

І.М. Дударєв¹, А.В. Хомич²

Луцький національний технічний університет¹

Відокремлений структурний підрозділ «Любешівський технічний фаховий коледж Луцького національного технічного університету»²

ПЕРСПЕКТИВИ ПЕРЕДЗБИРАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ ПОСІВІВ ЛЬОНУ З ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Сучасні підходи до агромоніторингу потребують підвищення оперативності й точності оцінювання стану сільськогосподарських культур у передзбиральний період. Запропоновано алгоритм комплексного оцінювання стану стеблостою льону перед збиранням, що ґрунтується на поєднанні даних, отриманих з використанням безпілотних літальних апаратів, та результатів традиційних польових і лабораторних досліджень. Складено математичну модель комплексного показника стану стеблостою льону та розроблено підхід до формування карт полів, що дозволяють обґрунтовано визначати терміни й технологію збирання льону та оптимізувати налаштування збиральної техніки.

Ключові слова: збирання льону, агромоніторинг, льон, безпілотні літальні апарати, дрони.

I.M. Dudarev, A.V. Khomych

PROSPECTS OF PRE-HARVEST MONITORING OF FLAX CROPS USING UNMANNED AERIAL VEHICLES

Modern agricultural monitoring approaches require increased efficiency and accuracy in assessing crop conditions during the pre-harvest period. This paper presents an algorithm for comprehensive assessment of the flax crop stand condition prior to harvesting, based on the integration of data obtained using unmanned aerial vehicles and results from traditional field and laboratory measurements. A mathematical model of an integrated indicator describing the flax crop stand condition is developed, incorporating key agronomic, technological, and biological parameters. Furthermore, an approach for generating digital field maps with mapped values of the integrated crop stand condition index is proposed, enabling visualization of the quality of the flax crop stand within fields. The resulting information enables well-founded decisions on optimal harvesting dates, selection of appropriate harvesting technologies, and optimization of harvesting machinery settings. The proposed methodology is applicable to both fiber flax and oilseed flax and contributes to improving harvesting efficiency and overall crop management.

Keywords: flax harvesting, agromonitoring, flax, unmanned aerial vehicles (UAVs), drones.

Постановка проблеми. Традиційно у сільському господарстві використовують наземні методи моніторингу стану сільськогосподарських культур, зокрема перед збиранням, що потребують значних затрат часу та людських ресурсів. Дослідження довели, що безпілотні літальні апарати можуть охоплювати під час агромоніторингу майже в 10–15 разів більшу площу, ніж традиційні наземні методи [1], що робить більш точним оцінювання стану сільськогосподарських культур на різних етапах вегетації.

На сьогодні у сільському господарстві дрони використовують для аналізування ґрунтів, планування полів, висівання насіння у підготовлений ґрунт, моніторингу та оцінювання стану посівів (ураження хворобами та шкідниками, забур'яненості тощо), обприскування посівів, відлякування птахів тощо [2]. Зображення високої роздільної здатності та дані, отримані дронами під час моніторингу сільськогосподарських угідь, агровиробники можуть аналізувати за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Використовуючи ці дані можна створити карти полів (за необхідними показниками) для подальшого їх оброблення сільськогосподарською технікою, що дозволяє, наприклад, скоригувати на різних ділянках, залежно від їхнього стану, кількість внесених добрив, пестицидів тощо [3]. Отже, отримана з використанням дронів інформація дозволяє краще оцінити стан ґрунту та рослин, прогнозувати урожайність. Причому за допомогою алгоритмів оброблення зображень можна проаналізувати окрему рослину [2]. Використовуючи результати аналізу, виробники сільськогосподарської продукції можуть вживати необхідних превентивних заходів, наприклад, щоб зупинити поширення хвороб на інші ділянки поля чи інші культури тощо. Перспективним також є використання безпілотних літальних апаратів для моніторингу посівів перед збиранням для прийняття обґрунтованого рішення щодо термінів та технології їх збирання, а також щодо визначення розмірів та розташування ділянок з пошкодженими посівами, наприклад полеглими, для вибирання комплексу необхідних технічних засобів та раціональних режимів роботи техніки. Водночас поєднання сучасних технологій моніторингу посівів з використанням традиційних методів оцінювання їхнього стану дозволить комплексно оцінити якісні та кількісні параметри урожаю та визначити напрями його використання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Безпілотні літальні апарати (БПЛА) здатні швидко та ефективно збирати величезні обсяги даних, надаючи агровиробникам інформацію, яку було б важко, а іноді і неможливо, отримати традиційними методами. БПЛА-технології мають потенціал не лише підвищувати продуктивність у сільському господарстві, а й підтримувати кліматично орієнтоване землеробство шляхом покращеного управління ресурсами з урахуванням змін клімату [4]. Внаслідок постійного розвитку та зменшення вартості БПЛА-технологій їх застосування у сільському господарстві щороку розширюється, що робить їх дедалі ціннішим інструментом для виробників сільськогосподарської продукції [4]. БПЛА здебільшого використовують як неінвазивний інструмент для збирання локально специфічної інформації за допомогою камер та сенсорів, встановлених на борту [5]. Зібрані ними спектральні дані можуть бути додатково опрацьовані та перетворені на карти, що слугують основою для точного землеробства.

Використання БПЛА у поєднанні з іншими інформаційно-комунікаційними технологіями відкриває новий етап у сфері сільського господарства, де формується цифрове землеробство, розумне землеробство, електронне сільське господарство (e-agriculture) та точне землеробство [6]. На базі Інтернету речей (IoT) з'явилася концепція Інтернету дронів (IoD), що забезпечує універсальні сервіси для різноманітних застосувань дронів [6]. Завдяки візуалізуванню стану сільськогосподарських культур, інтегрованому ГІС-картографуванню (ГІС – геоінформаційна система) та мінімізуванню необхідності фізичного переміщення полем, БПЛА можуть мати велике значення для процесу прийняття рішень та управління, сприяючи збільшенню урожайності та зменшенню витрат [7]. Отже, різноманіття БПЛА-орієнтованих застосувань у межах просторово-часових масштабів робить цю технологію перспективним рішенням для подолання загрози можливої продовольчої небезпеки [8].

Залежно від конструкції та режиму роботи БПЛА поділяють на кілька класів [9]: БПЛА з фіксованим крилом, що подібні до літаків (здатні охопити великі території, працюють на значних висотах, генерують зображення високої роздільної здатності); мультироторні БПЛА (маневрені, зависають над необхідною ділянкою, мають вертикальний зліт та посадку); гібридні БПЛА (можуть поєднувати конструкцію та функції двох попередніх класів); БПЛА зі складним крилом (зручні у транспортуванні та розгортанні в польових умовах).

БПЛА виготовляють з легких і міцних матеріалів та переважно оснащують електричними рушійними системами з різними типами літєвих акумуляторів, що забезпечує оптимальне співвідношення маси, продуктивності та енергоефективності [9]. Водночас активно розвивають гібридні рушійні системи, зокрема електро-бензинові, акумуляторно-водневі та сонячно-електричні системи, спрямовані на збільшення тривалості польоту та енергетичної автономності. Автономність польоту БПЛА залежно від умов використання та корисного навантаження може бути від 20 хв до кількох годин [9].

У сільському господарстві здебільшого використовують квадрокоптери для генерування кольорових інфрачервоних зображень полів [10]. Легкі камери дозволяють застосовувати квадрокоптери з невеликою вантажопідйомністю. Водночас маса об'єктива камери є важливим фактором та безпосередньо впливає на площу, що охоплює одне зображення. Тому використання легших камер часто потребує польотів на меншій висоті та отримання більшої кількості знімків для покриття всього поля [11]. Зрозуміло, що, наприклад, для обприскування полів необхідні БПЛА з більшою вантажопідйомністю (10–50 кг).

Точний моніторинг полів є досить складним завданням та потребує застосування БПЛА, що оснащені різними видами камер, зокрема мультиспектральними та тепловізійними [12]. Встановлені на БПЛА цифрові, мультиспектральні, гіперспектральні, флуоресцентні та тепловізійні датчики з високою роздільною здатністю в поєднанні з ефективними алгоритмами опрацювання даних дозволяють проводити ефективний моніторинг полів сільськогосподарських виробників [13].

Ще одним важливим аспектом БПЛА-технологій у різних сферах є необхідність на законодавчому рівні затвердження регуляторних норм її застосування. Хоча застосування БПЛА здебільшого проходить в сільській місцевості з низькою щільністю населення, однак залишається важливим забезпечення права приватності окремих осіб [14].

Постановка завдань. Розвиток БПЛА-технологій та їх застосування у сільському господарстві, зокрема для моніторингу стану посівів різних культур, потребує обґрунтування кількісних показників, що дозволять на основі даних такого моніторингу проводити аналіз посівів з урахуванням особливостей вегетації певної культури. Важливим є передзбиральний моніторинг такої культури як льон (льон-довгунець, льон олійний), оскільки достовірні дані про стан

стеблостою льону на окремих ділянках поля дозволять вибрати ефективну технологію його збирання та встановити раціональні режими роботи технічних засобів. Хоча існують дослідження, присвячені оцінюванню динаміки росту льону та його агрономічних показників з використанням карт нормалізованого різницевого вегетаційного індексу (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index) [15], отриманих на основі мультиспектральних зображень з БПЛА, для обґрунтування раціональної технології та оптимальних термінів збирання льону потрібен більш комплексний підхід. Отже, важливим завданням є обґрунтування комплексного показника стану стеблостою льону перед збиранням на основі даних моніторингу з застосуванням БПЛА-технологій та результатів польових досліджень стану стеблостою.

Викладення основного матеріалу. Обґрунтуємо комплексний показник, що характеризує стан стеблостою льону перед збиранням, урахувавши алгоритм обчислення середньозваженого арифметичного показника стану стеблостою [16]. Усі показники, що характеризують стан стеблостою льону (льону-довгунця та льотну олійного) об'єднаємо в дві групи за можливим методом їх визначення (рис. 1): показники стеблостою льону, що можуть бути визначені з використанням БПЛА; показники стеблостою льону, що визначають за традиційними методиками у польових чи лабораторних умовах. За допомогою БПЛА-технологій можуть бути визначені фаза стиглості льону, полеглисть та забур'яненість стеблостою, ураженість стеблостою хворобами чи шкідниками. Зокрема, БПЛА-технології дозволяють визначити розміри ділянок (площі поля), на яких стеблостій має зазначені характеристики. За традиційними методиками визначають висоту стеблостою, технічну довжину та діаметр стебел, розгалуженість та вологість стебел, вміст волокна (довгого, короткого) у стеблах, вологість та масу 1000 насінин, урожайність насіння та соломи, а також ширину міжрядь (залежить від способу посіву) та кількість рослин на 1 м² площі поля. Ширину міжрядь та кількість рослин на 1 м² площі поля також можна визначити, використовуючи БПЛА-технології. Деякі з цих показників важливі для визначення напрямів подальшого перероблення лляної сировини, а деякі мають безпосередній вплив на процес збирання. Отже, проаналізуємо ці показники стану стеблостою льону, згрупувавши їх у шість груп: показники стебел льону, показники насіння льону, показник стиглості льону, агротехнічні показники стеблостою льону, фітосанітарні показники стеблостою льону, показники урожайності льону.

Висота стеблостою та технічна довжина льону – це важливі параметри для налаштування роботи збиральної техніки. Їх визначають за традиційними методиками шляхом відбирання проб з різних ділянок поля та вимірювання довжини стебел. Те саме стосується визначення діаметра стебел льону, від якого залежить товщина сформованої стрічки стебел (для льону-довгунця) та налаштування й ефективність роботи збиральної машини. Вміст волокна у стеблах важливий при визначенні якісних показників стеблової частини урожаю льону та напрямів його перероблення. Водночас, необхідно пам'ятати, що міцність волокна впливає на процеси брання та зрізування стебел льону, а також його обмолочування. Вологість стебел та їхня розгалуженість (сортові особливості) впливають на вибір технології збирання та режимів роботи збиральних машин, оскільки від цих параметрів залежить перебіг технологічних процесів збирання (брання/зрізування стебел, обмолочування льону тощо). Ці показники визначають за традиційними методиками, переважно в лабораторних умовах.

Важливим показником стеблостою льону є вологість насіння (або насінневих коробочок), оскільки від цього параметра залежить ефективність процесу обмолочування льону та втрати й пошкодження насіння. Маса 1000 насінин льону характеризує якість насіння, його добірність, крупність та виповненість. Ці показники можна визначити за традиційними методиками як в польових умовах, так і в лабораторних.

Рішення щодо початку збирання льону приймають, передусім, за результатами визначення фази стиглості рослин. Збирання товарних посівів льону-довгунця за роздільної технології збирання рекомендують проводити у фазі ранньої жовтої стиглості (60–75% рослин досягли цієї фази), а за комбайнової технології збирання – наприкінці фази ранньої жовтої стиглості й на початку фази жовтої стиглості (понад 75% рослин досягли цієї фази) [17]. У випадку льону олійного збирання за роздільною технологією розпочинають, якщо 50–75% рослин перебувають у фазі повної стиглості, а комбайнову технологію застосовують, коли у цій фазі стиглості перебувають понад 75% рослин. Визначення фази стиглості рослин за площею усього поля доцільно проводити з використанням БПЛА-технологій, що дозволить обчислити відсоток рослин у необхідній фазі стиглості.

Для характеристики стеблостою льону важливими є ширина міжрядь, кількість рослин льону на 1 м² поля та полеглисть стеблостою, оскільки вони впливають на налаштування збиральної

техніки та перебіг технологічних операцій. Ширина міжрядь залежить від способу посіву льону та налаштування посівної техніки. Кількість рослин на 1 м² площі залежить від способу посіву, умов вирощування та інших факторів. Полеглість стеблостою може виникати внаслідок несприятливих погодних умов, сортових особливостей, нерационального удобрення, оброблення посівів або ж комбінації цих та інших факторів.

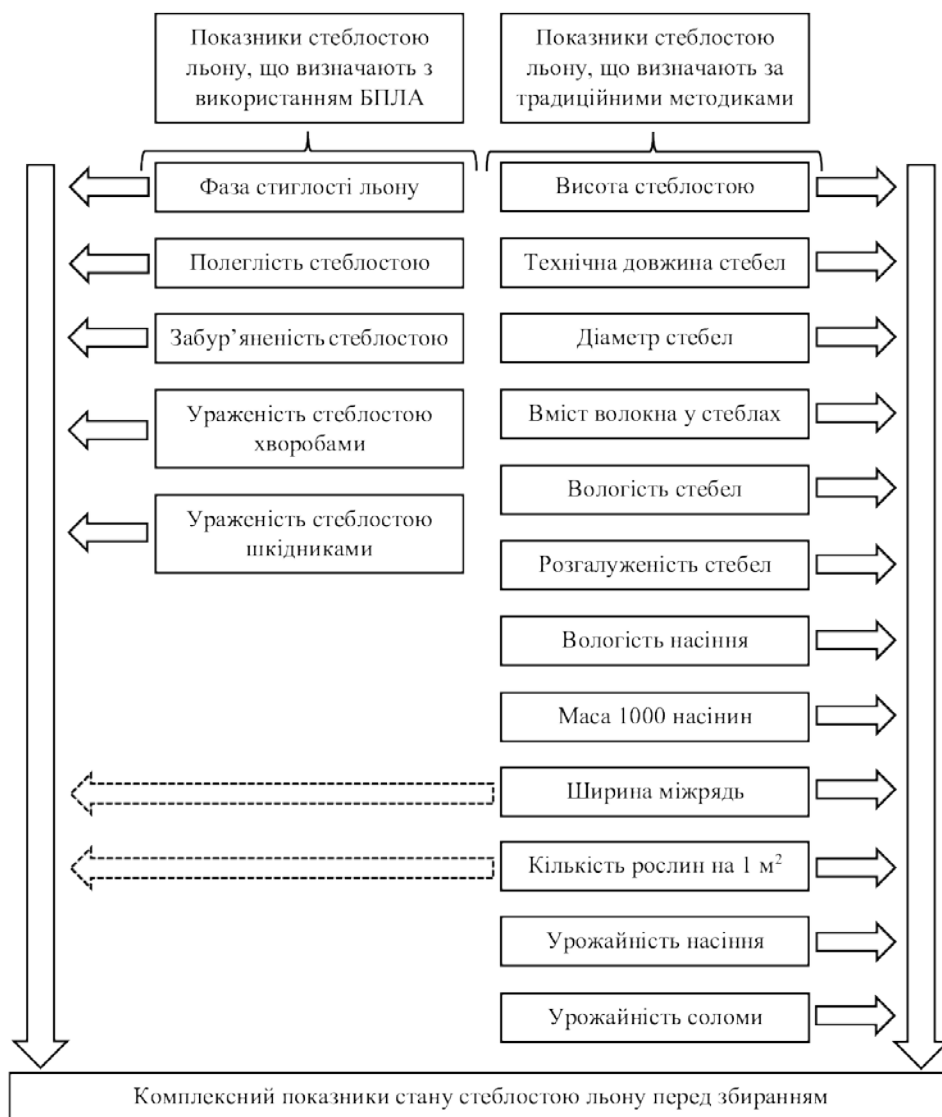


Рис. 1. Показники стану стеблостою льону, що визначають з використанням БПЛА та за традиційними методиками

Фітосанітарні показники стеблостою льону, зокрема забур'яненість, ураженість хворобами та шкідниками, важливі при виборі технології збирання та налаштування збиральної техніки. Ділянки, на яких такий фітосанітарний стан стеблостою, можуть бути виявлені за допомогою БПЛА-технологій.

Урожайність насіння та соломи льону характеризують ефективність вирощування цієї культури. Визначення цих показників можливе за традиційними методиками шляхом відбирання проб на полі (перед початком збирання).

Сформуємо «дерево» показників стеблостою льону, що характеризують його стан перед збиранням (рис. 2). Кожній групі показників присвоюємо ваговий коефіцієнт m_i , сума яких рівна 1. У кожній групі усім показникам також присвоюємо вагові коефіцієнти m_{ij} , сума яких в межах групи рівна 1. Усі вагові коефіцієнти визначають експертним методом [16]. На основі «дерева» показників складемо математичну модель для обчислення комплексного показника стану стеблостою льону перед збиранням:

$$Q = m_1 \left(m_{11} \frac{P_{11}}{P_{\delta 11}} + m_{12} \frac{P_{12}}{P_{\delta 12}} + m_{13} \frac{P_{13}}{P_{13}} + m_{14} \frac{P_{14}}{P_{\delta 14}} + m_{15} \frac{P_{\delta 15}}{P_{15}} + m_{16} \frac{P_{\delta 16}}{P_{16}} \right) +$$

$$+ m_2 \left(m_{21} \frac{P_{\delta 21}}{P_{21}} + m_{22} \frac{P_{22}}{P_{\delta 22}} \right) + m_3 \frac{P_3}{P_{\delta 3}} + m_4 \left(m_{41} \frac{P_{\delta 41}}{P_{41}} + m_{42} \frac{P_{42}}{P_{\delta 42}} + m_{43} \frac{P_{\delta 43}}{P_{43}} \right) +$$

$$+ m_5 \left(m_{51} \frac{P_{\delta 51}}{P_{51}} + m_{52} \frac{P_{\delta 52}}{P_{52}} + m_{53} \frac{P_{\delta 53}}{P_{53}} \right) + m_6 \left(m_{61} \frac{P_{61}}{P_{\delta 61}} + m_{62} \frac{P_{62}}{P_{\delta 62}} \right), \quad (1)$$

де Q – комплексний показник стану стеблостою льону перед збиранням; $m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6$ – вагові коефіцієнти груп показників (див. рис. 2); $m_{11}, m_{12}, m_{13}, m_{14}, m_{15}, m_{16}$ – вагові коефіцієнти групи показників стебел льону (див. рис. 2); m_{21}, m_{22} – вагові коефіцієнти групи показників насіння льону (див. рис. 2); m_{41}, m_{42}, m_{43} – вагові коефіцієнти групи агротехнічних показників стеблостою льону (див. рис. 2); m_{51}, m_{52}, m_{53} – вагові коефіцієнти групи фітосанітарних показників стеблостою льону (див. рис. 2); m_{61}, m_{62} – вагові коефіцієнти групи показників урожайності льону (див. рис. 2); P_{ij}, P_3 – значення показників стеблостою льону, визначені за допомогою БПЛА-технологій чи за традиційними методиками ($i \neq 3$); $P_{\delta ij}, P_{\delta 3}$ – базові значення показників стеблостою льону ($i \neq 3$).



Рис. 2. «Дерево» показників стеблостою льону, що характеризують його стан перед збиранням

Крім комплексного показника, доцільно обчислювати окремо показники для кожної групи, що дозволить визначити проблемні характеристики стеблостою, які необхідно враховувати під час збирання. Базові значення показників приймають залежно від вимог нормативних документів (державних стандартів), методичних рекомендацій науково-дослідницьких установ, агротехнічних вимог тощо. Якщо чим більше значення показника, тим кращий стан стеблостою, тоді базовий показник у математичній моделі (1) розташовують в знаменнику. Якщо ж чим менше значення показника, тим кращий стан стеблостою, тоді базовий показник у рівнянні (1) розташовують в чисельнику. Набір показників у математичній моделі (1) може змінюватися залежно від виду льону та призначення посівів.

Приклад базових показників для льону-довгунця: висота стеблостою – $P_{\delta 11} = 0,6$ м; технічна довжина стебел – $P_{\delta 12} = 0,5$ м; діаметр стебел – $P_{\delta 13} = 1,5$ мм; вміст волокна – $P_{\delta 14} = 18\%$; вологість стебел – $P_{\delta 15} = 40\%$; розгалуженість стебел (відсоток рослин, що мають понад 1 стебло) – $P_{\delta 16} = 5\%$; вологість насіння – $P_{\delta 21} = 20\%$; маса 1000 насінин – $P_{\delta 22} = 6$ г; стиглість льону (для комбайнової технології збирання – відсоток рослин, що досягли фази жовтої стиглості) – $P_{\delta 3} = 75\%$; ширина міжрядь (допустиме відхилення від ширини міжрядь за модулем) – $P_{\delta 41} = 1$ см; кількість рослин на 1 м^2 площі поля – $P_{\delta 42} = 1800$ шт/м²; полеглість стеблостою (відсоток площі поля з полеглим стеблостоєм) – $P_{\delta 43} = 5\%$; забур'яненість стеблостою – $P_{\delta 51} = 5\%$; ураження стеблостою хворобами –

$P_{652} = 5\%$; ураження стеблостою шкідниками – $P_{653} = 5\%$; урожайність насіння – $P_{661} = 400$ кг/га; урожайність льоносоломи – $P_{662} = 5$ т/га.

За результатами передзбирального моніторингу льону та значеннями обчисленого комплексного показника стану стеблостою льону доцільно формувати карти полів з нанесенням на них отриманих значень комплексного показника (рис. 3). Доцільно проводити моніторинг стеблостою, поділивши поле на ділянки площею 10×10 м. Такі цифрові карти полів дозволяють візуалізувати якісний стан стеблостою льону в межах поля, що дозволить приймати обґрунтовані рішення щодо термінів і технології його збирання, а також щодо налаштування збиральної техніки.



Рис. 3. Приклад результатів моніторингу поля з обчисленням комплексного показника стану стеблостою льону перед збиранням

Висновки. Розроблено алгоритм комплексного моніторингу стану стеблостою льону перед збиранням, що поєднує визначення показників стеблостою як традиційними методами, так і з застосуванням БПЛА-технологій. Алгоритм може бути застосовано для льону-довгунця та льону олійного. Для реалізації алгоритму моніторингу стану стеблостою льону необхідно розробити відповідне програмне забезпечення, що дозволить збирати та аналізувати дані щодо стану стеблостою, опрацьовувати їх, обчислювати комплексний показник та формувати карту поля з нанесенням на ній результатів моніторингу.

Список використаних джерел

1. Dileep M. R., Navaneeth A. V., Ullagaddi S., Danti A. A study and analysis on various types of agricultural drones and its applications. 2020 Fifth International Conference on Research in Computational Intelligence and Communication Networks (ICRCICN). India: Bangalore, 2020. P. 181-185. <https://doi.org/10.1109/ICRCICN50933.2020.9296195>.
2. Pathak H., Kumar G., Mohapatra S. D., Gaikwad B. B., Rane J. Use of drones in agriculture: potentials, problems and policy needs. ICAR-National Institute of Abiotic Stress Management, 2020. № 300. P. 4-15.
3. Muraru S. L., Cardei P., Muraru V., Sfiru R., Condruz P. Researches regarding the use of drones in agriculture. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM. Sofia, 2019. Vol. 19(6.2). <https://doi.org/10.5593/sgem2019/6.2>.
4. McCarthy C., Nyoni Y., Kachamba D. J., Banda L. B., Moyo B., Chisambi C., Banfill J., Hoshino B. Can drones help smallholder farmers improve agriculture efficiencies and reduce food insecurity in Sub-Saharan Africa? Local perceptions from Malawi. Agriculture. 2023. № 13(5), 1075. <https://doi.org/10.3390/agriculture13051075>.
5. Michels M., von Hobe C. F., Weller von Ahlefeld P. J., Musshoff O. The adoption of drones in German agriculture: A structural equation model. Precision Agriculture. 2021. № 22. P. 1728-1748. <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09809-8>.
6. Ayamga M., Akaba S., Nyaaba A. A. Multifaceted applicability of drones: A review. Technological Forecasting and Social Change. 2021. № 167, 120677. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120677>.
7. Ayamga M., Tekinerdogan B., Kassahun A. Exploring the challenges posed by regulations for the use of drones in agriculture in the African context. Land. 2021. № 10(2), 164. <https://doi.org/10.3390/land10020164>.

8. Kumar S. P., Subeesh A., Jyoti B., Mehta C. R. Applications of drones in smart agriculture. In: Pakeerathan, K. (eds). Smart Agriculture for Developing Nations. Advanced Technologies and Societal Change. Singapore: Springer, 2023. https://doi.org/10.1007/978-981-19-8738-0_3.

9. Guebsi R., Mami S., Chokmani K. Drones in precision agriculture: A comprehensive review of applications, technologies, and challenges. Drones. 2024. № 8(11), 686. <https://doi.org/10.3390/drones8110686>.

10. Chin R., Catal C., Kassahun A. Plant disease detection using drones in precision agriculture. Precision Agriculture. 2023. № 24. P. 1663-1682. <https://doi.org/10.1007/s11119-023-10014-y>.

11. del Cerro J., Cruz Ulloa C., Barrientos A., de León Rivas J. Unmanned aerial vehicles in agriculture: A survey. Agronomy. 2021. № 11(2), 203. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020203>.

12. Daponte P., De Vito L., Glielmo L., Iannelli L., Liuzza D., Picariello F., Silano G. A review on the use of drones for precision agriculture. In: IOP conference series: earth and environmental science (Vol. 275, № 1, 012022). IOP Publishing, 2019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/275/1/012022>.

13. Abbas A., Zhang Z., Zheng H., Alami M. M., Alrefaei A. F., Abbas Q., Naqvi S. A. H., Rao M. J., Mosa W. F. A., Abbas Q., Hussain A., Hassan M. Z., Zhou L. Drones in plant disease assessment, efficient monitoring, and detection: A way forward to smart agriculture. Agronomy. 2023. № 13(6), 1524. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061524>.

14. Arza-García M., Burgess A. J. Drones in the sky: Towards a more sustainable agriculture. Agriculture. 2023. № 13(1), 84. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010084>.

15. Papadopoulos G., Stavropoulos P., Roussis I., Mavroeidis A., Vatougiou D., Kakabouki I. Integrating UAV multispectral indices (NDVI) with yield data for optimizing flax (*Linum usitatissimum* L.) cultivation. Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture. 2023. № 80(2). P. 71-75. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-hort:2023.0022>.

16. Дударев І. М. Алгоритм оцінювання придатності рослинної сировини для перероблення за певною технологією. Сільськогосподарські машини. 2022. № 48. С. 100-109. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.888>.

17. Дударев І. М. Розвиток наукових основ ресурсозберігаючої технології первинної обробки луб'яних культур: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.02 / Дударев Ігор Миколайович; Луцький нац. техн. ун-т. Луцьк, 2016. 370 с.

Рецензент: Кірчук Руслан Васильович, к.т.н., професор, декан факультету аграрних технологій та екології Луцького національного технічного університету.