

ВИКОРИСТАННЯ ОПТИЧНИХ КАМЕР БПЛА ДЛЯ МОНІТОРИНГУ СТАНУ АЗОТНОГО ПІДЖИВЛЕННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР НА ПРИКЛАДІ ПШЕНИЦІ ТА КУКУРУДЗИ

В. П. ЛИСЕНКО, доктор технічних наук, професор
О. О. ОПРИШКО, кандидат технічних наук, доцент
Д. С. КОМАРЧУК, кандидат технічних наук
Н. А. ПАСІЧНИК, кандидат сільськогосподарських наук
А. І. МАРЦИФЕЙ, аспірант*

**Національний університет біоресурсів
і природокористування України**
E-mail: dmitruyk@gmail.com

Анотація. Розглянуто питання застосування для моніторингу стану азотного підживлення камери GoPro Hero 4 зі штатним (оптичним) та інфрачервоним об'єктивом. Мета дослідження – оцінка спектральних характеристик камери з інфрачервоним фільтром і можливість її використання для моніторингу стану азотного підживлення кукурудзи. Проведено інструментальне оцінювання спектральних каналів оптичної камери GoPro Hero 4. Визначено, що при використанні ІК об'єктива відбувалася фіксація випромінювання по двох каналах 640–690 нм, тобто, фактично, частина «червоної» ділянки оптичного спектра і канал 820–880 нм інфрачервоного діапазону.

Показано можливість створення стресових індексів для кукурудзи при використанні інфрачервоного об'єктива та досвід порівняльного калібрування цифрової камери з еталонною камерою. При інструментальному оцінюванні спектральних каналів камери GoPro Hero 4 з інфрачервоним об'єктивом встановлено фіксацію для будь-якого з каналів «червоної» складової спектра, при цьому відношення ІК і оптичних складових індивідуальне для кожного каналу. Під час моніторингу стану азотного харчування кукурудзи визначено, що інфрачервоний діапазон є кращим. Запропоновано спектральний індекс при використанні ІК фільтра для штатної фотокамери БПЛА.

Ключові слова: БПЛА, індекси, азотне живлення, кукурудза, NDVI, UAV

Актуальність. Застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для моніторингу стану рослинності надає принципово нові можливості в технологіях точного землеробства. Стандартні рішення на базі супутникових платформ розроблювалися для вирішення питань, пов'язаних із оцінкою врожаю і погано пристосовані, у разі оперативного застосування, для визначення оптимальних дозувань добрив при

* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор В. П. Лисенко
© В. П. Лисенко, О. О. Опришко, Д. С. Комарчук, Н. А. Пасічник, А. І. Марцифей, 2018

підживленні рослин. Завдяки низькій ціні знімків високої роздільної здатності, незалежно від наявності хмар та оперативності отримання результатів, БПЛА в складі комплексу технологій точного землеробства надають аграріям принципово нові можливості щодо програмування врожаю.

На сьогодні серійно випускають спеціалізовані сенсори для спектрального моніторингу для БПЛА, такі як Slantrange, AgroCam PRO NIR та ін. З урахуванням того, що підгодівля рослин здійснюється кілька разів і лише в певні фази вегетації, поширення таких вузькоспеціалізованих систем обмежене їх високою вартістю. Економічно для господарств було б краще мати універсальне обладнання, але штатні камери, що працюють в оптичному діапазоні й застосовуються для таких культур, як пшениця [1], для кукурудзи можуть бути неефективними [2]. Робота оптичної камери в інфрачервоному діапазоні можлива, якщо конструктивно замість звичайного використовувати інфрачервоний об'єктив. У цьому випадку користувач отримає три канали, які відповідають червоному зеленому та синьому каналам.

Мета дослідження – оцінка спектральних характеристик камери з інфрачервоним фільтром і можливість її використання для моніторингу стану азотного харчування кукурудзи.

Матеріали і методи дослідження. Для досліджень було обрано екшн- камеру GoPro Hero 4, яку було укомплектовано стандартним та інфрачервоним об'єктивами. Завдяки малій вазі, камера адаптована для використання з БПЛА. На першому етапі розглянуто відтворюваність отриманих результатів при використанні тестової та еталонної цифрових фотокамер. Як еталон було обрано систему Slantrange 3p. Дана система має апаратне рішення радіочастотної корекції за допомогою зенітного датчика і здатна сама оброблювати дані моніторингу безпосередньо під час польоту, що принципово пришвидшує процес зондування посівів. Завдяки цим перевагам, дане обладнання затребуване для великих підприємств, оскільки дає змогу обстежити до 400 гектарів за годину.

Порівняльний аналіз проводили на різних біологічних об'єктах з колекції ботанічного саду Національного університету біоресурсів і природокористування України (Київ). Виміри проводили як у приміщенні теплиці, так і на відкритому повітрі 6.09.2017 року за похмурої погоди. Штучне освітлення в теплиці не використовували. Відстань між об'єктом і датчиком становила 1,2–1,5 метра. При використанні комплексу Slantrange 3p для аналізу брали чорнові дані у форматі tiff, де кожен шар відповідав певному спектральному каналу, радіочастотну корекцію за даними від зенітного датчика не проводили. Отримані результати подано в табл. 1.

Результати досліджень та їх обговорення. Виходячи з наведених даних для вимірів інтенсивності складових кольору різними камерами встановлено, що точність неприйнятно низька. Так, різниця по червоному каналу становила 57 одиниць, що дорівнює майже 20% від загальної шкали. Розглядаючи ІЧ діапазон встановлено, що найбільш близьким за

значеннями до результатів вимірювань ІК каналу Slantrange виявився 2 канал (зелений), однак результати коливалися в значних діапазонах до 26 одиниць. Тобто, підхід до порівняльного дослідження різних камер для виведення коригувальних залежностей не виявив прийнятних результатів.

Інструментальна оцінка спектральних каналів датчика екшн-камери. Для оцінки спектральних каналів цифрових фотоапаратів використовують European Machine Vision Association (EMVA) -1288 [3], який як тестові джерела випромінювання використовує спеціальні джерела випромінювання. Як такі може бути використано набір джерел світла з фіксованим і доволі вузьким спектром випромінювання (лазери, світлодіоди, газорозрядні лампи) або налаштоване в широкому діапазоні джерело, наприклад, лампи розжарювання або газорозрядна в комплекті з монохроматором тощо. Безпосередньо в дослідженнях як джерело безперервного по спектру світла використовували лампу розжарювання типу КГМ.

Результати порівняльного дослідження інтенсивності складових кольору по спектральних каналах для рослинних об'єктів

		R	G	B	NIR	GP – SI			GP nir – SI nir		
						R	G	B	R	G	B
	GP	118	129	115		33	40	40			
	GP nir	178	57	147					113	-8	82
	SI	85	89	75	65						
	GP	141	134	104		61	55	36			
	GP nir	194	78	168					134	18	108
	SI	80	79	68	60						
	GP	104	145	43		4	42	-14			
	GP nir	199	80	176					125	6	102
	SI	100	103	57	74						
	GP	105	128	114		32	16	54			
	GP nir	193	69	165					132	8	104
	SI	73	112	60	61						

Для отримання зображення предмета у світлі певної довжини хвилі використовували модифікований подвійний монохроматор ДФС-12, який в умовах даного експерименту дав змогу виділити світло довжини хвилі λ з точністю $\Delta\lambda < 0.8$ нм. Зображення предмета проектувалося на вихідну щілину монохроматора, де розташовувалася камера. Розмір вихідної і вхідної щілини було вибрано так, щоб отримати яскраве зображення без «засвічування» камери. Детально лабораторна установка описана в роботі Yu. A. Hizhnyi в [4]. Отримані результати показано на рис.1.

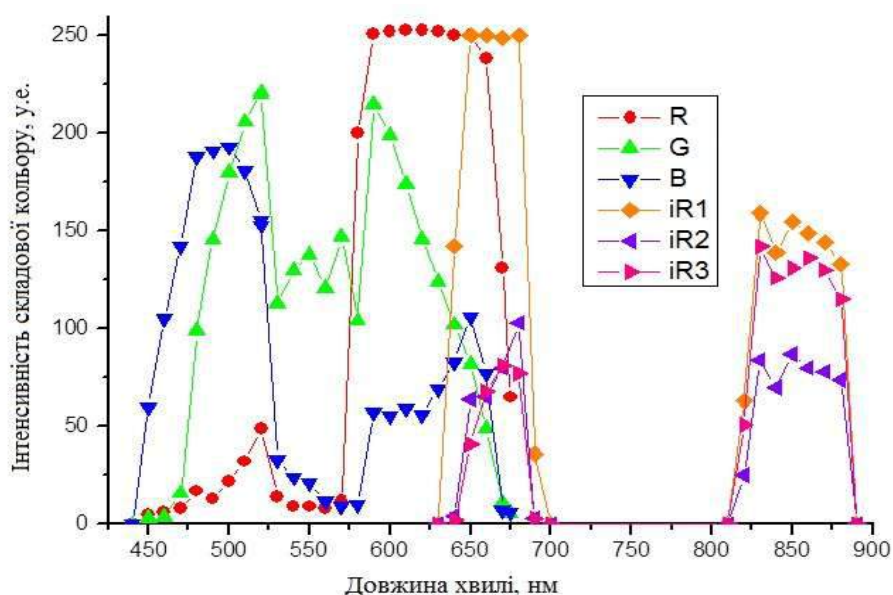


Рис. 1. Інтенсивність спектральних каналів фотокамери GoPro Hero 4 залежно від довжини хвилі для оптичного (R, G, B) та інфрачервоного об'єктивів (iR1, iR2, iR3)

Виходячи з отриманих результатів визначення спектральних каналів фотокамери зі звичайним та інфрачервоним об'єктивами інструментальним шляхом, можна зробити такі висновки:

1. При використанні ІЧ об'єктива МР відбувалася фіксація випромінювання по двох каналах 640–690 нм, тобто фактично частина «червоної» ділянки оптичного спектра і канал 820–880 нм інфрачервоного діапазону. При цьому три наявні канали мають свою специфіку, а саме:

- iR1, який відповідає червоному каналу в форматі jрег, має максимальне граничне значення в оптичному діапазоні й максимум (130–160 одиниць) в ІЧ спектрі;
- iR2, який відповідає зеленому каналу в форматі jрег, має приблизно однакові значення інтенсивності як в оптичному, так і ІЧ діапазонах;
- iR3, який відповідає синьому каналу в форматі jрег, має максимальні значення в ІЧ спектрі і найнижчі з усіх ІЧ каналів у «червоному» діапазоні.

2. Виходячи з цього, є можливість розгляду як окремих інформативних каналів відповідних складових адитивної моделі кольороутворення при використанні для моніторингу рослинності цифрових камер з ІЧ об'єктивом.

Дослідження можливості моніторингу кукурудзи з використанням цифрового фотоапарата з інфрачервоного об'єктива проводили в умовах польового стаціонару кафедри агрохімії та якості продукції рослинництва НУБіП України, де проводили моніторинг кукурудзи (гібрид ...) на стан азотного стресу. При постановці досліду було використано такі варіанти внесення добрив: 1) без добрив (контроль); 2) Р80; 3) Р80К80; 4) N60Р80К80; 5) N90Р120К120 (рис. 2).



Рис. 2. Польовий стаціонар, посіви кукурудзи зйомка при штатному (оптичному) та інфрачервоних об'єктивах для камери GoPro Hero 4 (07.06.2017)

Рослини перебували у фазі вегетації 7–8 листків. Визначення вмісту азоту в сухій речовині здійснювали в лабораторних умовах фотометричним методом з реактивом Несслера. Отримані дані за спектрами подано на рис. 3.

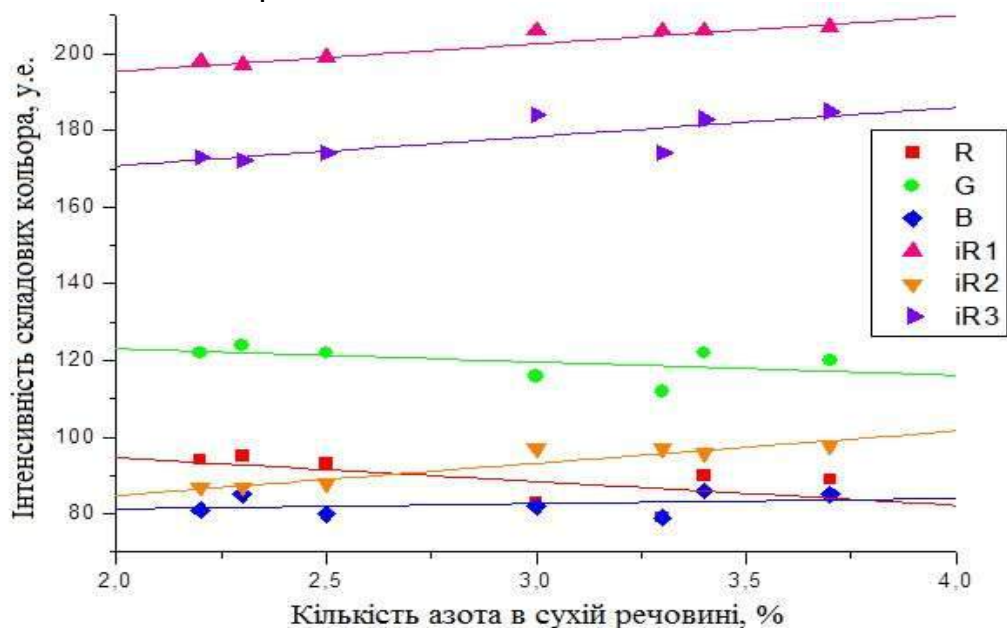


Рис. 3. Залежність інтенсивності складових кольору від кількості азоту в листках кукурудзи

Виходячи з отриманих даних, залежність найбільш виражена в інфрачервоній області для першого і другого каналів (iR1 і iR2). За аналогією з найбільш поширеним індексом NDVI, автори пропонують індекс, побудований за тими самими принципами, але з використанням тільки інфрачервоних «каналів» iRb

$$iRb = (iR1 - iR2)/(iR1 + iR2).$$

При апроксимації у вигляді лінійної залежності індексу iRb від кількості азоту коефіцієнт детермінації становив 0,86.

Висновки і перспективи. 1. Досвід порівняльного калібрування цифрової камери з еталонною камерою виявився невдалим.

2. При інструментальному оцінюванні спектральних каналів камери GoPro Hero 4 з інфрачервоним об'єктивом встановлено фіксацію для будь-якого з каналів «червоної» складової спектра, при цьому відношення ІК і оптичних складових індивідуальне для кожного каналу.

3. Під час моніторингу стану азотного харчування кукурудзи визначено, що інфрачервоний діапазон є кращим.

4. Запропоновано спектральний індекс при використанні ІК фільтра для штатної фотокамери БПЛА.

Список літератури

1. Lysenko V. Usage of flying robots for monitoring nitrogen in wheat crops / Vitalii Lysenko, Oleksiy Opryshko, Dmytro Komarchuk, Nadiia Pasichnyk, Nataliia Zaets, Alla Dudnyk (2017) // The 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications September 21–23, Bucharest, Romania, Vol.1. P. 30–34.

2. Lysenko V. Remote sensing on-line crop monitoring for yield programming / Lysenko Vitaliy, Opryshko Oleksiy, Komarchuk Dmyriy, Pasichnyk Natalya, Opryshko Nadiya (2016). – MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 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. Hizhnyi Yu A. Electronic structures and origin of intrinsic luminescence in Bi-containing oxide crystals / Yu. A. Hizhnyi, S. G. Nedilko, V. P. Chornii, M. S. Slobodyanik, I. V. Zatovsky, K. V. Terebilenko (2014). Electronic structures and origin of intrinsic luminescence in Bi-containing oxide crystals BiPO₄, K₃Bi₅(PO₄)₆, K₂Bi(PO₄)(MoO₄), K₂Bi(PO₄)(WO₄) and K₅Bi(MoO₄)₄ // Journal of Alloys and Compounds. Vol. 614. P. 420–435.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ КАМЕР БПЛА ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ АЗОТНОЙ ПОДКОРМКИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ПРИМЕРЕ ПШЕНИЦЫ И КУКУРУЗЫ

**В. Ф. Лысенко,
А. А. Опрышко,
Д. С. Комарчук,
Н. А. Пасечник,
А. И. Марцифей**

Аннотация. Рассмотрены вопросы применения для мониторинга состояния азотной подкормки камеры GoPro Hero 4 со штатным (оптическим) и инфракрасным объективом. Цель исследования – оценка спектральных характеристик камеры с инфракрасным фильтром и возможность ее использования для мониторинга состояния азотной подкормки кукурузы. Проведена инструментальная

оценка спектральных каналов оптической камеры GoPro Hero 4. Определено, что при использовании ИК объектива происходила фиксация излучения по двум каналам 640–690 нм, то есть, фактически, части «красного» участка оптического спектра и канала 820–880 нм инфракрасного диапазона.

Показана возможность создания стрессовых индексов для кукурузы при использовании инфракрасного объектива и опыт сравнительной калибровки цифровой камеры с эталонной камерой. При инструментальной оценке спектральных каналов камеры GoPro Hero 4 с инфракрасным объективом установлена фиксация для любого из каналов «красной» составляющей спектра, при этом отношение ИК и оптических составляющих индивидуально для каждого канала. Определено, что инфракрасный диапазон является лучшим при мониторинге состояния азотного питания кукурузы. Предложен спектральный индекс при использовании ИК фильтра для штатной камеры БПЛА.

Ключевые слова: БПЛА, индексы, азотное питание, кукуруза, NDVI, UAV

USAGE OF UAV OPTICAL CAMERAS TO MONITOR THE STATE OF NITROGEN NUTRITION OF THE WHEAT AND CORN

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

Abstract. The application issues for monitoring the nitrogen state of the GoPro Hero 4 camera with a standard (optical) and infrared lens are considered. The aim of the work was to evaluate the spectral characteristics of the camera with an infrared filter and the possibility of using it to monitor the state of nitrogen nutrition of maize. An instrumental evaluation of the spectral channels of the GoPro Hero 4 optical camera was made. It was determined that when the IR lens was used, radiation was fixed on two channels of 640–690 nm, that is, in fact a part of the "red" part of the optical spectrum and a channel of 820–880 nm of the infrared range.

The possibility of creating stress indices for corn is shown when using an infrared lens. The experience of comparative calibration of a digital camera with a reference camera is shown. With the instrumental evaluation of the spectral channels of the GoPro Hero 4 camera with an infrared lens, a fixation for any of the channels of the "red" component of the spectrum is established, with the ratio of IR and optical components individually for each channel. It is determined that the infrared range is more preferable when monitoring the state of nitrogen nutrition of maize. A spectral index is proposed for the use of an IR filter for a standard UAV camera.

Keywords: UAV, indices, nitrogen nutrition, corn, NDVI