

## ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ ВИСОТИ ПОЛЬОТУ БПЛА ДЛЯ МОНІТОРИНГУ СТРЕСІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ХАРАКТЕРУ ДЛЯ ПОСІВІВ РІПАКУ ОЗИМОГО

*Н.А. Пасічник*

*кандидат сільськогосподарських наук, доцент  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
(м. Київ, Україна)  
e-mail: n.pasichnyk@nubip.edu.ua; ORCID: 0000-0002-2120-1552*

*В.П. Лисенко*

*доктор технічних наук, професор  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
(м. Київ, Україна)  
e-mail: lysenko@nubip.edu.ua; ORCID: 0000-0002-5659-6806*

*О.О. Опришко*

*кандидат технічних наук, доцент  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
(м. Київ, Україна)  
e-mail: ozon.kiev@nubip.edu.ua; ORCID: 0000-0001-6433-3566*

Необхідність оперативного обстеження посівів у промислових масштабах потребує дотримання певного балансу між допустимою якістю знімків і прийнятним часом моніторингу, зумовленого передусім кількістю БПЛА та їх польотними характеристиками. Актуальною та новою проблемою для агросфери України є стреси технологічного характеру. Питання оптимальної висоти польоту для моніторингу стресів саме технологічного характеру є метою дослідження. Польові дослідження проводились з вересня по листопад 2019 р. у Бориспільському р-ні на виробничих посівах ріпаку озимого. Моніторинг здійснювали з використанням комплексу Sлантраге 3р. Стреси фіксувались за двома параметрами — площа куполу й наявність аномального забарвлення двох нижніх листків (червоного і жовтого кольорів та їх суміш). Максимальна якість ідентифікації досягається за максимального просторового розрізнення знімків, що можлива на мінімальній висоті. Однак польотні характеристики БПЛА обумовлює максимальну висоту і відповідно швидкість польоту для БПЛА. Таким чином, оптимальним є компроміс між точністю виявлення стресу та виробничо-доцільними параметрами польоту, тобто потрібна багатокритеріальна оптимізація. В якості узагальненого критерію був обраний критерій узгоджених добутоків, де кількість локальних критеріїв оптимізації  $s = 3$ , а вагові коефіцієнти критеріїв обираються суб'єктивно експертами. Запропонований алгоритм вибору оптимальної висоти польоту БПЛА для ідентифікації технологічного характеру стресу для посівів ріпаку озимого дасть змогу планувати заходи щодо моніторингу та обґрунтувати вибір параметрів БПЛА стосовно передусім тривалості його польоту. Використаний вид цільової функції дасть можливість фахівцям без спеціалізованої освіти з програмування вирішити задачу багатокритеріальної оптимізації за власним ваговим коефіцієнтом. Запропонований підхід не має обмежень щодо кількості параметрів оптимізації і кількості локальних критеріїв оптимальності та може використовуватись при виборі користувачем власних показників індикації.

**Ключові слова:** безпілотні літальні апарати, режими польоту, ріпак, технологічні стреси.

### ВСТУП

Моніторинг посівів із використанням БПЛА стає стандартною практикою на виробництві завдяки можливості оперативного обстеження великих за розмірами полів при високій якості даних, обумовлених високою просторовою розрізненістю знімків. Незважаючи на технічні складності щодо малих габаритів рослин, особливо важливим є моніторинг

на початкових етапах вегетації, оскільки дає змогу здійснити реанімаційні заходи для посівів уражених внаслідок порушення технології виробництва, зокрема впливу післядії гербіцидів Robert L. Zimdahl (2018) [1] та V. Lysenko та ін. (2019) [2].

**Стан питання.** Просторова розрізненість знімка, чи «розмір пікселя по земній поверхні» (GSD), визначається як лінійний розмір одно-

го пікселя, спроектований на земну поверхню. Якщо піксель значно більший, ніж окрема рослина, тоді рослини будуть розмиті разом із фоном та сусідніми рослинами, що зробить неможливим їх точну ідентифікацію. Похідною від висоти є швидкість, оскільки при високих швидкостях можливе розмивання зображення, особливо за умов низької висоти польоту, або на знімках із високою роздільною здатністю Krishna Ribeiro-Gomes та ін. (2016) [3].

Оцінку особливого забарвлення рослин в оптичному діапазоні для фенотипування рослин генетично модифікованого салату здійснено в роботі Gabriel Mascarenhas Maciel та ін. (2019) [4]. Досліди проводили на висоті 20 м, при цьому автори висвітили певні труднощі, пов'язані із нерівномірністю забарвлення і попри позитивні результати для подальших досліджень планували використання Інфрачервоного (ІЧ) діапазону спектра. ІЧ та оптичний діапазон спектра використовували в роботі Francisco Garcia-Ruiz та ін. (2013) [5] для моніторингу хвороб цитрусових дерев. Автори встановили, що найбільш інформативними є зелений (560 нм) та інфрачервоний канали (710 нм), проте методика визначення оптимальної висоти польоту за критерієм відношення якості ідентифікації до висоти польоту залишалась дискусійним питанням. Ефективно визначати захворювання пшениці «жовта іржа» проводили Jinya Su та ін. (2018) [6], де встановили що найбільш інформативними каналами виявились NIR та Red для камери Parrot Sequoia. Однак гарні результати щодо ідентифікації були отримані значення GSD в 1,5 см/піксель, які досягнуто з висоти до 24 м, завдяки чому можливість їх масштабування є сумнівною. В роботі M. Dolia та ін. (2019) [7], для ріпаку озимого було вказано, що ідентифікувати технологічні стреси можливо по аномальному забарвленню 2-х нижніх листків, що можливо ідентифікувати з БПЛА завдяки великим габаритам листків.

Окрім спектральних змін, стресовий стан рослин може визначатись і їх габаритами. Оцінка габаритів можлива завдяки ідентифікації рослин та ґрунту на знімках. Для прикладу можна навести дослід Yinyu Liu та ін. (2019) [8], де довели ефективність інфрачервоного спектрального каналу для оцінки габаритів ріпаку озимого. З огляду на аналіз літератури, технологічні стреси можна діагностувати як за габаритами, так і за зміною забарвлення рослин, при цьому інформативними передусім є зелений, червоний та NIR канали.

*Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.* Необхідність оперативного обстеження посівів у промислових масштабах потребує дотримання певного балансу між до-

пустимою якістю знімків та прийнятним часом моніторингу, зумовленого передусім кількістю БПЛА та їх енергетикою. Однак питання оптимальної висоти польоту для моніторингу стресів технологічного характеру в промислових масштабах не розглядалось, тому це і стало метою дослідження.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Польові дослідження проводились із вересня по листопад 2019 р. у Бориспільському р-ні на виробничих посівах ріпаку озимого (гібрид ДК Імплемент КЛ, координати дослідного поля 50°16'N, 30°58'E). У межах дослідної ділянки поля попередниками були дві культури — пшениця озима і картопля рання. Стреси технологічного характеру візуально фіксувались на ділянках після пшениці озимої. Фотозйомку здійснювали з використанням мультиспектральної системи Slantrange 3p.

При візуальному обстеженні 30.10.2019 було виявлено додаткову різницю, а саме аномальне забарвлення 2-х нижніх листків — передусім червоного та із значною кількістю листків жовтого та червоно-жовтого кольорів (рис. 1).

Забарвлення ріпаку може бути зумовленим не лише стресовим станом, але також особливостями сорту чи гібриду, тому для ідентифікації причин стресу орієнтувались саме на аномальне забарвлення листків та габарити рослин, а саме горизонтальну проекцію їх куполу (далі — купол).

*Організація дослідю.* У роботі Hengbiao Zheng та ін. (2020) [9] було визначено мінімально-прийнятні розміри дослідного об'єкта для спектрального моніторингу, які становили 13×13 пікселів. Зважаючи на зафіксовану довжину листків аномального забарвлення в 10–25 см, діапазон висот для моніторингу було прийнято 40–100 м.

Для сенсорів Slantrange 3p залежність просторове розрізнення знімків GSD від висоти польоту  $h$  розраховується за рівнянням (1):

$$GSD = 0,4 \times h. \quad (1)$$

*Параметри ідентифікації об'єктів.* При ідентифікації, на базі аналізу літературних джерел, розглядали 2 параметри — площу горизонтальної проекції (площа куполу) та кількість листків аномального забарвлення. Площу куполу вимірювали як відсоток від загальної площі дослідної ділянки поля, а кількість листків аномального забарвлення — як відсоток від пікселів ідентифікованих як рослини.

*Ідентифікація рослин.* При мультиспектральній зйомці із використанням ІЧ діапазону ідентифікацію рослин та ґрунту можливо



**Рис. 1.** Знімок від 30.10.2019 посівів ріпаку озимого, враженого внаслідок стресів технологічного характеру (ліворуч) та здорові рослини (праворуч)

здійснити саме по цьому каналу, проте попереднє налагодження фільтрації необхідне, оскільки стан зволоження істотно впливає на спектральні показники ґрунту. На відміну від суто оптичного діапазону, де ідентифікували рослини, за даними каналу NIR (800–900 нм) доцільно ідентифікувати саме ґрунт.

Було зафіксовано незначне накладання в діапазоні 80–110 у.о. інтенсивності кольору по NIR каналу для об'єктів візуально ідентифікованих як вологий ґрунт та посіви ріпаку із ознаками стресу технологічного характеру. Ймовірним поясненням цього є помилка ідентифікації об'єкта, коли за рахунок розрідженого листа фіксували саме ґрунт.

Ідентифікація листків ріпаку аномального забарвлення (червоне та червоно-жовте для 2-х нижніх листків). Для ідентифікації листків ріпаку аномального забарвлення пропонується застосувати образ об'єкта, що враховує кілька спектральних каналів одночасно наприклад індекси RRL, представлені в роботі Н. Пасічник та ін. (2020) [10].

*Результати експериментальних досліджень* щодо впливу висоти польоту на ідентифіковану величину площі куполу та кількості листків аномального забарвлення приведено в табл. 1.

Різниця в результатах ідентифікації для індексів  $RRL_{gr}$  та  $RRL_m$  пояснюється як вибором параметрів налаштування фільтрів, так і особливостями ідентифікації проміжних зна-

чень. Однак, для обох індексів при збільшенні висоти польоту від 40 до 100 м, кількість ідентифікованих листків аномального забарвлення зменшилась приблизно вдвічі. Загальна площа куполу рослин при цьому зросла, що вочевидь пояснюється зменшенням фіксації ґрунту між листям.

Тобто для точної ідентифікації доцільно використовувати мінімальні висоти, проте інформація буде корисною для керування врожаєм лише за можливості оперативного обстеження для промислових площ. Таким чином оптимальним є компроміс між точністю визначення та виробничо-доцільними параметрами польоту, тобто потрібна багатокритеріальна оптимізація.

#### **Методика розрахунку оптимальної висоти польоту**

Багатокритеріальна оптимізація характеризується багатьма локальними критеріями зведеними в один глобальний (узагальнений) і кількістю параметрів оптимізації, який, у нашому випадку, один — це висота польоту. Локальними критеріями були обрані такі величини, як тривалість польоту  $T$ , площа куполу  $S$  та індекс  $RRL_{gr}$ , що може використовуватись не на спеціалізованому обладнанні. Залежності обраних локальних критеріїв від висоти польоту були отримані на основі наведених вище експериментальних даних методом квадратів.

В якості узагальненого критерію був обраний критерій узгоджених добутків (2), де

Таблиця 1

Результати ідентифікації листків аномального забарвлення та площі куполу для ріпаку озимого залежно від висоти моніторингу

| Висота, м | Ідентифікація аномального забарвлення ріпаку |                                    | Площа куполу, % |
|-----------|--|------------------------------------|-----------------|
|           | Індекс $RRL_{gr} = R - G$                    | Індекс $RRL_m = 2R + NIR - G - Re$ |                 |
| 39,7      | 7,5  | 14,5                               | 57,6            |
| 42,82     | 5,5  | 12,1                               | 59              |
| 49,2      | 5,8  | 11,8                               | 60,4            |
| 55,3      | 5,4  | 10,3                               | 60,04           |
| 61,1      | 5,2  | 10,1                               | 58,9            |
| 63,81     | 4,7  | 10,9                               | 64,6            |
| 66,49     | 5,7  | 11,3                               | 59,01           |
| 69,3      | 3,9  | 7,7                                | 64,8            |
| 75,18     | 3,8  | 7,9                                | 63              |
| 81,1      | 4,3  | 8                                  | 63,9            |
| 83,98     | 3,4  | 7,8                                | 64,4            |
| 87,05     | 3,3  | 7,9                                | 64,4            |
| 90        | 2,3  | 4,3                                | 64,5            |
| 92,9      | 4,1  | 8,3                                | 64,5            |
| 95,66     | 3,4  | 6,4                                | 66              |
| 100,1     | 3,4  | 7,7                                | 66              |

кількість локальних критеріїв оптимізації  $s = 3$ , а вагові коефіцієнти  $\lambda_k$ , які  $\lambda_k \geq 0$ ,  $\sum_{k=1}^s \lambda_k = 1$  обираються суб'єктивно експертами і вони вказують, яку ступінь впливу мають ті чи інші локальні критерії при оптимізації. Враховуючи важливість таких факторів, як тривалість польоту  $T$  і стресовий індекс  $RRL_{gr}$ , вагові коефіцієнти експертами були розподілені таким чином:  $\lambda_T = 0,65$ ;  $\lambda_{RRL_{gr}} = 0,25$ ;  $\lambda_S = 0,1$ .

$$F(x) = \prod_{k=1}^s f_k(x)^{\lambda_k} \rightarrow \max. \quad (2)$$

Використання вище описаного методу потребує приведення окремих критеріїв оптимальності до сумісності між собою до одного числового діапазону зміни критеріїв, тобто від 0 до 1. Цей діапазон, враховуючи вид узагальненого критерію (узгоджених добутків), вибраний від 0,01 до 0,99 з огляду на нечутливість їх значень, у випадку діапазону значень від 0 до 1.

Для перетворення натуральних значень локальних критеріїв оптимізації у безрозмірну форму обрано метод Харінгтона, в якому натуральне значення локальних критеріїв перетворюється у проміжне методом лінійної інтер-

поляції з урахуванням інтервалів бажаності, а потім у безрозмірне за допомогою функції Харінгтона (3).

$$f_i(x) = \exp[-\exp(-y_i)]. \quad (3)$$

Інтервали бажаності обирали з урахуванням руху до оптимуму локальних критеріїв. Так, обираючи інтервали бажаності для тривалості польоту ( $T(h) \rightarrow \min$ ), враховували таке. Як приклад носія спектральної системи Slantrange 3р приймали БПЛА DJI Matrice 600 Pro, тривалість польоту якого становить до 30 хв. Тобто, якщо БПЛА здатен обстежити поле за 30 хв, це є відмінний результат. Для виробничого поля площею 100 га при висоті 40 м тривалість польоту становитиме 245 та більше хвилин — результат «дуже погано».

Інтервали бажаності інших локальних критеріїв оптимізації обрано аналогічно з урахуванням, що  $RRL_{gr}(h) \rightarrow \max$ , а  $S(h) \rightarrow \min$ , поділено діапазон зміни цих критеріїв на інтервали бажаності рівномірно і наведено в табл. 2.

Для переведення натуральних значень локальних критеріїв оптимальності в безрозмірну форму використовували алгоритм зроблений на базі методу Харінгтона і програму реалізовану в середовищі MathCad.

Інтервали бажаностей локальних критеріїв оптимізації

| Локальний критерій              | Інтервали бажаності |             |              |             |             |
|---------------------------------|---------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
|                                 | дуже погано         | погано      | задовільно   | добре       | дуже добре  |
| Безрозмірний інтервал бажаності | 0,01 до 0,2         | 0,2 до 0,37 | 0,37 до 0,63 | 0,63 до 0,8 | 0,8 до 0,99 |
| RRL <sub>gr</sub>               | 3–4                 | 4–5         | 5–6          | 6–7         | 7–8         |
| S                               | 67–64               | 64–61       | 61–59        | 59–57       | 57–55       |
| T                               | 150–320             | 100–150     | 70–100       | 35–70       | 0–35        |

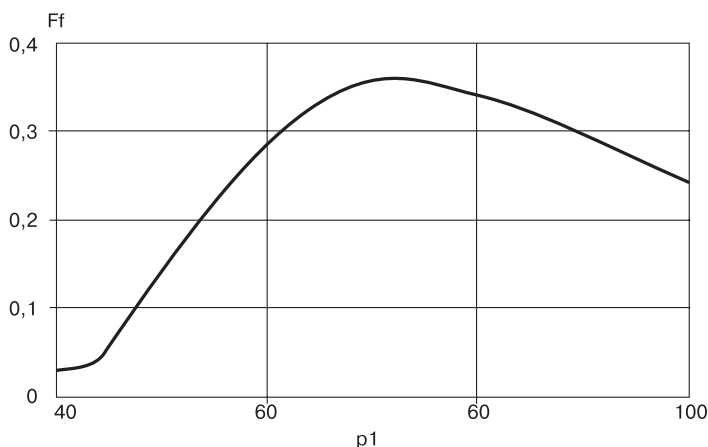


Рис. 2. Залежність зміни узагальненого критерію  $Ff$  від висоти польоту БПЛА  $p1$

Так було сформовано масив значень узагальненого критерію оптимальності з урахуванням вагових коефіцієнтів:

$$Ffi1 = (ff1_{i1})^{0,25} \times (ff2_{i1})^{0,1} \times (ff3_{i1})^{0,65}. \quad (4)$$

З отриманих даних збудували графік зміни узагальненого критерію оптимізації (рис. 2).

З огляду на отримані результати при вагових коефіцієнтах для RRL<sub>gr</sub> —  $\lambda_1 = 0,25$ , для S —  $\lambda_2 = 0,1$ , для T —  $\lambda_3 = 0,65$  розрахована оптимальна висота становила 74 м. Тривалість польоту згідно з рівнянням 4 становитиме 72 хв. Зважаючи на польотні характеристики БПЛА DJI Matrice 600 Pro для моніторингу поля площею в 100 га, обліт потрібно здійснювати в 3 етапи. В разі інших польотних характеристик БПЛА чи вибору інших вагових коефіцієнтів оптимальне значення висоти буде іншим, так при збільшенні ваги коефіцієнта притаманного тривалості польоту висота зростатиме, проте точність ідентифікації знижуватиметься. Перспективним для промислового використання буде моніторинг поля в 2 етапи, коли на першому з великих висот визначаються проблемні ділянки, а при другому обльоті здійснюється більш детальне дослідження для ідентифікації причин стресу.

### ВИСНОВКИ

Запропонований алгоритм вибору оптимальної висоти польоту БПЛА для ідентифікації технологічного характеру стресу для посівів ріпаку озимого дасть змогу планувати заходи щодо моніторингу та обґрунтувати вибір параметрів БПЛА стосовно передусім тривалості його польоту.

Приведена цільова функція дасть можливість фахівцям без спеціалізованої освіти з програмування вирішити задачу багатокритеріальної оптимізації за власними ваговими коефіцієнтами. Однак результати свідчать, що достовірна ідентифікація стресу технологічного характеру за аномального забарвлення листка потребує порівняно високого просторового розрізнення, що зумовлює більшу тривалість моніторингу і відповідно більші вимоги до енергетики БПЛА.

Запропонований підхід не має обмежень щодо кількості параметрів оптимізації і кількості локальних критеріїв оптимальності та може використовуватись при виборі користувачем власних показників індикації.

Розглянутий алгоритм було апробовано на тестових прикладах на реальних виробничих посівах ріпаку озимого.

**Підтвердження та подяка.** Попередні результати дослідження було викладено у вигляді тез «Substantiation of the choice of the optimal UAV flight altitude for monitoring technological stresses for crops of winter rape» на Міжнародній науковій конференції 2020 IEEE 6th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC). Автори висловлюють свою вдячність фахівцям кафедри автоматичної та робототехнічних систем Шворову С.А., Комарчуку Д.С., Мірошнику В.О., Решетюку В.М., Кіктеву М.О., Ленделу Т.І. за надану підтримку та обладнання для здійснення польотів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Robert L. Zimdahl. Chapter 18 The Role and Future of Genetic Modification in Weed Science. *Fundamentals of Weed Science (Fifth Edition)*. 2018. Pp. 511–533. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811143-7.00018-4>.
2. V. Lysenko, et al. Methodological Solutions for the IoT Concept for Biogas Production Using the Local Resource. 2019. IEEE I.S.P. Conference: Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2019 — Proceedings, pp. 561–566. <http://dx.doi.org/10.1109/PICST47496.2019.9061238>.
3. Krishna Ribeiro-Gomes et al. Approximate georeferencing and automatic blurred image detection to reduce the costs of UAV use in environmental and agricultural applications. *Biosystems Engineering*. 2016. Vol. 151. Pp. 308–327. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.09.014>.
4. Gabriel Mascarenhas Maciel et al. Image phenotyping of inbred red lettuce lines with genetic diversity regarding carotenoid levels. *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*. 2019. Vol. 81. Pp. 154–160. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.05.016>.
5. Francisco Garcia-Ruiz et al. Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing-infected citrus trees. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2013 Vol. 91. Pp. 106–115. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2012.12.002>.
6. Jinya Su. et al. Wheat yellow rust monitoring by learning from multispectral UAV aerial imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018. Vol. 155. Pp. 157–166. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.017>.
7. Dolia M. et al. Information Technology for Remote Evaluation of after Effects of Residues of Herbicides on Winter Crop Rape. 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT 2019 — Proceedings. 2019, pp. 469–473. <https://doi.org/10.1109/AIACT.2019.8847850>.
8. Yinuo Liu et al. Estimating biomass of winter oilseed rape using vegetation indices and texture metrics derived from UAV multispectral images. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. Vol. 166. Pp. 105026. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105026>.
9. Hengbiao Zheng et al. Early season detection of rice plants using RGB, NIR-G-B and multispectral images from unmanned aerial vehicle (UAV). *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020. Vol. 169. P. 105223. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105223>.
10. Pasichnyk N. et al. Multispectral sheet diagnostics of technological stresses on winter rapeseed crops. *Balance use of nature*. 2020. Vol. 3. Pp. 109–114. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.3.2020.212610>.

**SUBSTANTIATION OF THE CHOICE OF THE OPTIMAL UAV FLIGHT ALTITUDE FOR MONITORING TECHNOLOGICAL STRESSES FOR CROPS OF WINTER RAPE**

Pasichnyk N,

PhD, Associate Professor

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine  
(Ukraine, Kyiv)

e-mail: n.pasichnyk@nubip.edu.ua; ORCID: 0000-0002-2120-1552

Lysenko V,

PhD, Professor

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine  
(Ukraine, Kyiv)

e-mail: lysenko@nubip.edu.ua; ORCID: 0000-0002-5659-6806

Opryshko O,

PhD, Associate Professor

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine  
(Ukraine, Kyiv)

e-mail: ozon.kiev@nubip.edu.ua; ORCID: 0000-0001-6433-3566

*Crop monitoring using UAVs is becoming standard practice in scientific research due to the possibility of an operational examination of large fields with high data quality due to high-resolution images. The need for operational inspection of crops on an industrial scale requires a certain balance between the permissible image quality and the acceptable monitoring time due primarily to the number of UAVs and their energy. The newest and most relevant stress factor for Ukraine is technological stresses. The aim of the study is the optimal flight altitude for monitoring stresses of a technological nature. Field studies were carried out from September to November 2019 in the Boryspil region on industrial crops of winter rape. Monitoring was carried out using the Slantrange 3p complex. Stresses were recorded according to 2 parameters — the area of the dome and the abnormal coloration of the 2 lower leaves of red, yellow, and a mixture of these colors. The maximum quality of identification is achieved at the maximum resolution of the images, that is, the minimum height, however, the issues of UAV energy determine the maximum*

height and, accordingly, the flight speed for the UAV. Thus, the optimal compromise is between the determination accuracy and the production-appropriate flight parameters, that is, a lot of metric optimization is needed. As a generalized criterion, the criterion of consistent products was chosen, where the number of local optimization criteria is  $s = 3$ , and the weighting coefficients of the criteria are selected subjectively by experts. The proposed algorithm for choosing the optimal UAV flight altitude to identify the technological nature of the stress of winter rape crops will allow planning monitoring activities and justifying the choice of UAV parameters relative to the duration of its flight. The type of objective function used will allow specialists without specialized education in programming to solve the problem of multi-criteria optimization by its own weight coefficients. The proposed approach has no restrictions on the number of optimization parameters and the number of local optimality criteria and can be used when the user chooses his own indication indicators.

**Keywords:** flight modes, rapeseed, technological stresses, indices, satellite monitoring UAV.

#### REFERENCES

1. Robert L. Zimdahl, (2018). The Role and Future of Genetic Modification in Weed Science. *Fundamentals of Weed Science (Fifth Edition)*, 511–533 [in English]. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811143-7.00018-4>
2. Lysenko, V. et al. (2019). Methodological Solutions for the IoT Concept for Biogas Production Using the Local Resource. *IEEE I.S.P. Conference: Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2019 – Proceedings*, pp. 561–566 [in English]. <http://dx.doi.org/10.1109/PICST47496.2019.9061238>
3. Krishna Ribeiro-Gomes et al. (2016). Approximate georeferencing and automatic blurred image detection to reduce the costs of UAV use in environmental and agricultural applications. *Biosystems Engineering*, 151, 308–327 [in English]. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.09.014>.
4. Gabriel Mascarenhas Maciel et al. (2019). Image phenotyping of inbred red lettuce lines with genetic diversity regarding carotenoid levels. *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*, 81, 154–160 [in English]. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.05.016>.
5. Francisco Garcia-Ruiz et al. (2013). Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing-infected citrus trees. *Computers and Electronics in Agriculture*, 91, 106–115 [in English]. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2012.12.002>.
6. Jinya Su et al. (2018). Wheat yellow rust monitoring by learning from multispectral UAV aerial imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, 155, 157–166 [in English]. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.017>.
7. Dolia M. et al. (2019). Information Technology for Remote Evaluation of after Effects of Residues of Herbicides on Winter Crop Rape. *3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT Proceedings*, 469–473 [in English]. <https://doi.org/10.1109/AIACT.2019.8847850>.
8. Yinuo Liu et al. (2019). Estimating biomass of winter oilseed rape using vegetation indices and texture metrics derived from UAV multispectral images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 166, 105026 [in English]. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105026>.
9. Hengbiao Zheng et al. (2020). Early season detection of rice plants using RGB, NIR-G-B and multispectral images from unmanned aerial vehicle (UAV). *Computers and Electronics in Agriculture*, 169, 105223 [in English]. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105223>.
10. Pasichnyk N. et al. (2020). Multispectral sheet diagnostics of technological stresses on winter rapeseed crops. *Balance use of nature*, 3, 109–114 [in English]. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.3.2020.212610>.

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**Пасічник Наталія Анатоліївна**, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України (вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна; e-mail: n.pasichnyk@nubip.edu.ua; ORCID: 0000-0002-2120-1552).

**Лисенко Віталій Пилипович**, доктор технічних наук, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України (вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна; e-mail: lysenko@nubip.edu.ua; ORCID: 0000-0002-5659-6806).

**Опришко Олексій Олександрович**, кандидат технічних наук, доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України (вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна; e-mail: ozon.kiev@nubip.edu.ua; ORCID: 0000-0001-6433-3566).