

FLAX STEM QUALITY ASSESSMENT USING UNMANNED AERIAL VEHICLES

O. Yaheliuk, V. Didukh, S. Yaheliuk*

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine



ABSTRACT

As a result of the war, the economy of Ukraine created conditions that require innovative solutions in agricultural production. For example, there was an urgent need to use the cultivated areas of the northern and western parts of Ukraine for crops that were traditionally grown only in the southern regions of the country. Modernization and implementation of innovative technologies in the agro-industrial complex will contribute to the successful and rapid recovery of the economy of Ukraine. Unmanned aerial vehicles are an integral part of modern technologies that can be used in agriculture. It is proposed to use unmanned aerial vehicles to evaluate the quality indicators of the stem of linseed and fibre flax. Flax is of great practical value as its crop is used extensively in the food and non-food industries. The amount of flax grown in the world is increasing every year. The technique of using unmanned aerial vehicles can be based on the monitoring and analysis of the colour characteristics of the flax stem obtained with the help of photographic equipment. In order to implement the method of assessing quality indicators of flax with the help of unmanned aerial vehicles, it is necessary to create calibration tables of colour characteristics of plants depending on the ripening phase, length and moisture content of stems, as well as fibre content. The application of the method of flax stem quality assessment with the use of unmanned aerial vehicles allows to: obtain data for detailed on-line monitoring of the condition of linseed and fibre flax crops; select with high accuracy a rational technology of flax processing taking into account the qualitative and quantitative indicators of the flax stem and achieve high efficiency of using all the biological potential of this crop. The proposed method of crop condition assessment is universal and can be used by agro-industrial enterprises and farms for research of other agricultural crops.

Key words:

flax,
unmanned aerial vehicle,
assessment of flax quality,
flax stem,
progressive technologies in
agriculture

Article history:

Received 18.05.2023

Accepted 24.06.2023

***Corresponding author:**

cler2010@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi49.1068

To cite this article:

Yaheliuk, O., Didukh, V., & Yaheliuk, S. (2023). Flax stem quality assessment using unmanned aerial vehicles. *Agricultural Machines*, 49, 134-140. <https://doi.org/10.36910/acm.vi49.1068>

УДК 631.37:629.7.014

**ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ СТЕБЛОСТОЮ ЛЬОНУ З ВИКОРИСТАННЯМ
БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ****О.О. Ягелюк, В.Ф. Дідух, С.В. Ягелюк****Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна***АНОТАЦІЯ**

Внаслідок війни в економіці України сформувалися умови, які потребують інноваційних рішень в сільськогосподарському виробництві. Модернізація та впровадження інноваційних технологій в агропромисловому комплексі сприятиме успішному та швидкому відновленню економіки України. Невід'ємною частиною сучасних технологій, що можуть бути використані у сільському господарстві, є безпілотні літальні апарати. Запропоновано використовувати безпілотні літальні апарати для оцінювання показників якості стеблостою льону олійного та льону-довгунця. Льон має велику практичну цінність завдяки комплексному використанню його урожаю у продовольчій та непродовольчій галузях промисловості. Обсяги вирощування льону у світі щорічно зростають. Методика використання безпілотних літальних апаратів може бути заснована на моніторингу та аналізі колірних характеристик стеблостою льону, що отримані за допомогою фото-обладнання. Для впровадження методики оцінювання показників якості стеблостою льону за допомогою безпілотних літальних апаратів необхідно створити калібрувальні таблиці колірних характеристик рослин залежно від фази дозрівання, довжини та вологості стебел, а також вмісту волокна. Застосування методу оцінювання якості стеблостою льону з використанням безпілотних літальних апаратів дозволяє: отримувати дані детального моніторингу стану посівів льону олійного та льону-довгунця в режимі *on-line*; з високою точністю вибирати раціональну технологію перероблення льону з урахуванням якісно-кількісних показників стеблостою та досягати високої ефективності використання всього біологічного потенціалу цієї культури. Запропонований метод оцінювання стану посівів є універсальним та може використовуватися агропромисловими підприємствами та фермерськими господарствами для дослідження посівів інших сільськогосподарських культур.

Ключові слова:

льон,
безпілотний літальний апарат,
оцінювання якості льону,
стебла льону,
прогресивні технології в
сільському господарстві

Історія публікації:

Отримано 18.05.2023

Затверджено 24.06.2023

***Автор для листування:**

cler2010@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi49.1068

Цитувати цю статтю:

Ягелюк, О. О., Дідух, В. Ф., & Ягелюк, С. В. (2023). Оцінювання якості стеблостою льону з використанням безпілотних літальних апаратів. *Сільськогосподарські машини*, 49, 134-140. <https://doi.org/10.36910/acm.vi49.1068>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

В економіці України сформувалися умови, які потребують інноваційних рішень в сільськогосподарському виробництві. Експорт продовольства з України за даними (*Trade Map, n.d*) у травні 2023 року склав 1,67 млрд дол США, що майже на третину менший ніж показники минулого року. Внаслідок війни та екологічної катастрофи з'явилася гостра необхідність використання посівних площ північної та західної частин України для культур, що традиційно вирощувалися лише в південних областях країни. Відповідно, відновлення економіки України потребує значної модернізації та запровадження інноваційних технологій в агровиробництві.

Однією з сільськогосподарських культур, що має велику практичну цінність завдяки комплексному використанню всього урожаю у продовольчій та непродовольчій галузях промисловості, є льон (*Ягелюк & Дідух, 2021*). За статистичними даними (*FAOSTAT, n.d.*) обсяги виробництва льону олійного у світі щорічно зростають. Країнами, що на значних площах вирощують льон олійний, є Індія та Китай. Однак, основними виробниками цієї культури залишаються США та Канада. Повільно, але зростає виробництво льону-довгунця. Основним постачальником у світі найбільш високоякісного волокна з льону-довгунця залишається Бельгія.

Кліматичні умови західних областей України є сприятливими для вирощування льону-довгунця. Результати дослідження технологічних операцій збирання льону та техніки для них, а також визначення факторів, які впливають на формування якісного волокна, подані в наукових працях (*Юхимчук, 1998; Налобіна, 2008; Хайліс та ін., 2013*). Льон олійний є відносно новою культурою для північних та західних областей України. Однак, умови, які склалися на сьогодні, сприяють значному зростанню виробництва цієї культури в західному регіоні України. Дослідженню властивостей, показників якості та технологій перероблення льону олійного присвячені наукові праці (*Сай та ін., 2009; Dudarev & Say, 2020; Yaheliuk et al., 2020*). З огляду на результати відомих досліджень можна зробити висновок, що льон-довгунець та льон олійний, незважаючи на відмінності, мають схожі технологічні характеристики та

властивості. Показники якості стеблостою льону олійного та льону-довгунця визначають подальший напрям їх використання.

У науковій праці (*Ягелюк & Дідух, 2020*) подано концептуальну модель перероблення льону залежно від фази стиглості, довжини та вологості стебел, а також масової частки лубу. Використання виробниками класифікаційних ознак стеблостою льону має випадковий характер та не враховується під час збирання урожаю. Статистичні дані щодо стану стеблостою льону попередніх років не систематизуються та не обробляються. Це спричиняє втрати урожаю льону та шкодить навколишньому середовищу. Постійний та детальний моніторинг вирощування цієї культури – це трудомісткий процес, що вимагає залучення кваліфікованих працівників та тривалий у часі, особливо, для господарств, які мають великі площі та вирощують різні культури.

Уже тривалий час можливості безпілотних літальних апаратів (БПЛА) використовуються військовими. Сучасні високотехнологічні БПЛА мають широкий спектр можливостей, які дозволяють їх використовувати у різних галузях виробництва, зокрема, у сільському господарстві (*Edan et al., 2009*). Використання БПЛА дозволяє в режимі реального часу спостерігати за полями, садками, водоймами, отримувати просторові дані, виявляти проблеми та вчасно на них реагувати (*Yinka-Banjo & Ajayi, 2020*).

Якщо БПЛА використовувати для моделі технологій перероблення льону різних видів, що обґрунтована в науковій праці (*Ягелюк & Дідух, 2020*), то це дозволить вчасно та з високою точністю оцінити показники якості стеблостою льону і, відповідно, встановити напрями подальшого використання урожаю.

За даними (*УКРСТАТ, n.d*) в Україні до 2022 року було 45,5 тис сільськогосподарських підприємств. Але лише 10% підприємств використовували прогресивні технології. Тому дослідження, що передбачають визначення ефективних напрямів використання БПЛА у сільськогосподарському виробництві, зокрема під час оцінювання якості стеблостою льону, є актуальними.

Мета дослідження – обґрунтувати методику використання БПЛА для оцінювання якості сільськогосподарських культур.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Для отримання урожаю льнопродукції необхідної якості важливо урахувати особливості вирощування льону.

Виокремлюють кілька фаз росту льону. Фаза сходів льону (рис.) – цей період характеризується появою сім'ядольних листків на поверхні землі на 4–6 день після сівби. Фаза ялинка (рис.) триває від утворення першої пари справжніх листків на рослині до періоду інтенсивного росту (15–19 днів). У цій фазі наземна частина стебла росте дуже повільно, проте швидко розвивається коренева система.

Період інтенсивного росту й фаза бутонізації (рис.) починаються за 12–16 днів до цвітіння. Цей період характеризується інтенсивним ростом стебел у висоту. Упродовж цього періоду також формуються елементарні волокна у стеблі. Фаза бутонізації розпочинається з появи перших бутонів і закінчується, коли з'являються перші квіти. Кількість елементарних волокон збільшується за всю довжиною стебла, стінки волокон заповнюються целюлозою, вони групуються в пучки. Ця фаза має велике значення для формування якісного волокна. Наступна фаза – цвітіння, що триває 5–10 днів. Упродовж цієї фази стебла у висоту ростуть повільно, збільшується кількість волокон у верхній та середній частинах стебла. Після цвітіння льону формуються насіннєві коробочки.

Період досягання льону характеризується чотирма ступенями стиглості:

- зелена стиглість рослин, коли насіннєві коробочки льону повністю сформовані, мають зелений колір, проте 25–35% коробочок мають насіння недостатньо виповнене;

- рання жовта стиглість, коли насіння добре сформоване, у 65–75% жовто-зелених коробочок насіння біліє з жовтим носиком, а решта коробочок – з жовтим насінням; лише окремі коробочки зелені із зеленим насінням й бурі із коричневим; збирання урожаю льону-довгунцю в цій фазі забезпечує найвищий урожай якісного волокна;

- жовта стиглість, коли 50% жовтих коробочок мають жовте насіння, а друга половина коробочок – бурі й жовто-зелені; у цій фазі росту збирають льон насінницьких посівів;

- повна стиглість, коли всі насіннєві коробочки на рослинах бурі й сухі; насіння коричневе та сухе; дослідження показують, що збирання урожаю в цій фазі спричиняє значні втрати насіння та низьку якість волокна.

Веgetаційний період льону від появи сходів до ранньої жовтої стиглості, залежно від погодних умов й сорту, триває близько 75–90 діб. Агротехнічні заходи, які забезпечують отримання високого урожаю волокна та насіння повинні ґрунтуватися на урахуванні росту й розвитку рослин льону. На кожному етапі вирощування є свої особливості ознак – довжина, колір, вологість. Фаза стиглості, вологість та довжина стебел на момент збирання льону олійного та льону-довгунця визначають їх подальші напрями перероблення (Yaheliuk et al., 2020).

Методи аналізу, синтезу та наукової абстракції стали основою дослідження. Комплексний підхід дозволив визначити основні складові методики дослідження якості стеблової частини льону під час вирощування із використанням БПЛА.



Рис. – Фази росту льону:
а – сходів; б – ялинка; в – інтенсивний ріст та бутонізація

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Товарні посіви льону олійного та льону-довгунця доцільно збирати у фазі ранньої жовтої стиглості для отримання волокна та насіння високої якості. Це можливо за сприятливих погодних умов. За умови малої довжини стебел або затяжної дощової погоди льон-довгунець можна збирати у фазі жовтої стиглості. Якщо необхідно одержати насіння високої якості, то льон можна збирати на початку фази повної стиглості.

Біологічний вид, фаза стиглості, довжина, вологість та колір стебел, вміст лубу – це ті показники, які потрібно урахувати, оскільки вони впливають на вибір технології перероблення урожаю й кінцевий якісний результат. Визначити той чи інший показник та прийняти правильне рішення щодо збирання та подальшого перероблення урожаю льону потрібно у короткий термін та в польових умовах. Потрібно відмітити, що значення окремих показників можуть відрізнятися на різних ділянках поля, що також ускладнює задачу.

У сучасних умовах найкращим рішенням для динамічного оцінювання показників якості стеблостою льону може стати застосування БПЛА. На сьогодні існує достатньо різних видів літальних апаратів з широким набором функціональних можливостей. Однак, немає єдиної класифікації, оскільки всі апарати відрізняються за конструкцією, принципом дії, набором функцій тощо.

Найбільш раціональним поділом на групи можна вважати розподіл на чотири групи, що запропоновано в працях (*Vroegindeweij et al., 2014; Sylvester, 2018*). Відповідно, існують БПЛА з вертикальним злетом (мультироторні), з нерухомим крилом, типу «бабка» або вертолёт та гібридні (**таблиця**).

Найбільш поширеними є БПЛА з вертикальним злетом. Залежно від кількості встановлених двигунів бувають трикоптери, квадрокоптери, гексакоптери та октокоптери. Можливість вертикального злету та посадки є основною перевагою цих літальних апаратів. Мультироторні БПЛА прості в керуванні, не вимагають особливих навичок у користуванні, окремі види мають відносно низьку вартість. Недоліками цих літальних апаратів є невелика швидкість, низька витривалість та обмежений час польоту.

БПЛА із нерухомим крилом подібні до справжніх літаків. Вони можуть літати на далекі відстані, надійні, однак, не мають можливості «зависати» на одному місці та, зазвичай, потребують додаткових навичок для експлуатації.

Монороторні літальні апарати нагадують гелікоптер або «бабку». Вони мають велику маневреність, тривалість польоту та здатні «зависати» на одному місці, проте дуже ненадійні й вимагають спеціальної підготовки для керування ними.





Гібридні БПЛА конструктивно поєднують в собі мультироторні апарати та апарати із фіксованим крилом. Ці БПЛА мають можливість тривалого польоту, «зависання», транспортування невеликих вантажів, тобто є багатофункціональними. Разом з тим, із збільшенням кількості функцій, які вони здатні виконувати, зростає вартість та зменшується надійність конструкцій. Тому під час вибору БПЛА потрібно керуватися напрямом його майбутнього використання.

Для використання в агровиробництві, особливо рослинництві, БПЛА мають переваги: можливість здійснювати складні маневри, тому можуть близько наблизитися до рослин чи тварин та збирати інформацію точніше й детальніше, ніж це може людина; БПЛА не торкаються ґрунту, тому не залежать від доріг, не пошкоджують рослини; мають можливість одночасно проводити моніторинг великих площ в режимі on-line.

Подані в **таблиці** характеристики БПЛА дозволяють запропонувати можливі напрями їх використання у рослинництві, зокрема, у льонарстві:

- отримання детальної інформації щодо стану ґрунтів для ефективного планування посівів;
- забезпечення високоточного посіву різних культур;
- визначення та оцінювання показників якості та параметрів росту рослини;
- прогнозування урожаю із визначенням можливостей подальшого перероблення для максимально ефективного використання;
- моніторинг проблемних місць на полі, зокрема, визначення ділянок із низькою чи підвищеною вологістю, хворими рослинами, шкідниками;
- складання звітів щодо загального стану посівів.

Таблиця – Класифікація БПЛА

Тип БПЛА	Характеристика БПЛА	Зображення БПЛА (Drone Engr, n.d.; Wingtra. n.d.)
1	2	3
БПЛА мультироторні з вертикальним злетом	можливість вертикального злету-посадки, «зависання» над визначеною територією; тривалість польоту до 60 хв; невеликі габаритні розміри; швидкість до 50 км/год; середній опір вітру до 10 м/с; можливість розташування додаткового обладнання; кількість двигунів – 4–8; окремі види потребують додаткових навичок у керуванні	
БПЛА із нерухомим крилом	потребують додаткових навичок у керуванні; можливість встановлення додаткового обладнання; здатність переносити вантажі; окремі види не потребують злітно-посадкової смуги; швидкість польоту до 100 км/год	
БПЛА типу «бавка» або вертоліт	монороторні; велика маневреність; невеликі габаритні розміри; дальність польоту до 80 км; швидкість до 150 км/год; можливість розташування додаткового устаткування	
Гібридні БПЛА	окремі види не потребують злітно-посадкової смуги; можливість вертикального злету-посадки; висота польоту до 5 км; здатність переносити вантажі; тривалість польоту до 10 год; можливість розташування додаткового устаткування; потребують додаткових навичок у керуванні	

Обмеженість корисного навантаження цих безпілотних літальних апаратів, коротка тривалість автономної роботи, залежність від погодних умов, висока вартість, відсутність універсального програмного забезпечення, а також законодавча неврегульованість суттєво обмежують використання БПЛА у сільському господарстві України.

Для забезпечення динамічного оцінювання показників якості стеблової частини льону пропонується використовувати квадрокоптери серії DJI MAVIC 3 (Китай). Переваги цієї серії:

просте та зручне керування, наявність камери з високою роздільною здатністю, дальність польоту апарата до 30 км, опір вітру до 15 м/с. Методика використання БПЛА цієї серії заснована на оцінюванні зміни кольору рослин у процесі вегетації та дозрівання урожаю. Як зазначено вище, кожна фаза росту льону має свої характерні особливості, зокрема, – колір. Використання БПЛА із камерою високої роздільної здатності дозволить документувати та аналізувати в режимі реального часу стан стеблової частини рослин на полі.

Для розроблення ефективної методики оцінювання якості стеблостою льону на першому етапі необхідно проводити збирання фото-даних та фіксувати показники якості рослин стандартними методами. Це дозволить створити калібрувальні таблиці відповідності колірних характеристик рослин та фази дозрівання, довжини та вологості стебел, а також вмісту волокна.

ВИСНОВКИ

БПЛА мають перспективу використання у сільськогосподарському виробництві. На сьогодні вони найбільш придатні для виконання задач спостереження, збирання інформації, моніторингу та мають значні переваги порівняно з іншими засобами.

Методика використання БПЛА може бути заснована на моніторингу та аналізі колірних характеристик стеблостою льону, що отримані із використанням фото-обладнання. Для розроблення ефективної методики оцінювання показників якості стеблостою льону олійного та льону-довгунця із використанням БПЛА потрібне накопичення даних щодо стану стеблостою залежно від фази стиглості та характеристики стебел. Використання БПЛА для оцінювання стеблостою льону дозволить: проводити моніторинг вирощування льону; з високою точністю вибирати раціональну технологію перероблення льону з урахуванням показників якості стеблостою, що, у свою чергу, дозволить досягти високої ефективності використання біологічного потенціалу урожаю льону олійного та льону-довгунця. Ці методи оцінювання якості посівів є універсальними та можуть бути використані агропромисловими підприємствами.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Drone Engr. (n.d.). *Baby shark VTOL 250 Fixed wing air frame for UAV building*. Retrieved May 5, 2023, from <https://www.droneassemble.com/product/baby-shark-vtol-250-fixed-wing-kit-air-frame-for-uav-building/>
- Dudarev, I., & Say, V. (2020). Development of resource-saving technology of linseed harvesting. *Journal of Natural Fibers*, 17(9), 1307-1316.
- Edan, Y., Han, S., & Kondo, N. (2009). Automation in agriculture. In S. Y. Nof (Ed.), *Springer handbook of automation* (pp. 1095-1128). Berlin, Heidelberg: Springer.
- FAOSTAT. (n.d.). *Compare Data*. Retrieved May 2, 2023, from <https://www.fao.org/faostat/en/#compare>
- Sylvester, G. (2018). *E-Agriculture in action: drones for agriculture*. Bangkok: Published by Food and Agriculture Organization of the United Nations and International Telecommunication Union.
- Trade Map. (n.d.). *ДМСУ, продовольчий експорт (DMSU, food export)*. Retrieved May 5, 2023, from <https://www.trademap.org/Index.aspx>
- Vroegindeweij, B. A., van Wijk, S. W., & van Henten, E. (2014). *Autonomous unmanned aerial vehicles for agricultural applications*. Zurich, Switzerland.
- Wingtra. (n.d.). *VTOL drone – WingtraOne GEN II*. Retrieved May 5, 2023, from <https://wingtra.com/mapping-drone-wingtraone/vtol-drone/>
- Yaheliuk, S., Didukh, V., & Boyko, G. (2020). The improved technology of biomass processing to obtain products of various applications. *Agricultural Machines*, 45, 155-164. <https://doi.org/10.36910/acm.vi45.382>
- Yinka-Banjo, C., & Ajayi, O. (2020). Sky-farmers: Applications of unmanned aerial vehicles (UAV) in agriculture. *Autonomous Vehicles. IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.89488>
- Налобіна, О. О. (2008). *Механіко-технологічні основи процесів взаємодії робочих органів льонозбирального комбайна з рослинним матеріалом (Mechanical and technological bases of the processes of interaction of the working bodies of the flax harvester with plant material)* [Дисертація д-ра техн. наук]. Луцький державний технічний університет, Луцьк.
- Сай, В., Дідух, В., & Тараймович, І. (2009). Перспективи вирощування льону олійного на Волині (*Prospects for growing oilseed flax in Volyn*). *Львівська промисловість*, 3, 10-11.
- УКРСТАТ. (n.d.). *Сільське господарство України (Agriculture of Ukraine)*. Retrieved May 5, 2023, from https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2021/zb/09/zb_sg_20.pdf
- Хайліс, Г. А., Харчук, О. С., Толстушко, М. М., & Толстушко, Н. О. (2013). Аналіз розстиляльних пристроїв льонозбиральних машин (*Analysis of spreading devices of flax harvesting machines*). *Сільськогосподарські машини*, 26, 120-124.
- Юхимчук, С. Ф. (1998). *Обґрунтування параметрів і дослідження роботи льонобральних апаратів з поперечними рівчачками (Justification of the parameters and study of the operation of the flax-pulling devices with transverse flows)* [Дисертація канд. техн. наук]. Луцький державний технічний університет, Луцьк.
- Ягелюк, С. В., & Дідух, В. Ф. (2020). Концептуальна модель технологій переробки стебел льону (*A concept model of technologies for processing flax stems*). *Сільськогосподарські машини*, 44, 155-164. <https://doi.org/10.36910/agromash.vi44.300>
- Ягелюк, С., & Дідух, В. (2021). *Формування якості льняної продукції (Flax product quality formation)*. Луцьк: ЛНТУ.