висновки

Використання різноспектральних даних обсяжне, реалістичне та внаслідок досягнутої відносної мініатюризації обладнання може бути використане на борту БПЛА, збільшить кількість та якість інформації, що отримується.

Комплексна реалізація можливостей вказаного обладнання призведе до якісного зростання можливостей підрозділів, що будуть використовувати БПЛА, оснащені аналогічним обладнанням.

Використання нейромереж при обробці інформації на борту може дозволити у реальному часі здійснювати знаходження прихованих, розпізнавання хибних та реальних об'єктів, підвищить ефективність роботи оператора та в подальшому випадку час прийняття рішення по об'єкту, що спостерігається.

Вказані можливості можуть бути корисні в тому числі при веденні контрдиверсійної, контрснайперської боротьби, виконанні розвідувально-ударних завдань.

Список літератури

1. Танцюра О.Б. Аналіз методів комплексування різноспектральних зображень з використанням універсального показника якості / О.Б. Танцюра // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2016. – № 4(25). – С. 152-156.
2. Тенденції розвитку аерокосмічних засобів спостереження / А.М. Алімпієв, Б.М. Іващук, Д.В. Карлов та ін. – Х.: ХНУПС, 2016. – 132 с.
3. Ruifang Ye. The future development of foreign military electronic warfare UAVs / Ye. Ruifang, Wu. Tanran, Ren Xianyu // Aerospace Electronic Warfare. – 2013. – Vol. 2. – P. 12-15.
4. Метод коррекции перспективных искажений текущих изображений в радиометрических системах навигации / В.И. Антюфеев, В.Н. Быков, А.М. Гричанюк и др. // Системи обробки інформації. – 2005. – № 4(44). – С. 7-15.
5. Офіційний сайт Uksrpecsystems. USG-302 professional edition. Режим доступу: www.ukrpecsystems.com/usg-302/ (доступ 1 жовтня 2018 року).
6. Офіційний сайт ІТС.УА. Google создала доступный набор компьютерного зрения AIY Vision Kit на базе Raspberry Pi. Режим доступу: [www://itc.ua/news/google-sozdala-dostupnyiy-nabor-kompyuternogo-zreniya-aiy-vision-kit-na-baze-raspberry-pi/](http://itc.ua/news/google-sozdala-dostupnyiy-nabor-kompyuternogo-zreniya-aiy-vision-kit-na-baze-raspberry-pi/) (доступ 1 жовтня 2018 року).
7. Офіційний сайт 3DNEWS.RU. USB-брелок Movidius Neural Compute Stick наделит функциями машинного обучения любой ПК. Режим доступу: www.3dnews.ru/955777?from=related-grid&from-source=957694 (доступ 1 жовтня 2018 року).
8. Офіційний сайт 9111.RU. Дрон и нейросеть помогут определить видовой состав леса. Режим доступу: www.9111.ru/questions/77777777338284 (доступ 1 жовтня 2018 року).
9. Офіційний сайт RIEGL. Воздушный лазерный сканер RIEGL LMS-Q240i. Режим доступу: www.riegl.ru/Vozdushnoe-lazernoe-skanirovanie/vozdushnyj-lazernyj-skaner-riegl-lms-q240i.html (доступ 1 жовтня 2018 року).
10. Офіційний сайт HISTORIC.RU. Лазерный радар может революционизировать археологию. Режим доступу: www.historic.ru/news/item/f00/s18/n0001841/index.shtml (доступ 1 жовтня 2018 року).
11. Офіційний сайт BBC. Археологи обнаружили в джунглях Гватемалы десятки тысяч построек. Режим доступу: www.bbc.com/russian/news-42924059 (доступ 1 жовтня 2018 року).

12. Офіціальний сайт TOPWAR.RU. Новый датчик на беспилотнике – гибель сухопутных войск. Режим доступа: www.topwar.ru/8225-novyuy-datchik-na-bespiletнике-gibel-suhoputnyh-voysk.html (доступ 1 жовтня 2018 року).

References

1. Tancyra, A.B. (2016), "Analiz metodiv kompleksyvannya riznospectralnykh zobrazhenn z vykorystannyam universal'nogo pokaznyka yakosti" [Analysis of methods different spectral image fusion with using universal quality score], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 4(25), pp. 152-156.
2. Alimiev, A.M., Ivashchuk, B.M. and Karlow, D.V. (2016), "Tendenciyi rozvy`tku aerokosmichny`x zasobiv sposterezheniya" [Trends in aerospace monitoring], KNAFU, Kharkiv, 132 p.
3. Ruifang, Ye., Tanran, Wu and Xiangyu, Ren (2013), The future development of foreign military electronic warfare UAVs, *Aerospace Electronic Warfare*, Vol. 2, pp. 12-15.
4. Antufeev, V.I., Bykov, V.I. and Grichanuk, A.M. (2005), "Metod korrektsii perspektivnykh iskajeniy teknyshih izobrazheniy v radiometricheskikh sistemah navigatsii" [Correction method for perspective distortion of current images in radiometric navigation systems], *Information Processing Systems*, No. 4(44), pp. 7-15.
5. The official site of UKRSPECSYSTEMS (2016), *USG-302 Professional edition*, available at: www.ukrspecsystems.com/usg-302/ (accessed 1 October 2018).
6. The official site of ITC.UA (2017), "Google sozdala dostupnyy nabor kompyuternogo zreniya AIY Vision Kit na baze Raspberry Pi" [Google has created an affordable set of computer vision AIY Vision Kit based on Raspberry Pi], available at: www.itc.ua/news/google-sozdala-dostupnyy-nabor-kompyuternogo-zreniya-aiy-vision-kit-na-baze-raspberry-pi/ (accessed 1 October 2018).
7. The official site of 3DNEWS.RU (2017), "USB-brelok Movidius Neural Compute Stick nadelit funktsiyami mashinnogo obucheniya lyuboj PK" [The Movidius Neural Compute Stick USB Keyfob will provide machine learning for any PC], available at: www.3dnews.ru/955777?from=related-grid&from-source=957694 (accessed 1 October 2018).
8. The official site of 9111.RU (2018), "Dron i nejroset' pomogut opredelit' vidovoj sostav lesa" [Drone and neural network will help determine the species composition of the forest], available at: www.9111.ru/questions/77777777338284/ (accessed 1 October 2018).
9. The official site of RIEGL (2010), "Vozdushnyj lazernyj skaner RIEGL LMS-Q240i" [Air laser scanner RIEGL LMS-Q240i], available at: www.riegl.ru/Vozdushnoe-lazernoe-skanirovanie/vozdushnyj-lazernyj-skaner-riegl-lms-q240i.html (accessed 1 October 2018).
10. The official site of HISTORIC.RU (2012), "Lazernyj radar mozhet revolyucionizirovat' arheologiyu" [Laser radar can revolutionize archeology], available at: www.historic.ru/news/item/f00/s18/n0001841/index.shtml (accessed 1 October 2018).
11. The official site of BBC (2018), "Arheologi obnaruzhili v dzhunglyah Gvatemaly desyati tysyach postroek" [Archaeologists have discovered tens of thousands of buildings in the jungles of Guatemala], available at: www.bbc.com/russian/news-42924059 (accessed 1 October 2018).
12. The official site of TOPWAR.RU (2011), "Novyj datchik na bespiletнике – gibel' suhoputnyh vojsk" [The new sensor on the drone – the death of ground forces], available at: www.topwar.ru/8225-novyuy-datchik-na-bespiletнике-gibel-suhoputnyh-voysk.html (accessed 1 October 2018).

Надійшла до редколегії 17.09.2018

Схвалена до друку 20.11.2018

Відомості про авторів:

Кожушко Ярослав Миколайович
кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
Харківського Національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4229-6757>

Гричанюк Олександр Михайлович
кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
Харківського Національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9864-4968>

Information about the authors:

Yaroslav Kozhushko
Candidate of Technical Sciences
Senior Research Associate
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Forces University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4229-6757>

Oleksandr Hrichaniuk
Candidate of Technical Sciences
Senior Research Associate
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Forces University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9864-4968>

Саморок Максим Георгійович
викладач
Національної академії
Національної гвардії України,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-4372-2612>

Maxim Samorok
Instructor
of National Academy
of the National Guards of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4372-2612>

Балабуха Олексій Сергійович
науковий співробітник
Харківського Національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-5263-9485>

Oleksiy Balabuha
Research Associate
of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Forces University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5263-9485>

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОГО БОРТОВОГО ОСНАЩЕНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИМИ И ТЕЛЕВИЗИОННЫМИ СИСТЕМАМИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Я.Н. Кожушко, А.М. Гричанюк, М.Г. Саморок, А.С. Балабуха

В статье предлагаются варианты использования средств наблюдения, которые целесообразно рассмотреть в качестве оборудования беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Представлено коммерческое оборудование, которое позволит осуществлять одновременную съемку в разных спектрах, что должно увеличить вероятность выявления объектов, которые вызывают заинтересованность. Кроме указанного оборудования представлены другие технические средства и решения, которые уже имеют место и применяются в других государствах и которые возможно рассмотреть как вариант оснащения (в интересах вооруженных сил) специализированного БПЛА.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, комбинированные системы, дистанционное зондирование земли, фотокамера, инфракрасная камера, нейросеть.

ANALYSIS OF THE POSSIBLE RADIO AND TELEVISION SYSTEMS ON-BOARD EQUIPMENT OF UNMANNED AERIAL VEHICLE

Ya. Kozhushko, O. Hrichanuk, M. Samorok, O. Balabuha

The article proposes options for the use of observation tools that are advisable to consider as the equipment of an unmanned aerial vehicle (UAV). Presents technical means and solutions that already exist and are used in other states. At the present time, due to the constant growth of the enemy's ability to mask, to constantly improve existing positions and shelters, there is a need for expanding the spectrum of observation. It is shown that the use of multi-spectral data is comprehensive, realistic and can be applied on board the UAV and will increase the amount of information received. At present, due to the constant growth of the enemy's ability to disguise, to continuously improve existing positions and shelters, it is necessary to expand the spectrum of observation. On the other hand, the large amount of information observed over a long period of time, in intensive conditions of combat, leads to the fatigue of the operator, and in the future in the passage of possible goals or in the interpretation of erroneous goals as real. Providing the consumer with reliable and maximally accurate information leads to the need for constant improvement of equipment and structures for its extraction. It should be noted that the concept of a common and time-consuming space of use of various means of integration integrated into a single intelligence system with a further fire defeat is, de facto, a new standard in the development of high-precision intelligence and lesion systems that fully fits into the concept of network-centricity fighting action. Also, it is shown that the use of neural networks in the processing of information on board can allow the detection of hidden, recognition of false and real objects, reduce the operator's working time and improve the efficiency of his work, and in the subsequent case, the time of decision on the object being observed.

Keywords: unmanned aerial vehicle, combined systems, remote sensing of the earth, camera, infrared camera, neural network.