

Віктор Васильович Ворох¹, Віталій Іванович Зацерковний²¹ аспірант кафедри геоінформатики

Київський національний університет імені Тараса Шевченка (Київ, Україна)

E-mail: fainkucha@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0005-0112-8422>² доктор технічних наук, професор, завідувач. кафедри геоінформатики

Київський національний університет імені Тараса Шевченка (Київ, Україна)

E-mail: vitalii.zatserkovnyi@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0003-5187-6125>. **Scopus ID:** 57200165109**ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ
В ЗАДАЧАХ ПРЕЦИЗІЙНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА**

Застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в сільському господарстві взагалі, а прецизійному землеробстві зокрема, з кожним роком набуває все більших форм, від посіву насіння, моніторингу їх зростання та врожайності, їх картування до обприскування посівів засобами захисту рослин (ЗЗР) і внесення добрив. В прецизійному землеробстві є можливість інтегрувати геопросторові дані, технології ГІС та ДЗЗ, штучний інтелект, Big Data, Інтернет речей та інші інноваційні рішення.

БПЛА дають можливість оперативно здійснювати моніторинг ґрунтів, аналізувати стан і динаміку посівів, відстежувати проблемні ділянки, які потребують управлінського втручання, оцінювати ефективність тих або інших агротехнічних прийомів, дають можливість доступного одержання фотографічної інформації, знімків високої розрізненості тощо. Сучасні БПЛА є доступними для аграріїв, не тільки надають актуальну інформацію про стан і динаміку зростання рослин, але й захисну обробку полів і багаторічних насаджень пестицидами. Вони дозволяють отримати геоприв'язані дані про стан вирощуваних сільськогосподарських рослин, що істотно допомагає аграріям для одержання високих врожайів. Зокрема, БПЛА, оснащені мультиспектральними і RGB-камерами дають можливість оперативно одержання зображень сільськогосподарських культур в ближній інфрачервоній частині спектра, забезпечуючи при цьому моніторинг стану вегетації та здоров'я рослин. Зйомка з БПЛА є набагато більше деталізованою, на відміну від космічних знімків, розрізнення можливе навіть в сантиметрах на точку, за рахунок висот польоту від 100 до 600 метрів над поверхнею землі.

Описано використання БПЛА для прецизійного землеробства. Розглянуто методи моніторингу полів за допомогою БПЛА. Впровадження технологій зйомки з БПЛА дозволяє створювати електронні карти полів і оперативно приймати управлінські рішення при ускладненні ситуації. Індекс NDVI, що отримується за допомогою БПЛА більш повно і детально відбиває поточну ситуацію на кожній ділянці поля, чого важко досягти за допомогою супутникової зйомки.

Визначено, що наша країна має потенціал до використання БПЛА в сільському господарстві з огляду на технічні, економічні та людські ресурси.

Ключові слова: прецизійне землеробство; моніторинг; цифрове сільське господарство; дистанційне зондування, засоби захисту рослин (ЗЗР), пестициди, БПЛА, підвищення врожайності.

Рис.: 13. Бібл.: 15.

Постановка проблеми. Сільськогосподарська галузь для більшості держав світу завжди була і залишається однією з пріоритетних сфер як зовнішньоекономічного, так і внутрішньоекономічного розвитку. Від неї залежить не тільки життєздатність і самодостатність країн і суспільства, а й безліч інших напрямів людської діяльності. Не є виключенням у цьому й Україна, яка за короткий проміжок часу з країни, що займалася виробництвом зерна головним чином для власних потреб, перетворилася на одного зі світових лідерів з експорту зерна, соняшникової олії, а продукцію з наших ланів можна зустріти по всьому світу. Саме ця галузь сьогодні забезпечує 14 % ВВП України і є впевненість, що ці тенденції збережуться і надалі будуть зростати, незважаючи на надзвичайно складну ситуацію в країні.

Визначаючи солідні успіхи сучасного сільського господарства України, потрібно відзначити однак, що ця галузь має і великі проблеми як економічного характеру, так і проблеми, пов'язані із продуктивністю і рентабельністю, зростаючим дефіцитом робочої сили викликаних війною та депопуляцією сільських територій (незадовільними економічними та соціальними умовами, подальшим зростанням безробіття, активізацією міграційних процесів (урбанізацією міст) і як наслідок, вимиранням села), деградацією навколишнього природного середовища (НПС), зростаючим трендом споживання тваринних білків, зміну харчових переваг через старіння населення, глобальним потеплінням клі-

мату тощо [1; 2]. До цих проблем додається необхідність точної ідентифікації та кількісної оцінки патогенних факторів, які впливають як на здоров'я рослин, так і тварин і як наслідок становлять ризик здоров'ю людини. Також є залежність врожаю на 80% від природно-погодних умов [3].

При застосуванні технологій прецизійного землеробства (No-till, Strip-till), сільськогосподарських установок з цифровим керуванням, БПЛА тощо, вплив погоди і клімату на ефективність рослинництва зводиться до 20 %, а решта, 80 %, припадає на технології та управління у сільському господарстві [3].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Посиленням глобалізації світової економіки і зростання населення земної кулі демонструє важливість прогресу сільського господарства, який визначає не тільки рівень життя населення, але й відіграє ключову роль у забезпеченості економіки будь-якої країни.

За свідченням науковців, наприклад [4], населення світу у 2050 році досягне цифри 10 мільярдів осіб. Щоб прогодувати таку кількість людей потрібно збільшити виробництво продуктів харчування щонайменше на 70 %. При цьому можливості збільшення площ орних земель у світі реально відсутні. Це означає, що для подальшого прогресу сільськогосподарської галузі є жорстка потреба кардинальних інноваційних змін, заснованих перед усім на впровадженні спеціальних агровиробничих процесів, інформаційних і геоінформаційних технологій, технологій ДЗЗ та GPS ряду інших інноваційних наукових і науководослідних досягнень, спрямованих на підвищення врожайності та якості сільськогосподарського виробництва.

Прикладом таких технологій можуть слугувати технології прецизійного землеробства, які з кожним роком набувають все більшої популярності. Це пов'язано з тим, що ці технології дозволяють отримувати оптимальну продуктивність з кожного поля, зменшити витрати та забезпечувати екологічну стійкість та захист природного середовища. У центрі прецизійного (точного, «розумного») землеробства знаходяться сільськогосподарські роботи, серед яких широке застосування одержали БПЛА [5; 6; 7], які дозволяють аналізувати стан ґрунтів, посівів, ефективність застосування ЗЗР, вологість тощо.

Відсутність або неповнота знань про стан ґрунтів і посівів, погодні умови, неправильне або неповне використання потенціалу засобів ЗЗР, проблеми зрошення, помилки в оцінці майбутнього врожаю та відсутність або недостатність інформації про ринкові тенденції слугують причиною втрат і додаткових збитків аграріїв. Застосування технологій прецизійного землеробства дозволяє позбутися більшості з цих проблем. Ці технології дозволяють отримувати оптимальну продуктивність з кожного поля, зменшити витрати та забезпечувати екологічну стійкість та захист природного середовища.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням розвитку аграрної галузі присвячені праці вчених В. Амбросова, С. Володіна, А. Гайдуцького, О. Дація, М. Зубця, М. Кісіля, М. Маліка, В. Месель-Веселяка, Г. Підлісецького, П. Саблука, В. Юрчишина та ряду інших.

Питанням застосування БПЛА у сільському господарстві займалися вчені Д. С. Буллок (Bullock D.S.), А. П. Малларіно (Mallarino A.P.), П. К. Шарф (Scharf P.C.), В. М. Глогов, А. Гуніна, М. П. Магійчик, В. П. Харченко, О. А. Цимбалістова, Г. М. Юн та ін. Незважаючи на великий внесок цих учених у перспективний розвиток сучасного сільського господарства, впровадження інноваційних технологій застосування БПЛА в технології прецизійного землеробства, є ще багато проблемних питань, які потребують свого освітлення.

Метою статті є аналіз можливостей застосування БПЛА в технологіях прецизійного землеробства для підвищення врожайності рослинництва та збільшення його прибутковості.

Виклад основного матеріалу. Етапи розвитку аграрного сектору у світі з ХІХ–ХХІ ст. представлені на рис. 1.

ЕТАПИ РОЗВИТКУ АГРАРНОГО СЕКТОРУ В СВІТІ

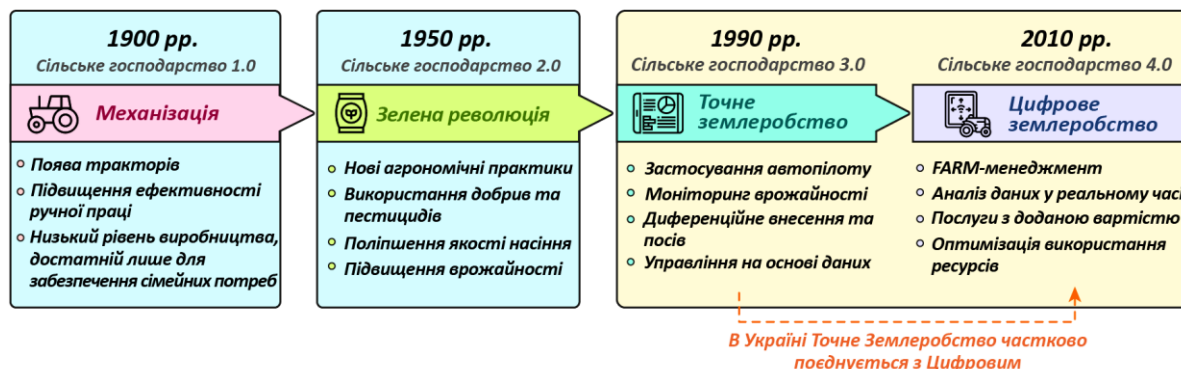


Рис. 1. Етапи розвитку аграрного сектору у світі

Першим етапом розвитку аграрного сектору у світі стало впровадження засобів механізації процесів вирощування зернових, перед усім тракторів і комбайнів, що спричинило укрупнення невеличких сільськогосподарських господарств, збільшення площ. У деяких господарствах оброблювані площі досягли кілька тисяч гектарів. Застосування засобів механізації дало можливість повністю позбутися важкої ручної праці, особливо під час збирання врожаю.

Другим етапом став етап так званої «зеленої революції», яка спричинила появу нових агрономічних практик, комплексного використання мінеральних добрив, хімічних засобів боротьби з бур'янами і шкідниками, що викликали більш трудомісткі виробничі процеси, які доцільно проводити на великих площах. Це дало можливість суттєво підвищити (на 30-60 %) врожайність полів. Проте при цьому, чим більшими ставали окремі поля, тим менше знань аграрії мали про кожне поле і окремі його ділянки.

Технології прецизійного землеробства дозволяють отримувати оптимальну продуктивність з кожного поля, зменшити витрати та забезпечувати екологічну стійкість та захист природного середовища.

Прецизійне землеробство – це управління урожайністю посівів із врахуванням внутрішньопольової варіабельності місця існування рослини за допомогою сучасних технологій геоінформаційних систем (ГІС), дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), Інтернету речей (ІоТ), великих масивів даних (Big Date), штучного інтелекту (ШІ), хмарних обчислень, машинного навчання тощо спрямованих на збільшення сільськогосподарського виробництва та мінімізації витрат ресурсів (рис. 2).

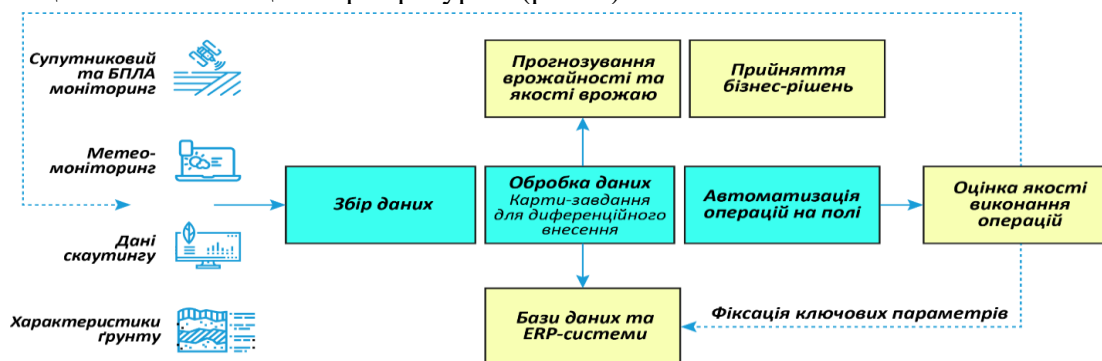


Рис. 2. Приклад застосування технологій прецизійного землеробства

Надмірне та/або неефективне використання природних ресурсів, перед усім ґрунту і води, добрив та пестицидів для сільськогосподарського виробництва при класичному землеробстві спричиняє збільшення втрат води та поживних речовин і, як наслідок, спричинює деградацію НПС [8].

Очікувані результати від впровадження системи прецизійного землеробства представлені на рис. 3.

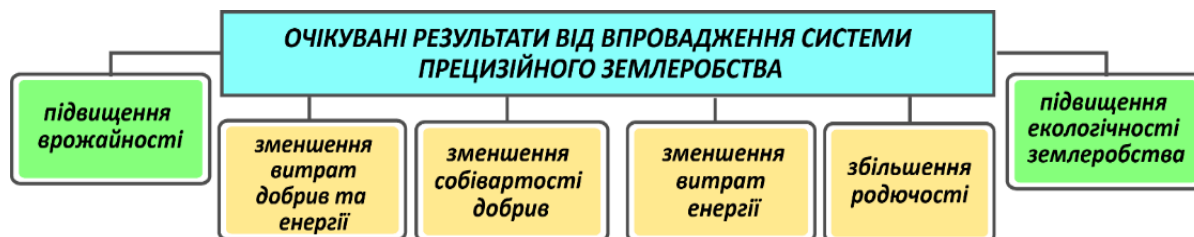


Рис. 3. Очікувані результати від впровадження системи прецизійного землеробства

Для впровадження системи прецизійного землеробства потрібні складові, що представлені на рис. 4.

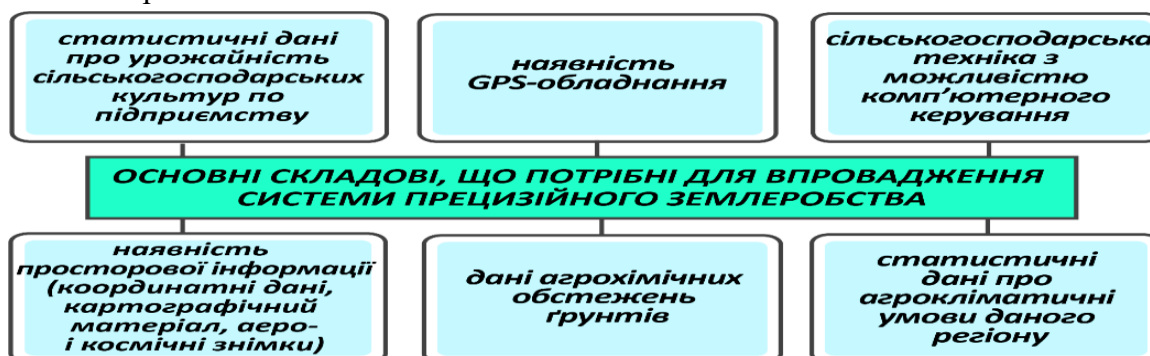


Рис. 4. Основні складові, що потрібні для впровадження системи прецизійного землеробства

Використовуючи ці дані і засоби дані фахівці мають можливість ефективно реагувати на увесь спектр різноманітних умов що виникають в процесі сільськогосподарського виробництва.

Алгоритм виробництва сільськогосподарської продукції на основі технологій прецизійного землеробства представлений на рис. 5.

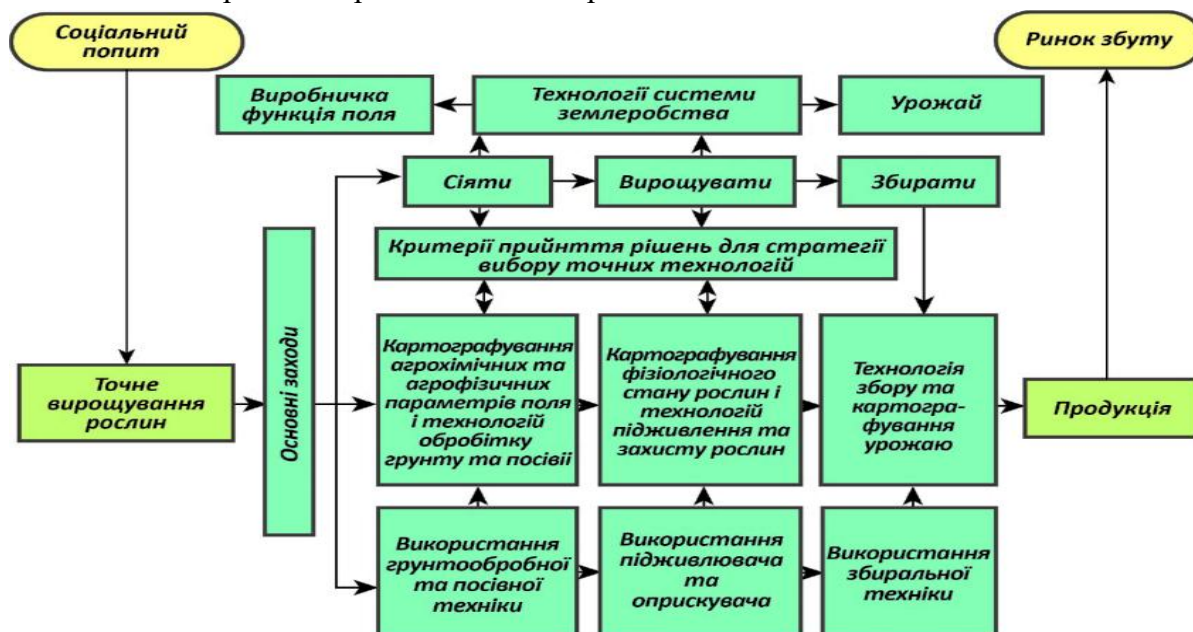


Рис. 5. Алгоритм виробництва сільськогосподарської продукції на основі технологій прецизійного землеробства

Для одержання високих врожаїв аграріям потрібно протягом сезону постійно здійснювати моніторинг схожості посівів, їхнє зростання і дозрівання незалежно від часу і погоди, наявності бур'янів, шкідників, хвороб рослин тощо в умовах постійного підвищення вимог до якості сільськогосподарської продукції.

В основі наукової концепції прецизійного землеробства лежить поняття про існування неоднорідностей в межах одного поля (рис. 6).

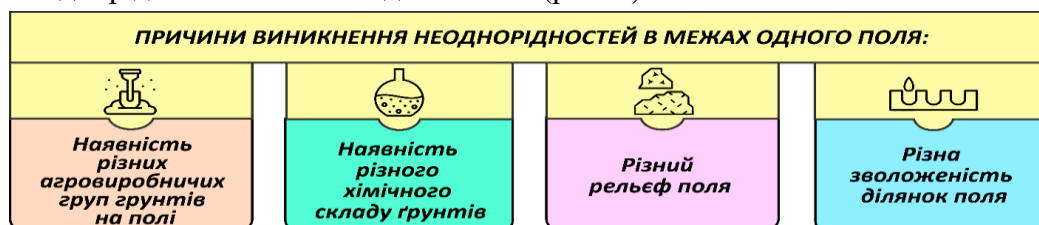


Рис. 6. Причини виникнення неоднорідностей в межах одного поля

Класичне сільське господарство оперує на рівні поля, незважаючи на різні властивості ґрунту по полю, його родючості, розмаїття за генезисом, гранулометриєю та зволоженням. Прецизійне ж землеробство спрямовує зусилля аграріїв реально на управління кожним квадратом поля, дозволяє сільськогосподарським рослинам точно отримати саме те і саме в тій кількості що їм необхідно. Це дає змогу оптимізувати витрати на виробництво аграрної продукції по меншій мірі без втрати врожайності.

Технології змінного або диференційованого внесення добрив здійснюються на підставі електронних карт полів, космічних знімків, аналізу стану ґрунтів, тощо. При диференційному внесенні середня норма внесення, в розрахунку на один гектар, суттєво зменшується. При цьому відбувається перерозподіл добрив на користь ділянок, які цього потребують, і тим самим, оптимізується внесення добрив.

Напрямки поліпшення полів представлені на рис. 7.

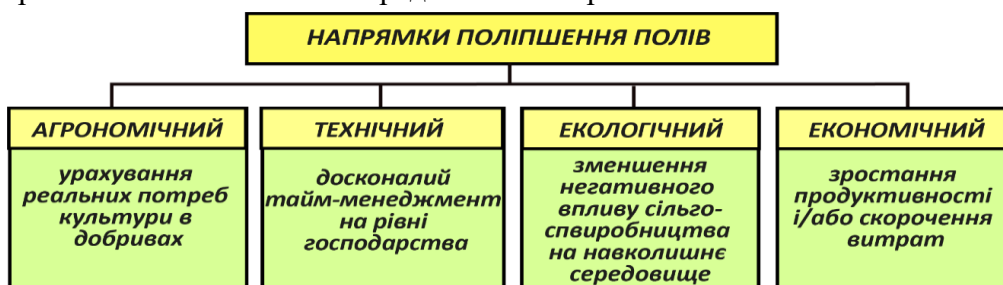


Рис. 7. Напрямки поліпшення полів

У центрі прецизійного (розумного) землеробства знаходяться сільськогосподарські роботи, серед яких широке застосування одержали БПЛА [5; 6; 7].

Сьогоднішні сільськогосподарські БПЛА мають високу надійність, стабільність роботи та високу продуктивність. При цьому БПЛА не тільки дешевше більшості інших сільськогосподарських машин, але й значно простіше в управлінні.

Постійне удосконалення БПЛА сприяло розширенню можливостей застосування БПЛА в різних сферах сільського господарства. Це застосування пестицидів і добрив, обприскування ЗЗР, посадка насіння, пошук і розпізнавання бур'янів, оцінка родючості ґрунтів, картографування та прогнозування врожаїв, охорона полів тощо [9].

Сучасні технології БПЛА та лазерного сканування дозволяють у максимально короткі терміни проводити крупномасштабні знімання і отримувати у цифровому вигляді ортофотоплани та цифрові моделі місцевості. Водночас є й свої проблеми, які пов'язані із природними та погодними умовами, неможливістю здійснювати зйомку великих територій тощо.

Середня вартість звичайного БПЛА починається з 1300 євро. Вартість БПЛА для АПК без спеціальних технологій коливаються від 2000 до 3000 євро. Технологічні БПЛА, які використовуються для спеціальних операцій, починаються з 8000 євро, деякі моделі – з 30 000 євро (БПЛА-обприскувачі і БПЛА оснащені спеціальними гіперспектральними камерами та іншим коштовним обладнанням) [10].

Застосування БПЛА в технологіях прецизійного землеробства дозволяє революційним чином змінити сільське господарство, вирішити цілу низку проблем, з якими стикається сучасне аграрне виробництво, швидко збирати й опрацьовувати дані, дозволяючи сільському господарству стати високотехнологічною галуззю, засновану на точних розрахунках.

Це пояснюється тим, що, по-перше, використання та експлуатація БПЛА в сільському господарстві на порядок дешевша від використання пілотованих літальних апаратів, які потребують доволі коштовної спеціальної підготовки пілотів, оснащення системами життєзабезпечення, захисту, кондиціонування тощо. По-друге, БПЛА потребують значно менше традиційних паливно-мастильних матеріалів (ПММ) і в майбутньому можуть використовувати альтернативне (відновлюване) паливо. По-третє, БПЛА не потребують аеродромної інфраструктури, а можуть працювати з невеличких ґрунтових площадок, особливо це стосується квадрокоптерів. По-четверте, з кожним роком дешевшає «начинка» БПЛА, вони стають більш мініатюрними, компактними і більш «розумними», зростають їх функціональні можливості.

Використання БПЛА дає можливість аграріям здійснювати регулярну аерозйомку полів своїх господарств, виконувати їх точні заміри, створювати картографічні матеріали у тому числі і тривимірні, контролювати стан ґрунту, якість оранки й посіву, збирати дані для розрахунку вегетаційних індексів, будувати електронні карти, доповнювати дані, одержані за допомогою сучасної сільськогосподарської техніки, супутників, прогнозувати врожай, захищати ділянки від пожеж, розкрадань, поїдання продукції дикими тваринами, «точково» поліпшувати стан ґрунту, вносячи мікродобрива, засоби захисту рослин (ЗЗР), які призначені для боротьби з хворобами рослин та різного роду шкідниками – бур'янами, комахами, гризунами, визначення рівня забруднення, контролювати тварин тощо.

Завдання, що вирішуються сучасними БПЛА представлені на рис. 8.

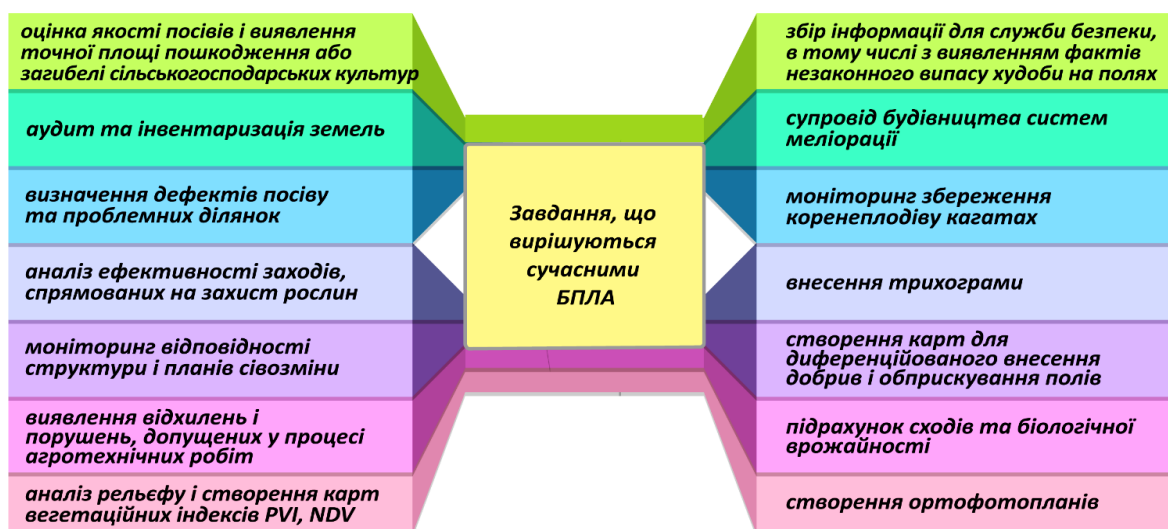


Рис. 8. Завдання, що вирішуються сучасними БПЛА

Спектр технологічних операцій прецизійного землеробства які на сьогодні вже впроваджені в сільське господарство за допомогою БПЛА є доволі широким (рис. 9).

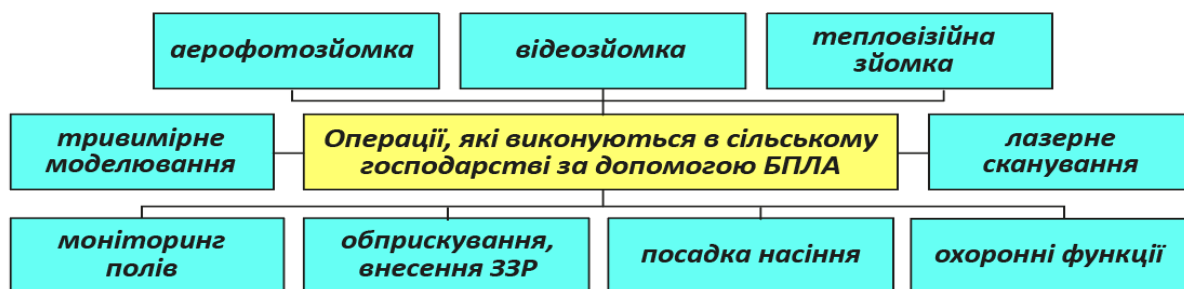


Рис. 9. Операції, що виконуються за допомогою БПЛА [11-14]

Аерофотозйомка за допомогою БПЛА істотно перевищує можливості зйомки із супутників за рахунок високої актуальності, високої розрізненості за рахунок низької висоти польоту навіть в умовах поривчастого вітру і хмарності тощо. Виконується аерофотозйомка для виявлення прогалів на полях, загибелі врожаю (насаджень) через вплив природних факторів або військових дій, які потребують оперативного втручання та усунення, створення тривимірних карт, посів насіння, внесення добрив і хімікатів, моніторингу посівів, для проведення іригації, моніторингу тварин і шкідників тощо.

Крім того, перед керівниками і агрономами завжди стояла проблема перегляду і оцінки того що твориться в середині великих полів, оскільки на жаль є певна частина недобросовісних людей, які не тільки крадуть частину врожаю, але й часом підсіюють на полі свої культури. І виявити ці проблемні ділянки в середині кукурудзяного або соняшникового полів без БПЛА майже неможливо. За необхідності апаратура БПЛА може налаштуватися таким чином, щоб дані надходили в режимі реального часу, здійснювати зміну маршруту польоту для отримання додаткових або уточнюючих даних залежно від обстановки тощо.

Аерофотозйомка за допомогою БПЛА дозволяє одержати карту висот – плоску карту, що показує рельєф поля. На такій карті перепади рівня поверхні позначені кольорами, як на звичній геофізичній карті (гори коричневі, а низини зелені). Крім кольорового кодування на карту рельєфу наносяться ізолінії, що з’єднують точки одного рівня (рис. 10).

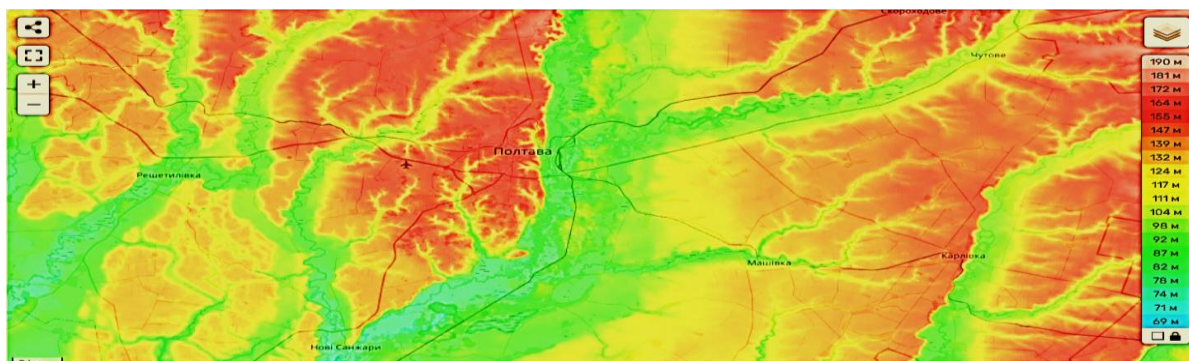


Рис. 10. Приклади карт висот

Примітка. Для роботи з рельєфом дуже зручно, коли висоти в метрах нанесені разом з ізолініями. Таке маркування може допомогти виявити проблемні місця на полях.

Відеозйомка суттєво зменшує фінансові і часові витрати на актуальний моніторинг полів порівняно з використанням наземної техніки, дозволяючи обстежувати до 30 км²/годину.

Мультиспектральна зйомка є дуже необхідним елементом прецизійного землеробства, оскільки характеристики кожного поля є неоднорідними й можуть сильно варіюватися від ділянки до ділянки змінюючи відповідним чином урожайність. Факторів цього доволі

багато і спрогнозувати їх на певну культуру та ще з урахуванням впливу погодних умов доволі складно. По-перше, це рельєф поля, який може впливати на освітленість цього поля (одні схили повернені до сонця, інші затінені). По-друге, різний мінеральний склад. По-третє, різна вологість ґрунту. По-четверте, різна кількість бур'янів та нашествия шкідників по ділянках тощо. Тобто, має місце певна мозаїчність поля за характеристиками. Можливі різні підходи щодо вирішення цієї проблеми. Можна не звертати уваги на цю мозаїчність, а сподіватись на середній врожай на полі. Можна додатково підживлювати рослини на ділянках з малим рівнем поживних елементів. Можна навпаки витратити менше насіння і добрив на потенційно слабкі і безперспективні ділянки і збільшити їх дозування на потенційно сильні ділянки намагаючись зменшити фінансові витрати по полю і збільшити загальну врожайність. Врешті-решт можна поміняти сільськогосподарську культуру.

Остаточне правильне і ефективне рішення можна прийняти для конкретної ситуації за допомогою кількісних даних, отриманих за результатами обробки мультиспектральної зйомки з БПЛА. Використовуючи ці дані можна провести зонування поля за різними показниками, наприклад, рівнем стресу у рослин, вегетативною масою, розподілом питомого вмісту хлорофілу по полю, рівню забур'янення та їх локалізацією і виробити правильні стратегії щодо подальшого ведення цього поля. Використовуючи ці дані, можна прийняти конкретне рішення щодо обробки поля гербіцидами (виконати доволі коштувну рівномірну заливку поля колісним оприскувачем, або вносити гербіциди диференційовано, зменшуючи витрати препарату, але збільшуючи вартість внесення, або використати БПЛА для диференційного внесення гербіцидів, уникаючи при цьому витоптування поля, механічного контакту з рослинами, стресу рослин від контакту з гарячими частинами оприскувача).

Тривимірне моделювання дозволяє створювати точні 3D-карти, які можна використовувати для планування карт-завдань на посів, виконувати аналіз вегетації, надаючи дані для іригації та рівнем управління азотом [3], визначати перезволожені або засушливі території, виконувати виїмку ґрунту, створювати ефективні плани і карти зволоження, осушення (меліорації) земельних угідь, рекультивації ґрунтів тощо.

Тепловізійна зйомка виконується в ближньому, середньому і дальньому діапазоні й дає можливість визначати терміни диференціювання точок росту, безпосередньо впливає на врожайність і збереження продуктивних властивостей рослин зі збереженням спадкових можливостей сорту.

БПЛА з тепловізорами спроможні здійснювати зйомку і ніччю, виявляти при цьому сторонню техніку, людей і тварин, дистанційно виявляти осередки пожеж.

Лазерне сканування застосовується головним чином для аналізу місцевості на важкодоступних недоступних територіях і забезпечує одержання точної моделі високої щільності з детальним відображенням рельєфу навіть в умовах сильної загущеності рослин, чагарників та дерев.

Обприскування використовується для точного точкового обприскування рослин і плодкових дерев, що потребують захисту і виключають потрапляння засобів хімічного захисту на рослини і дерева, які їх не потребують, мінімізують контакт працівників з препаратом. Здійснюється за рахунок дооснащення БПЛА спеціальними приладами. При цьому вартість аерообприскувача в середньому на порядок менше порівняно з наземним самохідним обприскувачом аналогічної продуктивності.

Провідними технологіями застосування БПЛА в прецизійному сільському господарстві на сьогодні слугують точне позиціонування, навігація, засоби управління, візуалізація, зв'язок, сенсори, матеріали, акумуляторні батареї, двигуни. Залежно від призначення БПЛА додаються технології розробки обладнання, керування форсунками обприскувача тощо. Деякі з цих технологій представлені на рис. 11.

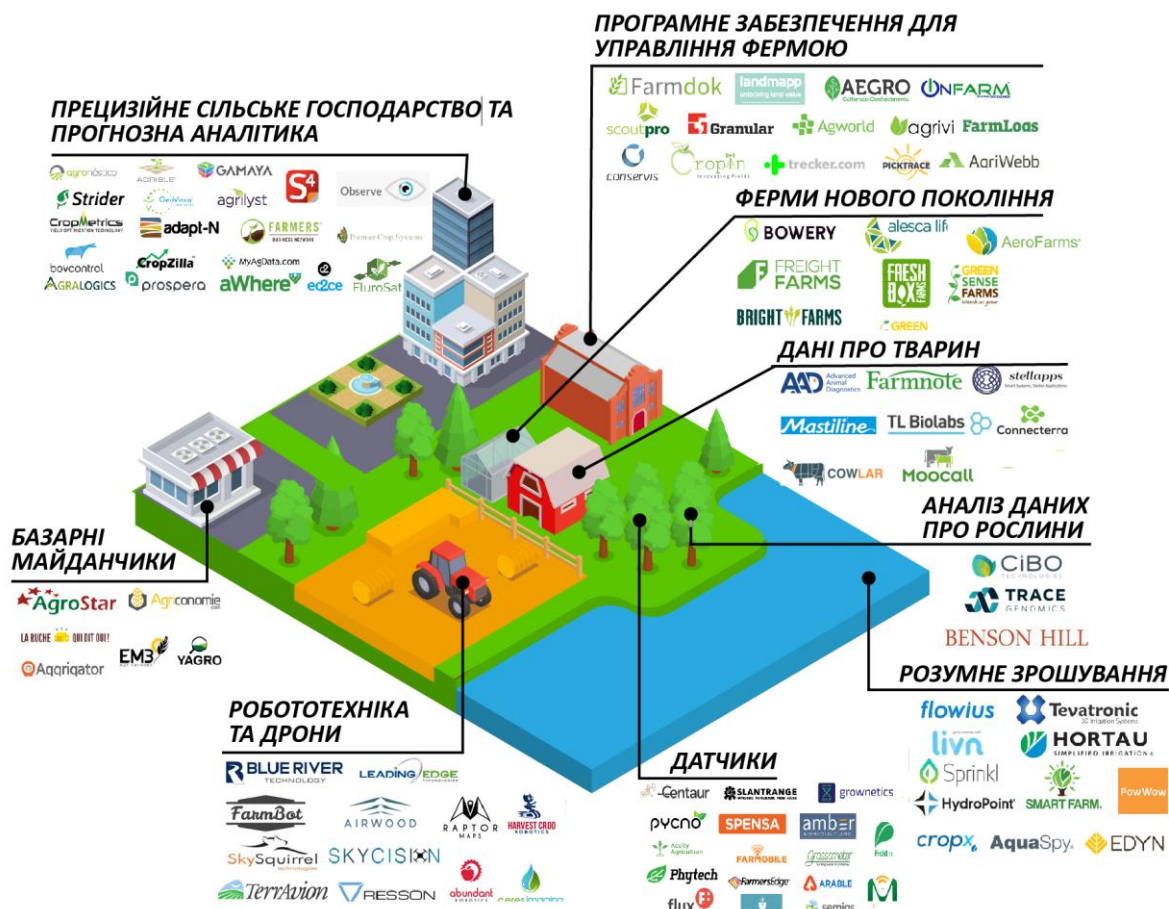


Рис. 11. Застосування технологій прецизійного (розумного) для сільського господарства

При виборі БПЛА необхідно врахувати різні характеристики, перед усім щодо їх продуктивності (зона покриття за одиницю часу), автономності (час польоту без перерви для дозаправки або підзарядки) і вантажопідйомності (корисний вантаж, що підлягає транспортуванню). Класифікація БПЛА представлена на рис. 12.

Кожен аграрій прагне одержати якомога більший прибуток, що залежить від врожайності поля та при мінімізації своїх витрат. Для цього потрібно здійснювати моніторинг полів. Проте, людина, навіть з неабиякими здібностями, неспроможна здійснити якісний моніторинг полів, оцінити схожість посівів, ураження рослин різними хворобами або шкідниками, протидію шахрайству тощо. Застосування ж БПЛА надають аграріям неабиякі можливості, а саме визначити щільність рослинності, виявляти наявність бур'янів, створювати стрес-карти визначати рівень вегетації, визначати потенціал урожайності розраховувати різні індекси тощо. БПЛА, облітає поля, збирає дані у вигляді знімків або виконує відеозйомку. Ці дані дозволяють створювати точні карти поля, у тому числі і зміни рельєфу, які є дуже корисними для визначення моделей дренажу, визначення вологих або сухих ділянок поля та застосовувати більш ефективні методи поливу.

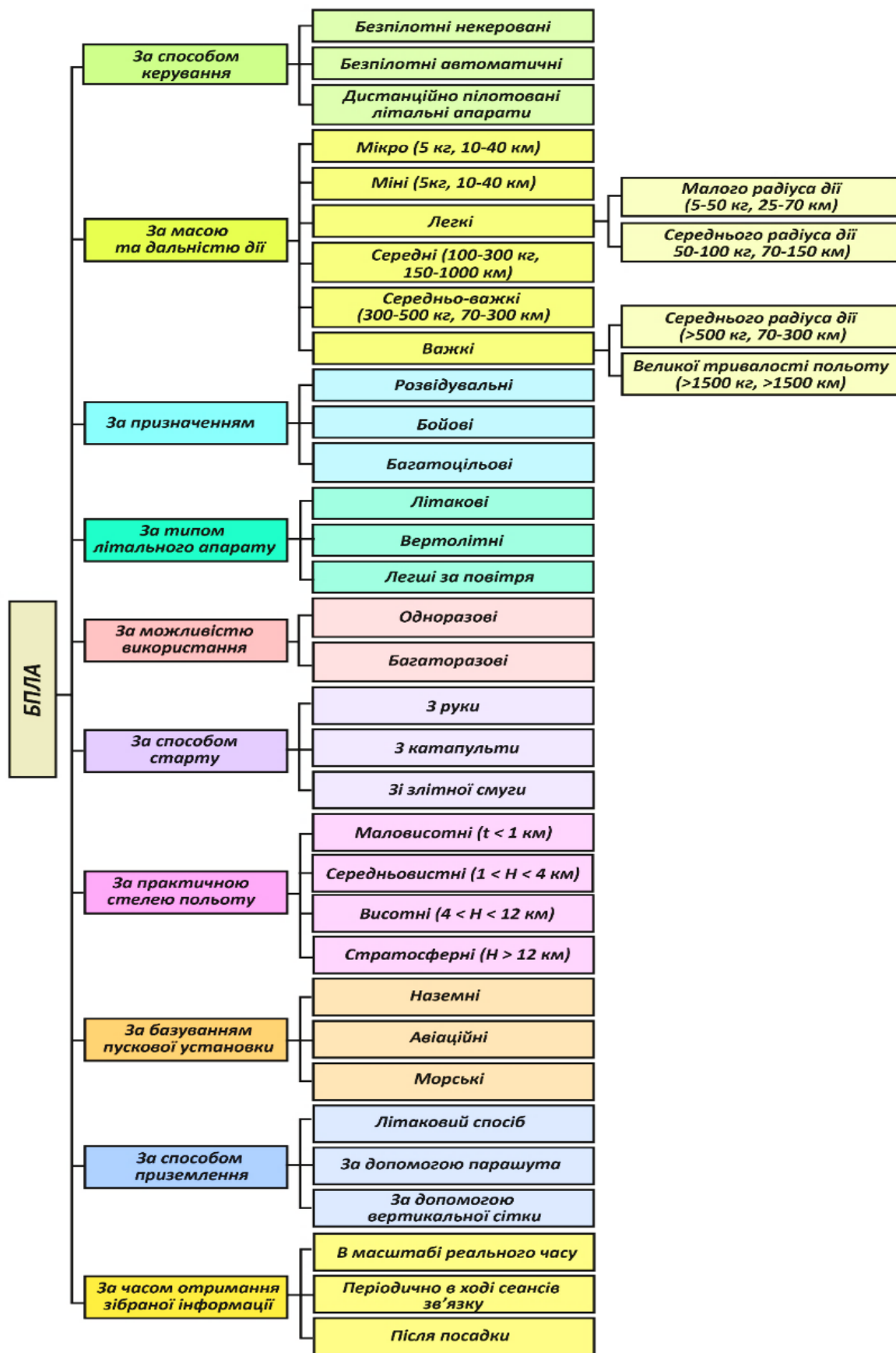
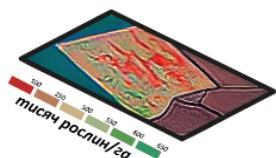


Рис. 12. Класифікація БПЛА [15]

Сучасні БПЛА можуть навіть здійснювати моніторинг рівень азоту в ґрунті, що дозволяє точно вносити добрива або ЗЗР, покращуючи стан ґрунту (рис. 13).

ПІДРАХУНОК СХОДІВ



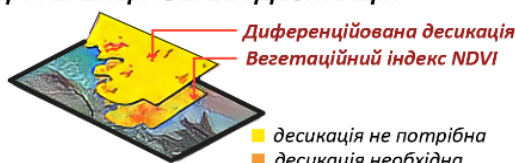
- підрахунок кожної рослини в полі;
- незалежна від людського фактору аналітика;
- оцінка агротехнології посіву, технічного стану сівалок та втрат урожаю;

ДИФЕРЕНЦІЙОВАНЕ ВНЕСЕННЯ АЗОТНИХ ДОБРИВ



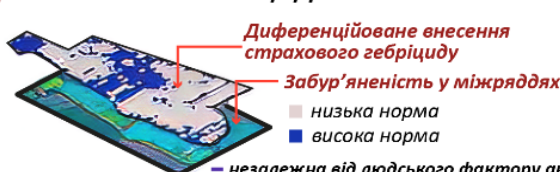
- оцінка нерівномірності розвитку рослин;
- раціональне внесення азотних добрив;
- внесення добрив під заплановану врожайність;

ДИФЕРЕНЦІЙОВАНА ДЕСИКАЦІЯ



- економія ЗЗР;
- мінімізація втрат при збиранні врожаю;
- зменшення втрат на доопрацювання на елеваторі;

ДИФЕРЕНЦІЙОВАНЕ ВНЕСЕННЯ СТРАХОВОГО ГЕБРИЦИДУ



- незалежна від людського фактору аналітика;
- економія ЗЗР та зменшення стресу для культурних рослин;
- локалізація забур'яненості для подальшого визначення видового складу;

Рис. 13. Основні переваги застосування БПЛА в моніторингу полів
Джерело: розроблено авторами.

Є доступні інноваційні платформи, де всім наявним для аналізу інструментарієм можна одночасно користуватися з єдиної панелі управління. Платформа використовує унікальні алгоритми машинного навчання і штучного інтелекту для обробки знімків. Користувач одержує інформацію у вигляді широкого переліку векторних карт з функцією перегляду на панелі. Інформація надається у вигляді sharerfile, яка прив'язана до системи координат, що значно полегшує наступне диференційне добрив, ЗЗР або десикантів. На екрані монітора дані відображаються у вигляді різнокольорових шарів ГІС (дані сенсорів і стану розвитку рослин, забур'яненості окремих ділянок поля, ураження шкідниками, прогноз погоди, поточні задачі, дані різного роду перевірок, знімки з різними індексами вегетації: NDVI, ENDVI, GNDVI, OSAVI, ARI, SIWSI, WDRVI, VARI700 тощо.

Управління БПЛА здійснюється вручну за допомогою радіомодема, який через антенну з наземної станції управління (пульта управління) отримує сигнал із заданими параметрами руху (швидкість і кути) і передає їх на польотний контролер.

Необхідними складовими комплексу наземної станції управління є комп'ютер з виходом в інтернет або з 4G-модемом для автономного управління БПЛА і пульт управління (планшет або мобільний пристрій) – для дистанційно-ручного. За допомогою комп'ютера виконується обробка відео з БПЛА, розрізнення перешкод та інших об'єктів спостереження, а також корегування маршруту польоту.

Керування БПЛА здійснюється за допомогою спеціальних додатків, які дають можливість планувати складні польотні завдання за допомогою декількох кліків. У заданих точках маршруту додаток автоматично виконає фотозйомку для одержання точних карт місцевості або виконає відеозйомку за зазначеним маршрутом. Крім того, додатки мають функції, які не дозволяють БПЛА летіти вище і швидше запрограмованих параметрів, підвищуючи тим самим безпеку польоту і полегшуючи процес управління БПЛА.

Моніторинг посівних площ це доволі трудомісткий процес, який вимагає багато часу, як для великих полів, так і для маленьких сільськогосподарських ділянок, розкиданих по території громад. Він дозволяє своєчасно виявляти відхилення в рості і розвитку рослин, визначити їх причини і приймати оперативні і ефективні управлінські рішення щодо покращення ситуації. Якщо посіви молоді і невеличкі, то можна пройтись або проїхатись по полю, але якщо рослини досягли висоти 1-2 метри, то це вже зробити доволі складно. А відсутність інформації по всій площі поля – це зазвичай потенційні збитки.

Висновки. Прецизійне землеробство дозволяє підвищити ефективність сільського господарства, зменшити екологічні ризики в агроєкосистемах, більш ощадно та раціонально використовувати матеріально-технічні ресурси.

Використання технологій прецизійного землеробства неможливе без вивчення неоднорідностей поля. Це потребує широкого використання технологій ДЗЗ, а саме знімків із супутників та БПЛА.

Застосування БПЛА дозволяє не тільки отримати аерофотознімки високого розрізнення для подальшого аналізу рослинного покриву, а й розв'язати цілий комплекс інших сільськогосподарських задач.

Україна все ширше використовує ці інновації навіть в умовах російської агресії. Незважаючи на сьогоденні обмеження на використання повітряного простору (одержання дозволів та узгоджень з військовими частинами, дозволів на польоти та офіційних наказів Міністерства Оборони), сільськогосподарські БПЛА все більше задіюються для виконання певних циклів агротехнічних робіт.

Список використаних джерел

1. Gnip, P. Analysis of external drivers for agriculture / P. Gnip, K. Charvat, M. Krocan // World Conference on Agricultural Information and IT, LAAID AFITA WCCA, 2008. – Pp. 797-801.
2. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen / S. R. Carpenter, N. F. Caraco, D. L. Correll, R. W. Howarth, A. N. Sharpley, V. H. Smith // Ecological Applications. – 1998. – № 8(3). – Pp.559-568.
3. A review on the use of drones for precision agriculture / P. Daponte, L. De Vito, L. Glielmo, L. Iannelli, D. Liuzza, F. Picariello, G. Silano // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019. – Vol. 275, 012022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/275/1/012022>
4. Agriculture in 2050: Recalibrating targets for sustainable intensification / M. C. Hunter, R. G. Smith, M. E. Schipanski, L. W. Atwood, D. A. Mortensen // Bioscience. – 2017. – № 67(4). – Pp. 386-391.
5. Ju C. Discrete event systems-based modeling for agricultural multiple unmanned aerial vehicles: Automata theory approach / C. Ju, H. I. Son // 18th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), PyeongChang, 20 October 2018. – 2018. – Pp. 258-260.
6. Muchiri, N. A review of applications and potential applications of UAV / N. Muchiri, S. Kimathi // Proceedings of Sustainable Research and Innovation Conference. – 2016. – Pp. 280-283.
7. Kim, W. J. TOA-based localization algorithm for mitigating positioning error in NLOS channel / W. J. Kim, J.-H. Kang // Journal of Institute of Control, Robotics and Systems. – 2018. – № 24(11), – Pp. 1043-1047.
8. Economic and environmental consequences of overfertilization under extreme weather conditions / G. S. Hendricks, S. Shukla, F. M. Roka, R. P. Sishodia, T. A. Obreza, G. J. Hochmuth, J. Colee // Journal of Soil and Water Conservation. – 2019. – № 74(2). – Pp. 160-171.
9. Mogili, U. R. Review on application of drone systems in precision agriculture / U. R. Mogili, B. Deepak // Procedia Computer Science. – 2018. – № 133. – Pp. 502-509.
10. Остапенко, В. Технології майбутнього: дрони в сільському господарстві [Електронний ресурс] / Вадим Остапенко // Agravery.com – Режим доступу: <https://agravery.com/uk/posts/author/show?slug=tehnologii-majbutnogo-droni-v-silskomu-gospodarstvi>.
11. Дрони на службі в агрономів. [Електронний ресурс] // ТОВ "ТД ІРБІС" постачальник промислових комплектуючих. – Режим доступу: <https://www.irbis.ua/news/novosti-o-kompanii/agro-drony>.

12. Можливості застосування БПЛА в рослинництві: де агроному знадобляться дрони [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://superagronom.com/articles/580-mojlivosti-zastosuvannya-bpla-v-roslinnitstvi-de-agronomu-znadoblyatsya-droni>.

13. Станкевич, С. В. Безпілотні літальні апарати у сільському господарстві: переваги і недоліки [Електронний ресурс] / С. В. Станкевич. – Режим доступу: https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/31820/1/zbior_prac_naukowych_tom_4-86-90.pdf.

14. Mazur, M. Clarity from above: PwC global report on the commercial applications of drone technology / M. Mazur, A. Wisniewski, J. McMillan. – Warsaw: Drone Powered Solutions, Price Waterhouse Coopers, 2016.

15. Глотов, В. Аналіз можливостей застосування безпілотних літальних апаратів для аерознімальних процесів / В. Глотов, А. Гуніна // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2014. – № 2(28). – С. 65-77.

References

1. Gnip, P., Charvat, K., & Krocan, M. (2008). *Analysis of external drivers for agriculture. World Conference on Agricultural Information and IT, LAAID AFITA WCCA*, 797–801.

2. Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., & Smith, V. H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, 8(3), 559–568.

3. A review on the use of drones for precision agriculture. (2019). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 275, 012022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/275/1/012022>.

4. Hunter, M. C., Smith, R. G., Schipanski, M. E., Atwood, L. W., & Mortensen, D. A. (2017). Agriculture in 2050: Recalibrating targets for sustainable intensification. *Bioscience*, 67(4), 386–391.

5. Ju, C., & Son, H. I. (2018). Discrete event systems-based modeling for agricultural multiple unmanned aerial vehicles: Automata theory approach. *2018 18th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*, 258–260. IEEE.

6. Muchiri, N., & Kimathi, S. (2016). A review of applications and potential applications of UAV. *Proceedings of Sustainable Research and Innovation Conference*, 280–283.

7. Kim, W. J., & Kang, J.-H. (2018). TOA-based localization algorithm for mitigating positioning error in NLOS channel. *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, 24(11), 1043–1047.

8. Hendricks, G. S., Shukla, S., Roka, F. M., Sishodia, R. P., Obreza, T. A., Hochmuth, G. J., & Colee, J. (2019). Economic and environmental consequences of overfertilization under extreme weather conditions. *Journal of Soil and Water Conservation*, 74(2), 160–171.

9. Mogili, U. R., & Deepak, B. (2018). Review on application of drone systems in precision agriculture. *Procedia Computer Science*, 133, 502–509.

10. Ostapenko, V. (n.d.). Future technologies: Drones in agriculture. <https://agravery.com/uk/posts/author/show?slug=tehnologii-majbutnogo-droni-v-silskomu-gospodarstvi>.

11. Drones in the service of agronomists. (n.d.). <https://www.irbis.ua/news/novosti-o-kompanii/agro-drony>.

12. Potential applications of UAVs in crop production: Where drones are needed by agronomists. (n.d.). <https://superagronom.com/articles/580-mojlivosti-zastosuvannya-bpla-v-roslinnitstvi-de-agronomu-znadoblyatsya-droni>.

13. Stankevich, S.V. (n.d.). Unmanned aerial vehicles in agriculture: Advantages and disadvantages. https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/31820/1/zbior_prac_naukowych_tom_4-86-90.pdf.

14. Mazur, M., Wisniewski, A., & McMillan, J. (2016). Clarity from above: PwC global report on the commercial applications of drone technology. Warsaw: Drone Powered Solutions, Price Waterhouse Coopers.

15. Glotov, V., & Gunina, A. (2014). Analysis of UAV applications for aerial imaging processes. *Modern Achievements of Geodetic Science and Production*, 2(28), 65–77.

Отримано 09.12.2024

Viktor Vorokh¹, Vitalii Zatserkovnyi²¹PhD student, Department of Geoinformatics

Taras Shevchenko National University of Kyiv (Kyiv, Ukraine)

E-mail: fainkucha@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0005-0112-8422>²Doctor of Technical Sciences, Professor, Head, Department of Geoinformatics

Taras Shevchenko National University of Kyiv (Kyiv, Ukraine)

E-mail: vitalii.zatserkovnyi@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0003-5187-6125>. **Scopus ID:** 57200165109**USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN PRECISION AGRICULTURE**

The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) in agriculture in general, and precision agriculture in particular, is expanding significantly every year. UAVs are employed in various tasks, including sowing, monitoring crop growth and yields, field mapping, and spraying crops with plant protection products (PPP) or applying fertilizers. Precision agriculture enables the integration of geospatial data, GIS and remote sensing technologies, artificial intelligence, Big Data, the Internet of Things, and other innovative solutions.

UAVs provide opportunities for rapid monitoring, analyzing field conditions and dynamics, identifying problem areas requiring managerial intervention, evaluating the effectiveness of agronomic practices, and storing photogrammetric data and high-resolution images efficiently. Modern UAVs, accessible to farmers, not only deliver current information on plant condition and growth dynamics but also allow for protective treatment of fields and perennial plantations using pesticides. UAVs can provide georeferenced data on the state of cultivated crops, significantly assisting farmers in maintaining high yields. Moreover, UAVs equipped with multispectral and RGB cameras enable the prompt storage of agricultural images in the near-infrared spectrum, facilitating monitoring of vegetation health and condition. UAV imaging offers much greater detail compared to satellite imagery, achieving resolutions down to centimeters per pixel, thanks to flight altitudes ranging from 100 to 600 meters above ground.

The paper outlines the use of UAVs in precision agriculture and explores field monitoring methods using UAVs. The implementation of UAV imaging technology allows for the creation of electronic field maps and the rapid adoption of managerial decisions based on the collected data. The NDVI index obtained with UAVs provides a more comprehensive and detailed representation of current conditions on individual field sections, a level of detail that is difficult to achieve with satellite imagery.

It is noted that our country has strong potential for adopting UAVs in agriculture, considering their technical, economic, and human resources.

Keywords: precision agriculture, monitoring, digital farming, remote sensing, plant protection products (PPP), pesticides, UAVs, yield improvement.

Fig.: 13. References: 15.