

## ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ ОПТИЧНИХ КАМЕР БПЛА ДЛЯ МОНІТОРИНГУ СТАНУ АЗОТНОГО ЖИВЛЕННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР НА ПРИКЛАДІ КУКУРУДЗИ

Лисенко В. П., Пасічник Н. А., Комарчук Д. С., Опришко О. О., Юхименко А. С.

Національний університет біоресурсів та природокористування України

Розглянуто можливість використання для камери GoPro Hero 4 зі штатним (оптичним) і інфрачервоним об'єктивом для моніторингу стану азотного живлення кукурудзи. Встановлено, що інфрачервоний об'єктив фіксує "червону" (640-690 нм) та інфрачервону (820-880 нм) ділянки спектрів. Визначено, що інфрачервоний діапазон дає кращий результат при моніторингу стану азотного живлення кукурудзи. Запропоновано інтегральний спектральний стресовий індекс при використанні інфрачервоного фільтра для штатної фотокамери безпілотного літального апарата, котрий враховує як спектральну, так і геометричну складові.

**Постановка проблеми.** Стандартні рішення моніторингу рослинних насаджень із використанням супутникових платформ розроблялися для з оцінки врожаю і погано пристосовані для оперативного визначення оптимальних дозувань добрив при підживленні рослин. Завдяки низькій собівартості знімків із високою розподільчою здатністю, незалежності від наявності хмар і оперативності отримання результатів безпілотні літальні апарати (далі БПЛА) в складі комплексу технологій точного землеробства надають аграріям принципово нові можливості щодо програмування врожаю. На сьогодні для спектрального моніторингу із використанням БПЛА серійно випускаються спеціалізовані сенсори такі як Sланtrange, AgroCam PRO NIR тощо. З урахуванням того, що підживлення рослин здійснюється кілька разів і лише в певні фази вегетації, поширення таких вузькоспеціалізованих систем обмежене коротким терміном протягом року при високій вартості обладнання. Економічно для господарств було б доцільніше мати універсальне обладнання, але штатні фотокамери працюють в оптичному діапазоні, котрі застосовуються для таких культур як пшениця [1], а для кукурудзи можуть бути неефективними [2]. Робота оптичної камери в інфрачервоному діапазоні можлива за умов використання інфрачервоного об'єктива. У цьому випадку наявними є три канали, котрі стандартно відповідали б червоному, зеленому і синьому каналам.

У теперішні часи інфрачервона зйомка використовується для визначення проблемних зон на полі, тобто використовується в індикаторному режимі. Для проведення кількісної оцінки з достатньою надійністю результатів потрібно знати спектральні показники сенсорного обладнання.

**Мета статті.** Метою роботи є оцінка спектральних характеристик камери з інфрачервоним фільтром і можливості її використання для моніторингу стану азотного живлення кукурудзи.

**Основні матеріали дослідження.** Для оцінки спектральних каналів цифрових фотокамер використовують стандарт European Machine Vision Association (EMVA) - 1288 [3], де в якості тестових джерел випромінювання використовуються спеціальні джерела. В якості таких може бути набір джерел світла з фіксованими і досить вузькими спектрами випромінювання (лазери, світлодіоди, газорозрядні лампи) або джерело

із широким діапазоном спектру, наприклад лампи розжарювання або газорозрядні в комплекті з монохроматором тощо. Безпосередньо в дослідженнях в якості джерела світла використовувалася лампа розжарювання типу КГМ.

Для отримання зображення предмета в світлі певної довжини хвилі використовувався модифікований подвійний монохроматор ДФС-12, що в умовах експерименту дало можливість виділити світло довжини хвилі  $\lambda$  з точністю  $\Delta\lambda < 0.8$  нм. Зображення предмету проектувалося на вихідну щілину монохроматора, де розташовувалася камера. Розмір вихідний і вхідний щілини були вибрано таким чином, щоб отримати яскраве зображення без "засвітки" камери. Детально лабораторна установка описана в роботі Yu.A.Hizhnyi в [4]. Отримані результати показані на рис.1.

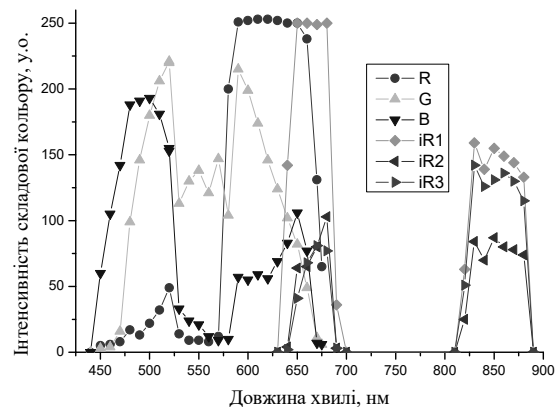


Рисунок 1 - Залежність інтенсивності спектральних каналів в від довжини хвилі для фотокамери GoPro HERO4 Black із оптичним (R,G,B) та ІЧ (iR1, iR2, iR3) об'єктивами

Як видно з представленої на рис.1 інформації, при використанні ІЧ об'єктива MP відбувалася фіксація випромінювання по двох каналах 640-690 нм, тобто фактично частина "червоної" ділянки оптичного спектру і канал 820-880 нм з інфрачервоного діапазону. При цьому усі три канали мають свою специфіку, а саме:

- iR1, який відповідає червоному каналу в форматі jpeg, має максимальне граничне значення в оптичному діапазоні і максимум (130-160 одиниць) в ІЧ

спектрі;

- iR2, який відповідає зеленому каналу в форматі jpeg, має приблизно однакові значення інтенсивності як в оптичному так і ІЧ діапазонах;

- iR3, який відповідає синьому каналу в форматі jpeg, має максимальні значення в ІЧ спектрі і найнижчі з усіх ІЧ каналів в "червоному" діапазоні.

Зважаючи на вищезазначене, є можливість розгляду в якості окремих інформативних каналів відповідних складових адитивної моделі утворення кольору при використанні для моніторингу рослинності цифрових камер з ІЧ об'єктивом.

На поточний момент часу найбільш дослідженим та розповсюдженим є моніторинг із використанням супутникових платформ, для чого створено понад 500 спектральних індексів. Особливістю супутникових платформ є труднощі щодо розпізнавання безпосередньо рослин і ґрунту завдяки великій відстані між сенсором та об'єктом досліджень. Виходячи з цього, більшість спектральних індексів таких як NDVI, WdVI, SAVI, тощо, використовують ближнє інфрачервоне світло (NIR), що потрібне для визначення "лінії ґрунту" чи soil line [5]. Принципово краща роздільна здатність отриманих результатів від спектрального сенсорного обладнання БПЛА дозволить розпізнати і відфільтрувати ґрунт, тому для оцінки саме рослин використання NIR діапазону не є обов'язковим. Shadchina T. в [6] показано, що оптичний діапазон також є інформативним для діагностики рослин, наприклад стану азотного живлення.

Виходячи з цього, були проведені дослідження щодо розробки спектральних індексів адаптованих саме під БПЛА із використанням як штатного (оптичного) так і ІЧ об'єктивів.

Дослідження проводились 07.06.2017 для кукурудзи – гібрид Р-88-16. Вибір саме просапної культури, до яких окрім кукурудзи відносяться соняшник, буряк тощо було обумовлено тим, що саме такі культури при спектральному моніторингу є чутливими щодо наявності ґрунту. Польові дослідження проводились в багаторічному стаціонарному досліді кафедри агрохімії та якості продукції рослинництва ім. О.І.Душечкіна НУБіП України. Стаціонар територіально знаходиться в Київській області, GPS координати поля 50°4'28.00 N, 30°13'20.00 E. Площа ділянки основного досліду 100 м<sup>2</sup>, ділянки мікропольового досліду – 10 м<sup>2</sup>, повторність трикратна.

Для вивчення впливу різних норм добрив було обрано такі варіанти досліду:

- без добрив (контроль);
- P80;
- P80K80;
- N60P80K80;
- N90P120K120.

Норма N60P80K80 є рекомендованою для цього типу ґрунту. Добрива вносили у формі аміачної селітри, амофосу і калію хлористого. Визначення вмісту азоту у сухій речовині здійснювали в лабораторних умовах фотометричним методом із реактивом Несслера.

На стадії вегетації кукурудзи 4-6 листків як при бічному, так і вертикальному зондуванні в кадр потрапляє практично все листя рослини на відміну від

суцільних культур. З цієї причини кількість азоту визначали по всій наземній частині рослини.

При зйомці фотокамера була зафіксована під прямим кутом до поверхні землі. Висота польоту БПЛА становила 100 метрів над поверхнею поля. Радіочастотну корекцію щодо зміни сонячного освітлення здійснювали із використанням мета-даних, котрі автоматично створювались цифровою фотокамерою при створенні знімку в форматі jpeg за методикою описаною в [7,8].

На першому етапі для створення спектральних індексів, адаптованих під БПЛА, для дослідної ділянки проводили "відсів" ділянок, що відповідали саме ґрунту.

При аналізі фотознімку за умов, коли усі три показники спектру для адитивної моделі утворення кольору пікселю дослідної ділянки знаходились в межах діапазону значень, що відповідають ґрунту, з подальших розрахунків такий піксел вилучався. По тим пікселям, що не були розпізнані як ґрунт виводили середнє значення інтенсивності для кожного каналу. При цьому параметри ґрунту доцільно визначати, виходячи з наявних на полях ґрунтових доріг, обов'язково враховувати узбіччя, оскільки саме там не спресований колесами ґрунт має оптичні показники найбільш близькі до ріллі.

Після фільтрації пікселів, що відповідали ґрунту, було встановлено, що зміна азоту в діапазоні (2,7-4,2)% приводить до зміни інтенсивності складових кольору в діапазоні R – (129...137), G – (131...150), B – (126...128). Так само при використанні ІЧ об'єктиву зміна інтенсивності складових кольору відбувалась у вузькому діапазоні, максимальні значення були виявлені для каналу iR2 – (92...113).

При статистичній обробці знімків було встановлено, що із покращенням стану азотного живлення відсоток пікселів, що відповідає самій рослині збільшується (рослина має більші габарити). Так в оптичному діапазоні кількість пікселів збільшилась з 6 до 24%, а при ІЧ об'єктиві з 16 до 44%.

В оптичному діапазоні кількість пікселів, що були розпізнані як рослини, істотно менша ніж червоно-інфрачервоному діапазоні, що пояснюється більш досконалими налагодженнями фільтру. ІЧ об'єктив є кращим завдяки більшій різниці між ґрунтом та рослинами ніж в суто оптичному діапазоні. Виходячи з цього, було зроблено висновок про доцільність використання саме ІЧ об'єктиву.

Виходячи з вище зазначеного пропонується для просапних культур створити інтегральний спектральний індекс, котрий враховував би не лише склад відбитого випромінювання, а і габарити об'єкту (рис.2).

Встановлено, що спектральні канали iR (RED+NIR) мають добру чутливість в діапазоні до 3% азоту, а геометрична складова в діапазоні від 3 до 4%. Поєднання цих двох показників в інтегральному індексі, а саме інтенсивності складової кольору (спектральна складова) та габаритів рослин (геометричний параметр) дозволили отримати достатню чутливість в критично важливому діапазоні азотного живлення кукурудзи до 3,5-4%. Вважаємо, що саме такий стресовий індекс є більш прийнятним для автоматизації процесів диференційного внесення добрив.

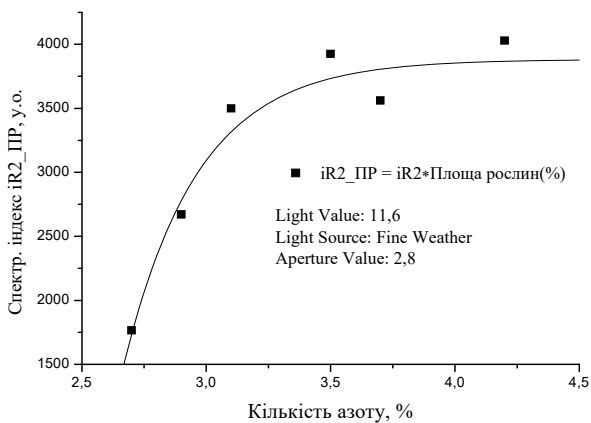


Рисунок 2 – Залежність інтегрального спектрального індексу iR2\_PP від кількості азоту в сухій речовині листя кукурудзи (фаза вегетації 4-6 листків)

**Висновки.** Використання ІЧ об'єктиву для не спеціалізованої камери GoPro HERO4 надає можливість кількісного аналізу станів рослинних насаджень, що пояснюється таким:

- відбувається одночасна фіксація як в ІЧ області (820-880 нм) так і в червоній складовій (640-690 нм) оптичної області спектру;
- три канали, що використовуються в адитивній моделі утворення кольору, мають індивідуальні особливості, що може використовуватись при побудові спектральних індексів;
- спрощується ідентифікацію ґрунту;
- може ефективно використовуватись для просяпних культур в інтегральних індексах, що враховують як спектральні складові так і геометрію об'єктів.

#### Список використаних джерел

1. Vitalii Lysenko. Usage of flying robots for monitoring nitrogen in wheat crops / Vitalii Lysenko, Oleksiy Opryshko, Dmytro Komarchuk, Nataliia Pasichnyk, Nataliia Zaets, Alla Dudnyk.: - The 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications September 21-23, 2017 Bucharest, Romania, Vol 1, P.30-34.
2. Lysenko Vitaliy. Remote sensing on-line crop monitoring for yield programming. / Lysenko Vitaliy Opryshko Oleksiy, Komarchuk Dmiyriy, Pasichnyk Natalya, Opryshko Nadiya. - MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – 2016. Vol. 18. No 3. P.53–59.
3. EMVA Standard 1288 Release 3.0 November 29, 2010 European Machine Vision Association // <http://www.emva.org>.
4. Yu A. Hizhnyi, Electronic structures and origin of intrinsic luminescence in Bi-containing oxide crystals BiPO<sub>4</sub>, K<sub>3</sub>Bi<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>, K<sub>2</sub>Bi(PO<sub>4</sub>)(MoO<sub>4</sub>), K<sub>2</sub>Bi(PO<sub>4</sub>)(WO<sub>4</sub>) and K<sub>5</sub>Bi(MoO<sub>4</sub>)<sub>4</sub> / Yu A. Hizhnyi, S.G. Nedilko, V.P. Chornii, M.S. Slobodyanik, I.V. Zatonovsky, K.V. Terebilenko. Journal of Alloys and Compounds, Vol. 614, 2014, P. 420-435.
5. Richardson A.J. Distinguishing vegetation from

soil background information / Richardson, A.J.; Wiegand, C.L. // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing Vol.43. 1977, №2 P.1541-1552.

6. Shadchina T.M. Elaboration of theoretical bases and methods of the remote sensing of winter wheat crops using the high resolution spectrometry. - Manuscript. Thesis for Dr.Sci (Biol.) by specialty 03.00.12 - Plant Physiology.-Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 1999.

7. V.Lysenko Drones camera calibration for the leaf research / V.Lysenko, O.Opryshko, D.Komarchyk, N.Pasichnyk. Науковий вісник НУБіП. 2016. №252, С.61-65.

8. В.П.Лисенко Методологічні підходи щодо радіочастотної корекції результатів дистанційного зондування посівів, отриманих за допомогою БПЛА / В.П.Лисенко, О.О.Опришко, Д.С.Комарчук, А.І.Марцифей, Н.А. Пасічник. Науковий вісник НУБіП. 2017. №261, С.69-78

#### Аннотация

#### ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ КАМЕР БПЛА ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ПРИМЕРЕ КУКУРУЗЫ

Лысенко В. Ф., Пасичник Н. А., Комарчук Д. С., Опришко А. А., Юхименко А. С.

*Рассмотрены вопросы применения для мониторинга состояния азотного питания кукурузы камеры GoPro Hero 4 с штатным (оптическим) и инфракрасным объективом. Установлено, что с инфракрасным объективом происходит фиксация в "красной" (640-690 нм) и инфракрасной (820-880 нм) области спектра. Определено, что инфракрасный диапазон является лучшим при мониторинге состояния азотного питания кукурузы. Предложен интегральный спектральный стрессовый индекс при использовании ИК фильтра для штатной камеры БПЛА учитывающий как спектральную так и геометрическую составляющие.*

#### EXPERIENCE OF USING OPTICAL UAV CAMERAS FOR MONITORING THE CONDITION OF NITROGEN NUTRITION OF GRAIN CROPS (CORN)

V. Lysenko, N. Pasichnik, D. Komarchuk, O. Opryshko, A. Yukhimenko

*The possibility of using the GoPro Hero 4 camera with an optical and infrared lens for monitoring the nitrogen nutrient status of corn is considered. Established that the infrared lens captures "red" (640-690 nm) and infrared (820-880 nm) spectral regions. Determined that the infrared band gives a better result in monitoring the state of nitrogen feed of corn. An integrated spectral stress index is proposed with the use of an infrared filter for a UAV standard camera, which takes into account both spectral and geometric components.*