

УДК 004.94:658.01

**ЗБИРАННЯ БІОМАСИ ДЛЯ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК З
ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ «BIG DATA»**

С. А. Шворов, доктор технічних наук, професор

Н.А. Пасічник, кандидат сільськогосподарських наук, доцент

О.О. Опришко, Д. С. Комарчук, кандидати технічних наук, доценти

Є. О. Антипов, кандидат технічних наук, старший викладач

В. В. Якушов, студент

А. М. Подольський, студент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

e-mail: sosdok@i.ua

Анотація. Розглядаються підхід та методичні основи щодо організації та підвищення ефективності технологічних операцій збирання біомаси для біогазових установок з використанням технології «Big Data». Виходячи з лабораторних аналізів ґрунтів, даних з БПЛА про азотні показники рослин та за допомогою ГІС для кожної ділянки поля створюються картограми бездефіцитного балансу гумусу, що є основою для автоматичного керування висоти скошування біомаси. Високу чутливість ножа жатки щодо рельєфу поля і дотримання тим самим встановленої висоти зрізу забезпечують сенсори, які дозволяють підтримувати запрограмовану висоту зрізу. Висвітлені результати експериментальної зйомки рослинних насаджень за допомогою БПЛА з метою визначення азотного живлення рослин.

Ключові слова: *БПЛА, дистанційний моніторинг, безпілотна збиральна техніка, біомаса, спектральна зйомка, фільтрація зображення, технологія «Big Data»*

Актуальність. Ріжучі вузли існуючих великих жаток для скошування рослин повинні використовувати різні робочі режими, що залежать від виду біомаси, яку потрібно зібрати, та від її залишків, що необхідно залишати на полі для покращення стану удобрення ґрунтів. Крім того оптимальна висота зрізу рослин біомаси при збиранні залежить від багатьох факторів, зокрема від рельєфу місцевості та довжини стебел, кількості їх залишків на одиницю площі для забезпечення бездефіцитного балансу гумусу. На високорослих і щільних посівах з великою кількістю стебел та з урахуванням стану ґрунтів висоту зрізу

підвищують до 27 см, на рідких та низькорослих – знижують до 15 см [4]. У ході збирання сільськогосподарських культур жатка комбайна може використовувати робочий режим, названий зазвичай – жорстким режимом, оскільки ріжучий вузол буде підтримуватися в жорсткому положенні весь час в процесі збирання. При роботі жатки комбайна в жорсткому режимі, як правило, досягається рівномірне скошування по полю сільськогосподарських культур, незважаючи на впадини, бугри на полі та стан ґрунтів. У таких умовах жатка комбайна схильна до пошкодження внаслідок зіткнення з нерівностями поверхні землі або на полі залишиться незібраний урожай. Зокрема це стосується посівів сільськогосподарських культур, таких як соя, що мають невисокий стеблостій, збирання яких рекомендується здійснювати з установкою найнижчого зрізу на висоті 5-6 см. Як відомо, у деяких комбайнах відомих конструкцій для того, щоб уникнути пошкодження жатки від нерівностей поверхні землі при використанні жорсткого режиму роботи, як правило, оператор сам регулює положення жатки за рахунок її підняття та/або її нахилу. У безпілотних комбайнах (БК), які керуються без оператора, для запобігання механічним пошкодженням жатки комбайна виникає необхідність у розробці адаптивної системи управління, яка забезпечує автоматичне керування положенням жатки (вертикальне та/або горизонтальне) з використанням інформації від безпілотників та ГІС про стан удобрення ґрунтів, приймача навігаційної системи GPS, GPS-трекерів та датчиків контролю за рівнем поверхні, тобто на основі застосування технології «Big Data». Одним із найважливіших питань є те, яку частку потенціалу біомаси необхідно залишати на полі, а яку можна використовувати для виробництва енергії, беручи до уваги потреби рослинництва й тваринництва та біогазових технологій.

Аналіз останніх досліджень та публікацій показує, що в Євросоюзі на енергетичні потреби можна використовувати 25-50% соломи і пожнивних решток кукурудзи, що збирається на зерно, 30-50% відходів виробництва соняшника, а решта біомаси має залишитися на полях [1]. Дослідження, які виконані для умов США, показали, що для виробництва енергії/біопалива можна використовувати

30-60% загального обсягу соломи та відходів виробництва кукурудзи на зерно. Майже у всіх агропідприємствах України при збиранні кукурудзи листостеблова маса подрібнюється й розкидається по полю.

В Україні щорічно виробляється 45-50 млн. т соломи зернових колосових і зернобобових культур. Із цього обсягу 17-20 млн. т (~40%) доцільно застосовувати як органічне добриво, а 10 млн. т (~20%) можна брати на енергетичні потреби [1].

У роботі [2] розроблена комп'ютерна імітаційна модель функціонування аграрного підприємства, яке застосовує частину соломи на виробництво гранул/брикетів і на пряме спалювання для отримання теплової енергії. Ця модель дає змогу встановити індивідуально для кожного підприємства – яку саме частку біомаси можна виділити на енергетичні потреби з дотриманням бездефіцитного балансу гумусу.

Таким чином, автоматичне керування положенням жатки та висоти зрізання рослин біомаси повинно забезпечуватися на основі дотримання бездефіцитного балансу гумусу.

Мета дослідження – розробка методичних основ визначення режимів роботи та висоти зрізу рослин біомаси безпілотними комбайнами з використанням технології «Big Data».

Матеріали та методи дослідження. Процес планування змісту та часу збирання біомаси поділяється на декілька етапів, а саме: формування електронної карти місцевості, картограм урожайності та картограм бездефіцитного балансу гумусу і на цій основі визначення для кожної ділянки поля режимів роботи збиральної техніки щодо висоти зрізання рослин біомаси.

Значну роль у вирішенні цієї задачі відіграють спеціалізовані геоінформаційні системи (ГІС), що враховують як просторову прив'язку, так і спеціальні відомості про обсяги урожаю та картограм бездефіцитного балансу гумусу. Крім того, для вирішення задач аналізу, прогнозу і оптимізації керування жаткою БК геоінформаційні системи повинні включати цифрові карти схилу з

моделлю рельєфу місцевості та експозицій схилів, розташування ліній електропередач та інших стаціонарних перешкод на шляху руху БК [4].

У країнах ЄС площі полів у десятки гектарів дозволяють обмежитись фіксацією проблемних ділянок для їх подальших наземних досліджень (обладнання функціонує в індикаторному режимі). Експрес аналіз стану ґрунту на місцевості проводиться з використанням портативної ранцевої лабораторії з подальшою реєстрацією результатів аналізу на планшетному комп'ютері або в умовах стаціонарної лабораторії на основі автоматизованого забору проб ґрунту зі збереженням координат відібраних проб. Для України середня площа поля складає сотні гектарів, що з урахуванням обмеженого терміну прийняття рішень щодо дотримання бездефіцитного балансу гумусу та оптимальної кількості добрив при підживленні зернових вимагає використання спектрального обладнання БПЛА в вимірювальному режимі. За результатами сканування з БПЛА створюються високоточні карти та картограми бездефіцитного балансу гумусу.

Результати досліджень та їх обговорення. Дослідження впливу стану азотного живлення на спектральні показники пшениці озимої сорту Лимарівна проводились у фазі виходу в трубку. Фотознімки дослідних ділянок зроблені за допомогою штатного та ІЧ об'єктивів та наведені на рис 1.



Рис. 1. Фотознімки посівів пшениці на дослідному стаціонарі, отримані штатним та ІЧ об'єктивами відповідно

Параметри налагодження цифрового фотоапарату при дослідженнях: Exposure Time при зйомці в оптичному діапазоні – 0,00069 с (FC200); Exposure

Time при зйомці з ІЧ об'єктивом - 0,00252 (GoPro); Aperture Value – 2.8; Light Source - Fine Weather. Для нівелювання можливого потраплення в кадр інших об'єктів, крім листків рослин, здійснювався «відсів» результатів, які відрізнялися від середнього значення більше ніж на 10% [3].

При обчисленні даних було встановлено, що завдяки вилученню ділянок, обумовлених ґрунтом та іншими випадковими об'єктами, величина інтенсивності складових кольору не змінювалася більше ніж на 3 одиниці. Отримані результати графічно представлені на рис. 2.

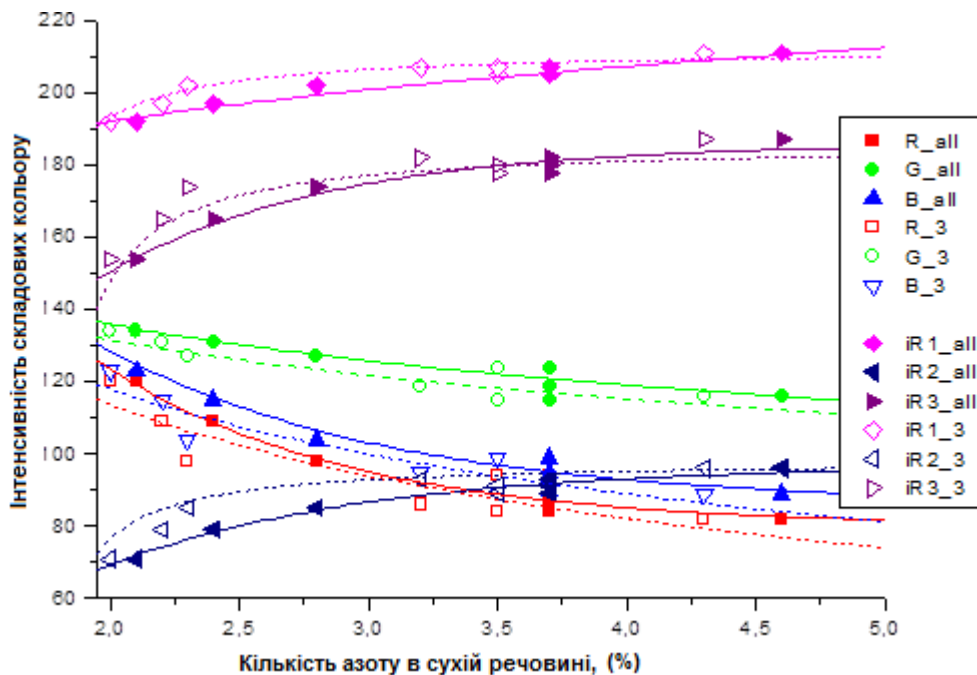


Рис. 2. Залежність інтенсивності складових кольору від кількості азоту в сухій речовині для наземної частини рослин (x_all) та трьох верхніх листків (x_3)

При наближенні кількості азоту в рослинах до оптимального значення інтенсивність складових кольору в оптичному діапазоні знижується, а з використанням ІЧ об'єктиву – навпаки, зростає. Найбільш розповсюджені індекси, такі як NDVI, побудовані на тому, що в певних діапазонах відбувається максимальне поглинання чи відбивання випромінювання.

Перспективні вегетаційні індекси для технологій точного землеробства розробляються з урахуванням їх застосування, зокрема для диференційного внесення добрив.

Для автоматизації процесів дозування добрив найбільш прийнятним є лінійний характер залежності між створеним вегетаційним індексом та дослідними параметрами рослини.

Забезпечення бездефіцитного балансу гумусу здійснюється, передусім, саме азотними добривами. Тому отримані результати були апроксимовані у вигляді лінійної залежності, для якої обчислювався коефіцієнт детермінації (R^2). Отримані результати наведені в табл. 1.

1. Перспективні спектральні індекси для пшениці озимої

№ з/п	Діапазон	Назва	Рівняння	R^2	
				н.ч	З лис.
1	RGB	R		0.83	0.72
2		G		0.81	0.75
3		B		0.85	0.76
4		GR	$GR = (G - R)/(G + R)$	0.83	0.68
5		GB	$GB = (G - B)/(G + B)$	0.85	0.73
6	NIR	iR1		0.92	0.81
7		iR2		0.88	0.75
8		iR3		0.86	0.72
9		iRb	$iRb = (iR1 - iR2)/(iR1 + iR2)$	0.88	0.76

З отриманих результатів видно, що коефіцієнт детермінації за апроксимацією у вигляді лінійної залежності, має приблизно однакові значення при використанні оптичного й ІЧ об'єктивів, тобто для моніторингу стану азотного живлення пшениці використання ІЧ каналу не є обов'язковим. Незалежно від спектрального діапазону, коефіцієнт детермінації при апроксимації у вигляді лінійної залежності вищий на 10-30 %, коли азот визначався у всій наземній частині рослин, ніж у трьох верхніх листах, що доцільно враховувати при побутові спектральних індексів.

Дослідження для просапних культур проводилися на посівах кукурудзи (гібрид Піонер П 8816) у фазі 4-6 листків і у фазі 8-10 листків. Зйомка здійснювалася з використанням оптичного та інфрачервоного об'єктивів (рис. 3).

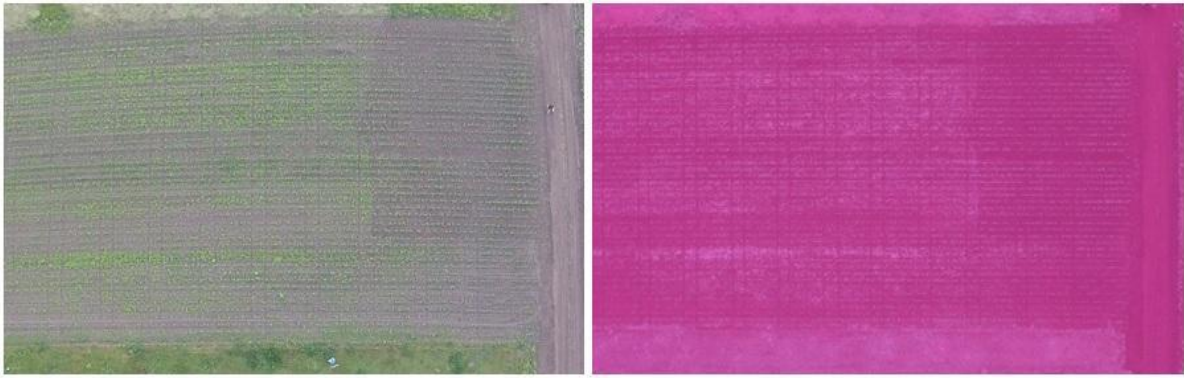


Рис. 3. Фотознімки посівів на дослідному стаціонарі (кукурудза, фаза 4-6 листків), що отримані штатним та ГЧ об'єктивами відповідно

Особливістю спектрального моніторингу просапних культур, порівняно з культурами суцільного висіву, є наявність на фотознімку надто великої площі ділянок із ґрунтом та органічними залишками, що необхідно враховувати для забезпечення бездефіцитного балансу гумусу.

На основі отриманої інформації про лабораторні аналізи ґрунтів, даних про азотні показники рослин з БПЛА та за допомогою ГІС для кожної ділянки поля створюються картографи бездефіцитного балансу гумусу, що є основою для автоматичного керування висотою скошування біомаси, поперечним нахилом жатки і режимом тиску її на ґрунт. Високу чутливість ножа жатки щодо рельєфу поля і дотримання тим самим встановленої висоти зрізу (навіть на рівні 4 см) забезпечують сенсори, які дозволяють підтримувати запрограмовану висоту зрізу. Залежно від ширини захвату жатки, максимальна кількість датчиків становить три одиниці (у жатках моделей 630R і 635R з робочою шириною захвату 9,15 і 10,7 м відповідно). Жатка компанії Claas із системою Contour в автоматичному режимі копіює рельєф поля вздовж напрямку руху агрегату. Auto Contour також додатково забезпечує автоматичне копіювання нерівностей в поперечному напрямку щодо руху комбайна. Multi Contour з автоматичним регулюванням поперечного та поздовжнього нахилу жатки до того ж забезпечує автоматичне регулювання кута скошування.

Таким чином, на основі отриманої інформації від БПЛА, лабораторних аналізів ґрунтів та за допомогою ГІС для кожної ділянки поля створюються

картограми бездефіцитного балансу гумусу, що є основою для автоматичного керування висотою скошування біомаси. Для запобігання механічним пошкодженням жатки комбайна необхідно використовувати систему управління, яка забезпечує автоматичне керування положенням жатки (вертикальне та/або горизонтальне) з використанням інформації від безпілотників, приймача навігаційної системи GPS, GPS-трекерів та датчиків контролю за рівнем поверхні ґрунту, тобто технологію «Big Data».

Висновки і перспективи.

1. З метою забезпечення бездефіцитного балансу гумусу частку соломи та інших пожнивних решток, що можуть залишатися на полі, необхідно визначати індивідуально для кожного господарства. При цьому мають бути враховані всі важливі агроекономічні фактори.

2. Визначення режимів та висоти зрізання рослин біомаси для БГУ на кожній ділянці поля необхідно здійснювати на основі забезпечення бездефіцитного балансу гумусу полів та за допомогою технології «Big Data», тобто комплексного застосування даних лабораторних аналізів ґрунтів, інформації про азотні добрива від БПЛА, дані про рельєф місцевості від ГІС, приймача навігаційної системи GPS, GPS-трекерів та датчиків контролю за рівнем поверхні ґрунту, що є основою для автоматичного керування висоти та режимами скошування біомаси.

Список літератури

1. Гелетуха Г.Г. Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железна // Аналітична записка БАУ №7, 2014. – 31 с.

2. Кухарець С. М. Забезпечення енергетичної автономності агроєкосистем на основі виробництва біопалива / С. М. Кухарець, Г. А. Голуб // Вісник Житомирського національного агроєкологічного університету. – 2012. – №1 (30), т.1. – С.345-352.

3. 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 (21-23.09.2017), pp.30-34;

4. Using UAV for unmanned agricultural harvesting equipment route planning and harvest volume measuring // Gunchenko, Y.A., Shvorov, S.A., Zagrebnyuk, V.I., Kumysh, V.U., Lenkov, E.S. // 2018// 2017 IEEE 4th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments, APUAVD 2017 – Proceedings <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57193057973>

5. Эксперт-тест лучших жаток для уборки зерновых культур. Пропозиція – Главный журнал по вопросам агробизнеса. – Режим доступа: <https://propozitsiya.com/ekspert-test-luchshih-zhatok-dlya-uborki-zernovyh-kultur>).

References

1. Heletukha, H. H., Zheliezna, T. A. (2014). Perspektyvy vykorystannia vidkhodiv silskoho hospodarstva dlia vyrobnytstva enerhii v Ukraini [Prospects for using agricultural waste for energy production in Ukraine]. Analitychna zapyska BAU, 7, 31.

2. Kukharets, S.M., Holub. H. A. (2012). Zabezpechennia enerhetychnoi avtonomnosti ahroekosystem na osnovi vyrobnytstva biopalyva [Ensuring energy autonomy of agroecosystems on the basis of biofuel production]. Visnyk Zhytomyrskoho natsionalnoho ahroekolohichnoho universytetu, 1 (1), 345-352.

3. Lysenko, V., Opryshko, O., Komarchuk, D., Pasichnyk, N, Zaets, N., Dudnyk, A. (2017). Usage of Flying Robots for Monitoring Nitrogen in Wheat Crops. The 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (21-23.09.2017), 30-34.

4. Gunchenko, Y.A., Shvorov, S.A., Zagrebnyuk, V.I., Kumysh, V.U., Lenkov, E.S. (2017). Using UAV for unmanned agricultural harvesting equipment route planning and harvest volume measuring. IEEE 4th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments, APUAVD 2017. Available at: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57193057973>

5. Expert test of the best harvesters for harvesting of cereals. The proposal is the main magazine on agribusiness. Available at: <https://propozitsiya.com/ekspert-test-luchshih-zhatok-dlya-uborki-zernovyh-kultur>).

СБОР БИОМАССЫ ДЛЯ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ «BIG DATA»

***С. А. Шворов, Н.А. Пасичник, О.О. Опрышко, Д. С. Комарчук,
Е.А. Антипов, В. В. Якушов, А. Н. Подольский***

Аннотация. *Рассматриваются подход и методические основы по организации и повышению эффективности технологических операций сбора биомассы для биогазовых установок с использованием технологии «Big Data». Исходя из лабораторных анализов почв, данных с БПЛА об азотных показателях растений и с помощью ГИС для каждого участка поля создаются картограммы бездефицитного баланса гумуса, что является основой для автоматического управления высоты скашивания биомассы. Высокую чувствительность ножа жатки относительно рельефа поля и соблюдение тем самым установленной*

высоты среза обеспечивают сенсоры, которые позволяют поддерживать запрограммированную высоту среза. Освещены результаты экспериментальной съемки растительных насаждений с помощью БПЛА с целью определения азотного питания растений.

Ключевые слова: БПЛА, дистанционный мониторинг, беспилотная уборочная техника, биомасса, спектральная съемка, фильтрация изображения, технология «Big Data»

COLLECTION OF BIOMASS FOR BIOGAS PLANTS USING BIG DATA TECHNOLOGY

*S. Shvorov, N. Pasichnyk, O. Opryshko, D. Komarchuk,
I. Antipov, V. Yakushov, A. Podolskyi*

Abstract. *The approach and methodological foundations for organizing and improving the efficiency of biomass harvesting operations for biogas plants using «Big Data» technology are considered. On the basis of laboratory analyzes of soil, data from the UAV on nitrogen indicators of plants and using GIS, cartograms of a deficient humus balance are created for each section of the field, which is the basis for automatic control of the height of biomass mowing. The high sensitivity of the cutter blade relative to the topography of the field and thus the observance of the set cutting height are provided by sensors that allow you to maintain the programmed cutting height. The results of an experimental survey of plantings using a UAV to determine the nitrogen nutrition of plants are highlighted.*

Keywords: *UAV, remote monitoring, unmanned cleaning equipment, biomass, spectral shooting, image filtering, “Big Data” technology*