

ХОЛОДЮК ОЛЕКСАНДР

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0002-4161-6712>e-mail: holodyk@vsau.vin.ua**ДИНЯ ВОЛОДИМИР**

Бережанський агротехнічний інститут

<https://orcid.org/0000-0002-0008-908X>e-mail: dunyvoldya@gmail.com**БОНЯКЕВИЧ ОЛЕКСАНДР**

Вінницький національний аграрний університет

e-mail: oboniakevych1983@gmail.com**МОВЧАН ДМИТРО**

Вінницький національний аграрний університет

e-mail: d.movchan96@gmail.com

СУЧАСНІ РІШЕННЯ ТА НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

В роботі наведено результати досліджень щодо сучасних рішень та напрямків розвитку основних елементів системи точного землеробства. До них можна віднести системи позиціонування, різні датчики для отримання інформації про стан ґрунту, рослин, навколишнього середовища з метою обґрунтованого прийняття раціональних управлінських рішень. Відмічено, що перспективним напрямком розвитку сільськогосподарських секторів є впровадження візуальних технологій, таких як розпізнавання зображень, камери, робототехніка тощо.

Ключові слова: точне землеробство, системи позиціонування, дистанційне зондування, безпілотні літальні апарати, камери, датчики, сенсори, сівалки точного висіву, диференційоване внесення, електронна карта.

KHOLODIUK OLEKSANDR

Vinnytsia National Agrarian University

DYNIA VOLODYMYR

Berezhany Agro-Technical Institute

BONIAKEVYCH OLEKSANDR, MOVCHAN DMYTRO

Vinnytsia National Agrarian University

MODERN SOLUTIONS AND DEVELOPMENT DIRECTIONS OF BASIC ELEMENTS IN PRECISION AGRICULTURE

One of the most advanced directions in agriculture is precision agriculture, which is an integrated process of managing plant growth according to their needs. This technology has become possible due to the development of informatics, communication systems, and progress in the automation of agricultural machinery. A fundamental part of precision agriculture is the development and adaptation of strategies and practices for farming in modern conditions. The main focus is on measuring, understanding, and applying practical factors that affect plants, such as soil hydro-physical and chemical properties, landscape, seeds, applied technology, sowing and harvesting schedules, diseases and pests, weeds, and agro-climatic conditions.

The purpose of the work is to explore innovative, modern solutions, and development directions of the basic elements of precision agriculture systems that will contribute to making informed management decisions to ensure food security in agricultural production.

The work emphasizes that precision agriculture is considered an integral part of resource-saving ecological farming, involving the application of an integrated management system rather than individual separate elements. Thanks to the rapid development of information technologies based on innovative achievements in cybernetics, optics, sensor systems, laser and computer technology, satellite navigation systems, sensors of various purposes, and wireless communication means, solutions have been developed that integrate all elements of the agricultural machinery complex into a single whole. Among the modern solutions and development directions of precision agriculture systems are the application of satellite remote sensing with spatial resolution up to a few centimeters (GeoEye and WorldView); UAVs equipped with multispectral cameras, various sensors, satellite navigation systems, a small onboard computer, and equipment for chemical application; ground sensors designed for continuous (mobile) monitoring of plant and soil properties, such as nitrogen content, water stress, organic matter, and soil moisture (ISARIA, MiniVeg-N, and YARA N); and the use of systems such as Agronomic Decision-making Engine (ADE), See & Spray Ultimate, AiCPlus, SmartSprayer, etc.

It is noted that with the development of electronics and information technologies, various sensor systems have emerged, widely used in agricultural production to control the production process. To successfully implement precision agriculture technologies, reliable information about the soil, plants, the surrounding environment, and their variability in both space (within a field) and time is necessary.

Keywords: precision agriculture, positioning systems, remote sensing, unmanned aerial vehicles, cameras, sensors, planters for precision seeding, differential application, electronic map.

Постановка проблеми

Аналіз світових тенденцій розвитку інноваційних рішень у сільському господарстві в розвинутих країнах свідчить про те, що більша частина розробок в АПК в останні роки базується на широкому застосуванні інформаційних, телекомунікаційних технологій, електронних автоматизованих систем, роботів та ін. Фактично на підприємствах та господарствах різних форм власності створюються автоматизовані системи управління виробництвом, поступово витісняючи людину з процесів збору даних, прийняття та реалізації рішень.

Одним з найсучасніших напрямків в землеробстві є так зване точне землеробство, яке є інтегрованим процесом управління ростом рослин відповідно до їх потреб. Така технологія стала можливою завдяки розвитку інформатики, систем зв'язку та прогресу в області автоматизації сільськогосподарської техніки.

Точне землеробство або його ще називають прицезійним землеробством є одним із сучасних напрямків розвитку ресурсозберігаючого землеробства. Його суть полягає у інтегрованому процесі управління розвитком культурних рослин відповідно до їх потреб у період вегетації. Стратегія використання технологій точного землеробства спрямована на максимальне залучення та використання різних видів інформації для формування агротехнічних рішень, їх оптимізацію стосовно конкретних ґрунтово-кліматичних та економічних умов сільськогосподарського підприємства, а також диференційоване виконання основних технічних завдань (на полі), з метою досягнення максимальних кількісних та якісних показників.

Аналіз останніх джерел

Фундаментальною частиною точного землеробства є розробка та адаптація стратегій і практик землеробства до сучасних умов. Ключовим у цьому підході є вимірювання, розуміння і практичне застосування факторів, що впливають на рослини, таких як вологість і хімічний склад ґрунту, ландшафт, насіння, технологія, час посіву і збору врожаю, хвороби і шкідники, бур'яни та агрокліматичні умови. Точне землеробство дає змогу посилити контроль над сільськогосподарськими операціями, відстежувати зміни умов у часі в кожній точці контуру та проводити порівняльний аналіз ситуації з прогнозованими напрямками розвитку подій.

Проблематикою застосування елементів системи точного землеробства займалися багато відомих українських та закордонних вчених і фахівців, серед яких, можна відмітити Л. Аніскевича [1], Б. Сільвера (B. Silver) [2], В. Лисенка [3], О. Гуйсмана (O. Huisman) [4], Дж. Міллера (J. Miller) [5] та багато інших. Також проблематикою диференційованого внесення технологічних матеріалів, встановлення меж полів, дистанційного моніторингу посівів, системи автоматичного водіння, застосуванням БПЛА у сфері вирощування сільськогосподарських культур, економічної ефективності тощо займалися [6–10].

З практичної точки зору ми бачимо, що існуючі методи ведення сільського господарства застаріли, а нові прогресивні технології, визнані і успішно застосовуються в усьому світі. Саме тому питання реформування аграрного сектору України та впровадження економічно ефективних технологій, які покращують родючість ґрунтів та дозволяють отримувати стабільні врожаї при мінімальних витратах, є актуальним не лише для великих фермерських господарств та підприємств, а й для господарств з невеликими земельними банками до 2-3 тис. га.

Метою роботи є дослідження інноваційних, сучасних рішень та напрямків розвитку основних елементів системи точного землеробства, які сприятимуть обґрунтованому прийнятті раціональних управлінських рішень для забезпечення продовольчої безпеки сільськогосподарського виробництва.

Виклад основного матеріалу

Точне землеробство ґрунтується на управлінні продуктивністю сільськогосподарських культур з урахуванням мінливості навколишнього середовища. Точне землеробство розглядається як невід'ємна частина ресурсозберігаючого екологічного сільського господарства і передбачає використання інтегрованих систем управління, а не окремих дискретних елементів.

Елементи точного землеробства, які нині знаходять практичне застосування і використовуватимуться у майбутньому представлені на рисунку 1.

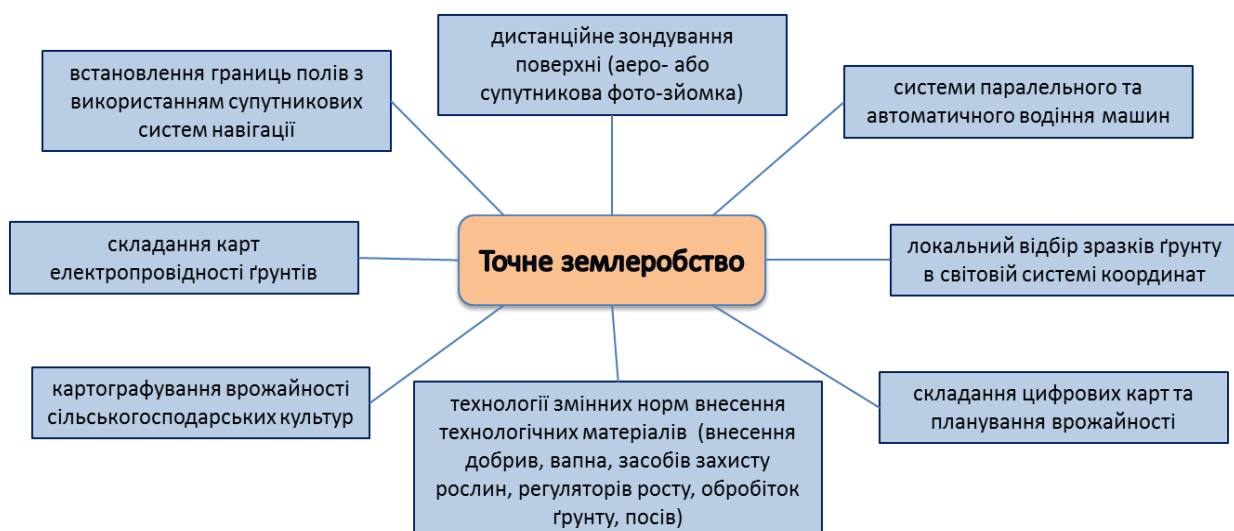


Рис. 1. Елементи точного землеробства

Сучасний напрямок ведення сталого сільського господарства для забезпечення продовольчої безпеки сільськогосподарського виробництва пов'язаний з удосконаленням та більш ефективним використанням елементів точного землеробства. До них можна віднести системи позиціонування, різні датчики для

отримання інформації про стан ґрунту, рослин, навколишнього середовища з метою обґрунтованого прийняття раціональних управлінських рішень. У цьому передбачається ефективніший облік внутрішньої польової варіабельності параметрів родючості прийняття оптимальних рішень з допомогою ширшого використання інформаційних систем глобального позиціонування; сенсорів; найбільш прогресивних технологій вирощування сільськогосподарських культур; управління даними.

Використання дистанційного зондування в сільському господарстві базується на взаємодії електромагнітного випромінювання з ґрунтом і рослинністю та відноситься до безконтактного вимірювання випромінювання, відбитого або випромінюваного сільськогосподарськими угіддями. Платформи для таких вимірювань включають супутники, літаки, трактори та портативні датчики. Крім відбиття, пропускання та поглинання листя рослин можуть виділяти енергію за допомогою флуоресценції або теплової емісії. Термічне дистанційне зондування визначення водного стресу посівів ґрунтується на емісії випромінювання під впливом зміни температури листя і посіву загалом і від температури повітря і швидкості випаровування.

Нині, прогрес розвитку супутникового дистанційного зондування у точному землеробстві очевидний. Так, можна відмітити, що просторова роздільна здатність систем отримання зображень покращилася з 80 м для Landsat до кількох сантиметрів для GeoEye та WorldView. Також, періодичність отримання знімків скоротилася з 18 днів для Landsat до одного дня для WorldView, а кількість спектральних смуг, доступних для аналізу, збільшилася з чотирьох (ширина смуги понад 60 нм) для Landsat до восьми та більше (смуга пропускання понад 40 нм) для WorldView. Гіперспектральні системи отримання зображень, такі як Hyperion на супутнику спостереження Землі 1 (EO 1) Національного управління з аеронавтики та космічного простору (NASA), надають знімки зі спектральною роздільною здатністю від 400 до 2500 нм з кроком (інтервалом) 10 нм.

За допомогою БПЛА можна виявити на окремих ділянках поля недостатність внесення добрив чи інші серйозні огріхи. Застосування БПЛА у сільському господарстві дозволяє здійснювати відеоконтроль над територією польоту на висотах від кількох метрів до кількох сотень метрів у реальному режимі часу та одночасно проводити фіксацію на відео та фото. Отриману інформацію обробляють і перетворюють на необхідні види та форми для подальшого використання.

Залежно від виконуваних робіт, БПЛА може бути оснащений мультиспектральною камерою (для високої чіткості зображення і точної ідентифікації проблемних ділянок) (рис. 2), різними датчиками, системами супутникової навігації, невеликим бортовим комп'ютером і обладнанням для внесення хімікатів.



Рис. 2. Загальний вигляд мультиспектральної камери БПЛА:
а) Sentera Quad; б) Sentera Double 4k Sensor

Технологія мультисенсорної фотозйомки використовує смуги зеленого, червоного, синього та інфрачервоного діапазонів для захоплення видимих та невидимих зображень культур та іншої рослинності. Мультиспектральні зображення інтегруються зі спеціалізованим програмним забезпеченням, яке переводить інформацію до цифрових даних.

Нині уже використовують наземні датчики, що призначені для безперервного (мобільного) моніторингу властивостей рослин і ґрунту, таких як вміст азоту, водний стрес, органічна речовина і вологість ґрунту. Наприклад, компанія Fritzmeier виробляє оптичні датчики азоту ISARIA та MiniVeg-N (рис. 3 і 4).

Високотехнологічний датчик MiniVeg-N поєднує в собі спеціальний фотоелектронний датчик з лазерною технологією для точного вимірювання азоту, біомаси та врожайності. Він працює за принципом лазерної флуоресценції. Система працює в широкому діапазоні погодних умов, незалежно від часу доби чи пори року, і може виявляти хвороби листя рослин.

Датчик YARA N – це добре відома система для визначення норм внесення азоту. Він призначений для оптичного вимірювання густоти посіву та концентрації хлорофілу в листках рослин. Джерелом освітлення є сонячне світло. Датчик розбиває його на 256 спектральних смуг і порівнює їх з променями від рослини. Багаторічний аналіз і дослідження озимих зернових культур показали, що використання датчика YARA N дозволяє збільшити вміст сирого протеїну в озимій пшениці на 0,2-0,5%, підвищити врожайність на 3-7 % та зменшити затрати азотних добрив на 10-15 % [11].

У сфері дистанційного зондування землі БПЛА у порівнянні з космічними апаратами забезпечують набагато більший ступінь розрізнення знімків, що необхідно для точних робіт, наприклад, у сфері геодезії та створення кадастру населених пунктів. Крім того, до переваг БПЛА належать можливість використання їх практично в будь-яку погоду за рахунок проведення зйомки нижче можливих хмар; безпілотним апаратом може керувати сам споживач даних, немає необхідності звертатися до фахівців та чекати на виконання робіт;

велика ефективність зйомки лінійних об'єктів, оскільки безпілотник може знімати вузьку смугу навколо об'єкта (мінімальна ширина – 5 км), що навіть на малому масштабі може виявитися дешевшим, ніж космічна зйомка на замовлення.



Рис. 3. Сенсор азоту ISARIA



Рис. 4. Сенсор азоту MiniVeg-N

У порівнянні з пілотованими літальними апаратами безпілотники можна застосовувати на надмалих висотах, що дозволяє отримати недосяжну для пілотованих апаратів геодезичну точність (2-3 см проти 15-20 см); на безпілотник практично завжди можна поставити таку ж знімальну апаратуру, як і на літальному пілотованому апараті, завдяки невеликій масі; для зйомки потрібно набагато менше енергії та відповідно витрат.

Зараз, наприклад, дрон, що містить встановлену на нього камеру Lidar, дає змогу створити 3D-дані в реальному часі. Ці візуальні технології призначені для використання комп'ютерного зору, машинного навчання або штучного інтелекту, щоб зрозуміти або осмислити всі візуальні дані і запропонувати ефективні рішення або діяти на них автоматично. У процесі поступової еволюції візуальних технологій алгоритм машинного навчання, які поглинають безпілотні, площинні та супутникові зображення зі збільшеною роздільною здатністю та ширшим спектральним діапазоном сприятиме реалізації віддаленої агрономії. Також зі збільшенням швидкості оброблення інформації з сенсорів при зондуванні, дозволить приймати рішення на рівні рослин, зокрема щодо точного обприскування та розміщення насіння. Камера, що встановлена на агрегаті розпізнає культурні рослини та бур'яни (рис. 5 і 6) дозволяє знищити останні за допомогою спеціального ножа з пневматичним приводом.

Відома система Agronomic Decision-making Engine (ADE) [12], яка оснащена камерами Bosch та спеціальними світловими модулями для досягнення точного обприскування за допомогою системи активного ведення штанги ControlControl. Дана система причіпного обприскувача Amazone UX 5201 розпізнає наявні бур'яни навіть на дуже ранній стадії росту. Попередні польові дослідження засвідчили, що ця технологія, залежно від кількості бур'янів і польових умов, зменшує обсяги застосування гербіцидів при окремих заходах до 90%, а за усереднених розрахунків можна впевнено стверджувати про економію 40–50% гербіцидів. Як підсумок, ця технологія дає змогу заощадити від 20 до 50 доларів та 1 га полів тільки завдяки економії гербіцидів.



Рис. 5. Виявлені камерою цілі бур'янів на різних фазах вегетації



Рис. 6. Встановлена камера на агрегаті для виявлення бур'янів

Відома також система See & Spray Ultimate [13] дочірньої компанії John Deere - Blue River Technology, головною відмінністю якої є те, що обприскувач може розпилювати дві різні рідини незалежно одна від одної (рис. 7). Швидкісні камери та штучний інтелект допомагають ідентифікувати бур'яни та застосовувати гербіцид у певних місцях на полі.

Отримуючи дані з поля про активність бур'янів та комах-шкідників, система See & Spray Ultimate допомагає вибрати правильний гербіцид, мінімізуючи ризик виникнення у рослин стійкості до розчину, що розпилюється. Конфігурація баків дозволяє створювати більш ефективні суміші для боротьби з бур'янами. Камера і процесор, встановлені на штанзі з вуглецевого волокна, використовують відеокamera і машинне навчання, щоб розрізнити бур'яни і культури. Одна камера на метр штанги, тому 36 камер встановлені по всій довжині штанги, скануючи більше 195 м² за один раз. Точність розпилення робочого розчину підвищується за допомогою технології BoomTrac™ Ultimate, яка контролює підйом штанги See & Spray Ultimate.



Рис. 7. Система обприскування See & Spray Ultimate

Серед сучасних систем навігації, управління та електронного моніторингу для захисту рослин одним з найбільш доцільних рішень є використання відеокамер на обприскувачах, які корегують роботу машин в режимі on-line. Сьогодні відеокамера стає важливим елементом ефективного внесення ЗЗР, зокрема пестицидів. По суті вони стають «очима» операторів сучасних самохідних обприскувачів, які у промисловому масштабі вносять робочі розчини для захисту рослин. Серед новітніх систем можна відмітити VSN™ від Raven, Spot Spraying від Berthoud, Condor V від Agrifac, SmartSprayer від Amazone, AutoTrac Vision від John Deere, Isomatch Eye від Kverneland тощо. Основна функція вказаних систем – це мінімізація шкоди (витоптування) врожаю та забезпечення більш легкої роботи оператора машини.

Система VSN™ від Raven включає камери, датчики та програмне забезпечення для аналізу простору перед обприскувачем, розрізнення рядів культурних рослин і ґрунту та спрямування рушіїв всередину міжряддя. Камера з двома об'єктивами (рис. 8) фіксує об'єкт з декількох ракурсів і в парі зі спеціальним програмним забезпеченням, використовують для створення об'ємного зображення. Одночасно камера має можливість виконувати спектральний аналіз, вирізняючи, у такий спосіб, коричневий ґрунт від зелених рослин.

Відеокамера системи VSN™ фіксує посіви висотою 8-12 см із закриттям рядів до 90%. Система ефективна на прямих лініях, вздовж контурів поля або на схилах до 8°, вдень і вночі, зі швидкістю обприскування 25 км/год. Вона працює з міжряддям від 50 до 100 см. Для ведення обприскувача у міжрядді, наприклад кукурудзи чи соняшника, коли вони практично закриті Raven пропонує використовувати ультразвукові датчики, які встановлюють із внутрішнього боку на рівні підвіски рушіїв обприскувача (рис. 9).



Рис. 8. Камера з двома об'єктивами Raven VSN™

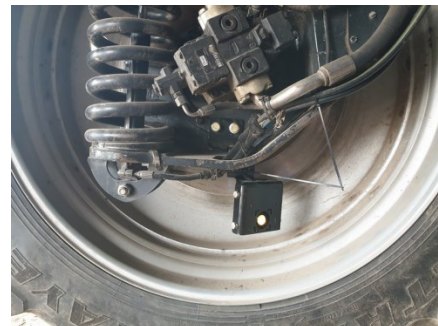


Рис. 9. Ультразвукові датчики для ведення обприскувача рядами

Серед сучасних рішень також можна відмітити систему камер AiCPlus від Agrifac, яку встановлено на обприскувачах Condor V. Ця система включає цифрові RGV-камери, які встановлені на передній частині машини (дві), а інші на штанзі позаду (рис. 10). Камери мають роздільною здатністю 840 пікселів. На кожні 3 метри в напрямку руху машини камера робить вісім знімків за секунду, покриваючи 4-6 метрів. У такий спосіб, кожна камера робить щонайменше два знімки на кожну небажану рослину. Система камер AiCPlus з вбудованим штучним інтелектом працює відповідно до даних, які вона виявляє під час моніторингу посівів.

Система SmartSprayer є спільним проектом Bosch, харвіо™ та AmaSpot, дозволяє заощадити 20-60% витрат при обприскуванні, враховуючи пороги пошкодження бур'янів. Для цього використовують причіпний обприскувач UX AmaSpot. Цей обприскувач включає сенсорну систему для розрізнення бур'янів і ґрунту та може цілеспрямовано точково обробляти окремі бур'яни за допомогою гербіциду суцільної дії. За допомогою SmartSprayer вся поверхня поля під час кожного проходу фотографується відеокамерами Bosch, що встановлені на штанзі обприскувача (рис. 11), далі зображення обробляються і в режимі реального часу пропонуються рішення щодо подальшого оброблення посівів. Система SmartSprayer дозволяє також швидко на кожній форсунці обприскувача змінювати норму внесення завдяки технології штучно-імпульсної частотної модуляції (ШІЧМ).

Отже, можна зазначити, що з розвитком електроніки та інформаційних технологій з'явилися різноманітні сенсорні системи, які широко використовуються в сільськогосподарському виробництві для контролю виробничих процесів. Адже для успішного впровадження технологій точного землеробства

необхідна достовірна інформація про стан ґрунту, рослин, навколишнього середовища та їх мінливість як у просторі (в межах одного поля), так і в часі. Ця мінливість залежить від багатьох факторів, таких як властивості ґрунту, врожайність, вміст вологи в ґрунті, наявність елементів живлення та їх співвідношення, обсяг біомаси, фітосанітарний стан (хвороби, бур'яни та шкідники рослин). Ці фактори можуть бути виміряні, як бачимо, за допомогою різного типу датчиків, сенсорів та інструментів, таких як польові електронні датчики, багатоспектральні та гіперспектральні системи, встановлені на агрегатах, безпілотних літальних апаратах різного типу або супутниках, а також термовізорів та технічних засоби для визначення запахів (machine olfaction). Відтак перспективні для використання в точному землеробстві є сенсорні системи для визначення щільності біомаси, виявлення та встановлення типу бур'янів, оцінки стану ґрунту та наявності в ньому поживних елементів.



Рис. 10. Система камер AiCPlus із вбудованим штучним інтелектом від Agrifac



Рис. 11. Система SmartSprayer із встановленими відеокамерами Bosch від Amazone

У системі традиційного землеробства норма висіву та густина стеблостою обумовлені ґрунтово-кліматичними та погодними умовами, а також попередником, терміном посіву, сортовими властивостями та якістю посівного матеріалу. Однак при цьому не враховуються неоднорідність полів по родючості, суттєва відмінність ґрунтових показників та рельєфу. Для більш ефективного використання виробничих факторів у рамках управління посівами слід враховувати неоднорідність за вищезгаданими показниками та адаптувати відповідно до цього норму висіву та густоту стояння рослин.

Нині при плануванні посіву необхідно максимально використовувати всю інформацію, яка потрібна для характеристики незначних відмінностей у врожайності та якості врожаю на даному полі та представлену у вигляді ґрунтових карт. В інтерпретуванні цих карт допомагають також аерофотознімки, карти врожайності та дані регулярних ґрунтових аналізів при відборі ґрунтових проб. У разі прийняття рішення про проведення диференційованого посіву в рамках окремого поля слід враховувати якість посівного матеріалу та придатність сівалок здійснювати такий посів. Такий підхід дозволяє зекономити господарствам до 7 % витрат, а при диференційованому розподілі добрив у ґрунт одержати ще 6-8% економії [14].

Система для диференційованого посіву зазвичай включає гідравлічний або електричний привід висівного апарата, процесор і датчик швидкості руху. Наприклад, система точного висіву Precision Planting vDrive – це сучасна система для дообладнання сівалок з механічним приводом, яка дозволяє оператору змінювати швидкість висіву з місця водія, автоматично вимикати висів на перекриттях, значно підвищити точність висіву всіх культур і коригувати швидкість при поворотах (рис. 12). Також дана система vDrive містить систему автоматичного відключення кожного ряду сошників, при перетині вже засіяних ділянок, що дозволяє заощадити до 3-5 % посівного матеріалу.



Рис. 12. Електроприводи висівних апаратів Precision Planting vDrive

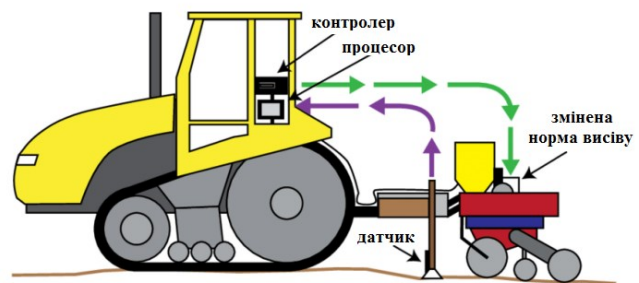


Рис. 13. Датчик On-the-go вимірює характеристики ґрунту посівом для коригування норми висіву

Деякі із компаній, наприклад Massey Ferguson у сівалках 9100VE Precision Planting для просапних культур використовують датчики (сканери), що вимірюють характеристику ґрунту (текстуру, електропровідність, органічні речовини та ін.) для подальшого коригування норми висіву насіння (рис. 13). Така система забезпечує найбільш повний контроль та управління процесом посіву: правильну розкладку насіння; рівномірне заглиблення без переущільнень; збільшення швидкості посіву; повний контакт насіння з ґрунтом; автоматичне відключення рядків при проїзді вже засіяною зоною; контроль та керування посівом з кабіни трактора (рис. 14).

Нині великими суперниками Precision Planting у розробці систем точного висіву можна вважати компанії John Deere з системою Exact Emerge, Horsch з їх флагманською моделлю Maestro та Vadersad з сівалкою точного висіву Tempo.

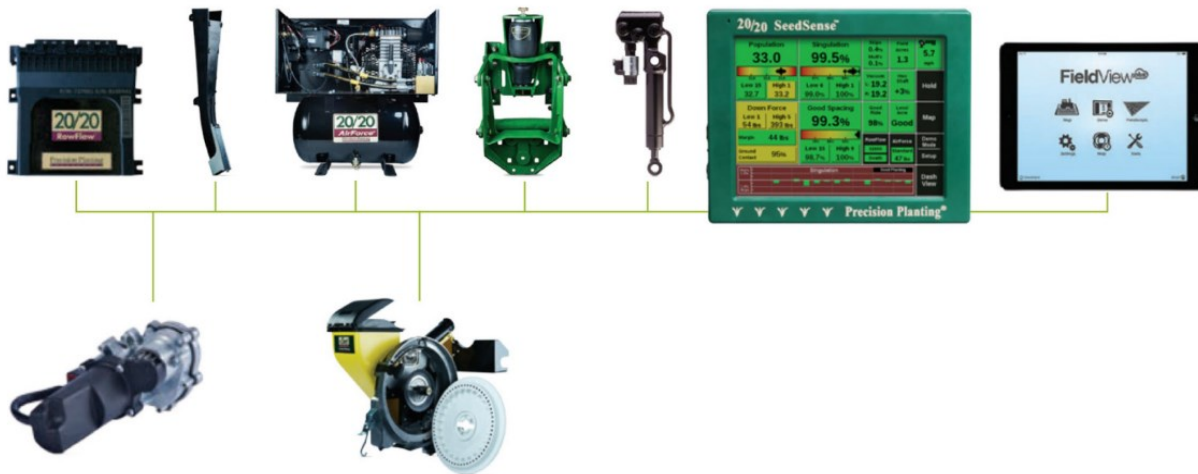


Рис. 14. Обладнання сівалок Precision Planting компанії Massey Ferguson

Слід також згадати і про те, що аналіз та оцінка стану сільськогосподарських угідь є основою точного землеробства, які передбачають збирання, зберігання, обробку та аналіз величезної кількості інформації, прив'язаної до конкретних ділянок землі. Одним із найкращих способів організації інформації про сільськогосподарські угіддя є електронна карта та прив'язана до неї база даних. При складанні багатосарових електронних карт полів, крім шару, що відображає із заданою точністю межі полів, дорожню мережу та населені пункти, вноситься вся інформація про рельєф, стан ґрунту на тій чи іншій ділянці, внесення добрив та засобів захисту рослин, сівозміни, врожайності та вологості зерна за роками тощо.

Серед ефективних елементів у точному землеробстві є застосування наземних технічних засобів, що використовуються при реалізації інструментальних польових методів моніторингу. До них належать метеостанції, мобільні агрохімічні лабораторії, системи висіву насіння, вологоміри, спектрометри та ін.

Щодо метеостанцій, то з їх допомогою проводять вимірювання температури та відносної вологості повітря, швидкості та напрямки вітру, атмосферного тиску, кількості опадів за різні періоди часу, ультрафіолетової та сонячної радіації та ін. (рис. 15). Ці вимірювання можна використовувати для прогнозування захворювань рослин, розрахунку коефіцієнтів випаровування тощо.

Використовують різні типи вологомірів, а саме, термостатно-вагові, тензометричні, радіоактивні, електричні, оптичні. Принцип дії приладу Wile 55 (Україна) (рис. 16) ґрунтується на визначенні емнісного опору зерна. Прилад одночасно проводить кілька десятків вимірів, а потім видає на дисплей усереднений результат.

Для обстеження полів використовують ручні спектрометри, наприклад, GreenSeeker – датчики азоту (рис. 17). Пристрій оснащений оптичними датчиками, кожен з яких має своє джерело світла і може використовуватися за будь-яких погодних умов та доби. Випромінювання цих джерел світла в червоному та ближньому інфрачервоному діапазоні відбивається від рослин і потрапляє на фотодіод, розташований у головній частині датчика. Таким чином, вимірюється індекс NDVI, що характеризує об'єм біомаси, враховуючи його значеннями, в режимі реального часу може бути розрахована норма азотних добрив конкретної ділянки посівів.



Рис. 15. Метеостанція бездротова Davis Instruments Vantage Pro2



Рис. 16. Вологомір зерна Wile 55



Рис. 17. Система GreenSeeker



Рис. 18. Ручна агрохімічна лабораторія VISOCOLOR

За допомогою мобільних агрохімічних лабораторій можна визначити основні параметри хімічного складу ґрунту безпосередньо в полі. Прикладом може бути портативна лабораторія для аналізу ґрунту VISOCOLOR (рис. 18). Вона є ідеальним інструментом для швидкого і зручного аналізу ґрунту у польових умовах. Валіза з реагентами оснащена усім необхідним приладдям для приготування екстрактів із зразків ґрунту та реагентів для визначення амонію, калію, нітратів, фосфатів та рН.

Висновки

Стрімкий розвиток інформаційних технологій на основі інноваційних досягнень в галузі кібернетики, оптики, сенсорних систем, лазерів, комп'ютерних технологій, систем супутникової навігації, датчиків різного призначення, радіозв'язку, систем математичного аналізу та програмного забезпечення дозволив розробити рішення, що пов'язують всі елементи комплексу сільськогосподарської техніки в єдине ціле. Це дало можливість керувати всім технологічним ланцюжком в автоматичному режимі, з оптимальними параметрами роботи з урахуванням інформаційних взаємозв'язків між елементами системи. В результаті значно підвищується рівень контролю за виконанням технічних операцій і якістю сільськогосподарської продукції на підприємстві, збільшується продуктивність праці, знижуються виробничі витрати і забезпечується ресурсозбереження та екологічна безпека. Все це у кінцевому підсумку забезпечує стійке та ефективне функціонування і конкурентоспроможність аграрного сектору.

Серед сучасних рішень та напрямків розвитку системи точного землеробства є застосування супутникового дистанційного зондування з просторовою роздільною здатністю до кількох сантиметрів (GeoEye та WorldView); БПЛА, які оснащені мультиспектральною камерою, різними датчиками, системами супутникової навігації, невеликим бортовим комп'ютером і обладнанням для внесення хімікатів; наземних датчиків, що призначені для безперервного (мобільного) моніторингу властивостей рослин і ґрунту, таких як вміст азоту, водний стрес, органічна речовина і вологість ґрунту (ISARIA, MiniVeg-N та YARA N); застосування таких систем як Agronomic Decision-making Engine (ADE), See & Spray Ultimate, AiCPlus, SmartSprayer тощо.

Перспективним напрямком розвитку для аграрного сектору є впровадження технологій технічного зору, таких як розпізнавання зображень, камери та робототехніка. Не дивно, що технології комп'ютерного зору та штучного інтелекту знаходяться в центрі нової хвилі перспективних високотехнологічних стартапів у багатьох секторах, включаючи роздрібну торгівлю, будівництво, страхування, безпеку та сільське господарство.

Отож, розробка та впровадження нових високотехнологічних методів ведення сільського господарства, що полягають у застосуванні сучасних навігаційних технологій, засобів зв'язку та комп'ютеризації, а також автоматизації та роботизації сільськогосподарського виробництва сприяють не тільки підвищенню родючості ґрунтів та одержанню стабільних урожаїв за оптимальних витрат, а й виходу всього агропромислового комплексу країни на новий інноваційний шлях розвитку, без чого неможливе забезпечення продовольчої безпеки країни.

Література

1. Система точного землеробства / Л.В. Аніскевич, Д.Г. Войтюк, Ф.М. Захарін, С.О. Пономаренко. – К. : НУБіП України, 2018. – 566 с.
2. Silver B., Mazur M., Wiśniewski A. and Babicz A. (2017). Welcome to the era of drone-powered solutions: a valuable source of new revenue streams for telecoms operators: Communications Review. PwC. <https://www.pwc.com/gx/en/communications/pdf/communications-review-july-2017.pdf>
3. Lysenko V., Bolbot I., Romasevych Y., Loveykin V., Voytiuk V. Algorithms of Robotic Electrotechnical Complex Control in Agricultural Production. In Control Systems: Theory and Applications. River Publishers: Gistrup, Denmark, 2018. 323 p.
4. Huisman O., Rolf A. Principles of Geographic Information Systems (GIS): an Introductory Textbook. Publisher: ITC Educational Textbook Series, The Netherlands. 2009. 540 p.
5. Miller J. O., Adkins J. Types of drones for field crop production. University of Delaware : Fact sheets and

publications. 2018. <https://www.udel.edu/academics/colleges/canr/cooperative-extension/fact-sheets/types-of-drones-for-field-crop-production>

6. Холодюк О.В. Диференційне внесення добрив у кормовиробництві. Матеріали VII Всеукр. наук.-техн. конф. "Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві". (5-28 грудня 2018 р.). Глеваха, ННЦ "ІМЕСГ", 2019. С. 101-113.

7. Трускавецький С.Р. Використання даних супутникової зйомки в системах точного землеробства / С.Р. Трускавецький, Т.Ю. Биндич, К.В. Коляда, К.В. Вяткін, О.І. Шерстюк // Інженерія природокористування. – 2017. – Вип 1(7). – С. 29–35.

8. Kholodiuk O.V. The efficiency of using agras drones for spraying, their design, technical and technological features / O.V. Kholodiuk, O.A. Tokarchuk // Зб. наук. праць Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2022. Вип. 2 (117). – С. 63–74.

9. Мікуліна М.О. Оцінка економічної ефективності від впровадження системи точного землеробства / М.О. Мікуліна, А.Д. Богінська, О.Д. Поливаний // Економічний простір. – 2023. Вип. 186. – С. 70–74.

10. Васильковська К.В. Ефективність агродронів в системі точного землеробства / Васильковська К.В., Андрієнко О.О., Шепілова Т.П. // Аграрні інновації. – 2023. Вип. 17. – С. 13-18.

11. Холодюк О.В. Пріоритетні напрями розвитку системи точного землеробства. Сучасні проблеми землеробської механіки : зб. матеріалів доп. учасн. XX Міжнар. наук. конф. Миколаїв : МНАУ, 2019. С. 53-55.

12. Інтелект проти бур'янів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://agrotimes.ua/article/prychipnyj-obpryskuvach-amazone-ux-5201-intelekt-protu-buryaniv/> – (Дата звернення 15.12.2023).

13. Захист наступного покоління [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ifarming.ua/itehnologii/zahyst-roslyn/zahyst-nastupnogo-pokolinnya> – (Дата звернення 25.12.2023).

14. Диференційований посів може заощадити фермерам до 7 % витрат [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://kurkul.com/news/28502-diferentsiyovaniy-posiv-zmoje-zaoschaditi-fermeram-do-7-vitrat> – (Дата звернення 22.12.2023).

References

1. Systema tochnoho zemlerobstva / L.V. Aniskevych, D.H. Voitiuk, F.M. Zakharin, S.O. Ponomarenko. – K. : NUBiP Ukrainy, 2018. – 566 s.

2. Silver B., Mazur M., Wiśniewski A. and Babicz A. (2017). Welcome to the era of drone-powered solutions: a valuable source of new revenue streams for telecoms operators : Communications Review. PwC. <https://www.pwc.com/gx/en/communications/pdf/communications-review-july-2017.pdf>

3. Lysenko V., Bolbot I., Romasevych Y., Loveykin V., Voytiuk V. Algorithms of Robotic Electrotechnical Complex Control in Agricultural Production. In Control Systems: Theory and Applications. River Publishers: Gistrup, Denmark, 2018. 323 r.

4. Huisman O., Rolf A. Principles of Geographic Information Systems (GIS): an Introductory Textbook. Publisher: ITC Educational Textbook Series, The Netherlands. 2009. 540 r.

5. Miller J. O., Adkins J. Types of drones for field crop production. University of Delaware : Fact sheets and publications. 2018. <https://www.udel.edu/academics/colleges/canr/cooperative-extension/fact-sheets/types-of-drones-for-field-crop-production>

6. Kholodiuk O.V. Dyferentsiine vnesennia dobrov u kormovyrobnytstvi. Materialy VII-ta Vseukr. nauk.-tekhn. konf. "Tekhnichniy prohres u tvarynnytsvtvi ta kormovyrobnytstvi". (5-28 hrudnia 2018 r.). Hlevakha, NNTs "IMESH", 2019. S. 101-113.

7. Truskavetskyi S.R. Vykorystannia danykh suputnykovoi ziomky v systemakh tochnoho zemlerobstva / S.R. Truskavetskyi, T.Iu. Byndych, K.V. Koliada, K.V. Viatkin, O.I. Sherstiuk // Inzheneriia pryrodokorystuvannia. – 2017. – Vyp 1(7). – S. 29–35.

8. Kholodiuk O.V. The efficiency of using agras drones for spraying, their design, technical and technological features / O.V. Kholodiuk, O.A. Tokarchuk // Zb. nauk. prats Tekhnika, enerhetyka, transport AПК. – 2022. Vyp. 2 (117). – S. 63–74.

9. Mikulina M.O. Otsinka ekonomichnoi efektyvnosti vid vprovadzhennia systemy tochnoho zemlerobstva / M.O. Mikulina, A.D. Bohinska, O.D. Polyvaniy // Ekonomichnyi prostir. – 2023. Vyp. 186. – S. 70–74.

10. Vasylykovska K.V. Efektyvnist ahrodronev v systemi tochnoho zemlerobstva / Vasylykovska K.V., Andriienko O.O., Shepilova T.P. // Ahrarni innovatsii. – 2023. Vyp. 17. – S. 13-18.

11. Kholodiuk O.V. Priorytetni napriamy rozvytku systemy tochnoho zemlerobstva. Suchasni problemy zemlerobskoi mekhaniky : zb. materialiv dop. uchasn. KhKh Mizhnar. nauk. konf. Mykolaiv : MNAU, 2019. S. 53-55.

12. Intelekt proty buryaniv [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://agrotimes.ua/article/prychipnyj-obpryskuvach-amazone-ux-5201-intelekt-protu-buryaniv/> – (Data zvernennia 15.12.2023).

13. Zakhyst nastupnogo pokolinnia [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://ifarming.ua/itehnologii/zahyst-roslyn/zahyst-nastupnogo-pokolinnya> – (Data zvernennia 25.12.2023).

14. Dyferentsiyovaniy posiv mozhe zaoschadyty fermeram do 7 % vytrat [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://kurkul.com/news/28502-diferentsiyovaniy-posiv-zmoje-zaoschaditi-fermeram-do-7-vitrat> – (Data zvernennia 22.12.2023).