

Національна академія аграрних наук України
ННЦ «Інститут аграрної економіки»
Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН

**АЛГОРИТМ РОЗВИТКУ ПОЛЬОВОГО
КОРМОВИРОБНИЦТВА ШЛЯХОМ ІНВЕСТИВАННЯ ТА
ВПРОВАДЖЕННЯ СМАРТ ТЕХНОЛОГІЙ
У ПЕРІОД ПІСЛЯВОЄННОЇ ВІДБУДОВИ**

Вінниця 2024

УДК: 330.3:636.08
ББК 65.05

Алгоритм розвитку польового кормовиробництва шляхом інвестування та впровадження смарт технологій

Національний науковий центр «Інститут аграрної економіки»: **Захарчук О.В.**, д. е. н., с. н. с., завідувач відділу інвестиційного та матеріально-технічного забезпечення

Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН: **Кісіль М.І.**, к.е.н., с.н.с. відділу інвестиційного та матеріально - технічного забезпечення

Спринчук Н. А., к. е. н., с. н. с., відділ координації наукових досліджень, економіки, маркетингу, аспірантури та кадрового забезпечення

Воронецька І. С., к. е. н., доц., завідувач відділу координації наукових досліджень, економіки, маркетингу, аспірантури та кадрового забезпечення

Петриченко І.І., к. е. н., с. н. с. відділ координації наукових досліджень, економіки, маркетингу, аспірантури та кадрового забезпечення

Задорожна І.С., к.с.н., с. н. с., завідувач сектором інновацій та інтелектуальної власності

Бабич-Побережна А.А., д.е.н., Г. Н. С., відділ координації наукових досліджень, економіки, маркетингу, аспірантури та кадрового забезпечення

Корнійчук О.О., к.е.н., с. н. с., відділ координації наукових досліджень, економіки, маркетингу, аспірантури та кадрового забезпечення

Юдова О.І., к.с.-Г.Н., провідн. н.с., відділ координації наукових досліджень, економіки, маркетингу, аспірантури та кадрового забезпечення

Рецензенти:

Корнійчук Олександр Васильович, доктор сільськогосподарських наук, директор Інституту кормів та сільського господарства Поділля НААН

Малік Микола Йосипович, завідувач відділу розвитку підприємництва, координації, доктор економічних наук, професор, академік НААН ННЦ «Інститут аграрної економіки»

Друкується за рішенням ученої ради Інституту кормів та сільського господарства Поділля НААН (протокол № 10 від 07 жовтня 2024 р.) і координаційно-методичної ради ННЦ «Інститут аграрної економіки» (протокол № 19 від 18 листопада 2024 р.)

© ННЦ «Інститут аграрної економіки», 2024

©Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН, 2024

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ I ТЕОРЕТИКО - МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ІНВЕСТУВАННЯ РОЗВИТКУ ПОЛЬОВОГО КОРМОВИРОБНИЦТВА ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ СМАРТ ТЕХНОЛОГІЙ У ПЕРІОД ПІСЛЯВОЄННОЇ ВІДБУДОВИ.....	6
РОЗДІЛ II ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ СМАРТ ТЕХНОЛОГІЙ ВИСОКОРОЗВИНЕНИМИ КРАЇНАМИ	22
РОЗДІЛ III ОБГРУНТУВАННЯ ПОТРЕБИ ІНВЕСТИЦІЙ ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ СМАРТ ТЕХНОЛОГІЙ В ПОЛЬОВОМУ КОРМОВИРОБНИЦТВІ НА ПРИКЛАДІ ГОСПОДАРСТВА	32
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	45
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	46
ДОДАТКИ.....	49

ВСТУП

Характерною тенденцією, що реалізується в усіх сферах сучасного суспільства, є масова інформатизація, цифровізація та автоматизація. Це стосується, зокрема, й польового кормовиробництва. Вказані тенденції знаходять вияв у розробці, поширенні на ринку та впровадженні в роботу конкретних сільськогосподарських підприємств різноманітних смарт технологій. Саме в сільському господарстві України, зокрема в польовому кормовиробництві, застосування інтелектуальних технологій є особливо важливим на етапі поствоєнного відродження.

Актуальність цього завдання пояснюється численними факторами. Частина цих чинників є спільною для всіх країн. Зокрема, це стосується проблеми змін клімату, що вимагають, перш за все, адаптації вирощування кормових культур до нових кліматичних змін, а також впровадження екологічно чистих та раціональних агротехнічних методів. Крім того, для всіх держав світу, особливо для крупних експортерів кормових культур, нагальним завданням є пошук шляхів збільшення обсягів виробництва кормових культур для задоволення попиту на корми світового ринку. Цього можна досягти за рахунок підвищення продуктивності кормових культур у результаті запровадження смарт технологій у аграрне виробництво.

Актуальність використання смарт технологій в польовому кормовиробництві в Україні нині пов'язана ще з необхідністю врахування наслідків війни. Зокрема, одним з таких наслідків є суттєва зміна площ сільськогосподарських угідь, зміна їх рельєфу в результаті обстрілів (утворення вир від снарядів, ракет, уламків, облаштування окопів, проведення розмінувань тощо. Такі зміни потребують нового картування територій в цілому і сільськогосподарських угідь зокрема. Цьому можуть допомагати смарт технології (отримання супутникових даних, знімків агродронів тощо).

Водночас в результаті війни на Сході та Півдні України виникає значна загроза забруднення сільськогосподарських земель різноманітними хімічними речовинами. Це потрібно обов'язково враховувати при вирощуванні кормових культур, адже зібраний урожай не може містити шкідливих домішок. Тому в післявоєнний період в Україні зростає потреба в проведенні моніторингу стану

земель, що може бути проведена за допомогою сучасних датчиків, технологій дистанційного зондування тощо.

Для поствоєнної України виникає потреба максимально швидкого відновлення сільського господарства, виведення на світовий ринок максимального обсягу якісних кормів. Для цього важливо забезпечувати високу врожайність кормових культур, скорочення їх втрат на етапі обробки посівів, збору врожаю тощо. Цьому також значною мірою сприяють смарт агротехнології.

Нині використання супутників для аналізу стану посівів, управління сільськогосподарською діяльністю, контролю якості проведення агротехнічних заходів – поширена практика, однак відчувається дефіцит ІТ- фахівців в цій галузі [1]. Практичне досконале впровадження новітніх технологій в польовому кормовиробництві можливе за рахунок поєднання роботи ІТ – спеціалістів та фахівців аграрної сфери.

Для пересічних агровиробників в Україні смарт технології відомі лише частково. Багато аграріїв не знають, як правильно їх впроваджувати, в якій послідовності. Також кормовиробники не знають, яку дохідність можуть забезпечити для них інвестиції у смарт технології. Тому нині важливо визначити напрямки та орієнтовні обсяги інвестування в смарт агротехнології в післявоєнному періоді розвитку України.

РОЗДІЛ І

ТЕОРЕТИКО - МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ІНВЕСТУВАННЯ РОЗВИТКУ ПОЛЬОВОГО КОРМОВИРОБНИЦТВА ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ СМАРТ ТЕХНОЛОГІЙ У ПЕРІОД ПІСЛЯВОЄННОЇ ВІДБУДОВИ

Аналіз особливостей застосування смарт технологій в польовому кормовиробництві, перш за все, потребує теоретичного визначення сутності вказаного терміна та систематизації технологій цього типу.

Поняття смарт технологій вже досить часто вживається в науковому дискурсі, його зміст і до нині не визначений однозначно. При цьому можна виділити два основні наукові підходи до його трактування:

1) Термін «смарт технології» пов'язується виключно з цифровими технологіями, інформаційними системами, штучним інтелектом, роботизацією відповідних суспільно-виробничих процесів. Наприклад, О.В. Карпенко та К.Р. Гуменна зазначають, що смарт технології – це «цифрові технології, за допомогою яких здійснюється управління без участі людини. «Розумні» технології є сукупністю процесів (способів), які забезпечують технологічну адаптацію засобів цифрової трансформації до умов середовища за допомогою сенсорної системи управління» [2];

2) смарт технології відносять не до інформаційних, а до «розумних», що спроектовані за принципом SMART (S (specific) – конкретність; M (measurable) – вимірність; A (achievable) – досяжність; R (relevant) – актуальність; T (time bound) – обмеженість у часі). Як зазначає О. Бобровський, така назва засвідчує, що крім якостей, які притаманні інформаційним технологіям, смарт технології містять суттєву частку інтелектуальних здібностей людей, інноваційні знання з управління, соціальність інформації з обробкою її у сфері рефлексії [3].

В окремих наукових джерелах по відношенню до рослинництва і польового кормовиробництва термін «смарт технології» характеризується як система точного землеробства. Такі технології допомагають кормовиробникам дізнаватися і застосовувати критичну інформацію про правильні інвестиції в добрива, насіння, пестициди і воду, необхідну для виробництва кормових культур [4].

Для характеристики сучасних технологій в організації польового кормовиробництва можуть бути використані кілька близьких за змістом понять: точне кормовиробництво, розумне кормовиробництво, цифрове кормовиробництво, смарт кормовиробництво. Кожний наступний термін у наведеному логічному ланцюжку має ширший обсяг (рис. 1.1).

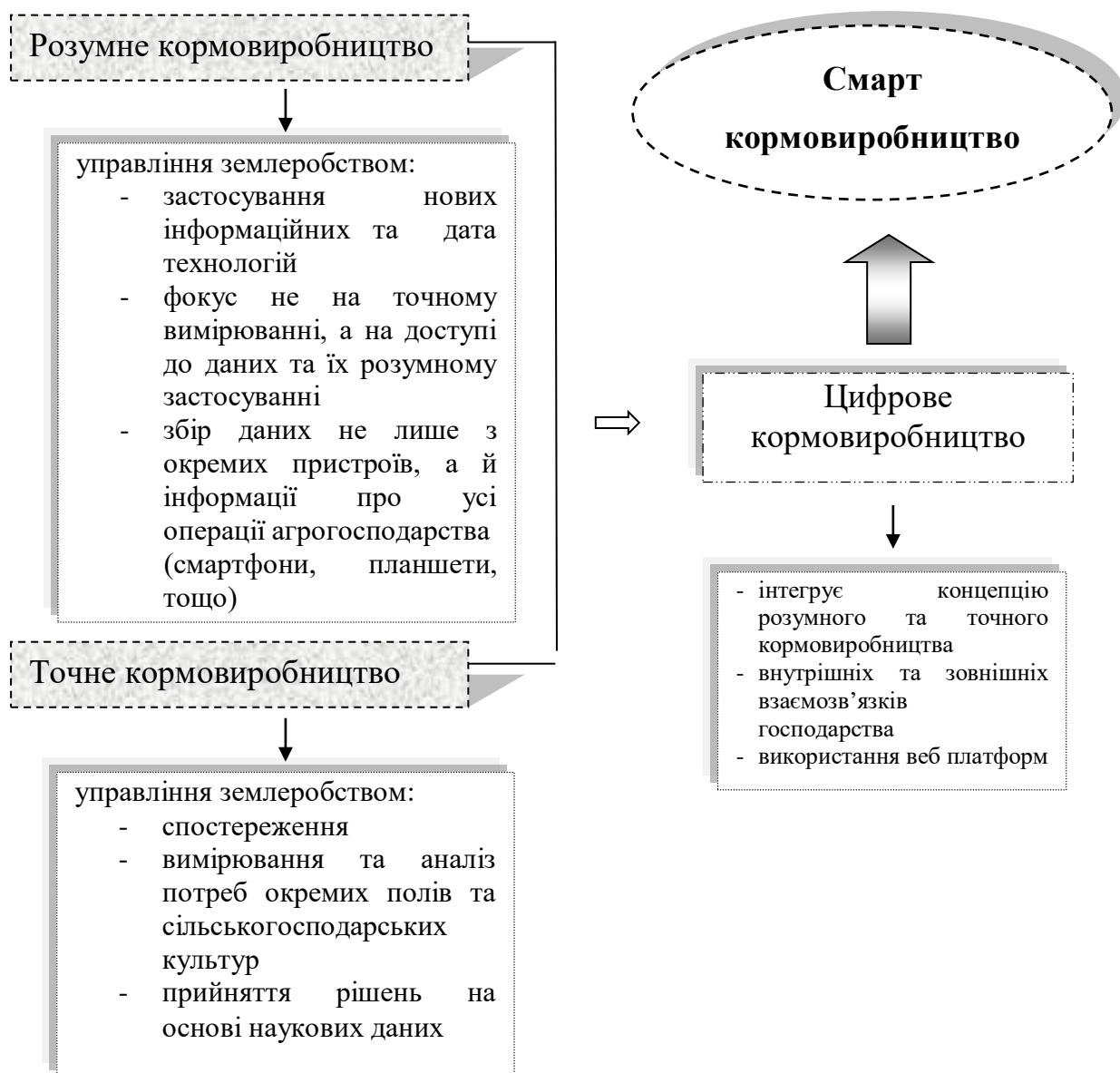


Рис. 1.1. Зміст смарт технологій у польовому кормовиробництві

Джерело: сформовано авторами з використанням даних [1], [5], [8].

Охарактеризуємо вказані складові смарт технологій. Поширеним терміном в наукових дослідженнях є «точне сільське господарство» («precision agriculture»). McKinsey & Company визначає поняття точного сільського господарства як «технологічний підхід до управління землеробством, який передбачає спостереження, вимірювання та аналіз потреб окремих полів та сільськогосподарських культур».

Згідно з McKinsey, розвиток точного сільського господарства формується двома тенденціями:

- з одного боку – великі дані та можливості розширеної аналітики;
- з іншого боку – робототехніка: повітряні знімки, датчики, комплексні місцеві прогнози погоди тощо [5].

Особливістю точного польового кормовиробництва є те, що аграрії приймають рішення на основі наукових даних. Роль точного землеробства полягає в застосуванні правильного продукту в потрібному місці і в потрібній кількості. Якщо в традиційному польовому кормовиробництві більшість аграріїв приймали суб'єктивні рішення щодо агротехнічних аспектів, то за умови побудови точного кормовиробництва фермери використовують дані, які дають можливість приймати об'єктивні рішення і максимізувати результати господарювання [6].

Розумне польове кормовиробництво передбачає застосування у виробничо-господарських процесах нових інформаційних та дата-технологій для оптимізації складних систем землеробства. На відміну від точного сільського господарства, фокус розумного землеробства не на точному вимірюванні або визначенні відмінностей у полі. Основна увага зосереджена на доступі до даних та застосуванні цих даних: як з розумом використати зібрану інформацію. Розумне землеробство передбачає збір даних не лише з окремих пристроїв, а й збір інформації про усі операції агрогосподарства. Фермери можуть використовувати мобільні пристрої (смартфони та планшети) для доступу в режимі реального часу до даних про стан ґрунту та кормових рослин, місцевості, клімату, погоди, використаних ресурсів, робочої сили, затрат тощо. У результаті аграрії мають інформацію, необхідну для того, щоб приймати обґрунтовані рішення на основі конкретних даних, а не інтуїції [5].

Ще ширшим за змістом є поняття цифрового польового кормовиробництва. Його суть полягає у створенні цінності з отриманих даних. Цифрове господарство означає вихід за межі

простої присутності та доступності даних, а також використання даних із застосуванням штучного інтелекту для того, щоб отримати змістовну додаткову інформацію. Цифрове землеробство інтегрує в собі обидві вищезгадані концепції – точне та розумне землеробство. Згідно з доповіддю DLG (Німецьке сільськогосподарське товариство), цифрове землеробство розуміють як послідовне застосування методів точного та розумного землеробства, внутрішніх та зовнішніх взаємозв'язків господарства, а також використання як веб-платформ, що містять дані, так і аналізу Великих Даних [5].

На думку Р. Андрюкайтене та інших вчених, смарт – це властивість системи чи процесу, яка проявляється у взаємодії з оточуючим середовищем і наділяє систему здатністю до реагування на зміни у зовнішньому середовищі:

- 1) адаптації до умов, що трансформуються;
- 2) самостійному розвитку і самоконтролю;
- 3) ефективному досягненню результату.

Автори підкреслюють, що ключовим у властивості «смарт» є саме здатність взаємодіяти з оточуючим середовищем. Не випадково передові країни вже давно сформуvalи концепції (парадигми, теорії) розвитку смарт суспільства, а саме – розумного суспільства, розумного уряду, розумної освіти, розумного міста, що пов'язано з формуванням «економіки знань» [7].

Одним з аспектів побудови смарт суспільства є використання «розумних» технологій у сільському господарстві, сукупність яких складає зміст понять «Smart Agriculture» («розумне сільське господарство») та «Smart farming» («розумна ферма»). Під вказаними поняттями розуміють концепцію управління ресурсами агроформувань, що використовує сучасні технології, основною метою яких є збільшення кількості та якості сільськогосподарського виробництва [6].

Смарт технології дають можливість підприємствам, що працюють у галузі польового кормовиробництва, максимально ефективно адаптуватися до змін навколишнього середовища. Сільгоспвиробники в ХХІ столітті зіштовхуються з такими зовнішніми викликами, як:

- зміна клімату (масове потепління, збільшення частоти природних катаклізмів тощо);

- зростання чисельності населення у світі (до 2050 року населення світу очікувано досягне приблизно 9 мільярдів, що призведе до збільшення попиту на продовольство, а відтак і на кормові культури, на 70%);
- зменшення площі орних земель, доступних для ведення сільського господарства в результаті урбанізації, потреби в консервації земель тощо.

Щоб досягти 70 %-го збільшення виробництва кормових культур, агровиробникам необхідні більш технологічні смарт інструменти, які створюють умови для ефективного аналізу сільськогосподарських даних, управління процесом вирощування кормових культур з метою підвищення їх врожайності без негативного впливу на якість продукції [8].

Використання смарт технологій в польовому кормовиробництві стало більш важливим, ніж будь-коли, саме через мінливі глобальні та кліматичні обставини. Завдяки використанню інтелектуальних сільськогосподарських технологій почало спостерігатися підвищення продуктивності в сільському господарстві навіть в складних природно-кліматичних умовах. Розумне польове кормовиробництво покращує загальну продуктивність рослин, зменшує відходи та оптимізує використання електроенергії, палива, води та добрив.

Розумні сільськогосподарські технології, як правило, спрямовані на підвищення ефективності сільськогосподарської діяльності при зниженні її витрат. Датчики, супутники, інтернет - дані, нейронні мережі – це технології, що підтримують цифрове польове кормовиробництво. Завдяки цим інтелектуальним технологіям можна підвищити продуктивність кормових культур, проводити аналіз ґрунтів, стежити за здоров'ям рослин, використовувати розумні методи зрошення, оптимізувати внесення добрив та виявляти шкідників і хвороби кормових культур (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

**Основні напрямки впливу смарт технологій на польове
кормовиробництво**

Напрямок	Інструменти та механізми впливу
Підвищення продуктивності кормових угідь	За рахунок аналізу ґрунтів за допомогою вегетаційних індексів, цифрових методів, розумних датчиків та супутникових даних, моніторингу здоров'я кормових культур і оптимізації керування добривами
Метео-аналіз	Метеостанції та передові інструменти прогнозування погоди, інтегровані з системами управління агропідприємствами, дозволяють сільгоспвиробникам передбачати погодні явища та вживати профілактичних заходів для захисту посівів кормових культур. Це може включати коригування графіків зрошення, нанесення захисних покриттів або планування збирання врожаю, щоб мінімізувати проблеми, пов'язані з погодою
Комплексне управління водою та добривами	За допомогою датчиків вологості та температури ґрунту можна виміряти, чи здійснюється достатній полив, до якого рівня знижується кількість добрив, а також вологість і температуру ґрунту. Датчики ґрунту можуть вимірювати рівень поживних речовин, надаючи інформацію про стан ґрунту. Аграрії можуть використовувати ці дані для створення точних планів внесення добрив, забезпечуючи оптимальне постачання кормових культур поживними речовинами. Розумні іригаційні системи використовують дані датчиків вологості ґрунту, щоб подавати воду саме тоді і куди це потрібно, запобігаючи нестачі води та надмірному зволоженню.
Швидкість і точність виявлення шкідників і хвороб кормових культур	Можна контролювати стан рослин і виявляти ознаки захворювань за допомогою супутникових даних і датчиків. Ідентифікувати шкідників можна за допомогою штучного інтелекту та моніторингу в реальному часі. Удосконалене програмне забезпечення для розпізнавання зображень може аналізувати отримані дані, дозволяючи раннє виявлення та цілеспрямоване застосування пестицидів або фунгіцидів, мінімізуючи вплив на якість і зменшуючи загальне використання хімікатів. Інструменти для даного механізму впливу – тепловізори, інфрачервоні термометри, пенетрометри, вимірювання змін флуоресценції (визначення стресового рівня рослини), тощо
Екологізація польового кормовиробництва	Завдяки даним, які надає інтелектуальна сільськогосподарська технологія, використовується менше добрив, води та енергії, виробляється менше викидів

Джерело: сформовано авторами з використанням даних [1] , [5], [7], [8].

Для переходу до розумного польового кормовиробництва важливо використовувати різноманітні смарт інструменти. Основні з них узагальнені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Основні групи смарт технологій в польовому кормовиробництві

Функціональна група технологій	Приклади смарт інструментів
Технології для збору інформації:	<i>агродрони, супутниковий моніторинг, метео-сканери, сканери ґрунту тощо</i>
побудова індексних карт	<i>візуальні камери, вегетаційні індекси</i>
визначення вмісту хлорофілу та потреб рослин в азоті; визначення дефіциту елементів живлення в рослинах; визначення якості обробки рослин протруйниками від шкідників та хвороб	<i>спектрофотометри</i>
визначення вологості ґрунту	<i>датчиків на основі реєстрації електропровідності</i>
виявлення шкідників і хвороб кормових культур	<i>тепловізори, інфрачервоні термометри, пенетрометри</i>
визначення стресового рівня рослини (вимірювання змін флуоресценції)	<i>пенетрометри</i>
дистанційна діагностика кормових культур	<i>супутникові системи, результати аерофотозйомки</i>
стан посіви кормових культур (щільність посівів, ураження шкідниками, оцінка стану бур'янів, взаємодія фунгіцидів та добрив, виявлення проблем)	<i>методи штучного інтелекту, нейромережі</i>
Технології для аналізу даних	<i>GNSS, GIS, RS, Web, Big Data, Yield monitoring, Soil-test</i>
Технології для управління та прийняття рішень і виконання прийнятих рішень	<i>Crop-, Land-, Livestock-management, Variable Rate Technology</i>

Джерело: сформовано авторами з використанням даних [1] , [5], [7], [8].

Переваги використання вказаних смарт технологій у польовому кормовиробництві суттєві. Користувач вводить робочі параметри в комп'ютер, контролює процес та через виконавчі механізми виконує необхідні налаштування. Повна та точна інформація про оброблену поверхню, споживання палива, насіння, добрив, пестицидів або кількості зібраних кормових культур надходять в режимі реального часу. У результаті вирощування кормових культур стає більш рентабельним [6].

Одним з перспективних смарт інструментів у польовому кормовиробництві є агродрони. Протягом десятиліть аграрії використовували для точного землеробства пілотовані літальні апарати (для моніторингу земель, застосування пестицидів тощо). Однак орієнтовна вартість найму пілотованого літака становить від 60 000 до 100 000 доларів США на рік. Тому в умовах побудови розумного польового кормовиробництва для досягнення балансу між ефективними витратами та високоякісним урожаєм, аграрії вдаються до використання агродронів. Вони є одним з найбільш перспективних смарт засобів у польовому кормовиробництві [8].

Під терміном «дрон» зазвичай розуміють безпілотний літальний апарат. Безпілотники можуть досягати розмірів пілотованих літальних апаратів (наприклад, Boeing Condor). «Кондор» відноситься до групи «літаків з нерухомим крилом» і перевищує «Боїнг 747» з розмахом крил 60,96 м. У більшості цивільних застосувань, зокрема і в сільському господарстві, дрони мають розміри стандартної моделі літака або трохи більші (наприклад, The Agronator). Октокоптер Agronator був спеціально розроблений для сільськогосподарського використання та може бути оснащений корисним навантаженням 35 кг для внесення засобів захисту рослин, насіння та добрив.

Найпоширеніші безпілотні літальні апарати називаються «гвинтокрилими», вони мають діаметр до 1 м і оснащені від 4 до 8 пропелерів (також їх називають мультикоптерами). Термін «мультикоптер» включає всі типи гвинтокрилів з 2 або більше гвинтами на одному рівні. Мультикоптери, як правило, повільніші за літальні апарати з нерухомим крилом через планерний політ із нерухомими крилами та мають меншу дальність за тієї самої потужності приводу. Однак великою перевагою мультикоптерів є принцип вертикального зльоту та посадки. Для них, на відміну від безпілотників з нерухомим крилом, злітно-посадкові смуги/пандуси не потрібні [9].

В даний час в аграрному секторі використовуються два типи дронів:

- дрони середнього розміру (в основному використовуються для аналізу);
- великі дрони (використовується для посіву та розпилення пестицидів, засобів захисту рослин та інших речовин у полі).

Перші безпілотники в сільськогосподарському секторі були розроблені в 1980-х роках для обробки посівів. Протягом багатьох років відбувався прогрес застосування цієї технології в таких сферах: точне повітряне внесення пестицидів і добрив, аерофотознімки, картографування полів посівів і моніторинг росту агрокультур.

Ефективність застосування агродронів пов'язана, перш за все, з оптимізацією збору інформації. Агровиробники можуть використовувати з цією метою дистанційне зондування. Це неінвазивний метод збору інформації шляхом вимірювання, запису та обробки відбитої або випромінюваної енергії від поверхонь. Однак супутникові та авіаційні зображення страждають від хмарних перешкод, а також від атмосферних спотворень. Крім того, супутникам бракує гнучкості, оскільки їх не можна швидко й легко мобілізувати, коли це необхідно. На противагу цьому безпілотні літальні апарати (БПЛА) можуть значно оптимізувати дистанційне зондування. На відміну від дистанційного зондування за допомогою супутників або пілотованих літальних апаратів, безпілотні літальні апарати є більш економічно вигідними, пропонують більш функціональні можливості, менше залежать від хмарного покриву, вони забезпечують кращу просторову та спектральну роздільну здатність [8].

Одна з переваг при використанні БПЛА – можливість зробити зйомку на різних висотах із використанням як спектральної камери, так і звичайної RGB. Можна зробити вибірккові обстеження окремих ділянок. RGB камера дає змогу обстежити поле візуально завдяки знімкам з високим рівнем роздільної здатності, зробленим з висоти 1-2 м. Можна, наприклад, підрахувати щільність сходів бур'янів і навіть оцінити тип забур'яненості [1].

Висока багатофункціональність дронів, в першу чергу, досягається завдяки датчикам і цифровим камерам, встановленим на дронах. За допомогою цифрових камер аграрії можуть виявляти шкоду, завдану посухою, градом, повеннями та дикими тваринами. Крім того, за останні більш ніж десять років дрони продемонстрували

зростаючу сумісність з іншими смарт технологіями. Спектральні зображення (мультиспектральні, гіперспектральні та теплові), отримані безпілотниками, можна використовувати для моніторингу здоров'я врожаю шляхом виявлення посухи та нестачі води, нестачі поживних речовин і присутності шкідників, бур'янів і хвороб. Крім того, безпілотники можуть допомогти аграріям при застосуванні пестицидів або топографічних дослідженнях (3D-картографування) полів [8].

Основні напрямки використання агродронів:

- збір інформації. Нині дрони вже можуть бути оснащені такими пристроями як камера та інші пристрої для збору даних, по суті забезпечуючи «око в небі» для сільгоспвиробників. Вони можуть допомогти в пошуку шкідників кормових культур або виявити ділянки з дефіцитом вологи, які потрібно полити для покращення виробництва.

- внесення різних речовин. Це, зокрема, добрива, засоби захисту рослин, вода. Наприклад, в Японії пестициди розпилюють на більшості рисових ферм саме за допомогою безпілотних вертольотів [8].

Однією з найбільш важливих складових точного землеробства є технологія змінної норми, відома як VRT. В рамках цієї технології добрива або хімікати застосовуються тільки в тих місцях і кількостях, в яких необхідно. Без VRT аграрії удобрюють із середньою нормою поперек поля, а тому деякі ділянки отримують недостатню кількість добрив, що приводить до зниження врожайності, в той час як інші частини поля отримують занадто багато добрив, а це – марне витрачання грошей і потенційна небезпека забруднення прилеглих водних шляхів.

У той час як аналіз ґрунту і картографування врожайності є стандартним методом для визначення кількості необхідних добрив, нові системи зондування забезпечують альтернативний і більш гнучкий метод визначення норм вхідних ресурсів. Ще в 1990-і роки, згідно проекту Міністерства сільського господарства США (USDA), дослідники Університету штату Оклахома вивчали проблему, як виміряти загальну кількість необхідних азотних добрив. Вчені знали, що відповідь залежить від біомаси врожаю – або рослинності в межах врожаю і що її варіації можуть змінюватися вздовж поля. Таким чином, вони розробили світлові датчики для вимірювання певних відображень і визначення «зеленості» врожаю, із зазначенням

величини біомаси. Потім отримані дані були використані для розрахунку необхідної кількості азоту. Цей успіх привів до широкого комерційного використання розроблених систем і значного скорочення використання азоту, який міг привести до забруднення місцевості та водних шляхів [4].

Нині різні системи зондування та датчики масово використовуються для визначення вмісту вологи, добрив, хімічних речовин у ґрунті.

Зокрема, за допомогою датчиків вимірюється така інформація, як вологість ґрунту, температура ґрунту, значення рН ґрунту, а також достатність добрив. Ці дані можна аналізувати за допомогою відповідного програмного забезпечення для аналізу даних, інтерпретуючи їх за допомогою штучного інтелекту. Завдяки програмному забезпеченню можна виконувати такі операції, як аналіз ґрунту, моніторинг здоров'я рослин, управління водою та добривами, визначення шкідників і хвороб.

З кожним роком число смарт інструментів, які можуть бути використані у польовому кормовиробництві, зростає. Наприклад, нещодавно на ринку з'явилися феромонні пастки для шкідників. Цифрова феромонна пастка T-Trap – це автоматизована технологія визначення шкідників на основі штучного інтелекту, яка забезпечує контроль над шкідниками в реальному часі.

Прикладом сучасних смарт інструментів є також датчики компанії VIA (Virtual Irrigation Academy), яка розробила набір зручних, недорогих і точних кольорових інструментів, призначених для дрібних сільгоспвиробників та іригаторів для більш ефективного та сталого управління використанням води та добрив. Ці датчики відомі як флагманська система Chameleon: закопаний у землю датчик світиться різними кольорами залежно від потреб ґрунту. Це дозволяє користувачеві зрозуміти, як усувати проблему та підтримувати посіви [10].

Перспективним використанням смарт технологій у польовому кормовиробництві є як для найбільших агрохолдингів, так і для невеликих агропідприємств. У джерелах підкреслюється, що точне землеробство стає доступним і ефективним при земельному банку від 500 - 1000 га.

При цьому для початку роботи з точним землеробством найкраще підходять просапні культури. В польовому кормовиробництві це, перш за все, кукурудза та кормовий буряк [11].

У наукових джерелах рекомендується поступовий перехід до розумного польового кормовиробництва. Першим етапом повинна бути побудова карти полів. Вона дасть змогу точно вирахувати обсяги потрібних затрат насіння кормових культур, пального, добрив, засобів захисту рослин. Особливо важливою побудова карти полів стає в умовах післявоєнного відновлення, адже за час війни площа кормових угідь українських сільгоспвиробників може бути значно змінена в результаті ракетних обстрілів, падіння уламків ракет чи бойових дронів, мінування та розмінування тощо.

У літературі описано не один десяток різних вегетаційних індексів, які можуть характеризувати окремі властивості стану рослин у полі. Розрахунки вегетаційних індексів базуються на різниці між тим, що рослина поглинає і що відбиває. І вже використовуючи математичні формули, у яких фігурують різні області видимого й невидимого оком спектрів, отримуємо численні вегетаційні індекси. З допомогою спектральних камер будують індексну карту – візуальне відображення обчисленої цифрової інформації [1].

В умовах побудови розумного польового кормовиробництва можливим є використання трьох способів отримання електронної карти полів:

- 1) об'їхати всі поля на автомобілі і занести дані в агрометр – спеціальний прилад типу GPS-навігатора, але суттєво точніший. Він забезпечує прив'язку координат до місцевості з точністю 4–5 метрів;
- 2) оцифрувати і правильно прив'язати супутникові знімки;
- 3) створення контуру полів за допомогою агродронів [12].

В будь-якому випадку результатом застосування смарт технологій стає нанесення на цифрову карту контурів поля, а також острівців несільськогосподарських земель у масиві полів, польових доріг тощо. В місцевостях з великими перепадами рельєфу необхідно створювати також цифрову модель рельєфу, адже за рахунок цього реальна площа поля може зрости на 1% і більше порівняно з даними повітряної зйомки. Об'єднання цифрової карти полів та (за потреби) цифрової моделі рельєфу є першим етапом впровадження розумного польового кормовиробництва. Адже техніка, яка працює за технологією точного землеробства, повинна в своїй роботі максимально враховувати контури полів.

На другому етапі впровадження смарт технологій фахівці рекомендують зосередитися на паралельному водінні та

відпрацюванні руху по полю. Впровадження GPS-навігації забезпечує точний рух по міжряддях або визначених технологічних коліях, що зводить до мінімуму витоптування рослин. Тільки за рахунок уникнення перекриттів та пропусків завдяки паралельному водінню можна заощадити 5–10% затрат [12].

Для забезпечення паралельного водіння можуть використовуватися курсовказівник чи автопілот із РТК - сигналом, сервіс чи власна РТК - станція. Якщо РТК - сигнал потрібен більш як п'яти машинам одночасно – вигідніше встановити власну станцію. Радіус її сигналу – 30 км. Так, для підприємства з земельним банком у 20 тис. га досить буде придбати одну або дві такі станції. Якщо ж ділянка знаходиться в «ямі» і сигналу там немає, можна застосувати мобільну станцію. Вона ловить сигнал зі стаціонарної, і роздає його локально. При обробці ґрунту зазвичай вистачає паралельного водіння навіть на безкоштовному сигналі, завдяки чому усуваються перекриття і пропуски. Це дозволяє істотно заощадити на зносі техніки, часі проведення операцій, паливі [11].

На третьому етапі варто перейти до посекційного відключення обприскувачів: або купити машини з такою можливістю, або переобладнати існуючі. Починати диференційоване внесення саме з засобів захисту рослин фахівці радять:

- по-перше, через те, що пестициди досить дорогі, відповідно, економічний ефект від посекційного відключення буде вищим, ніж від економії насіння чи добрив завдяки точному землеробству. Економічний ефект від переобладнання обприскувачів залежить від ширини штанги і форми поля. За ширини захвату обприскувача 36 м на полях найскладнішої форми економія може досягати 23%, тоді як економія після переобладнання сівалки під індивідуальне відключення сошників – усього 2-3%;
- по-друге – це навіть дешевше, ніж переобладнання сівалки під диференційований висів. Найчастіше проводять переобладнання під можливість посекційного відключення МТЗ з причіпним обприскувачем, і це коштує загалом близько \$6000 [12].

Ключове завдання з переобладнання обприскувачів – це відключення секцій на перекриттях, оскільки вони не лише збільшують витрати засобів захисту рослин (ЗЗР), а й шкодять посівам і, відповідно, зменшують врожайність. Автоматичне відключення секцій обприскувача економить від 10% до 20% ЗЗР

залежно від геометрії та рельєфу полів. У полі обприскувач без автопілота і без їзди по міжряддю витоптує до 3% врожаю. Виходить, що один тільки автопілот з РТК - сигналом, відпрацьований посів і внесення по міжряддю рятують врожай кукурудзи на 100 га поля на суму \$3000 [11].

На другий чи третій рік впровадження точного польового кормовиробництва, коли механізатори навчилися користуватися автопілотами, курсовказівниками, їздити по паралельних лініях, доцільно переходити до четвертого етапу впровадження точного землеробства – переходу на диференційовані сівбу і внесення добрив, що також передбачає контроль цих операцій. Крім того, для цього потрібна велика кількість інформації, зокрема, цифрова модель рельєфу, історична карта продуктивності по будь-якому полю на основі супутникових даних. Та й ефективність від цих заходів не така висока, як від відключення секцій і форсунок на обприскувачах. До того ж, якщо паралельне водіння і навігація по GPS не відпрацьовані, ця ефективність може бути зведена нанівець.

Економічний ефект від диференційованої сівби, наприклад, від змінної густоти висіву, не дуже великий. Так, за даними компанії «Лімагрейн», зміна густоти сівби кукурудзи до оптимальної, яка, відповідно рекомендацій компанії, становила на різних ділянках одного поля від 73 до 100 тис. шт./га, забезпечувала підвищення прибутковості в Україні максимум на 2%, в Європі – максимум на 6%. Але й це, за словами представників «Лімагрейн», забезпечило кількаразову окупність вкладень. Водночас важливо пам'ятати, що економічний ефект, наприклад, від зміни густоти сівби спостерігається тільки на різнорідних полях, а на однорідних змінювати її немає сенсу [22].

Найпростіша «розумна» опція при посіві кормових культур – можливість відімкнення секцій сівалки на перекриттях. Якщо поля неправильної форми, то ця опція забезпечить економію в 2-3% посівного матеріалу. Оскільки підприємство отримає коректні дані про кількість посіяних зерен, на площі в 1000 га це дозволить не лише заощадити \$5000 на посівній одиниці, але й дасть точну інформацію для списання ТМЦ не за стандартною нормою, а за фактичними даними. Крім того, в ході переобладнання можна встановити поліпшені висівні апарати, що підвищить якість та швидкість посіву. І це без урахування збільшення врожайності внаслідок поліпшеного розподілу зерен у ґрунті [11].

Диференційоване внесення добрив передбачає наявність датчиків, які регулярно зважують добрива, що знаходяться в розкидачі, і моніторять їх витрату, а це ще й допомагає виявити крадіжки. Однак впровадження диференційованого внесення вимагає агрохімічного аналізу, який включає 2 компоненти: аналіз ґрунту та аналіз рослинності на симптоми дефіциту поживних елементів. Цей аналіз можна проводити як по сітці, так і лише в проблемних зонах, які в точному землеробстві можна виявити дистанційно: з супутника або з безпілотної літачки. В першому випадку моніторинг здійснюється на основі супутникових знімків, які оновлюються кожні кілька днів, якщо, звичайно, в момент прольоту супутника над конкретним полем над ним не було хмар. Моніторинг за допомогою безпілотної літачки дає змогу виконати карту для диференційованого живлення за два дні: в перший над полем літають дрони, виявляють проблемні зони, в яких відбирають рослинні зразки, на другий день виконується аналіз рослинних зразків у стаціонарній лабораторії.

Під час аналізу ґрунту можна вимірювати не тільки вміст поживних елементів, а й щільність та виявляти ґрунтові відміни. А на основі вимірювання щільності – виявляти зони, де необхідне глибоке розпушування.

Для вимірювання щільності в розумному польовому кормовиробництві можливим є застосування інструменту Topsoil-Meter, який проводить зонування поля по трьох показниках: гранулометричний склад, відносна вологозабезпеченість у метровому шарі і глибина початку залягання підплучної підшви. Товщину підплучної підшви вимірюють пенетрометром.

Глибоке розпушування не вимагає складного переобладнання агрегатів, тому його можна виконувати вже з самого початку впровадження точного землеробства. Єдине, що практика вимагає встановити на сільгосптехніці перед виконання глибокого розпушування, – це датчик глибини розпушування, одна частина якого встановлена на кабіні трактора, інша – на робочих органах розпушувача [12].

Таким чином смарт технології в польовому кормовиробництві – це застосування сучасних інтелектуальних технологій (*збору інформації, аналізу даних, технології для управління, прийняття рішень та виконання прийнятих рішень тощо*) та смарт інструментів (*агродрони, супутниковий моніторинг, метео-сканери, візуальні камери, супутникові системи, результати аерофотозйомки, методи*

штучного інтелекту, нейромережі, тощо) при вирощуванні кормових культур на орних землях для ефективної адаптації до змін навколишнього середовища та отримання стабільних врожаїв та оптимізації витрат, підвищення продуктивності рослин. В результаті використання смарт технологій досягається не лише економічний, але й екологічний ефект, що особливо важливо на сучасному етапі розвитку суспільства.

РОЗДІЛ II

ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ СМАРТ ТЕХНОЛОГІЙ В ПОЛЬОВОМУ КОРМОВИРОБНИЦТВІ ВИСОКОРОЗВИНЕНИМИ КРАЇНАМИ

Досвід зарубіжних держав свідчить про перспективи використання смарт технологій у сільському господарстві в цілому і в польовому кормовиробництві зокрема. Ці перспективи пов'язані не лише з досягненнями науки і техніки, але й зі стимулюванням впровадження агро смарт технологій у практику роботи фермерських господарств за кордоном, розробкою відповідного законодавства тощо.

Одним з найбільш популярних смарт інструментів у польовому кормовиробництві зарубіжних держав виступають агродрони. Слід зазначити, що ще в 1983 році Японія була першою країною, яка спробувала використовувати дрони для внесення добрив з розробкою системи повітряного розпилення з дистанційним керуванням. Це сприяло збільшенню в Японії посівів рису, сої та пшениці, їхні врожаї зросли.

У 1990 році Yamaha розробила вертоліт R50UAS, який мав корисне навантаження в 44 фунти. Згодом, у 1997 році, був розроблений R-MAX (безпілотний вертоліт). До 2000 року він був оснащений азимутальною та диференціальною глобальною системою позиціонування сенсорної системи. В даний час в Японії 90 відсотків захисту врожаю досягається за рахунок використання дронів.

Досвід Японії свідчить про найбільшу ефективність використання дронів для внесення під кормові культури поживних та мінеральних речовин і ЗЗР за таких умов:

- невеликі розміри агропідприємств. Так, в Японії середній розмір ферми становить 3,7 акра (1 акр = 0,405 га);
- нерівномірність полів та рельєфу;
- густе проростання кормових культур.

Внесення води, добрив і пестицидів з повітря вважається оптимальним для полів з вузькими рядами культур і відносно горбистою місцевістю, оскільки це може бути перешкодою для використання тракторів [13].

З цих причин прийнятність і використання технології безпілотних літальних апаратів в Японії становить близько 70% і,

отже, набагато вище, ніж у США, які також є дуже сприятливими для технологій, приблизно на 40%. У США сільськогосподарські угіддя є великими та структурованими, і через величезну площу землі зазвичай розташовані в легкодоступній місцевості.

Досвід зарубіжних держав свідчить, що безпілотники мають економічну перевагу при зйомці зображень на полях розміром до 20 гектарів, але на великих вони економічно менш вигідні (рис. 2.1).

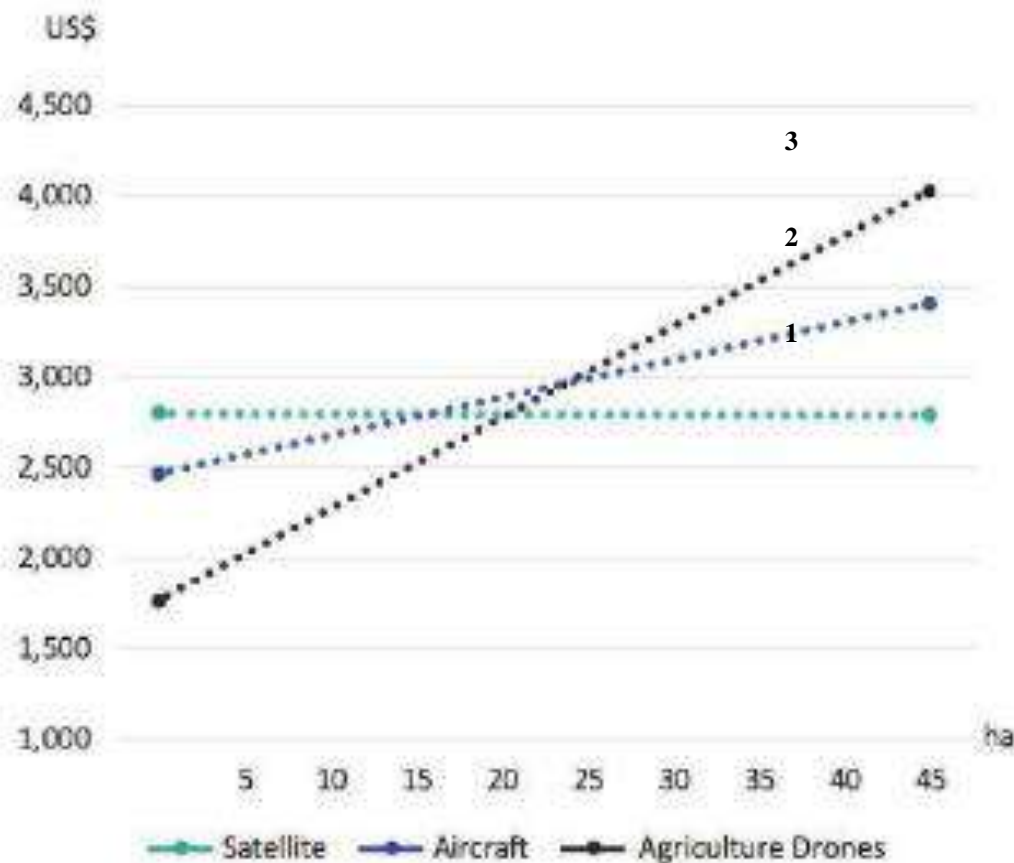


Рис. 2.1. Порівняння вартості знімків із супутників (1), літаків (2) і сільськогосподарських дронів (3) залежно від площі поля [9].

В США агродрони використовуються в контексті управління фермами точного землеробства та для підвищення якості врожаю при збереженні або зменшенні вкладу у виробництво. Однак у Японії технологія дронів є рішенням проблем продуктивності.

У великих, роздроблених країнах Східної Європи, з одного боку, часто існує велика машинна технологія, як у США. Німеччина містить переважно дрібномасштабні культивовані площі, але вона має розгалужену високотехнологічну сільськогосподарську економіку, яка вже дає дуже високі врожаї. Тут більше уваги приділяється ресурсозбереженню та екологічному управлінню землею [9].

Поширення технології агродронів спостерігається переважно в тих державах, сільськогосподарські угіддя яких мають нерівномірний рельєф, а сільгосппідприємства є середніми або дрібними за площею угідь.

Європейські держави нині стимулюють розвиток смарт технологій, зокрема використання агродронів. Так, Федеральне міністерство продовольства та сільського господарства Німеччини у 2018 році надало близько мільйона євро на подальше тестування, вдосконалення та просування впровадження та застосування дронів та інших цифрових технологій у сільському господарстві. Так само Департамент політики структурної політики та політики згуртованості Європейського Союзу очікує, що цифрові технології, такі як безпілотники, дадуть початок абсолютно новим методам ведення сільського господарства та значною мірою трансформують сільськогосподарський сектор у Європейському Союзі [8].

У Європі дрони наразі переважно використовуються як неінвазивний метод для збору інформації про конкретні об'єкти за допомогою камер і датчиків, встановлених на дроні. Через законодавчі обмеження вони не широко використовуються для точкового обприскування або внесення добрив, за винятком застосування *Trichogramma spp.* для боротьби з кукурудзяним метеликом (*Ostrinia nubilalis*) у деяких країнах. Однак, використовуючи цифрові камери, фермери можуть задокументувати шкоду, завдану дикими тваринами, посухами та штормами з градом, для отримання страхових відшкодувань або використовувати їх для відстеження сільськогосподарських тварин. Крім того, за допомогою спектральних зображень фермери можуть виявити стрес рослин через брак поживних речовин, води або посухи, а також наявність шкідників, бур'янів і хвороб. Зібрану спектральну інформацію з безпілотних літальних апаратів можна далі обробити в карти, які можуть керувати точним внесенням добрив або пестицидів за допомогою додаткових технологій точного землеробства (наприклад, аплікатори та розпилювачі добрив із змінною нормою внесення) або планувати процедури зрошення [14].

Китай використовує БПЛА в сільському господарстві з 2010 року. Після 10 років швидкого розвитку 70 344 БПЛА використовувалися в Китаї для захисту рослин, і до 2020 року вони обробляли 14,48 мільйона гектарів орних угідь. Застосування пестицидів є одним із найпоширеніших видів використання БПЛА в

китайському сільському господарстві. Дані летальні апарати обладнані баками, можуть літати над полями на низькій висоті для забезпечення рівномірної швидкості внесення пестицидів і можуть обробляти 20–33 гектари на день, що в 30–60 разів швидше, ніж ручне обприскування. Інтелектуальна система розпилення БПЛА робить застосування пестицидів більш точним і зменшує витрати пестицидів. Крім того, безпілотні летальні апарати можуть долати рельєфні бар'єри та використовуватися в горбистих або гірських регіонах Китаю.

У 2017 році Китай запустив загальнонаціональні субсидії на закупівлю сільськогосподарської продукції в шести провінціях, щоб сприяти використанню безпілотних летальних апаратів в сільськогосподарському виробництві. Сільськогосподарські кооперативи та організації захисту рослин мали право подати заявку на ці субсидії та могли отримати субсидію в розмірі до 30% від закупівельної ціни БПЛА, при цьому максимальна сума субсидії не перевищувала 4370 доларів США. Субсидії на придбання сільськогосподарських БПЛА мали великий вплив на використання, і їх кількість значно зросла з 2017 року. Враховуючи невеликий розмір ферм у Китаї, для окремих фермерів економічно не вигідно мати безпілотні летальні апарати. Тому деякі сільськогосподарські компанії з та організації захисту рослин надають послуги з обприскування БПЛА на фермах, що стало популярним і призвело до величезного попиту на ринку. Ціни на послуги обприскування (вартість праці та обладнання) коливаються від 15 до 30 доларів США за гектар залежно від типу культур і топографії (2022). Окрім субсидій на купівлю, деякі провінції також частково субсидують послуги розпилення БПЛА на основі сукупної площі операцій БПЛА. Наприклад, у провінції Гуандун субсидії на послуги з розпилення пестицидів БПЛА коливаються від 32 до 43 доларів США за гектар (2022) [15].

Активному впровадженню агродронів у сільському господарстві і зокрема польовому кормовиробництві розвинених країн сприяє відповідна підтримка держави, зокрема щодо наукових досліджень і практичного впровадження смарт технологій.

Знаком визнання важливості та перспективності використання безпілотних літальних апаратів в агробізнесі стало також те, що Міністерство сільського господарства США останнім часом почало координувати роботу з їх вивчення. Наукові проекти мають на меті

проведення наукових досліджень для отримання повної інформації, яка допомогла б фермерам оцінити різні технології безпілотних повітряних систем і запропонувала стратегію підвищення їх прибутковості. Так, одним з нещодавніх проєктів, профінансованих Міністерством сільського господарства США (USDA), було дослідження Університету Міннесоти щодо використання безпілотних літальних апаратів для виявлення шкідників і хвороб, які знижують урожайність сої. В результаті доведено, що подібно до технології змінної норми внесення добрив (VRT), безпілотні літальні апарати можуть дозволити виробникам скоротити використання пестицидів, розпорошуючи їх тільки в тих областях, де є ознаки захворювання [4].

Незважаючи на численні можливості використання агродронів, в розвинених державах світу вони також викликають занепокоєння щодо конфіденційності та безпеки. Це пов'язано з тим, що були випадки використання безпілотних літальних апаратів для вторгнення в приватне життя шляхом шпигунства за окремими особами, а також є занепокоєння з приводу того, що безпілотні літальні апарати можуть стати причиною аварій або використовуватися для нечесних цілей, таких як контрабанда до в'язниць або завдання шкоди критичній інфраструктурі. Щоб вирішити ці проблеми, уряди в усьому світі запроваджують правила, які регулюють використання дронів. Ці правила можуть містити вимоги щодо ліцензування пілотів, обмеження висоти та відстані, на якій можуть літати дрони, а також обмеження на використання дронів у певних місцях, наприклад поблизу аеропортів або над густонаселеними територіями [16].

Використання дронів у сільському господарстві стрімко поширюється у рослинництві, системах раннього попередження, зменшення ризику стихійних лих, лісовому господарстві, рибальстві, а також у збереженні дикої природи. У рослинництві, а відтак і в польовому кормовиробництві, точне землеробство поєднує дані датчиків і зображення з даними в реальному часі, формується аналітика для підвищення продуктивності агропідприємств за допомогою картографування просторової мінливості в полі. Дані, зібрані під час вильотів безпілотників, забезпечують необхідну кількість необроблених даних для побудови аналітичних моделей для сільського господарства. Підтримуючи точне землеробство, дрони в розвинених державах оздоровлюють ґрунт, проводять сканування, моніторинг здоров'я посівів, допомагають в плануванні графіків

поливу, внесення добрив, оцінюють дані про врожайність та надають цінні дані для аналізу погоди [17].

Незважаючи на труднощі та недоліки роботи агробезпілотників, ринок стабільно розвивається. Так, за прогнозами Global Market Insights, в 2024 році обсяг світового ринку сільськогосподарських безпілотних літальних апаратів перевищить \$ 4,4 млрд [18].

Національна асоціація сільськогосподарської авіації США (НААА) роз'яснила деякі суперечливі моменти пов'язані з використанням технологій БПЛА (агродронів).

Внесення добрив за допомогою літаків є найшвидшим методом внесення добрив. Щороку пілоти в США обробляють близько 51,4 млн га орних земель, що становить 28% усіх комерційних орних земель в країні. Відносно невелика кількість пілотів здійснюють ці польоти, використовуючи сільськогосподарські літаки, які вміщують від 378 л до 3028 л добрив, пестицидів чи гербіцидів.

Натомість, агродрони не мають співставного корисного навантаження чи швидкості (145-241 км/год) з якою переміщаються сільськогосподарські літаки під час внесення добрив. Великий розмір бункера і висока швидкість сільськогосподарських літаків, дозволяють їм обробляти до 3000 га на день (один літак).

Продуктивність дронів здебільшого підходить малим господарствам. Так БПЛА є популярним засобом для обробки рослин в Японії, де середній розмір ферми становить близько 2 га (в США 178 га). Тож коли йдеться про своєчасну, економічну та ефективну обробку великих площ орних земель для боротьби зі шкідниками, БПЛА не здатні впоратись з проблемою.

Сільськогосподарські літаки оснащені GPS, системою зміни норми внесення, технологією точного внесення та іншими можливостями, що робить внесення щонайменше таким само технологічно складними, як і БПЛА. Виробники дронів рекламують деякі технології (такі як GPS та системи електростатичного розпилення) як унікальні для галузі, та кожна технологія доступна на дронах, використовується і при авіаційному внесенні препаратів. Більше того, пілотовані сільськогосподарські літаки мають технології, які не зустрічаються на багатьох дронах, такі як моніторинг погодних умов, контроль витрати як рідких, так і сухих препаратів, системи скорочення довжини штанги в польоті для зменшення зносу, а також технологію широтно-імпульсної модуляції, яка може забезпечити контроль витрати, тиску та вимкнення кожної

окремої форсунки, що значно підвищує ефективність та точність внесення.

Внесення добрив та засобів захисту рослин за допомогою сільськогосподарських літаків може виконуватися вночі. Нічні польоти проводяться з використанням вискоефективних систем освітлення чи окулярів нічного бачення. 7% внесень за допомогою літаків проводиться після настання темряви (загальна площа 769 тис га).

Немає ніяких доказів того, що агродрони більш ефективно використовують препарати та втрачають меншу кількість засобів захисту рослин через зноси. Великі літаки важать більше і займають більше фізичного простору, тож витісняють більше повітря, завдяки чому продукт що вноситься, потрапляє глибоко під полог посівів, забезпечуючи краще покриття органів рослин.

Ефективність літаків підтверджують дослідження урядових агенції, які вивчали як препарати розсіюються залежно від типу форсунок, розміру літака, швидкості польоту, вихорів, швидкості вітру, температури, довжини штанги, розміру крапель та багатьох інших факторів. Ці моделі можливо застосувати тільки до традиційного повітряного внесення (за допомогою гвинтових вертольотів, або одnogвинтових літаків, що рухаються на високих швидкостях), але не для мультироторних безпілотників, які рухаються набагато повільніше та важать набагато менше.

Норми використання більшості засобів захисту рослин для повітряного внесення не розповсюджуються на внесення дронами. Надійніше вносити за допомогою БПЛА спеціальні препарати, які розроблені для цього. Розрахунок зносу більшості токсичних препаратів виконувався з розрахунку внесення пілотованими літаками. Багато виробників засобів захисту рослин лише працюють над створенням власних рекомендацій щодо використання препаратів при внесенні дронами [18].

Незважаючи на ці проблеми, Міжнародні організації стимулюють використання смарт технологій, як в розвинених державах, так і в країнах, що розвиваються. Наприклад, у 2012 році Міжнародний дослідницький інститут рису (IRRI) разом із приватним партнером sarfar ініціював проект під назвою «Інформація на основі дистанційного зондування та страхування культур у країнах, що розвиваються (RIICE)». Проект фінансувався Швейцарським агентством розвитку та кооперації (SDC) і базувався на механізмі

державно-приватного партнерства, був спрямований на зменшення вразливості дрібних фермерів, які займаються виробництвом рису. Географічний обсяг Фази-I (2012–2015) цього проекту охоплював шість цільових країн, розташованих у Південній Азії та на Південному Сході Азії, а саме Королівство Камбоджа, Республіка Індія, Республіка Індонезія, Республіка Філіппіни, Королівство Таїланд і Соціалістична Республіка В'єтнам.

На етапі II (2015–2017 рр.) було розширено зони реалізації проекту в Королівстві Камбоджа, Королівстві Таїланд, Соціалістичній Республіці В'єтнам, Республіці Індія. У 2014 році було започатковано нову організацію «Філіппінська інформаційна система рису (PRISM)», що фінансувалася Департаментом сільського господарства Республіки Філіппіни до кінця 2017 року.

Фаза III проекту тривала в Королівстві Таїланд, Королівстві Камбоджа, Соціалістичній Республіці В'єтнам, Республіці Індії та Республіці Індонезія з 2017 по 2019 роки.

Ці ініціативи супутникового моніторингу рису (SRM) інтегрували дистанційне зондування, інструменти моделювання та ІКТ для створення та надання точної інформації майже в реальному часі щодо росту рису, врожайності, а також на шкоди, спричиненої абіотичними та біотичними стресами [17].

Реалізований проект дав багатообіцяючі результати в усіх країнах. З точністю понад 85 відсотків, у 2016 році було проведено моніторинг понад 24,5 мільйонів гектарів рису. Створена система моніторингу рису допомагає урядам краще управляти вітчизняним ринком, виробництвом та розподілом рису, що призводить до зниження вразливості дрібних фермерів та підвищення продовольчої безпеки.

Окремі комерційні структури сьогодні вносять значний внесок в розвиток смарт технологій у польовому кормовиробництві. Перш за все, це стосується вирощування кукурудзи як основної кормової культури.

На ринку розвинених держав присутня інноваційна система Preceon Smart Corn System, що складається з низькорослих гібридів кукурудзи, індивідуальних агрономічних рекомендацій і цифрової інформації FieldView, що допомагає фермерам захистити й оптимізувати потенціал врожайності культури. Представляючи систему Preceon Smart Corn System, компанія Bayer змінює майбутнє польового кормовиробництва. Пропонована нею система допомагає

аграріям захистити урожай і оптимізувати прийняття рішень протягом сезону для стабільного успіху.

Розумна кукурудзяна система Preceon починається з трьох взаємодоповнюючих компонентів, які, застосовуючи разом, допомагають аграріям краще керувати ризиками та розширюють можливості для захисту врожайності та потенціалу прибутковості:

- низькорослі гібриди кукурудзи є основою системи Preceon Smart Corn. Ця інновація розроблена для того, щоб забезпечити захист від втрати врожаю через підвищену стійкість до вилягання за сильних вітрів та складних погодних умов;
- доступ протягом усього сезону для своєчасного й точного внесення засобів захисту рослин та інших засобів за допомогою стандартного наземного обладнання. Потенціал росту врожайності реалізується завдяки збільшеній можливості оптимізації внесення культур, норм висіву та розміщення в полі;
- цифрова інформація FieldView™, що допомагає аграріям максимізувати результати за допомогою індивідуальних рекомендацій щодо розміщення поля та норм висіву. Фермери можуть отримувати розширені рецепти щодо змінної норми висіву, поділившись межами своїх полів, цільовою врожайністю по полю та дворічними історичними даними про врожайність на платформі FieldView.

Індивідуальна підтримка від компанії Bayer та партнерів-дилерів забезпечує аграріям консультації для максимального використання системи Preceon Smart Corn. Ексклюзивна група аграріїв у програмі польових випробувань Ground Breakers в 2023 отримала персоналізоване практичне обслуговування, а також регіональні агрономічні рекомендації та передовий досвід.

Bayer розширила випробування Preceon Smart Corn System у 2023 році за допомогою польових випробувань Ground Breakers на понад 30 000 акрів. Зворотній зв'язок від понад 280 фермерів-учасників був дуже важливим для вдосконалення системи в майбутньому. У 2024 році Bayer розраховує на комерційне впровадження в США [19].

Таким чином, можливості та багатофункціональність дронів забезпечують кілька різних сфер застосування інформації, зібраної дронами, у сільськогосподарському виробництві та пропонують як економічні, так і екологічні вигоди для фермерів [14]. Ці вигоди

розуміють і в розвинених державах світу, і в державах, що розвиваються.

Асоціація NAAA схвально висловлюється щодо використання БПЛА у сільському господарстві (для внесення добрив, задач моніторингу чи інших цілей). Експерти підкреслюють, що агродрони безсумнівно можуть бути корисним інструментом для аграріїв, однак наразі ця технологія лише розвивається. Важливо, щоб нині внесення засобів захисту рослин за допомогою дронів-обприскувачів відповідало нормам безпеки та ефективності [18].

Також перспективним вважається й застосування інших смарт технологій (дистанційне зондування, діагностика складу та якості земель тощо). Очікується, що їх використання в польовому кормовиробництві сприятиме збільшенню продуктивності кормових культур і підвищенню їхньої якості.

РОЗДІЛ III

ОБГРУНТУВАННЯ ПОТРЕБИ ІНВЕСТИЦІЙ ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ СМАРТ ТЕХНОЛОГІЙ В ПОЛЬОВОМУ КОРМОВИРОБНИЦТВІ НА ПРИКЛАДІ ГОСПОДАРСТВА

Зважаючи на результати наукових досліджень та світовий досвід, для українських підприємств у галузі польового кормовиробництва основним напрямком оптимізації діяльності нині можна вважати впровадження смарт технологій та перехід до точного землеробства.

Для цього необхідно, перш за все, розробити відповідну стратегію та плани щодо впровадження смарт технологій у процес вирощування кормових культур. На цьому етапі сільськогосподарські підприємства мають два варіанти дій:

1) розробка відповідних планів силами власного менеджменту. Такий шлях можливий для великих та частини середніх сільгоспідприємств, що мають у своєму кадровому складі кваліфікованих працівників з досвідом впровадження смарт технологій, або ж можуть собі дозволити залучення таких працівників, заробітна плата яких порівняно висока;

2) звернення до спеціалізованих компаній, що надають відповідні послуги (наприклад, ТОВ «ФРЕНДТ» з центральним офісом у м. Вінниця). Такі підприємства забезпечують послуги комплексного впровадження точного землеробства індивідуально під окремі агрогосподарства: проводять аудит наявної техніки, визначають альтернативні варіанти цифровізації польового кормовиробництва, підбирають та реалізують відповідну техніку, навчають персонал роботі на новій техніці та за новими технологіями тощо.

Останній варіант у багатьох випадках доцільніший, адже він забезпечує дійсно професійний підхід до вирішення проблеми, а також швидкість переходу до точного землеробства за рахунок того, що над цим завданням працює ціла команда спеціалістів. Але це потребує додаткових витрат на оплату консультаційних послуг.

Як уже було зазначено вище, найбільш перспективними кормовими культурами для впровадження точного землеробства, яке базується на смарт технологіях, є просапні культури, зокрема кукурудза та кормовий буряк. Саме при їх вирощуванні можна

очікувати на найбільший ефект від застосування смарт технологій. Про актуальність оптимізації технології їх вирощування свідчить також роль цих сільгоспкультур у польовому кормовиробництві.

Так, згідно статистичних даних за 2023 рік (Додаток А) на території України посівні площі під кормовою кукурудзою склали 194,1 тис. га (15% усіх кормових угідь), а під кормовим буряком – 156,5 тис. га (12% кормових угідь).

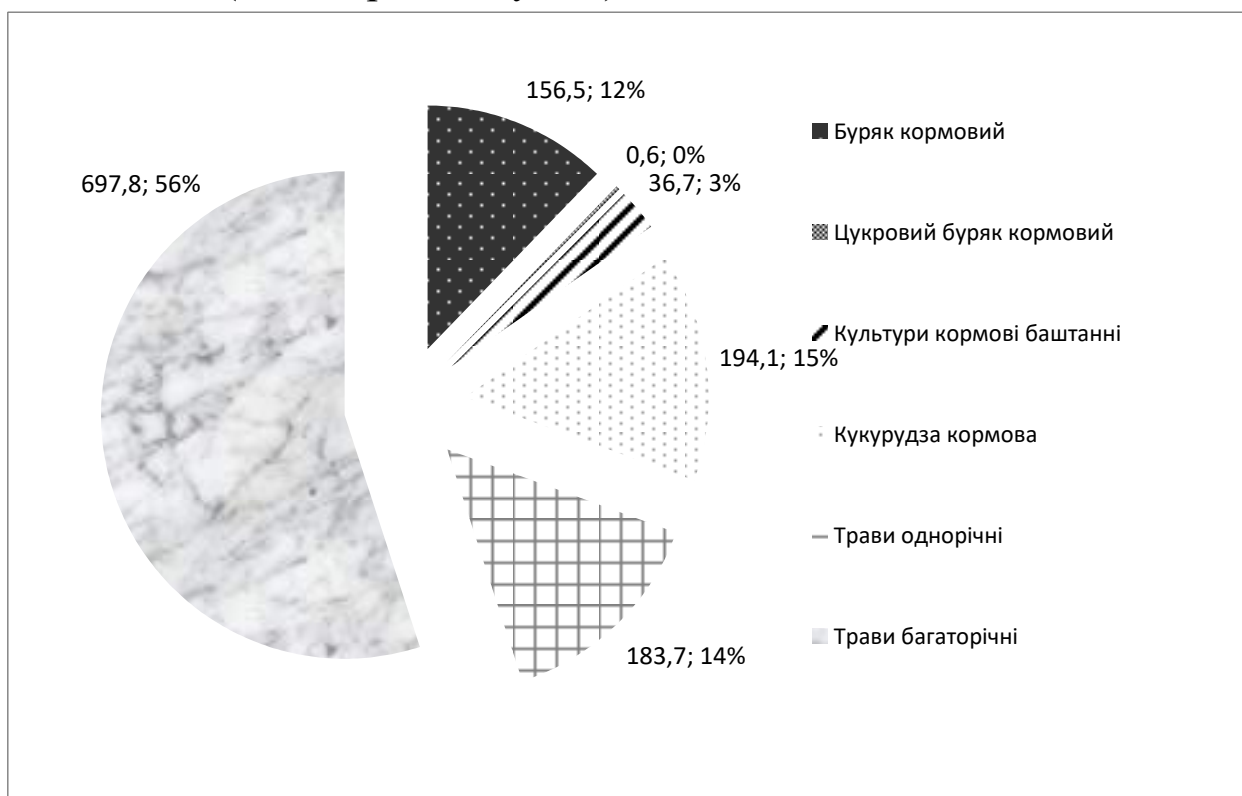


Рис. 3.1. Структура посівних площ під кормовими культурами в Україні в 2023 році, тис. га

Джерело: побудовано автором з використанням даних Державної служби статистики України [20].

При цьому валовий збір кукурудзи був найбільшим серед усіх кормових культур і складав 64658,5 тис ц. Вирощування кормових буряків забезпечило в 2023 році валовий збір в обсязі 48296,7 тис. ц. З рис. 3.2 видно, що саме ці культури є основними у польовому кормовиробництві України.

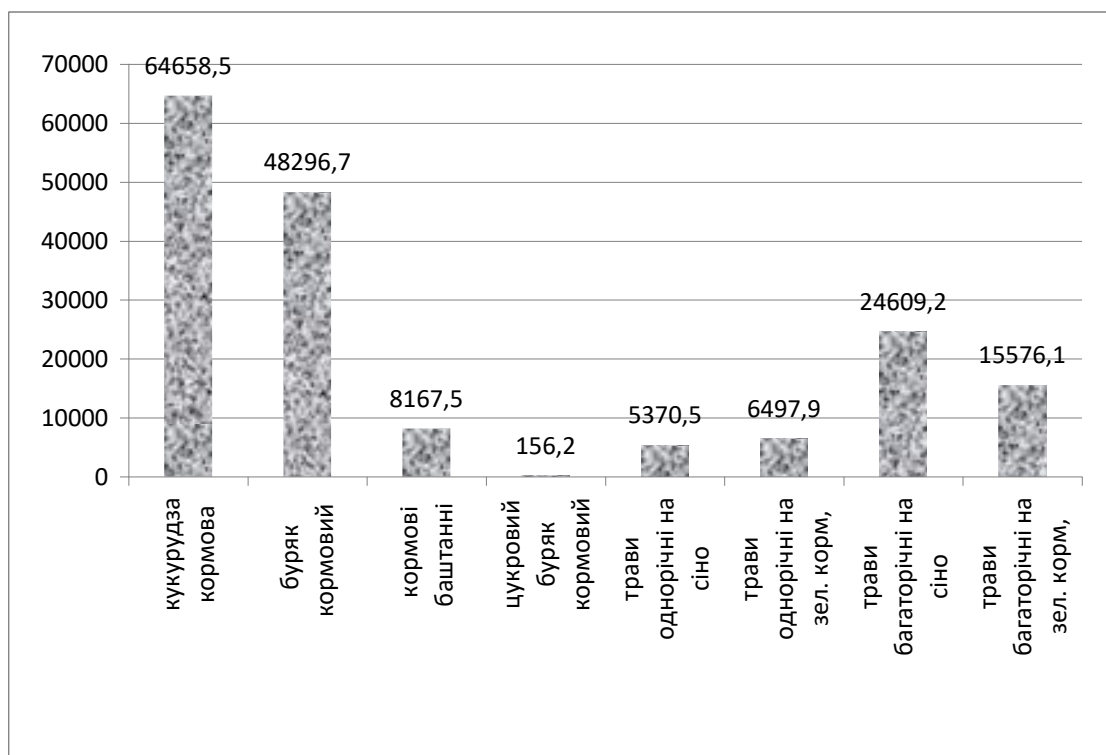


Рис. 3.2. Валовий збір кормових культур в Україні в 2023 році, тис. ц

Джерело: побудовано автором з використанням даних Державної служби статистики України [20].

Але особливістю їх вирощування є розподіл та типами господарств: тоді як господарства населення вирощують переважно кормові буряки, сільгоспідприємства – переважно кормову кукурудзу (рис. 3.3).

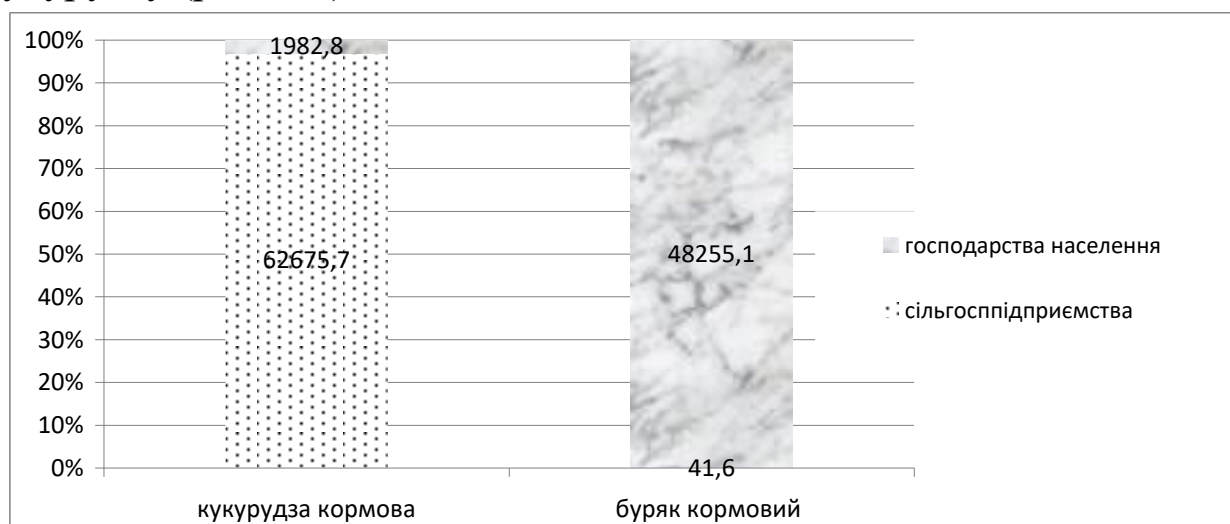


Рис. 3.3. Структура валового збору кормових культур за типами господарств у 2023 році, тис. ц

Джерело: побудовано автором за даними Державної служби статистики України [20].

Тому доцільно розглянути перспективи впровадження смарт технологій у вирощування саме кормової кукурудзи, адже господарства населення не мають таких можливостей цифровізації агротехнологій, як сільгосппідприємства.

Впровадження системи точного польового кормовиробництва на основі смарт технологій потребує відповідних інвестицій та змін у поточних витратах сільгосппідприємств. Весь процес переходу на точне польове кормовиробництво передбачає кілька етапів. Першим серед них є побудова цифрової карти полів та (за наявності різких перепадів рельєфу) цифрової моделі рельєфу. На цьому етапі можна знову ж таки скористатися власними ресурсами або ж замовити відповідні послуги у спеціалізованих компаній. Створення електронних карт полів можна проводити різними методами, кожен з яких має певні недоліки (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Вибір методу побудови електронних карт полів

Метод	Переваги	Недоліки
Прив'язка до супутникових карт	Економія витрат на об'їзд полів	Значна похибка (10 і більше метрів), витрати часу та праці спеціалістів
Застосування GPS-агрометрів	Порівняно менша похибка (близько 5 метрів), відносна швидкість	Придбання GPS-агрометра. Витрати паливно-мастильних матеріалів на об'їзд полів
Використання дронів	Мінімальна похибка (від 10 сантиметрів до 5 метрів), відносна швидкість	Придбання агродрона, навчання персоналу
РТК антена на сільгосптехніці	Точність запуску 2,5 – 3 сантиметра. Відстань між точками 11 метрів. Заміри можуть проводитися під час виконання технологічних операцій	Витрати часу та паливно-мастильних матеріалів на об'їзд полів. Не завжди можливе застосування через загрозу пошкодження культур

Джерело: сформовано автором з використанням даних [21].

Отже, перший метод є недоцільним, оскільки має низьку точність, що може звести нанівець усі переваги цифровізації та

переходу до точного землеробства. Найбільш точними є два останні методи: використання дронів або РТК - антен на сільгосптехніці.

Дрони забезпечують досить швидкий результат, але при цьому виникають відповідні інвестиційні витрати, що включають у себе:

- 1) вартість дрона;
- 2) витрати на навчання персоналу.

Характеристики дронів, що можуть використовуватися для моніторингу та картографії, наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Характеристики дронів українського виробництва
для моніторингу та картографії

Агродрон	Технічні характеристики	Вартість, грн.
DroneUA PD1900	Політний час 100 хв - 1500 га площі	від 80 170
ITEC SKIF NDVI	Політний час 120 хв - 1900 га площі	від 500 000
SkyHunter MD-1	Політний час 120 хв - 600 га з роздільною здатністю 5-8 см на піксель і 1200 га з роздільною здатністю 15 см на піксель	від 69 000
VTOI HAWK	Політний час 60 хв - 1000 га площі	від 168 000
Flirt Arrow	Політний час 90 хв - 1500 га площі	від 500 000

Джерело: сформовано автором з використанням джерел [22].

Навчання персоналу для роботи з дронами може проводитися спеціалізованими компаніями. Наприклад, QUADRO.ua надає такі послуги для навчання персоналу різного рівня: початковий, стандартний, розширений, професійний.

Для спеціалістів агрокомпаній доцільним є професійний рівень навчання. Витрати на таке навчання представлені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Витрати на навчання пілотів дронів

Вид навчання	Вартість навчання
Групове (від 2 до 8 осіб)	16 000 грн.
Індивідуальне	24 000 грн.

Джерело: сформовано автором з використанням джерел [23].

Інвестиційні витрати на придбання дрона для моніторингу та картографії складуть від 70 до 500 тис. грн. Витрати на навчання пілота дрона – від 16 до 24 тис. грн. Специфічне навчання роботи з конкретним БПЛА, як правило, передбачається при купівлі самого дрона і не передбачає додаткових витрат покупця.

Для агропідприємств доцільно враховувати, що агродрони можуть виконувати й інші завдання. Тому вибір БПЛА потрібно проводити з урахуванням можливостей їх багатофункціонального використання. Так, деякі моделі безпілотників можуть і моніторити посіви та картографувати поля, і вносити трихограми, проводити обприскування полів. Наприклад, це БПЛА Flirt Iron компанії ABRIS DG, агродрон UAS6-50, дрон «Літаючий трактор» української компанії IT KIT та ін. Вартість такої техніки порівняно вище і складає близько \$10-12 тис [22].

Для оптимальної діяльності сільгоспідприємств необхідна не просто побудова цифрової карти полів, але використання єдиної ГІС, до складу якої мають входити:

- GPS-навігатор — допомагає створити прив'язку до географічних координат;
- RTK-станція — пристрій для підвищення точності GPS-позиціонування;
- геодезичне обладнання — для точних обмірів поля (межі посівів, земельних ділянок);
- оптичне обладнання (спектральні камери) — для проведення моніторингу стану рослин;
- БПЛА (дрони) — для всебічного моніторингу полів;
- сканери ґрунту — для вимірювання ущільнень ґрунту, вологості тощо;
- пенетрометри — для виміру плужної підшви [24].

Експерти зазначають, що у випадку фермерських господарств, що вирощують звичні культури, зокрема й кормову кукурудзу, доцільним є використання ГІС, починаючи з площі 300 га [24]. Для таких господарств кількість сільськогосподарських тракторів для обробітку ґрунту (які потребують GPS-навігаторів) може складати близько 10 шт. Орієнтовні інвестиційні витрати на створення геоінформаційної системи (ГІС) представлені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Інвестиційні витрати на створення ГІС

Складова ГІС	Ціна одиниці, тис. грн.	Необхідна кількість, од.	Загальна вартість, тис. грн.
GPS-навігатор (кількість залежно від наявності с/г техніки)	26	10	260
RTK-станція	200	2	400
Сканер ґрунту	120	2	240
Пенетрометр	12	2	24
БПЛА з геодезичним і оптичним обладнанням	500	2	1000
Всього	-	-	1924

Після побудови цифрової карти полів та цифрової моделі рельєфу стає можливим перехід до паралельного водіння. В основі цієї технології лежить точний рух по міжряддях (особливо важливо при вирощуванні кукурудзи) на основі GPS-навігації. Результатом переходу до паралельного водіння є:

- уникнення витоптування рослин;
- уникнення перекриттів (кількаразове проходження техніки);
- уникнення пропусків (необроблених ділянок площі).

Згідно даних експертів впровадження паралельного водіння забезпечує економію поточних витрат сільгоспвиробника в розмірі 5-10% від затрат на відповідні технологічні операції [12].

Паралельне водіння може здійснюватися за рахунок використання такої техніки: курсовказівник; електромеханічний підрулювач; гідравлічний автопілот. Електричні автопілоти встановлюються на кермо та є дешевшими, однак поступаються в точності гідравлічним. Особливість гідравлічного автопілоту полягає у додатковому оснащенні контролером та датчиком напрямку коліс. Такі автопілоти здатні самостійно виконувати розвороти, однак для оминання перешкод на полі все ще потрібен механізатор [29].

Для оптимальної роботи автопілота необхідним є використання навігаційних сигналів. В Україні використовуються два типи навігаційних сигналів. Це платні RTK-сигнали з точністю до 2 см та умовно безкоштовні RTX з точністю до 10 см, інколи до 5 см. Вибір сигналу залежить від конкретних потреб господарства. Сигнали RTX

постачаються у комплекті з платним обладнанням. Є два варіанти отримання сигналів:

- передплата при підключенні до мережі RTK-станцій;
- встановлення власної RTK-станції.

Другий варіант, як зазначають експерти, менш доцільний, якщо сільгоспвиробник не володіє великим парком техніки. А також, у разі, якщо RTK-станція лише одна та працює не в мережі, у випадку її виходу з ладу, робота всієї техніки буде заблокована. Плюс мережевих сигналів полягає у кількості станцій, які підстраховують одна одну і тому використовувати мережу більш доцільно [29].

Використання автопілоту запобігає повторному внесенню добрив, препаратів в одну й ту саму точку. При сівбі автопілот забезпечує ідеально рівні міжрядкові інтервали та чітке дотримання норми висіву. Крім того, особливо корисним він буде у проведенні міжрядного обробітку.

Економічні переваги від використання автопілотів можна звести до двох базових категорій:

- уникнення витоптування посівів (зменшення втрат врожаю);
- зменшення межі площі смуги подвійної обробки поля, а це – зниження витрат засобів виробництва таких, як добрива, засоби захисту рослин, насіння, ПММ та ін.;
- збільшення продуктивності праці (за рахунок збільшення інтенсивності використання сільськогосподарської техніки в господарстві: роботи в нічну зміну, роботи за наявності туману, диму) [24].

Інвестиційні витрати при переході на паралельне водіння включають у себе переобладнання наявної техніки: придбання та встановлення на неї систем автоматичного водіння (автопілотів). Популярними на ринку сьогодні є автопілоти HEXAGON, John Deere, Raven, Trimble та ін. Прикладом такого обладнання може слугувати автопілот HEXAGON, який сумісний з великою кількістю тракторів (більше ніж 560 моделей), забезпечує точну роботу на схилах, передбачає можливість безлічі варіантів режимів паралельних ліній, зворотів та інших маневрів, може працювати на різних типах сигналів – від безкоштовного до RTK, підтримує різні типи бездротового зв'язку (актуально при відсутності покриття мобільного зв'язку). Цей автопілот забезпечує підтримку багатьох видів обприскувачів (John Deere, Case, New Holland, Berthoud, Apache, Hardi) та моделей сівалок (Kinze, Horsch, Lemken, Pottinger, Vaderstad, Gaspardo, Kuhn та ін.),

має функції для роботи по технологіям ноу-тілл, стріп-тілл, міні-тілл, стрічкове внесення добрив, міжрядковий обробіток та ін. Вартість такого автопілота складає 315 тис. гривень [25].

Очікувана економія витрат насіння та матеріалів за рахунок використання автопілотів при проведенні сільськогосподарських операцій становить близько 5%.

Наступним етапом впровадження смарт технологій у процес вирощування кормових культур має стати відключення обприскувачів. Принцип роботи систем контролю виливу полягає у регулюванні подачі розчину, орієнтуючись на GPS-сигнал. Так, обприскувач оснащений GPS-приймачем та контролером, на підставі даних GPS в автоматичному режимі вмикає/вимикає вилив: посекційно; пофорсунково; на всій штанзі.

Система посекційного відключення дозволяє автоматизувати подачу розчину на розпилювачі. Це мінімізує перекриття та дозволяє вносити заплановану норму незалежно від робочої швидкості техніки. У той час, як пофорсункове відключення дає змогу контролювати кожну форсунку окремо, що більш ефективно при обробці полів зі складним рельєфом. Нині, на ринку представлені як прості системи керування виливом, здатні автоматично вмикати та вимикати секції, так і більш просунуті, здатні ще й регулювати норму внесення залежно від швидкості руху обприскувача, створювати карти завдання для різних зон за принципом «в різних зонах різна норма» тощо.

Сільгосп підприємства мають два варіанти:

- 1) придбати новий обприскувач із вбудованою опцією контролю виливу (актуально, якщо існує потреба в форсунковому відключенні – при значних нерівностях рельєфу);
- 2) провести додаткове технологічне оснащення наявного обприскувача (можна застосовувати при достатності секційного відключення). Для оснащення старих обприскувачів потрібне обладнання: насос, витратомір, клапани (головний, регулятор і клапани секцій) і контролер норми і секцій. Крім цього, необхідно розбити стандартну штангу на 3, 4, 5 або 6 секцій. Після переобладнання, старим від обприскувача лишаються лише шасі і бочка. Коли все обладнання встановлене, можна оснащувати агрегат системою [30].

Аналогічним чином впроваджується й контроль висіву насіння. Для цього купується сівалка з можливістю посекційного або

форсункового відключення, або ж переобладнується вже наявна техніка.

Орієнтовні інвестиційні витрати на впровадження контролю внесення речовин (в розрахунку на одиницю техніки) представлені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Орієнтовні інвестиційні витрати на впровадження контролю внесення речовин (в розрахунку на одиницю техніки)

Техніка	Вартість, тис. грн.
Обприскувач або сівалка з функцією форсункового відключення	3000
Переобладнання старої техніки на секційне відключення	240

Загальні орієнтовні інвестиційні витрати на впровадження точного польового кормовиробництва будуть включати:

- витрати на створення ГІС;
- витрати на придбання нової техніки або переобладнання старої.

Для умовного підприємства, що обробляє 1000 га кормових угідь (під кукурудзою) інвестиційні витрати представлені в табл. 3.6.

Загальна орієнтовна вартість переходу підприємства на смарт технології при вирощуванні кормових культур (зокрема, кукурудзи) складає близько 4,5 млн. грн.

При цьому основний економічний ефект від впровадження нових технологій включатиме:

- економію витрат на насіння;
- економію витрат на добрива;
- економію витрат на пестициди;
- економію витрат на гербіциди;
- уникнення втрати посівів від виотптування;
- підвищення врожайності культури.

Таблиця 3.6

Орієнтовний обсяг інвестиційних витрат для підприємства, що вирощує кормову кукурудзу (посівна площа 1000 га)

Інвестиційні витрати	Ціна одиниці, тис. грн.	Необхідна кількість, од.	Загальна вартість, тис. грн.
GPS-навігатор (кількість залежно	26	10	260

від наявності с/г техніки)			
РТК-станція	200	2	400
Сканер ґрунту	120	2	240
Пенетрометр	12	2	24
БПЛА з геодезичним і оптичним обладнанням	500	2	1000
Автопілот на с/г техніку	315	3	945
Переобладнання старої техніки на секційне відключення	240	7	1680
Всього	-	-	4549

Очікуваний обсяг економії від впровадження смарт технологій при вирощуванні кормової кукурудзи розраховано в табл. 3.7.

Таблиця 3.7

Економія від впровадження смарт технологій при вирощуванні кормової кукурудзи

Витрати	Норма витрат на 1 га, од.	В розрахунку на 1000 га кукурудзи, тис. грн.	Середній % економії (за даними досліджень)	Очікувана сума економії, тис. грн.
Витрати на насіння	20 кг /га (1 п/о)	2000	15	300
Витрати на добрива (нітроамофоска)	720 кг/га	81360	15	12204
Витрати на засоби захисту рослин	3,2 кг/га	1488	15	223
Втрата посівів від витоптування	-	-	3%	195
Всього	-	-	-	12922

Очікувана економія від переходу на смарт технології при вирощуванні кормової кукурудзи для підприємства з площею посіву кукурудзи 1000 га становить 12 922 тис. грн.

В результаті більш точного врахування потреб культури на кожній найменшій ділянці поля можна очікувати на зростання врожайності кукурудзи на 10% [26].

Є дані дослідження, який у 2022 році було закладено в одному з агропідприємств України. В ході дослідження восени 2022 року вносили фосфор нормою від 50 до 80 кг у фізичній вазі на гектар за зонами забезпечення фосфору, калій нормою від 60 до 140 кг/ га у фізичній

вазі за зонами забезпечення калію. Навесні 2023 року за картою диференційного висіву посіяли кукурудзу за зонами продуктивності з густотою від 50 до 85 тис. насінин на гектар. Висів проводили з одночасним внесення карбаміду за зонами продуктивності. Далі КРН за зонами продуктивності на основі карт FieldView вніс диференційно КАС від 70 до 120 л/га. У підсумку в 2023 році на цьому полі результати врожайності кукурудзи на високопродуктивних ділянках перевищили 15 т/га, деякі ділянки дали 12–15 т/га, зони середньої продуктивності – до 7–9 т/га, низької – в межах 3,5–7 т/га [27].

При прогнозних розрахунках приймемо можливе зростання врожайності кукурудзи на 10%:

Урожайність при звичайній технології – 45 ц/га

Урожайність при смарт технології – 49,5 ц/га

Ціна 1т кормової кукурудзи – 8000 грн.

Приріст виручки з поля 1000 га складе 4400 тис. грн.

Розрахунок загального економічного ефекту від впровадження смарт технологій у вирощування кормової кукурудзи:

Інвестиційні витрати = 4549 тис. грн.

Економія насіння та матеріалів = 12922 тис. грн.

Приріст урожайності = 4400 тис. грн.

Економічний ефект = 12773 тис. грн.

Отже, окупність інвестиції в смарт технології спрацьовує вже на першому році їх реалізації.

Про це свідчить і ряд експертних висновків та практичних результатів. Наприклад, за свідченням керівника ФГ «Моя земля 2015», СОК «Агромрія 2018» та ФГ «Полтава Агро» обладнання для точного землеробства, яке коштує \$30 тис., окуповується на підприємствах за 0,5-0,7 сезону за рахунок зменшенню посівного матеріалу на пересівах, ЗЗР на додатковому обприскуванні та за рахунок зростання врожайності, економії ресурсів, техніки, працівників [28].

Проведені орієнтовні розрахунки свідчать, що для підприємства з посівною площею кормової кукурудзи близько 1000 га обсяг інвестицій для переходу на смарт технології може складати від 4,5 млн. грн. Економічна ефективність таких інвестицій дуже висока, оскільки їх окупність становить менше року. Цьому сприяє, зокрема, використання контролю внесення насіння та речовин, що дозволяє значно економити ресурси (насіння, мінеральні добрива, засоби захисту рослин тощо). Крім того, врахування потреб кожної окремої

рослини забезпечує зростання врожайності кормових культур, що сприяє збільшенню виручки і покращенню фінансових результатів підприємства в цілому.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Система смарт технологій в польовому кормовиробництві нині досить різноманітна і включає інструменти для опису території (картування), оцінки складу земельних ресурсів, оптимізації посівів, оптимізації догляду за ними. В результаті використання смарт технологій досягається не лише економічний, але й екологічний ефект, що особливо важливо на сучасному етапі розвитку суспільства.

Досвід зарубіжних держав свідчить про перспективи використання смарт технологій у польовому кормовиробництві. Європейські держави вже тривалий час стимулюють розвиток точного землеробства. Так само активно воно поширюється в США, Канаді, інших державах. Перспективними напрямками таких технологій є використання агродронів, систем контролю внесення речовин на основі результатів аналізу ґрунтів, діагностики стану рослин тощо. Проведені орієнтовні розрахунки свідчать, що для підприємства з посівною площею кормової кукурудзи близько 1000 га обсяг інвестицій для переходу на смарт технології може складати від 4,5 млн. грн. Економічна ефективність таких інвестицій дуже висока, оскільки вони окупляться менше ніж за рік. Цьому сприяє, зокрема, використання контролю внесення насіння та речовин, що дозволяє значно економити ресурси (насіння, мінеральні добрива, засоби захисту рослин тощо). Крім того, врахування потреб кожної окремої рослини забезпечує зростання врожайності кормових культур, що сприяє збільшенню виручки і покращенню фінансових результатів підприємства в цілому.

Список літератури

1. Зозуля О.Л. Сучасні методи цифрового моніторингу в рослинництві: Монографія / О.Л. Зозуля, В.В. Швартау, Л.М. Михальська, О.Л. Ковель, Г.М. Гнатієнко, В.Є. Снитюк, В.М. Домрачев, Н.П. Тменова. – К.:_, 2023. – 254. с. ISBN
2. Публічне управління : термінол. слов. / уклад. : В. С. Куйбіда, М. М. Білинська, О. М. Петроє та ін. ; за заг. ред. В. С. Куйбіди, М. М. Білинської, О. М. Петроє. Київ: НАДУ, 2018. С.164.
3. Бобровський О. Смарт-технологізація публічного управління як рушійна сила його розвитку. Аспекти публічного управління. 2020. Том 8. Спецвипуск № 1. С.16.
4. Високотехнологічне сільське господарство. Агрилаб. URL: <https://www.agrilab.ua/vysokotehnologichne-silске-gospodarstvo/>
5. Спробуємо розібратися у заплутаній термінології сучасного сільського господарства. URL: <https://analizgruntu.com/y-чому-різниця-між-точним-цифровим-та-р/>
6. Marinela ILIE. SMART FARMING IN CORN CULTURE. URL: <https://www.proquest.com/openview/8c8c64ee37a388d37e33958a00bca54a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2031820>
7. Андрюкайтене Р., Воронкова В., Ажажа М. Формування СМАРТ-освітнього простору інформаційного суспільства у глобальному вимірі та його вплив на розвиток Смарт технологій як світових трендів. URL: <https://old-zdia.znu.edu.ua/gazeta/МНРКzmist18ckc2.pdf>
8. Marius Michels, Cord-Friedrich von Hobe, Oliver Musshoff. A trans-theoretical model for the adoption of drones by large-scale German farmers. Journal of Rural Studies. 2020. Volume 75. P. 80-88.
9. Matthias Thomas Anton Johann Reger, Josef Johannes Bauerdick, Heinz Bernhardt. Drones in Agriculture: Current and future legal status in Germany, the EU, the USA and Japan. URL: https://www.researchgate.net/publication/326347667_Drones_in_Agriculture_Current_and_future_legal_status_in_Germany_the_EU_the_USA_and_Japan
10. Bibi la Luz Gonzalez. 12 climate-smart technologies that could transform the way we grow food. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2023/10/12-climate-smart-technologies-that-could-transform-the-way-we-grow-food/>

11. Як почати впроваджувати точне землеробство на підприємстві. URL: <https://www.smartfarming.ua/yak-pochaty-vprovadzhuvaty-tochne-zemlerobstvo-na-pidpryyemstvi/>
12. Малиновський Б. Алгоритм впровадження точного землеробства. Пропозиція. URL:<https://propozitsiya.com/ua/algorytm-vprovadzhennya-tochnogo-zemlerobstva>
13. Ibrahim Naji. The Drones' Impact On Precision Agriculture. URL: https://scholarworks.utep.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3879&context=open_etd
14. Marius Michels, Cord-Friedrich von Hobe, Paul Johann Weller von Ahlefeld & Oliver Musshoff. The adoption of drones in German agriculture: a structural equation model. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-021-09809-8>
15. Xiuhao Quan, Qiaoling Guo, Ji Ma & Reiner Doluschitz. The economic effects of unmanned aerial vehicles in pesticide application: evidence from Chinese grain farmers. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-023-10025-9>
16. Drone-Related Agrotechnologies for Precise Plant Protection in Western Balkans: Applications, Possibilities, and Legal Framework Limitations / Aleksandar Ivezić, Branislav Trudić, Zoran Stamenković, Boris Kuzmanović, Sanja Perić, Bojana Ivošević, Maša Buđen, Kristina Petrović. Agronomy. 2023. № 13(10). URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/13/10/2615>
17. E-AGRICULTURE IN ACTION: DRONES FOR AGRICULTURE / Food and Agriculture Organization of the United Nations and International Telecommunication Union. Bangkok, 2018. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/5d85a726-91df-47f2-b986-9970261a1ed4/content>
18. Основні проблеми при використанні дронів в сільському господарстві. URL: <https://aggeek.net/ru-blog/osnovni-problemi-pri-vikoristanni-droniv-v-silskomu-gospodarstvi>
19. Bayer Preceon Smart Corn System Incorporates Short Corn, Digital Insights. URL: <https://www.no-tillfarmer.com/articles/12306-bayer-preceon-smart-corn-system-incorporates-short-corn-digital-insights>
20. Площі, валові збори та урожайність сільськогосподарських культур за їх видами та по регіонах у 2023 році. URL: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2022/sg/pvzu/arch_pvxu_reg.htm

21. Електронні контури полів. URL: <https://www.frendt.ua/agriculture/elektronni-kontury-poliv/>
22. Безпілотники на українських полях. Огляд агродронів українського виробництва. URL: <https://traktorist.ua/articles/bezpilotniki-na-ukrayinskih-polyah.-oglyad-agrodroniv-ukrayinskogo-virobnictva>
23. QUADRO Навчання. URL: <https://store.quadro.ua/dji-shkola-pilotov/>
24. Агро ІТ Абетка: Г— Геоінформаційна система (ГІС). URL: <https://traktorist.ua/projects/agro-it-abetka/agro-it-abetka-g-geoinformaciyna-sistema-gis>
25. Автопілоти на сільськогосподарську техніку. URL: <https://store.frendt.com.ua/ua/p873151575-avtopilot-hexagon-dlya.html>
26. Точне землеробство це те, що збільшує врожайність на 30%. URL: <https://www.dafarm.com.ua/tochne-zemlerobstvo-v-ukraini-vid-dafarm/#agriculture>
27. Увага — зонам продуктивності. URL: <https://ifarming.ua/upravlinnia/uvaga-zonam-produktyvnosti>
28. Впровадження точного землеробства окупиться за сезон — досвід. URL: <https://superagronom.com/news/16590-vprovadjennya-tochnogo-zemlerobstva-okupitsya-za-sezon--dosvid>
29. Агро ІТ Абетка: А — Автопілот для сільгосптехніки. URL: <https://traktorist.ua/articles/agro-it-abetka-a-avtopilot-dlya-silgosptehniki>
30. Агро ІТ Абетка: В — Відключення секцій. URL: <https://traktorist.ua/projects/agro-it-abetka/agro-it-abetka-v-vidklyuchennya-sekciy>

ДОДАТКИ

Додаток А

Виробництво культур кормових у 2023 році

	Господарства усіх категорій / <i>All agricultural holdings</i>				Підприємства / <i>Enterprises</i>				Господарства населення / <i>Households</i>			
	площа посівна уточнена, тис.га	площа зібрана, тис.га	обсяг виробництва (валовий збір), тис.ц	урожайність, ц з 1 га площі зібраної	площа посівна уточнена, тис.га	площа зібрана, тис.га	обсяг виробництва (валовий збір), тис.ц	урожайність, ц з 1 га площі зібраної	площа посівна уточнена, тис.га	площа зібрана, тис.га	обсяг виробництва (валовий збір), тис.ц	урожайність, ц з 1 га площі зібраної
Культури кормові	1272,0	X	X	X	355,7	X	X	X	916,3	X	X	X
Буряк кормовий	156,5	156,5	48296,7	308,8	0,0	0,0	41,6	374,7	156,5	156,5	48255,1	308,7
Цукровий буряк кормовий	0,6	0,6	156,2	238,2	к	к	к	к	к	к	к	к
Бруква та турнепс	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Культури кормові баштанні	36,7	36,7	8167,5	221,5	0,1	0,1	23,6	132,6	36,6	36,6	8143,9	222,0
Кукурудза кормова	194,1	195,3	64658,5	330,9	185,0	186,2	62675,7	335,9	9,1	9,1	1982,8	225,3
Трави однорічні	183,7	X	X	X	51,1	X	X	X	132,6	X	X	X
Трави однорічні на сіно	X	130,0	5370,5	41,2	X	9,1	501,7	53,1	X	120,9	4868,8	40,3

Трави однорічні на корм зелений, сінаж, силос, трав'яне борошно	X	50,1	6497,9	129,8	X	38,4	5359,7	139,9	X	11,7	1138,2	97,0
Трави однорічні на випас	X	2,5	X	–	X	2,5	X	–	X	0,0	X	–
Трави багаторічні	697,8	X	X	X	116,5	X	X	X	581,3	X	X	X
Трави багаторічні на сіно	X	620,3	24609,2	39,7	X	77,8	2421,7	31,1	X	542,5	22187,5	40,9
Трави багаторічні на корм зелений, сінаж, силос, трав'яне борошно	X	94,8	15576,1	164,9	X	66,3	12322,9	186,8	X	28,5	3253,2	114,2
Трави багаторічні на випас	X	26,3	X	–	X	7,6	X	–	X	18,7	X	–
Сіножаті на сіно	X	441,0	7715,6	17,5	X	21,4	571,4	26,8	X	419,6	7144,2	17,0
Сіножаті на корм зелений, сінаж, силос, трав'яне борошно	X	5,1	554,0	104,5	X	5,1	554,0	104,5	X	–	–	–
Пасовища культивовані на сіно	X	2,8	113,3	38,3	X	2,8	113,3	38,3	X	–	–	–
Пасовища культивовані на корм зелений, сінаж, силос, трав'яне борошно	X	5,7	509,8	90,1	X	5,7	509,8	90,1	X	–	–	–

Насіння буряку кормового	0,0	0,0	0,6	9,0	0,0	0,0	0,6	9,0	0,0	0,0	0,0	8,5
Насіння культур кормових баштанних	к	к	к	к	к	к	к	к	–	–	–	–
Насіння трав однорічних	Х	0,8	9,9	9,2	Х	0,8	9,9	9,2	Х	–	–	–
Насіння трави суданської однорічної	Х	0,2	4,9	11,3	Х	0,2	4,9	11,3	Х	–	–	–
Насіння трав однорічних інших	Х	0,7	4,9	7,8	Х	0,7	4,9	7,8	Х	–	–	–
Насіння трав багаторічних	Х	4,3	29,4	6,3	Х	4,3	29,4	6,3	Х	–	–	–
з них												
люцерна	Х	2,1	7,5	3,0	Х	2,1	7,5	3,0	Х	–	–	–
конюшина	Х	0,2	1,0	4,8	Х	0,2	1,0	4,8	Х	–	–	–
еспарцет	Х	1,2	6,2	5,2	Х	1,2	6,2	5,2	Х	–	–	–
трави лукопасовищні	Х	–	–	–	Х	–	–	–	Х	–	–	–
трави злакові	Х	0,5	14,2	26,1	Х	0,5	14,2	26,1	Х	–	–	–
Насіння культур кормових інших	к	к	к	к	к	к	к	к	–	–	–	–
Коренеплоди кормові маточні	к	к	к	к	к	к	к	к	–	–	–	–

Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН

**Алгоритм розвитку польового кормовиробництва
шляхом інвестування смарт технологій**

Гарнітура Times New Roman. Кегль 11,7
Формат 60*80/16 Папір офсетний фінський Lumiset 80 гр/м²
Друк здійснено на лазерному апараті Kopica-Minolta.
Фіз. друк. арк.. 4,2. Умовн. друк. арк.. 4,39 Обл. видав. арк.. 4,21.

Виготовлено у ДРУК – СЕРВІС, м. Вінниця, вул. 600-річчя, 25
e-mail: AlenkaV@meta.ua.
Сайт : <http://druk.vn.ua>
тел. (067)574-5254