

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ НАВІГАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ ПОЛЬОТОМ БПЛА НА БАЗІ СПЕКТРАЛЬНИХ ПОРТРЕТІВ МІСЦЕВОСТІ

У статті запропонована інформаційна технологія навігації та управління польотом БПЛА на базі спектральних портретів місцевості. Актуальність роботи викликана появою в широкому доступі робототизованих безпілотних літальних апаратів, що створює принципово нові виклики щодо виходу із ладу навігаційного обладнання. Зазначене надає можливість організації терористичним угрупованням навіть ефективної кібератаки по системі навігації і управління кількома БПЛА. Крім того, наявні рішення щодо керування польотом БПЛА оператором по радіоканалу можуть відносно легко блокуватись засобами радіоелектронної боротьби (РЕБ) шляхом організації електромагнітних перешкод для каналу управління.

Можливим рішенням щодо захисту від РЕБ терористичних угруповань є використання запропонованої інформаційної технології навігації на основі просторово-спектральних портретів місцевості коли БПЛА орієнтується на попередньо завантажені бібліотеки орієнтирів на місцевості. У випадку використання малої кількості опорних точок чи орієнтирів їх можна сфальсифікувати чи знищити, проте, при використанні великої кількості об'єктів з урахуванням не лише їх геометрії, а і спектрального портрету, їх фальсифікація в умовах виходу із ладу навігаційного обладнання та застосування засобів РЕБ терористичними угрупованнями принципово ускладнюються. Експериментально встановлено, що при застосуванні найбільш розповсюджених та дешевих спектральних сенсорів оптичного діапазону слід враховувати вплив стану освітлення на спектральні показники об'єктів. Виходячи з цих міркувань, метою досліджень є розробка методичного підходу щодо корекції впливу освітлення для визначення в оптичному діапазоні спектральних портретів об'єктів.

Дослідження проводились в лабораторних умовах та безпосередньо на дослідному польовому стаціонарі, у результаті яких встановлені залежності інтенсивності складових кольору від величини LightValue на прикладі шаблону сірого кольору (насиченість 69%).

Експериментально підтверджено, що при зміні освітлення калібрування спектральних даних на основі службової інформації від фотокамери може здійснюватись для різних моделей фотоапаратів. Для практичних потреб просторово-спектральної навігації корекцію при зміні освітлення доцільно проводити з використанням експериментально отриманих залежностей для конкретної моделі сенсорного обладнання. При організації системи навігації БПЛА на базі просторово-спектральних портретів доцільно вибирати в якості об'єктів орієнтації такі, що мають найбільш стабільні спектральні показники.

Ключові слова: інформаційна технологія, навігація та управління, БПЛА, фотокамери, спектральні портрети місцевості.

Вступ та постановка проблеми. Поява в широкому доступі робототизованих безпілотних літальних апаратів створює принципово нові виклики щодо виходу із ладу навігаційного обладнання. Вартість достатньо досконалих коптерів, здатних пролетіти кілька кілометрів до місця призначення, що на 3-4 порядки менша за пілотовані військові апарати. Зазначене надає можливість організації терористичним угрупованням навіть ефективної кібератаки по системі навігації і управління кількома БПЛА. Крім того, наявні рішення щодо керування польотом БПЛА оператором по радіоканалу можуть відносно легко блокуватись засобами радіоелектронної боротьби (РЕБ) шляхом організації електромагнітних перешкод для каналу управління. Більш захищеним є використання для навігації БПЛА засобів

супутникового позиціонування, таких як GPS чи ГЛОНАСС. Проте, в разі навігації БПЛА на невеликі за розміром об'єкти можуть виникнути проблеми щодо точності позиціонування. До того ж при побудові систем супутникової навігації розробниками була закладена можливість введення похибок для цивільних діапазонів.

Додатково засобами РЕБ може здійснюватись спотворення сигналів системи супутникової навігації – GPS spoofing. У разі терористичних дій цілком ймовірна ситуація, що потужність та цілеспрямованість РЕБ призведе до відхилення маршрутів на кілька десятків чи навіть сотень метрів, що нівелює переваги БПЛА перед пілотованим апаратом. Оскільки такі засоби широко доступні, то для їх нейтралізації актуальними є розробка новітніх технологій навігації та управління польотом БПЛА для забезпечення ефективної протидії засобам РЕБ та кібератакам тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз методів і засобів та умов навігації БПЛА [1-7] свідчить про необхідність пошуку нових ефективних технологій навігації та управління польотом БПЛА.

Бортовий комплекс навігації та управління БПЛА, як правило, складається з інтегрованої навігаційної системи (ІНС), приймача супутникової навігаційної системи та з автопілоту, що забезпечує автоматичне і напіваавтоматичне (директорне) управління зльотом, польотом літака по заданій просторово-часовій траєкторії і посадкою в будь-яких метеоумовах. Сучасні високоточні системи навігації БПЛА базуються на використанні інерційних навігаційних систем (ІНС) [7], які можуть бути доповнені як системами супутникової корекції, так і системами навігації по геофізичних полях Землі [8-9].

Існує декілька типів сучасних традиційних навігаційних систем. Але жодна з них, працюючи окремо, не забезпечує необхідні вимоги по якісному безперервному та точному визначенню місцеположення літального апарату незалежно від пройденого шляху та часу роботи навігаційної апаратури. Застосування супутникових навігаційних систем для корекції ІНС призводить до низької завадостійкості системи корекції, а також до неавтономності функціонування навігаційної системи. Цих недоліків позбавлені кореляційно-екстремальні системи, що є їх великою перевагою. У зв'язку з цим кореляційно-екстремальні системи знайшли широке застосування в системах навігації, серед яких найкращими показниками за точністю характеризуються оптико-електронні. Однак, при вирішенні завдань навігації на ділянках місцевості з високою об'єктовою насиченістю, коли мають місце поряд з об'єктом прив'язки (ОП) інші яскраві об'єкти, близькі за параметрами з ОП, ефективність роботи таких систем може виявитися недостатньою. Крім того, зміна умов візування також призводить до спотворень та помилок, що обумовлено невідповідністю поточного зображення еталонному, сформованому заздалегідь.

Можливим рішенням щодо захисту від РЕБ терористичних угруповань є використання навігації на основі просторово-спектральних портретів місцевості, коли БПЛА орієнтується на попередньо завантажені бібліотеки орієнтирів на місцевості. У випадку використання малої кількості опорних точок чи орієнтирів їх можна сфальсифікувати чи знищити, проте, при використанні великої кількості об'єктів з урахуванням не лише їх геометрії, а і спектрального портрету, їх фальсифікація принципово ускладнюється. З цієї причини просторово-спектральна навігація є одним із пріоритетних напрямів розвитку керування БПЛА в умовах виходу з ладу навігаційного обладнання та застосування засобів РЕБ терористичними угрупованнями.

Традиційно вимірювання спектральних показників об'єктів в умовах змінного освітлення можливо організувати з використанням активного спектрального сенсору Raptor ACS-225LR, встановленого на літаку, який освітлював би наземні об'єкти за допомогою потужних світлодіодів. З урахуванням суттєвих обмежень щодо енергоозброєності та вантажопідйомності неспеціалізованих та найбільш розповсюджених БПЛА доцільність використання на них додаткових джерел освітлення на сьогодні є малоперспективною.

Можливим шляхом фіксації зміни освітлення для БПЛА є використання додаткового зенітного сенсору. Апаратна фіксація освітлення не вимагатиме наземних шаблонів, проте,

підвищить вартість БПЛА. До того ж такий підхід буде актуальним лише в умовах рівномірного освітлення. Однак, при наявності хмар можливі неприйнятно значні похибки. Альтернативою спеціалізованого сенсору є можливість використання для калібрування даних від вбудованого експонетру основного сенсорного обладнання, тобто врахування змін освітлення безпосередньо в польових умовах шляхом використання службових даних штатного експонетру цифрової фотокамери є можливою, проте потребує перевірки чи адаптації під інші моделі сенсорного обладнання.

При використанні найбільш розповсюджених та дешевих спектральних сенсорів оптичного діапазону слід враховувати вплив стану освітлення на спектральні показники об'єктів. Виходячи із цих міркувань, **метою досліджень** є розробка методичного підходу щодо корекції впливу освітлення для визначення в оптичному діапазоні спектральних портретів об'єктів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження проводились в лабораторних умовах та безпосередньо на дослідному польовому стаціонарі. В лабораторних умовах поряд із розробленими під БПЛА (FC200) цифровими фотокамерами досліджувались і смартфони (AppleiPhone 5s таLenovo s660).

Дослідження щодо встановлення залежності інтенсивності складових кольору від величини LightValue здійснювались на прикладі шаблону сірого кольору (насиченість 69%), надрукованому лазерним принтером на офісному папері білого кольору та зразків пшениці, розміщених на шаблоні (рис. 1).



Рисунок 1 – Зразок оптичного шаблону із зразком пшениці

Параметри налагодження фотокамери: «баланс білого» - ясна погода. Зміну величини LightValue здійснювали шляхом корекції експозиції в діапазоні $ev = -2.0 \dots 2.0$. Отримані результати приведено на рис. 2.

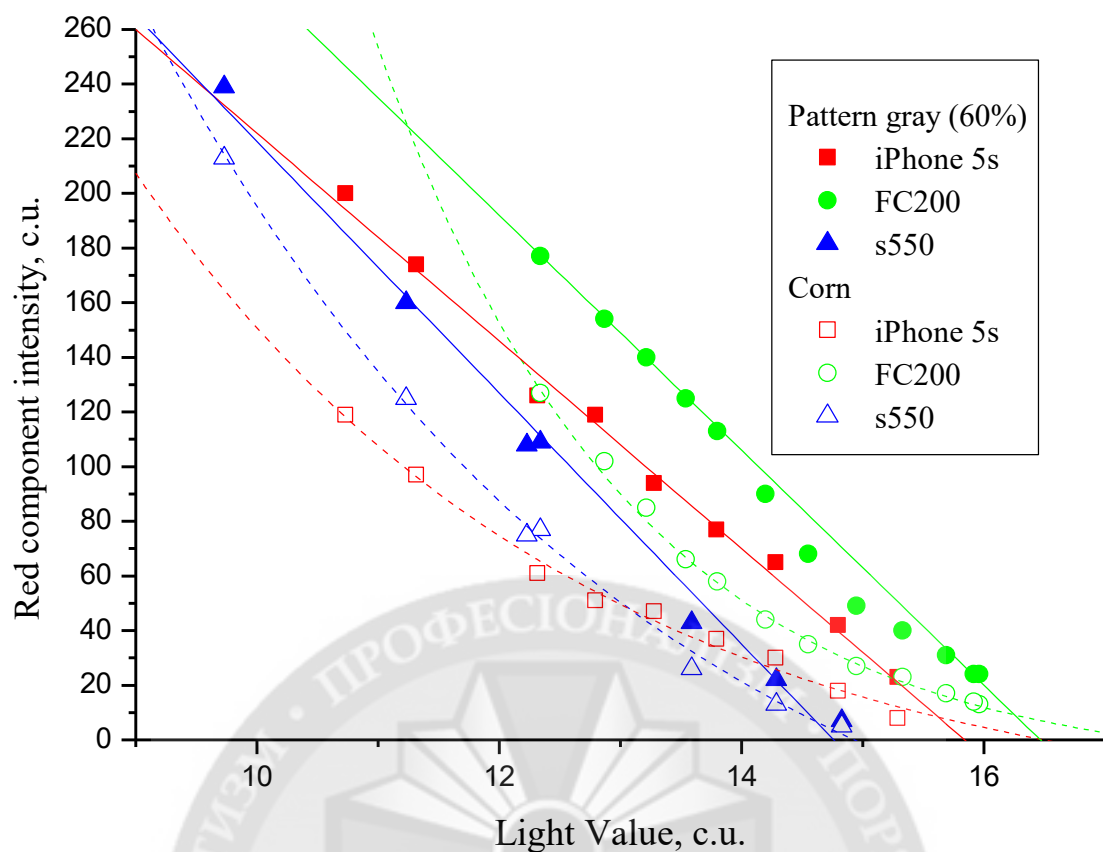


Рисунок 2 – Залежність інтенсивності червоної складової кольору від величини LightValue для різних моделей цифрових фотокамер

За результатами обробки експериментальних даних було встановлено, що характер залежності для фотокамер є неоднаковим. Для зразку сірого кольору при апроксимації лінійною залежністю коефіцієнт детермінації (R^2) для фотокамер iPhone 5s, FC200 та s660 становив 0,957, 0,931 та 0,989 відповідно. Для експоненціальної залежності – 0,989, 0,996 та 0,996 відповідно. Для кукурудзи за аналогією при лінійній залежності R^2 становив 0,993, 0,989 та 0,989 відповідно, для експоненціальної – 0,92, 0,991 та 0,986 відповідно.

Таким чином, можна засвідчити, що характер залежності в певній мірі визначається об'єктом моніторингу. Для штучного шаблону він більш точно описується нелінійною залежністю, що ускладнює калібрування при різному освітленні. Встановлено, що характер показаної вище залежності буде індивідуальним для кожної моделі камери, що слід враховувати при їх використанні для просторово-спектральної навігації. Було зроблено припущення, що більш точно корекцію щодо змін освітлення для практичних потреб можна зробити, отримавши експериментальну залежність для об'єктів у польових умовах.

Експериментальні дослідження в польових умовах було проведено на дослідному стаціонарі кафедри агрохімії та якості продукції рослинництва НУБіП України, де аналізувалось пшеничне поле з ділянками з різним станом мінерального живлення та ґрунтова дорога (рис. 3). Перед дослідженнями впродовж 3-х днів опадів на ділянці не було і дорога перебувала в повітряно-сухому стані.



Рисунок 3 – Дослідний стаціонар кафедри агрохімії та якості продукції рослинництва НУБіП України 17.05.20, висота польоту БПЛА 100 метрів

Досліди проводили 17.05.20 з 15 до 21 години. Освітленість при цьому становила від 41500 до 500 люкс. При вимірах люксметр розміщувався горизонтально без випадкової тіні за рахунок впливу хмар. У разі наявності хмар під час зйомки візуально оцінювали рівномірність освітлення всіх об'єктів у кадрі, нерівномірне освітлення не допускалося. В якості об'єктів досліджень обирали ґрунтову дорогу (road) та 2 ділянки з посівів пшениці озимої в стадії вегетації колосіння (0 – фон, 1 – штучно внесена нормована доза мінеральних добрив).

Отримані результати щодо залежності інтенсивності складових кольору об'єктів від величини LightValue подані на рис. 4.

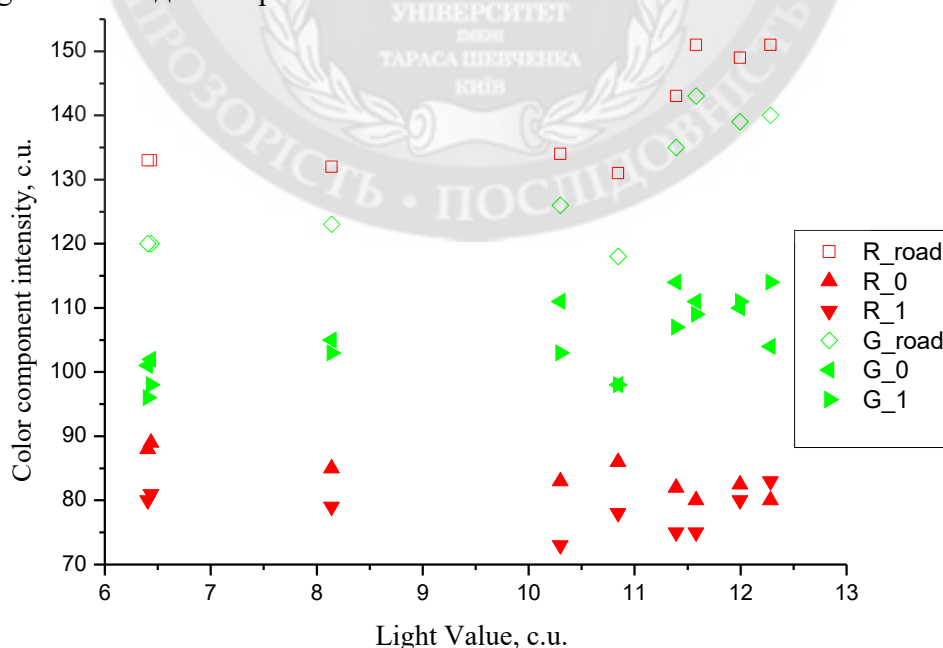


Рисунок 4 – Залежність червоної та зеленої складових кольору ґрунтової дороги та ділянок посівів пшениці озимої від величини LightValue де: road – ґрунтова дорога, 0 – без штучного внесення добрив, 1 – нормована доза

Результати досліджень показали, що на початку фази колосіння, за хмарності чи вечірнього освітлення (LightValue в діапазоні 6-11), при зйомці без корекції експозиції ($ev = 0$) залежність інтенсивності складових кольору від рівня мінерального живлення (вмісту азоту) рослин виражена максимально.

При використанні способу калібрування з додатковим Zenith сенсором, в якості якого використовувався люксметр, нелінійність залежності також спостерігається. Так, різниця в мінеральному живленні має найбільший вплив на інтенсивність складових кольору в діапазоні освітленості 1000-20000 люксів (рис. 5).

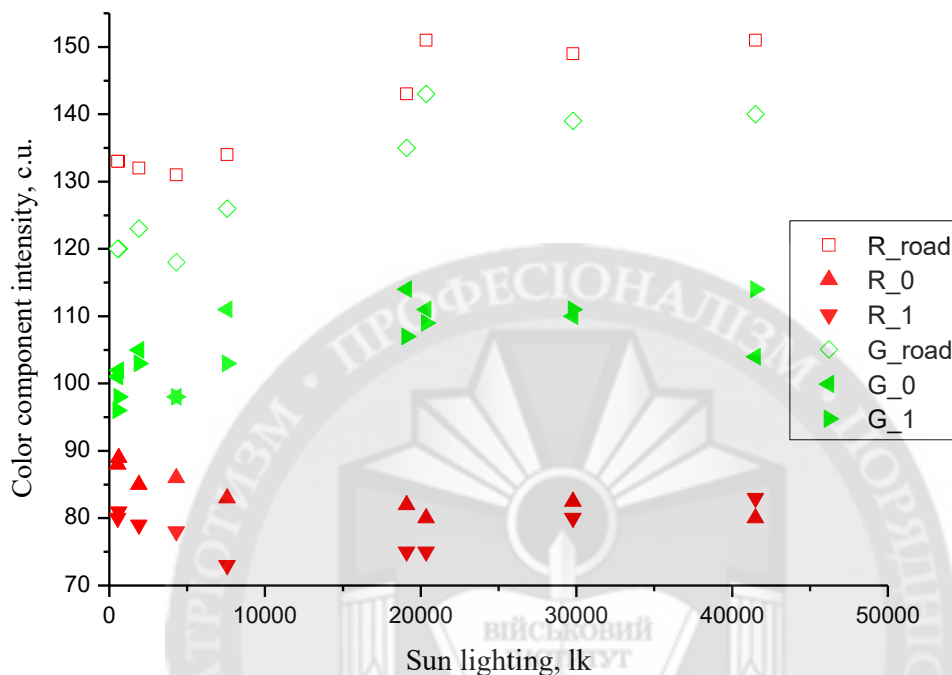


Рисунок 5 – Залежність інтенсивності складових кольору об'єктів від величини сонячного освітлення

Встановлено, що для розглянутих об'єктів найменший вплив освітлення було зафіксовано для ділянки пшеничного поля без штучного внесення добрив, а максимальний для ґрунтової дороги, що дуже важливо враховувати не тільки для навігації БПЛА, а також для вирішення завдань планування маршрутів, керування і навігації безпілотної техніки із застосуванням даних від БПЛА [10-12].

Таким чином, при побудові системи навігації на основі використання просторово-спектральних портретів доцільно орієнтуватися на об'єкти із стабільними характеристиками (спектральними показниками).

Висновки

1. Запропоновано методичний підхід щодо корекції впливу освітлення для визначення в оптичному діапазоні спектральних портретів об'єктів. Експериментально підтверджено, що при зміні освітлення калібрування спектральних даних на основі службової інформації від фотокамери може здійснюватись для різних моделей фотоапаратів.

2. Залежності інтенсивності складових кольору від величини LightValue для різних фотокамер та об'єктів моніторингу має індивідуальний характер.

3. Для практичних потреб просторово-спектральної навігації доцільно корекцію при зміні освітлення проводити з використанням експериментально отриманих залежностей для конкретної моделі сенсорного обладнання. При організації системи навігації БПЛА на базі просторово-спектральних портретів доцільно вибирати в якості об'єктів орієнтації такі, що мають найбільш стабільні спектральні показники.

ЛІТЕРАТУРА (REFERENCES):

1. Zakharin F. M., Ponomarenko S. A. On a scheme integration of inertial primary information sensors with on-board Navigation Correctors Aircraft IEEE 4-rd international Conference «Methods and systems navigation and movement control», Proceedings. Kyiv. 2016, 18-20 October, Kyiv, National aviation university. p. 98 – 101.
2. Aniskevych L.V., Zakharin F.M. Method of complex processing of navigation information for vehicle // ii international Conference “Methods and Systems of Navigation and Motion Control”, 2012. Ukraine. P. 37-40.
3. Qin Yongyuan, Zhang Hongqian, Wang Shuhua. Theory of Kalman Filter and integrated Navigation. Northwestern Polytechnic University Press, 2012. 386 p
4. Panov A. P., Ponomarenko S. A. On the Application of NonHamiltonian Unnormalized Quaternions of the Half-Rotation in the Strapdown inertial Systems // IEEE 3-rd international Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD). Proceedings. Kyiv. 2015, 13-15 october, p. 265 - 291.
5. Zakharin F. V., Ponomarenko S. A. Concept of Navigation System Design of UAV // IEEE 3-rd international Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD). Proceedings. Kyiv. 2015, 13-15 october, p. 261-264.
6. Sotnikov A., Tarshyn V., Yeromina N., Petrov S., Antonenko N. A method for localizing a reference object in a current image with several bright objects // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 3. № 9 (87). pp. 68–74.
7. Zakharin F.M., Ponomarenko S.A. Concept of Desing Navigation Systems of UAV / IEEE 3-rd International Conference “Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments”, Proceedings. Kyiv. National aviation university. 2015, 13-15 October, p. 261-264.
8. Panov A. P., Ponomarenko S. A. On the Application of Non-Hamiltonian Unnormalized Quaternions of the Half-Rotation in the Strapdown Inertial Systems // IEEE 3-rd International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD). Proceedings. Kyiv. 2015, 13-15 october, p. 265-291.
9. Jie Su A. Stealthy GPS Spoofing Strategy for Manipulating the Trajectory of an Unmanned Aerial Vehicle // Jie Su, Jianping He, Peng Cheng, Jiming Chen. IFAC-PapersOnLine. 2016, Vol. 49 (22), pp. 291-296.
10. Gunchenko Yu.A. S.A., Shvorov V.I., Zagrebnyuk , V.U. Kumysh, E.S. Lenkov Using UAV for unmanned agricultural harvesting equipment route planning and harvest volume measuring" / Yu.A. Gunchenko, // 2017 IEEE 4th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments, APUAVD 2017 – Proceedings, Kyiv. 2015, 13-15 october, p. 262-265.
11. Pasichnyk, N., Komarchuk, D., Opryshko, O., Shvorov, S., Reshettiuk, V., Oksana, B. Technologies for environmental monitoring of the city/ Pasichnyk, N., //2021 IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems, CADSM 2021 - Proceedings, 2021, p. 40–43, 9385213
12. Shvorov, S., Komarchuk, D., Pasichnyk, N., Opryshko, O., Gunchenko, Yu., Kuznichenko S. UAV Navigation and Management System Based on the Spectral Portrait of Terrain // 2018 IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), – Proceedings, Kyiv. 2018, 13-15 october, p. 68-71 , <http://dx.doi.org/10.1109/MSNMC.2018.8576304>.

**D.Sci. Tech., prof. Shvorov S.A., PhD Pasichnyk N.A.,
PhD Opryshko O.O., Glugan F.V., Yukhimenko A.C.**

NAVIGATION INFORMATION TECHNOLOGY AND UAV FLIGHT CONTROL ON THE BASIS OF SPECTRAL PORTRAITS OF THE LOCATION

The article proposes information technology for navigation and flight control of UAVs based on spectral portraits of the area. The urgency of the work is caused by the appearance in wide access of robotic unmanned aerial vehicles, which creates fundamentally new challenges for the failure of navigation equipment. This makes it possible for a terrorist group to organize even an effective cyber attack on the navigation and control system of several UAVs. In addition, existing solutions for UAV flight control by a radio operator can be relatively easily blocked by electronic warfare (EW) means by arranging electromagnetic interference for the control channel.

A possible solution to protect terrorist groups from EW is to use the proposed information navigation technology based on spatial-spectral portraits of the area, when the UAV focuses on pre-loaded libraries of

landmarks in the area. In the case of using a small number of reference points or landmarks, they can be falsified or destroyed, but when using a large number of objects, taking into account not only their geometry but also spectral portrait, their falsification in the event of failure of navigation equipment and use of EW by terrorist groups. complicated. It has been experimentally established that the influence of the state of illumination on the spectral parameters of objects should be taken into account when using the most common and cheapest spectral sensors in the optical range. Based on these considerations, the aim of the research is to develop a methodological approach to the correction of lighting effects to determine in the optical range of spectral portraits of objects.

The research was carried out in the laboratory and directly on the experimental field hospital, as a result of which the dependences of the intensity of color components on the value of LightValue were established on the example of a gray pattern (saturation 69%).

It has been experimentally confirmed that when the lighting changes, the calibration of spectral data based on service data from the camera can be performed for different camera models. For the practical needs of spatial-spectral navigation, the correction when the lighting changes is expedient to carry out using experimentally obtained dependences for a specific model of sensor equipment. When organizing the navigation system of the UAV on the basis of spatial-spectral portraits, it is advisable to choose as objects of orientation those that have the most stable spectral indicators.

Keywords: information technology, navigation and control, UAV, cameras, spectral portraits of the area.

