

МЕТОДИКА ПРОГРАМНОЇ ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ АТМОСФЕРНОЇ КОРЕКЦІЇ ВІД ЗЕНІТНОГО СЕНСОРУ БПЛА

Н. А. Пасічник, кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Д. С. Комарчук, кандидат технічних наук, доцент

О. О. Опришко, кандидат технічних наук, доцент

С. А. Шворов, доктор технічних наук, професор

І. М. Болбот, доктор технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: ozon.kiev@gmail.com

Анотація. Використання БПЛА в рослинництві є одним з пріоритетних напрямків щодо збільшення врожайності та збереження родючості ґрунтів. Критично важливим для спектрального моніторингу при використанні пристроїв технічного зору є врахування змін освітлення досліджуваних об'єктів. Для здійснення атмосферної корекції сучасні серійні комплекси спектрального моніторингу мають штатний зенітний сенсор зафіксований зверху БПЛА. При такому рішенні цілком можлива ситуація, коли під час польоту за рахунок нахилу повітряного апарату сенсорні системи знаходяться під кутом до горизонту, який змінюватиметься, зокрема при розгортанні апарату, що може призвести до отримання хибних результатів. Для бюджетних апаратів створених для потреб суто моніторингу використання спеціалізованих сенсорів для контролю кута атаки літального апарату з економічних причин вважається сумнівним рішенням. Альтернативою спеціалізованими сенсорам можуть стати програмні засоби. Нині відсутні методики для програмної оцінки придатності автоматичної атмосферної корекції спектральних даних, розробка якої і склало мету роботи.

Польові дослідження проводились 30.10.2019 р. у Бориспільському районі на виробничих посівах озимого ріпаку та пшениці.

Було встановлено, що при використанні зенітного сенсору для здійснення атмосферної корекції дотримання режиму польоту стосовно врахування напрямку вітру є критично важливим для інтерпретації отриманих даних стосовно характеру стресів рослинних насаджень. При різному куті нахилу спектрального сенсорного обладнання Slantrange 3r фіксується як зсув максимуму розподілу для не коригованих даних, так і корекція стандартного відхилення для скоригованих у програмі Slantview даних. Перевірити відповідність режиму зйомки для скоригованих системою Slantrange даних можливо, оцінюючи геометрію знімків отриманих при польоті в протилежних напрямках. При неможливості проведення додаткового моніторингу агрономи для встановлення характеру стресу можуть додатково враховувати і не скориговані дані.

Ключові слова: *БПЛА, кут атаки, атмосферна корекція, інтерпретація причин стресу*

Актуальність. Використання БПЛА в рослинництві є одним з пріоритетних напрямків щодо збільшення врожайності та збереження родючості ґрунтів. Якщо в попередні роки використання такого складного обладнання спостерігалось передусім для великих агропідприємств, то за даними J.V.N.Nakshmi et al (2020) [1] воно стає звичайною практикою навіть для невеликих господарств на периферії. Цьому сприяють як соціальні чинники, так і вдосконалення та здешевлення БПЛА і систем спектрального моніторингу, як показано в оглядовій роботі Zheng Zhou et al (2021) [2], а також програмного забезпечення для обробки та інтерпретації даних описаних в роботі Xu Wang et al (2018) [3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Завдяки сучасним засобам спектрального моніторингу, аграрії при використанні БПЛА мають змогу визначати габаритні розміри рослин та площу листової поверхні за допомогою лазерних радарів LiDAR, огляд яких описано в et al (2021) [4]. Попри беззаперечні переваги таке обладнання поки має порівняно велику вагу та складність обробки даних, тому серійно на виробництві використовують знаряддя для фіксації інтенсивності забарвлення рослинних об'єктів. Критично важливим для спектрального моніторингу при використанні пристроїв технічного зору є врахування змін освітлення досліджуваних об'єктів. Для наземного обладнання це можна реалізувати при застосуванні штучного опромінювання, як показано на прикладі ідентифікації яблук в кроні дерев в роботі I. Smirnov at al (2021) [5], полуниці та помідорів, описаних в роботах D. Khort at al (2020) [6] та I. Korobiichuk at al (2017) [7], відповідно. Із притаманними для БПЛА жорсткими обмеженнями щодо енергетики такий підхід є недоцільним і тому на практиці використовують наземні рефлекторні панелі та зенітні сенсори, що розглянуто в роботі V. Lysenko at al (2017) [8]. Рефлекторні панелі для атмосферної корекції дають найбільш точні та відтворювані результати, проте завдяки їх великим габаритам та, відповідно, вартості їх використання в промислових масштабах обмежено. Зенітні сенсори штатно реалізовані в таких серійних спеціалізованих сенсорних системах, як

Slantrange, DJI Phantom 4 Multispectral, описаних в Jing Zhang at al (2021) [9], Run Yu at al (2021) [10], Rodrigo Nogueira Martins at al (2021) [11], відповідно. У вказаного обладнання zenітні сенсори жорстко зафіксовані в горі БПЛА і цілком можлива ситуація, коли під час польоту за рахунок нахилу повітряного апарату сенсорні системи знаходяться під кутом до горизонту, який змінюватиметься, зокрема при розгортанні апарату.

Відстеження кута атаки є важливою задачею при керуванні літальними пристроями взагалі та БПЛА зокрема, і в оглядові роботі L. Sankaralingam at al (2020) [12] описано спеціалізовані програмно-апаратні комплекси. У роботі L. Sankaralingam at al (2021) [12] запропоновано бюджетний варіант для невеликих БПЛА, створений з використанням 3D принтеру. Такі додаткові пристрої для контролю позиціонування апарату впроваджують у потужні спеціалізовані БПЛА для внесення засобів захисту рослин, показаних у роботі Haitao Xiang at al (2011) [14]. Альтернативним варіантом, описаним Muhammad Awais at al (2021) [15], є паралельне використання кількох різних цифрових камер різного спектрального діапазону одночасно. Для бюджетних апаратів, створених для потреб суто моніторингу, використання таких спеціалізованих сенсорів вважається сумнівним рішенням, як показано в проблемній роботі L.M.González-deSantos at al (2020) [16], де обґрунтовано доцільність суто програмних рішень для керування польотом.

Питання є актуальним і в аграрній сфері, де при здійсненні спектрального моніторингу для уникнення впливу кута нахилу існують стабілізовані платформи реалізовані для сенсорів Sentera Double 4K, проте для такого специфічного зразку не передбачено zenітного сенсору. Технічно створення такої системи цілком можливе, проте на практиці це було реалізоване лише для знаряддя, яке відрізняється від аналогів малою вагою та габаритами. Для більш важких систем це не використовують завдяки істотному зростанню ваги системи, що критично впливає на час польоту і, відповідно, можливу площу обстеження.

Мета дослідження – розробка методики для програмної оцінки придатності автоматичної атмосферної корекції спектральних даних.

Матеріали та методи дослідження. *Організація дослідів.* Польові дослідження проводились 30.10.2019 у Бориспільському районі на виробничих посівах озимого ріпаку та пшениці (координати дослідних полів 50°16' N, 30°58'E). При здійсненні польотів була суцільна хмарність із поривчастим вітром швидкістю до 5-6 м/с.

Моніторинг проводили з висоти 100 метрів з використанням гексакоптеру DJI Matrice 600, сенсорна система Slantrange 3. Перевагою вказаної сенсорної системи є можливість отримання карт розподілу вегетаційних індексів безпосередньо в полі впродовж години після завершення обльоту дослідної ділянки. Завдяки цій особливості сенсорного комплексу є можливість оперативного визначення характерних ділянок для відбору зразків рослин та ґрунту для лабораторних досліджень.

Програмне забезпечення реалізується окремо від апаратної частини і за потреби користувач може використовувати альтернативні програмні продукти для обробки даних, для чого передбачено можливість збереження вихідних даних в форматі TIFF та створюється окремий файл із фіксацією позиціонування знімків завдяки штатній системі GPS сенсорної системи Slantrange. Для таких даних коригування щодо змін освітлення не здійснюється.

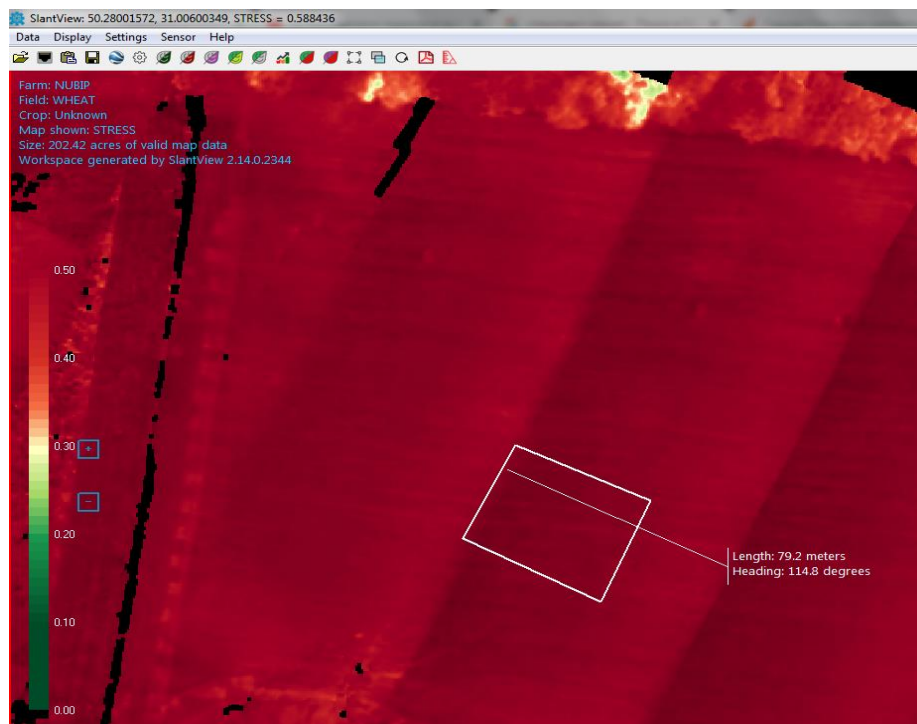


Рис. 1. Карта розподілу вегетаційного індексу Stress (вікно карт ПЗ Slantview) із вимірами ширини стресових ділянок для посівів ріпаку

На сформованій у ПЗ Slantview карті розподілу вегетаційних індексів були зафіксовані чіткі межі між ділянками поля на посівах ріпаку (рис. 1) та пшениці (рис.2).

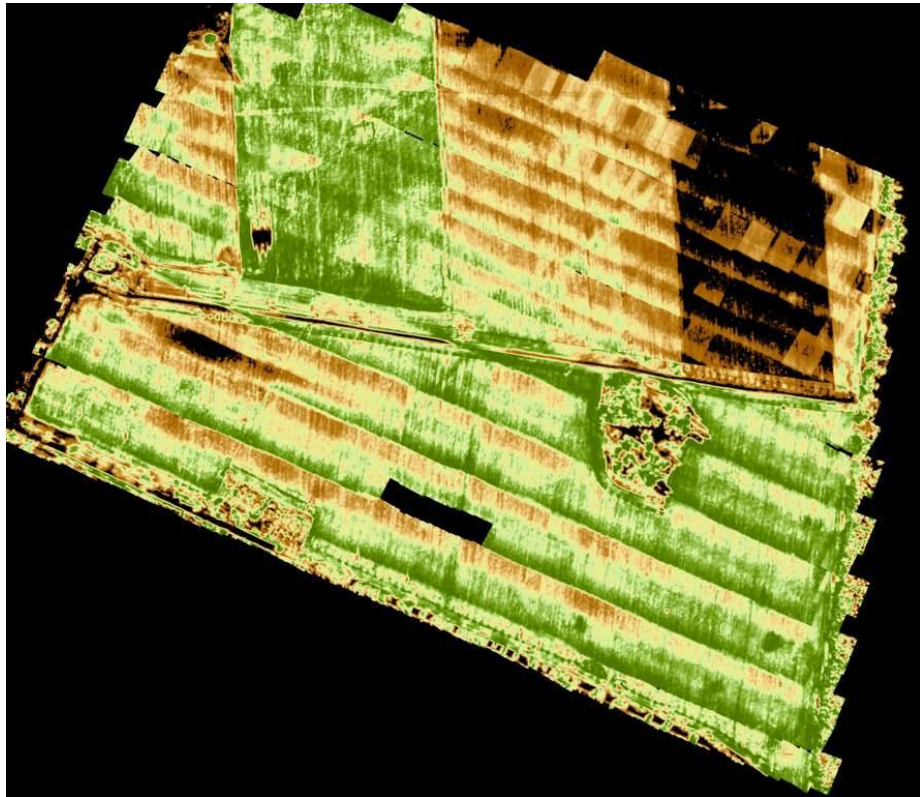


Рис. 2. Карта розподілу вегетаційного індексу Vegetative fraction (формат GeoTIFF) для посівів озимої пшениці

Наявність чітко виражених прямих ліній є характерною ознакою саме технологічного характеру стресу, оскільки прямі лінії не є притаманними для природних об'єктів, як доведено в роботі M. Dolia et al (2019) [17]. Проте польові дослідження не підтвердили припущення щодо технологічного характеру стресу: габарити та забарвлення рослин не мали значущої різниці. Вимірювання вологості та ущільнення ґрунту також не виявили різниці між ділянками, котра б перевищувала величину похибки для сенсорного обладнання. Агрономи господарства надали технологічні карти обробки поля за 5 років. Згідно наданих матеріалів розташування визначених меж стресових ділянок знаходилась під кутом до технологічних колій. При обробці геоданих було встановлено, що в обох випадках ширина стресових ділянок становила 79-80 м, але технічного обладнання з такою шириною обробки в господарстві немає і не було раніше. Тобто, фіксація

прямих ліній для розташування дослідних ділянок зумовлена помилками при створенні карти розподілу вегетаційних індексів. Для перевірки були використані сусідні ділянки (рис. 3).

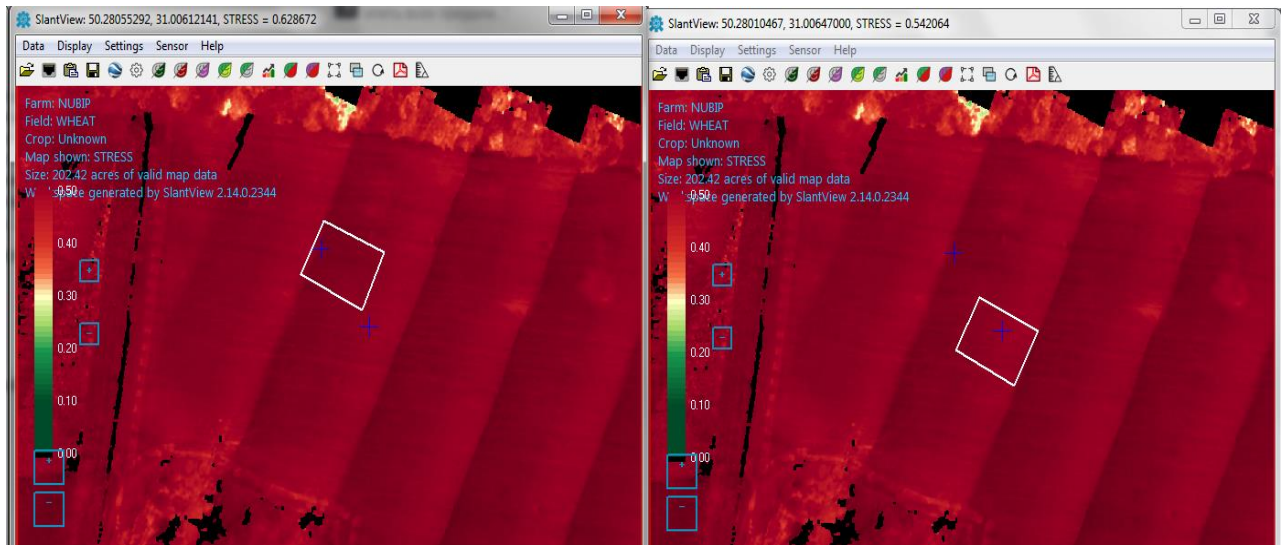


Рис. 3. Карта розподілу вегетаційного індексу із дослідними ділянками (вікно карт ПЗ Slantview)

Обробка даних. Сенсорна система Slantrange 3p має 4 об'єктиви, тобто один об'єктив відповідає за окремий канал, що розташовані лінійно на відстані до 10 см. Зазначене потребує корегування щодо позиціонування об'єктів для різних спектральних каналів і при використанні програмного забезпечення slantview корекція позиціонування для створення карт розподілу вегетаційних індексів здійснюється автоматично.

ПЗ slantview v.2.13.1.2304 надає користувачу лише карти готових вегетаційних індексів обмеженої номенклатури і не передбачає можливості штатного імпорту неопрацьованих даних відповідних каналів. Проте відкориговані щодо освітлення та позиціонування дані для цих каналів відображаються в окремому вікні знімків, звідки були скопійовані і збережені у графічному форматі bmp (24 bit) засобами Windows.

Для забезпечення точності при візуальній ідентифікації для різних спектральних каналів використовували опорні мітки, встановлені в ручному режимі в програмному забезпеченні Slantview (перехрестя синього кольору на рис.3). Опорні точки відображаються як у вікні карт, так і у вікні знімків ПЗ Slantview,

завдяки чому забезпечується однозначна ідентифікація об'єктів на зображеннях за спектральними каналами у вікні знімків.

Перерахунок спектральних даних, збережених у вигляді монохромних та кольорових зображень, здійснювалася в ПЗ MathCad за методикою, описаною в роботі N.Pasichnyk et al (2020) [18]. Попередньо обробку графічної інформації для вибору дослідних ділянок здійснювали в ручному режимі засобами Microsoft® Picture Manager, базуючись на опорних точках. При обробці чорнових даних, для яких не було передбачено узгодження пікселів за різними спектральними каналами, використовували корекцію за наземними орієнтирами, які було можливо однозначно ідентифікувати за наявними спектральними каналами.

Результати досліджень та їх обговорення. У вікні карт користувач може в ручному режимі визначити значення індексу для ділянки поля (пікселю зображення). Було зафіксовано різницю визначення вегетаційних індексів для дослідних ділянок. Додатково було здійснено аналіз розподілу за червоним спектральним каналом, отриманим із вікна знімків ПЗ Slantview (рис. 4).

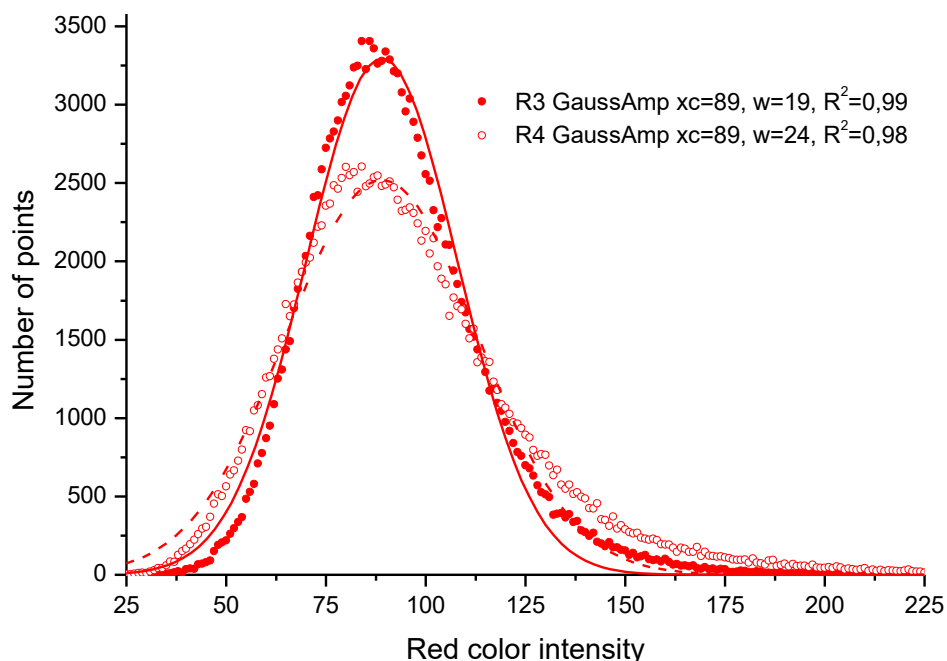


Рис. 4. Результати апроксимації залежності кількості пікселів від величини інтенсивності червоної складової кольору, відкалібровані ПЗ SlantView

Як показали результати обробки даних, величина максимуму розподілу однакова для обох ділянок. При цьому для ділянок, визначених за результатами дистанційного зондування, як тих, що перебувають в стресовому стані, величина стандартного відхилення більша, ніж для «здорових». У роботі D. Komarchuk et al (2020) [19] показано, що це також є свідченням наявності стресу рослинних насаджень. Тобто як на рівні розрахованих системою карт, так і на рівні вихідних скоригованих за освітленням даних за спектральними каналами фіксується стресовий стан, що суперечить результатам лабораторних досліджень.

На рис. 5 показані вікна знімків для дослідних ділянок у псевдокольорах, на яких можна оцінити геометрію дослідних ділянок, отриманих при польотах у протилежних напрямках.

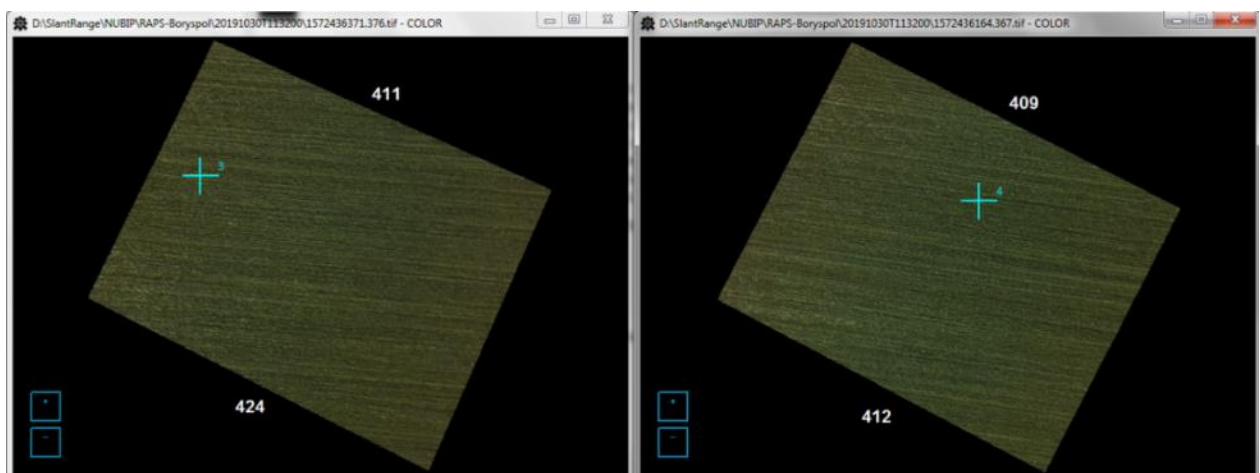


Рис. 5. Зображення вікон знімків для дослідних ділянок із розмірами сторін в пікселях при польоті проти вітру (ліворуч) та за вітром (праворуч)

Враховуючи довжину сторін для переднього та заднього фронтів дослідних ділянок, що представлені на рис. 5, можна зробити висновок, що кут нахилу камери за різних напрямків польоту БПЛА був різним, що не відповідає технічним умовам щодо використання комплексу Slantrange. Причиною цього виявилось неврахування напрямку вітру, оскільки розробником зазначається, що допустимим є саме боковий вітер, який не призводить до різного кута нахилу БПЛА впродовж проведення моніторингу.

Окрім оброблених даних, система зберігає вихідні зображення в форматі tiff, розташування яких на накопичувачі даних відображається у вікні знімків в строчці заголовків (рис.5).

Розподіл значень інтенсивності кольору за червоним каналом із некорегованих даних наведені на рис. 6.

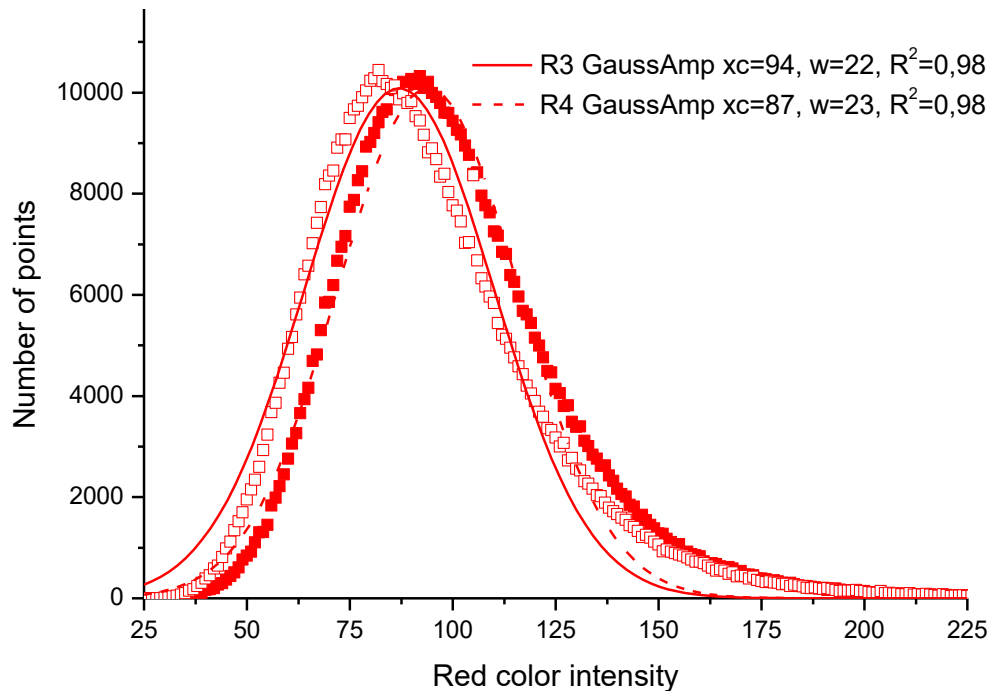


Рис. 6. Результати апроксимації залежності кількості пікселів від величини інтенсивності червоної складової кольору без корегування за станом освітлення

Виходячи з аналізу некоригованих даних за стандартним відхиленням розподілу GaussAmp, відмінність у величині стресового стану ділянок не фіксується (знаходиться в межах похибки). Поява прямолінійних меж розподілу зумовлена невірною корекцією щодо освітлення через недотримання правил проведення зйомки щодо врахування напрямку вітру.

Слід зазначити, що сенсорна система Slantrange, насамперед, розрахована на літакові платформи, де вплив вітру на кут нахилу спектральної системи має бути меншим.

Апробація роботи. Робота доповідалась на міжнародній науковій конференції ISIT 2021: II International Scientific and Practical Conference «Intellectual Systems and Information Technologies», September 13–19, 2021, Odesa, Ukraine (Validation of Data

Obtained After Field Sensing Using UAV for Management of Future Crops).
Висловлюємо щирю вдячність Юрію Гунченко та Оксані Зуї за допомогу щодо організації проведення досліджень.

Висновки і перспективи.

Вперше запропоновано оцінювати якість фільтрації сторонніх об'єктів за ідентифікацією рослинних насаджень, базуючись на оцінці розподілу інтенсивності складових кольору пікселів на дослідній ділянці. Встановлено, що розподіл для рослин описується функцією GaussAmp, а тому наявність «сторонніх» пікселів (грунт, органічні рештки) визначається порівнянням наявного розподілу з апроксимуючою залежністю Гауса. Окрім оцінки якості фільтрації такий підхід дозволить для агрономічних потреб підвищити точність та відтворюваність отриманих даних.

Вперше запропоновано оцінювати агробіологічну придатність даних моніторингу посівів озимих культур для аналізу за результатами оцінювання розподілу інтенсивності червоної та зеленої складових кольору. Так, етап вегетації може вважатися усталеним для ділянки і результати його спектрального моніторингу є придатними для наступного аналізу, якщо після фільтрації ґрунту максимум пікселів основного розподілу перевищує найближчий за значенням більше ніж у три рази.

References

1. J.V.N.Nakshmi, K.S.Hemanth, J.Bharath (2020). Optimizing Quality and Outputs by Improving Variable Rate Prescriptions in Agriculture using UAVs. *Procedia Computer Science*, 167, 1981-1990, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.229>.
2. Zheng Zhou, Yaqoob Majeed, Geraldine Diverres Naranjo, Elena M.T. Gambacorta (2021). Assessment for crop water stress with infrared thermal imagery in precision agriculture: A review and future prospects for deep learning applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 182, 106019, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106019>.
3. Xu Wang, Hong Sun, Yaowei Long, Lihua Zheng, Haojie Liu, Minzan Li (2018). Development of Visualization System for Agricultural UAV Crop Growth Information Collection. *IFAC-PapersOnLine*, 51 (17), 631-636, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.126>.

4. Yi-Chun Lin, Ayman Habib (2021). Quality control and crop characterization framework for multi-temporal UAV LiDAR data over mechanized agricultural fields. *Remote Sensing of Environment*, 256, 112299, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112299>.
5. I. Smirnov, A. Kuttyrev, N. Kiktev (2021). Neural network for identifying apple fruits on the crown of a tree. *International scientific forum on computer and energy Sciences (WFCES 2021), E3S Web Conf.*, 270, 01021, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127001021>.
6. D. Khort, A. Kuttyrev, I. Smirnov, V. Osypenko, N. Kiktev (2020). Computer vision system for recognizing the coordinates location and ripeness of strawberries (Conference Paper). *Communications in Computer and Information Science DSMP*, 1158, 334-343, https://doi.org/10.1007/978-3-030-61656-4_22.
7. Korobiichuk I., Lysenko V., Reshetiuk V., Lendiel T., Kamiński M. (2017). Energy-Efficient Electrotechnical Complex of Greenhouses with Regard to Quality of Vegetable Production. In: Szewczyk R., Kaliczyńska M. (eds). *Recent Advances in Systems, Control and Information Technology. SCIT 2016. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 543, 243 - 251. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48923-0_30.
8. V. Lysenko, D. Komarchuk, O. Opryshko, N. Pasichnyk, N. Zaets (2017). Determination of the not uniformity of illumination in process monitoring of wheat crops by UAVs. 2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2017 – Proceedings, Volume 2018-January, 28 June 2017, 265-267. <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246394>.
9. Jing Zhang, Jerome Maleski, Brian Schwartz, Dustin Dunn, Daniel Mailhot, Xinzhi Ni, Karen Harris-Shultz, Joseph Knoll, Michael Toews (2021). Assessing spatio-temporal patterns of sugarcane aphid (Hemiptera: Aphididae) infestations on silage sorghum yield using unmanned aerial systems (UAS). *Crop Protection*, 146, 105681, <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105681>.
10. Run Yu, Youqing Luo, Quan Zhou, Xudong Zhang, Dewei Wu, Lili Ren (2021). Early detection of pine wilt disease using deep learning algorithms and UAV-based multispectral imagery. *Forest Ecology and Management*, 497, 119493, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119493>.
11. Rodrigo Nogueira Martins, Marcelo Fagundes Portes, Hugo Marcus Fialho e Moraes, Marconi Ribeiro Furtado Junior, Jorge Tadeu Fim Rosas, Wilson de Almeida Orlando Junior (2021). Influence of tillage systems on soil physical properties, spectral response and yield of the bean crop. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 22, 100517, <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100517>.
12. L.Sankaralingam, C. Ramprasad (2020) A comprehensive survey on the methods of angle of attack measurement and estimation in UAVs. *Chinese Journal of Aeronautics*, 33 (3), 749-770, <https://doi.org/10.1016/j.cja.2019.11.003>.
13. L.Sankaralingam, C. Ramprasad (2021). Angle of attack measurement using low-cost 3D printed five hole probe for UAV applications. *Measurement*, 168, 108379, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108379>.

14. Haitao Xiang, Lei Tian (2011). Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV). *Biosystems Engineering*, 108, (2), 174-190, <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.11.010>.
15. Muhammad Awais, Wei Li, Muhammad Jehanzeb Masud Cheema, Shahid Hussain, Tahani Saad AlGarni, Chenchen Liu, Asad Ali (2021). Remotely sensed identification of canopy characteristics using UAV-based imagery under unstable environmental conditions. *Environmental Technology & Innovation*, 22, 101465, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101465>.
16. L.M. González-deSantos, J. Martínez-Sánchez, H. González-Jorge, F. Navarro-Medina, P. Arias (2020). UAV payload with collision mitigation for contact inspection. *Automation in Construction*, 115, 103200, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103200>.
17. M. Dolia, V. Lysenko, N. Pasichnyk, O. Opryshko, D. Komarchuk, V. Miroshnyk, T. Lendiel, A. Martsyfei (2019). Information Technology for Remote Evaluation of After Effects of Residues of Herbicides on Winter Crop Rape. 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT), 469-473, <https://doi.org/10.1109/AICT.2019.8847850>.
18. N. Pasichnyk, D. Komarchuk, V. Lysenko, O. Opryshko, V. Miroshnyk, S. Shvorov, N. Kiktev, V. Reshetiuk, T. Lendiel (2020). Substantiation of the Choice of the Optimal UAV Flight Altitude for Monitoring Technological Stresses for Crops of Winter Rape. 2020 IEEE 6th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), 141-145, <https://doi.org/10.1109/MSNMC50359.2020.9255535>.
19. D. Komarchuk, N. Pasichnyk, V. Lysenko, O. Opryshko, S. Shvorov, V. Reshetiuk, O. Udovenko, T. Knizhka, M. Kharinova (2020). Algorithms and Software for UAV Flight Planning for Monitoring the Stress Conditions of Plantations. IEEE 6th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), 146-149, <https://doi.org/10.1109/MSNMC50359.2020.9255605>.

МЕТОДИКА ПРОГРАММНОЙ ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ АТМОСФЕРНОЙ КОРРЕКЦИИ ДЛЯ ЗЕНИТНОГО СЕНСОРА БПЛА

Н. А. Пасечник, Д. С. Комарчук, А. А. Опришко, С. А. Шворов, И. М. Болбот

Аннотация. *Использование БПЛА в растениеводстве является одним из приоритетных направлений по увеличению урожайности и сохранению плодородия почв. Критически важным для спектрального мониторинга при использовании устройств технического зрения является учет изменений освещения изучаемых объектов. Для осуществления атмосферной коррекции современные серийные комплексы спектрального мониторинга имеют штатный зенитный сенсор, зафиксированный сверху БПЛА. При таком решении вполне возможна ситуация, когда во время полета за счет наклона воздушного аппарата сенсорные системы находятся под различным углом к линии горизонта, что может привести к получению ошибочных результатов. Для бюджетных аппаратов, созданных для нужд чисто мониторинга, использование специализированных сенсоров для контроля угла атаки летательного аппарата по экономическим причинам считается сомнительным решением. Альтернативой специализированным сенсорам могут стать программные средства. В настоящее время отсутствуют*

методики для программной оценки пригодности автоматической атмосферной коррекции спектральных данных, разработка которой и составила цель работы. Полевые исследования проводились 30.10.2019 г. в Бориспольском районе на производственных посевах озимого рапса и пшеницы. Было установлено, что при использовании зенитного сенсора для осуществления атмосферной коррекции соблюдение режима полета с учетом направления ветра является критически важным для интерпретации полученных данных по характеру стрессов растительных насаждений. При разном угле наклона спектрального сенсорного оборудования Slantrange 3p фиксируется как смещение максимума распределения для не корректируемых данных, так и коррекция стандартного отклонения для скорректированных в программе Slantview данных. Проверить соответствие режима съемки для скорректированных системой Slantrange данных можно, оценивая геометрию снимков, полученных при полете в противоположных направлениях. При невозможности проведения дополнительного мониторинга агрономы для установления стресса могут дополнительно учитывать и не скорректированные данные.

Ключевые слова: БПЛА, угол атаки, атмосферная коррекция, интерпретация причин стресса

VALIDATION OF DATA OBTAINED AFTER FIELD SENSING USING UAV FOR MANAGEMENT OF FUTURE CROPS

N. Pasichnyk, D. Komarchuk, O. Opryshko, S. Shvorov, I. Bolbot

Abstract. *The use of UAVs in crop production is one of the priority areas for increasing yields and maintaining soil fertility. Consideration of changes in the illumination of the objects under study is critical for spectral monitoring when using vision devices. To carry out an atmospheric correction, modern serial spectral monitoring complexes must have a standard anti-aircraft sensor fixed from the top of the UAV. With such a solution, a situation is quite possible when, during the flight, due to the inclination of the aircraft, the sensor systems are at an angle to the horizon, which will change, in particular, when the device is deployed, which can lead to false results. For budget vehicles created for purely monitoring purposes, the use of specialized sensors to control the angle of attack of the aircraft is considered a dubious decision for economic reasons. An alternative to specialized sensors can be software tools. Currently, there are no methods for the programmatic assessment of the suitability of automatic atmospheric correction of spectral data, the development of which was the purpose of the work. Field studies were carried out on October 30, 2019, in the Boryspil region on industrial crops of winter rapeseed and wheat. The monitoring was carried out from a height of 100 meters using the DJI Matrice 600 hexacopter, the Slantrange 3 sensor system. The spectral data were processed using the Slantview software standard for the sensor system, the uncorrected data were calculated in the MathCAD environment. It was found that when using the zenith sensor for atmospheric correction, compliance with the flight regime with respect to the wind direction is critical for the interpretation of the data obtained on the nature of the stresses of vegetation. For the first time for spectral control systems equipped with an anti-aircraft illumination control sensor, it was shown that it is necessary to control the flight mode parameter as an angle of attack because of its*

significant influence on the obtained spectral data. The authors proposed a method for checking the compliance of the shooting mode by the angle of inclination of the vehicle with the data corrected by the Slantrange system, based on the assessment of the geometry of the images obtained during flight in opposite directions. The methodology proposed by the authors for assessing the stress state of plants is suitable for processing and approximate data if the repeated flight of the UAV is impractical.

Key words: *UAV, angle of attack, atmospheric correction, interpretation of the causes of plants stress.*