

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-енергетичний факультет

Кафедра Тракторів та сільськогосподарських машин, експлуатації і
технічного сервісу

Системи точного землеробства

курс лекцій

для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності Н7 «Агроінженерія»

денної форми здобуття вищої освіти.

УДК 631.3.05:631.4
С40

Друкується за рішенням науково-методичної комісії інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного університету від 18 вересня 2025 р., протокол № 1

Укладачі:

Антоніна ГАЛЄЄВА – канд. пед. наук, доцент кафедри тракторів та сільськогосподарських машин, експлуатації і технічного сервісу, Миколаївський національний аграрний університет;

Олег ТИМА -

майстер виробничого навчання кафедри тракторів та сільськогосподарських машин, експлуатації і технічного сервісу, Миколаївський національний аграрний університет

Рецензенти:

Анатолій НЕПША –
Василь ГРУБАНЬ

директор фермерського господарства «Ірина»
канд. тех. наук, доцент кафедри тракторів та сільськогосподарських машин, експлуатації і технічного сервісу, Миколаївський національний аграрний університет;

©Миколаївський національний
аграрний університет, 2025

ВСТУП

Сучасний розвиток сільського господарства неможливий без впровадження інноваційних ресурсозберігаючих технологій, які здатні вивести аграрну галузь на якісно новий рівень. За умов належної державної підтримки агропромислового сектору це дозволить вітчизняним сільськогосподарським виробникам стати конкурентоспроможними на міжнародному ринку.

Однією з ключових складових таких технологій є точне (прецизійне) землеробство (precision agriculture) — концепція управління врожайністю сільськогосподарських культур з урахуванням внутрішньопольової варіабельності природних умов. Інакше кажучи, це система оптимального господарювання, орієнтована на кожен окремий квадратний метр поля.

Головною метою точного землеробства є максимізація прибутку за рахунок раціонального використання виробничих і природних ресурсів, підвищення ефективності агровиробництва та забезпечення стабільного екологічного балансу. Такий підхід не лише сприяє економії ресурсів, а й забезпечує виробництво якісної, екологічно безпечної продукції.

Метою вивчення дисципліни є оволодіння науковими основами розробки та організації оптимальних методів механізованого виробництва сільськогосподарських культур у технологіях точного землеробства. Це досягається шляхом оптимізації параметрів і режимів функціонування систем дозування та місцевизначеного розподілу матеріалів по площі поля.

Вивчення курсу “Системи точного землеробства” передбачає виконання таких завдань:

- засвоїти фундаментальні поняття у системі точного землеробства;
- масового механізованого відбору ґрунтових проб;
- якнайшвидшого визначення вмісту в ґрунті основних поживних речовин, бажано безпосередньо в польових умовах;

- автоматизованого створення агрохімічних та агрофізичних карт угідь за вмістом у ґрунті основних поживних речовин, вологи, об'ємної маси ґрунту та його структурно-агрегатного складу;
- розробки методик корегування стану поля до досягнення оптимальних значень вмісту поживних речовин;
- оптимізації технологій і вибору системи машин для підтримання оптимального агрофізичного стану сільськогосподарських угідь;
- розробки, реалізації, та впровадження автоматизованих розкидачів мінеральних добрив;
- автоматизованого картографування врожайності;
- корегування методик і норм внесення добрив;
- п'ятирічного аналізу для дальшої оптимізації агрохімічного стану угідь.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен **знати**:

- методи організації та застосування технологій точного землеробства;
- вимоги до сільськогосподарських машин під час роботи за системою точного землеробства;
- основи функціонування приладів та спеціалізованого обладнання для системи точного землеробства, порядок їх налагодження та експлуатації;
- системи дистанційного моніторингу;
- існуюче програмне забезпечення системи точного землеробства;
- порядок складання та аналізу картограм агрофізичних та агрохімічних показників ґрунту конкретного поля;
- методику, прилади та технічні засоби для визначення основних агрохімічних параметрів ґрунту, порядок застосування змінних норм внесення технологічних матеріалів;
- засоби дистанційного вимірювання параметрів рослин;

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен **вміти**:

- організувати діяльність господарства (підприємства) при вирощуванні сільськогосподарських культур за системою точного землеробства;
- проводити збір та реєстрацію параметрів агрофізичних показників, визначених за відповідною методикою в конкретних місцях поля;
- будувати і проводити аналіз картограм агрофізичних показників, визначених у конкретних місцях поля, за відповідною методикою;
- користуватися приладами та обладнанням глобальної системи позиціонування;
- користуватись спеціалізованим бортовим комп'ютерним обладнанням та програмним забезпеченням класу геоінформаційної системи;
- оптимізувати технології і вибрати систему машин для підтримання оптимального агрофізичного стану сільськогосподарських угідь;
- визначати енергетичні витрати на проведення польових робіт та оптимальне співвідношення “енерговитрати - продуктивність поля”.

Лекція 1 ВСТУП

Історія появи і впровадження системи точного землеробства в світову практику землекористування

Суть якісно нової системи землеробства, яке на Заході отримало назву точного (або прецизійного), полягає в тому, що для отримання з даного поля (масиву) максимальної кількості якісної і найбільш дешевої продукції для всіх рослин цього масиву створюються однакові умови зростання і розвитку без порушення норм екологічної безпеки. Точне землеробство впроваджується шляхом поступового освоєння якісно нових агротехнологій на основі принципово нових, високоефективних та екологічно безпечних технічних і агрохімічних засобів.

Вчені та конструктори розуміли, що система точного землеробства повинна базуватися на останніх досягненнях електроніки. Однак випробування вже перших експериментальних зразків показали, що складні і дорогі електронні прилади не пристосовані для польових умов, які характеризуються підвищеними запиленістю і вологістю середовища, вимагають висококваліфікованого обслуговування і ремонту при дефіциті запчастин. Але дуже скоро були створені адаптовані до с.-г. умовами мікропроцесори, електронні, фотоелектричні, ємкісні, електромагнітні, п'єзоелектричні, електромеханічні та інші датчики, а також електронні прилади.

Першими вагомими результатами у використанні електронних пристроїв на с.-г. техніці були розробники машин для захисту рослин. Наприклад, обприскувач Hydroelectron фірми Теснома, який отримав золоту медаль на міжнародній виставці SIMA-1976 Парижі, був обладнаний електронним регулятором подачі розчину пропорційно швидкості руху агрегату.

Аналогічну машину розробила англійська фірма Agmet. У порівнянні з використовуваними в країнах СНД аналогами в них підтримується постійна в одиницю часу витрата розчину, а норма його внесення на 1 га значно варіюється при кожному перемиканні передачі, зміні частоти обертання двигуна і буксованні коліс, що забезпечує економію до 20% отрутохімікатів. А це не тільки економічний, але і екологічний ефект.

Складніше вирішувалися питання точного висіву насіння зернових

колосових культур. Експериментальні зразки таких сівалок були показані на міжнародній виставці в Мюнхені в 1982 р, а серійна машина з електронним регулятором висіву фірми Blanchot з'явилася лише через три роки і була відзначена на паризькій виставці SIMA-1985. Фірма Rider (Німеччина) пішла ще далі, створивши сівалку Saxonia, яка забезпечує задані не тільки відстань між насінням в рядку, а й глибину їх загортання.

Значних успіхів в електронізації с.-г. техніки досягли фірми Amazone, Diadem, Rotina, Lely і ін. В машинах відцентрового типу вони домоглися незалежності дози внесення добрив на 1 га від швидкості агрегату. Крім того, частота обертання дисків що розсіюють і фактична доза добрив, що вносяться на 1 га, постійно висвічуються на моніторі, причому останню тракторист може змінювати зі свого робочого місця.

Застосування Електрон пристроїв дало можливість значний (до $\pm 15\%$) знизити нерівномірність Внесення добрив.

У 1986 р в результаті тісної співпраці фірм — виробників тракторів і сільгоспмашин було визнано раціональним багатоканальний мікропроцесор встановлювати на тракторі, а на машинах використовувати лише уніфіковані датчики.

Так, наприклад, на тракторі Case стали монтувати мікропроцесор і підключати до нього датчики і виконавчі механізми:

регулювання глибини обробки ґрунтообробних машин фірми Landsberg;

оптимізації роботи обприскувачів фірми Holder;

машин для внесення мінеральних добрив фірми Rotina;

сівалок Saxonia і ін.

Причому мікропроцесор не тільки контролює і регулює технологічні параметри, але і показує фактичну робочу швидкість агрегату, обсяг виконаної роботи, параметри двигуна і питома витрата палива.

Для об'єднання зусиль по розробці та освоєнню в с.г. виробництві електронних систем в 1992 році країни ЄС прийняли план, який передбачає прискорене фінансування з бюджету ЄС перспективних напрямків автоматизації та комп'ютеризації с.г. техніки. В даний час до цієї роботи приєдналися Угорщина, Чехія, Словенія та Естонія. Причому в створенні

якісно нових, високоточних і високопродуктивних машин західноєвропейські країни значно обійшли США і Канаду.

Завдяки використанню високоточної техніки в країнах з розвиненим землеробством вдалося підняти врожайність зернових культур до 90 ц/га і отримати вагомий прибуток. Разом з тим було відмічено, що строкатість врожайності на полях, оброблених цією технікою, хоча і значно зменшилася, але все-таки збереглася.

Отже, таке землеробство ще не відповідає критеріям точного. Агрохімічний аналіз ґрунту, взятої на ділянках з різною врожайністю, показав, що за вмістом азоту, фосфору і калію вони істотно розрізняються, хоча мінеральні добрива вносилися з високою рівномірністю.

Причина цього явища в тому, що рослини харчуються не тільки речовинами, що вносяться в ґрунт при вирощуванні даної культури, а й тими, що накопичилися в ній. Тому добрива потрібно вносити в ґрунт диференційовано в залежності від кількості раніше накопичених в ній основних поживних речовин.

Однак впровадження такої технології з використанням існуючих технічних засобів пов'язано з великими трудовими і фінансовими витратами. У зв'язку з цим в різних країнах почали розробляти способи і засоби для спрощення і зниження вартості агрохімічного аналізу ґрунту, в тому числі через врожайність вирощеної культури на окремих ділянках поля.

Для цього, наприклад, зернозбиральний комбайн обладнують електронним приладом, який визначає врожайність, покоординатно записує її в бортовий комп'ютер і роздруковує картограму. Але картограма врожайності може служити лише засобом обґрунтування необхідності диференційованого застосування добрива або визначення аномальних зон і взяття проб ґрунту для агрохімічного аналізу лише в цих зонах.

Одне з кардинальних рішень цієї проблеми запропонувала англійська фірма KRM — оцінювати вміст азоту, фосфору і калію в ґрунті шляхом фотографування полів в інфрачервоних променях на спеціальну плівку за допомогою літака або супутника Землі.

Ще більш спрощує агрохімічний аналіз ґрунту створений англійською фірмою Challeng Agriculture оптичний прилад (золота медаль на паризькій

виставці в 1994 р). Зміст в ґрунті азоту, фосфору, калію та інших елементів визначають шляхом порівняльного вимірювання в двох точках відбитого світла обраної смуги спектра. Він може обробляти більше 30 параметрів і запам'ятовувати 50 значень. Через чотири роки прилад аналогічного призначення розробили китайські фахівці на основі транзисторів, перетворювачів, фотодатчиків і інших електронних комплектуючих.

Інша складна проблема — прив'язка результатів агрохімічного аналізу до координат взяття проб і передача цих даних на агрегат для внесення добрив. Досить відомий засіб визначення координат агрегату — ротаційне пристрій, вимірювальним елементом якого служить колесо трактора або машини, а реєструючим — лічильник числа оборотів, шкала якого проградуйована в метрах. Відхилення показань на довжині гону 1000 м не перевищує ± 2 м.

Фірма Claas розробила радіосистему, в яку входять комп'ютеризована базова радіостанція з приймачем, розміщені в офісі (приміщенні) фірми, і приймально-передавальні пристрої — на польових агрегатах. За допомогою цієї системи можна знаходити координати 200 агрегатів, що працюють в радіусі до 9 миль, з точністю ± 10 м.

В радіосистемі аналогічного призначення компанії Massey Ferguson використовують встановлені на агрегатах спеціальні радіоприймачі і глобальну супутникову мережу (GPS).

Система з прийнятною точністю визначає географічні координати агрегату, але вона досить складна і дорога.

Перший експериментальний зразок дводискової відцентрової машини для диференційованого внесення одного виду мінеральних добрив продемонструвала в 1994 р на виставці Smithfield Farm Tech англійська фірма KRM. Вміст поживних речовин в ґрунті визначається методом інфрачервоного фотографування поля з супутника.

Землі з побудовою картограми поля, а координати агрегату — за допомогою систем GPS. Для безпосередньої зміни дози внесених добрив використовується електронний прилад Calibrator 2002 функціонально з'єднаний з комп'ютером (на дискеті якого записана картограма добрива поля) і системою GPS. У 1995 р фірма Amazone освоїла серійний випуск

відцентрових машин ZA-Max з аналогічними приладами.

Однак через дорожнечу електронного обладнання (близько 50% ціни машини) вони не набули широкого поширення.

Першим з освоєння точного землеробства є Великобританія, де на фермі в графстві Сафольк протягом трьох років проводили картографування врожайності, покоординатно аналіз ґрунту в аномальних зонах, а добрива вносилися іншою машиною фірми Amazone-M- Tronic. Це забезпечило річну економію в середньому по 17,2 фунта стерлінгів на кожному гектарі (в порівнянні з внесенням постійних доз по всьому полю).

Технологія відмінно зарекомендувала себе і успішно застосовується в США, Канаді, Бразилії та в країнах Європи. У США і Канаді навігаційне обладнання особливо поширене, тому що у виробництві використовується широкозахватна техніка.

На сьогоднішній момент всі світові лідери з виробництва сільськогосподарських машин (CLAAS, John Deer, Case і ін.), Комплектують свою техніку навігаційною системою GPS. У Росії «піонером» в цьому напрямку стала компанія «Євротехніка», з 2004 року всі вироблені сільськогосподарські машини на заводі можна дооснастити навігаційною системою GPS.

GPS – обладнання затребуване в зв'язку з тим, що забезпечує економію коштів. У Європі, наприклад, підраховано, що економічний ефект від застосування GPS – обладнання сягає 50-60 Євро на гектар.

Крім того, користувачі даного обладнання отримують можливість проводити польові роботи вночі, в тумані, при підвищеній запиленості.

В даний час, порівнюючи вироблені російські і зарубіжні прилади супутникової навігації для роботи в сільському господарстві, можна сказати, що іноземні прилади мають переваги за своїми.

Навігаційних приладів російського виробництва поки ще дуже мало. Як приклад можна привести навігаційний прилад «Агронавігатор». Він досить багатофункціональний: дозволяє вести паралельно трактор при обприскуванні, внесення мінеральних добрив, записувати і зберігати інформацію з площі до 10 000 га. Однак точність даного приладу складає від 1,5-2 м, що є недопустимим в сільськогосподарських роботах.

Зарубіжний досвід налічує набагато більше подібних приладів: це відома компанія John Deere з приладом Green Star Parallel Tracking System, і менш відомі: Mid-Tech Center-Line, Raven RGL 500, Cultiva ATC, Outback S, і інші. Однак, незаперечним лідером в даному напрямку на сьогоднішній день є компанія Trimble з сімейством навігаційних приладів серії AgGPS, які широко застосовуються в точному землеробстві в Європі, США, Канаді, а тепер і в інших країнах.

Таким чином в останні роки система точного землеробства масово інтегрована в землеробство багатьох країн.

Лекція 2

Система точного землеробства: виникнення, стан та завдання.

Система точного землеробства виникла як відповідь на потребу в більш ефективному та екологічному сільському господарстві, поєднуючи сучасні технології для управління неоднорідностями полів, такі як GPS, GIS та дистанційне зондування. Її поточний стан характеризується впровадженням інтегрованих рішень для диференційованого внесення ресурсів, картографування врожайності та точного управління технікою. Основні завдання включають підвищення врожайності, зниження витрат на насіння, добрива та засоби захисту рослин, а також забезпечення екологічної стійкості виробництва шляхом точного закриття потреб кожної ділянки поля.

Виникнення

- **Ідея виникнення:**

Точне землеробство виникло як концепція управління сільськогосподарськими полями на основі їхньої індивідуальної неоднорідності (склад ґрунту, рельєф, зволоженість), а не як єдиної ділянки.

- **Розвиток технологій:**

Це стало можливим завдяки розвитку технологій, таких як:

- **GPS (Глобальна система позиціонування):** Для точного визначення місця розташування техніки та польових операцій.
 - **GIS (Географічні інформаційні системи):** Для аналізу та управління просторовими даними.
 - **Дистанційне зондування землі (ДЗЗ):** Супутникові та аерофотознімки для спостереження за станом ґрунтів та посівів.
- Сучасний стан
- **Інтегрований підхід:**
Сьогодні точне землеробство – це комплексна система менеджменту, що поєднує в собі різні технології та інформаційні платформи.
 - **Збір даних:**
Збір даних відбувається за допомогою GPS, систем картографування врожайності, датчиків на техніці та аеро- / космічних знімків.
 - **Аналіз даних:**
Зібрані дані аналізуються для виявлення неоднорідностей, агрохімічного стану ґрунту, потреби рослин.
 - **Автоматизація процесів:**
На основі аналізу даних відбувається диференційоване внесення добрив, насіння, засобів захисту рослин, а також точне управління поливом.
- Основні завдання
- **Підвищення врожайності:**
Забезпечення максимальної продуктивності кожної ділянки поля, закриваючи реальні потреби культур.
 - **Зниження витрат:**
Оптимізація використання ресурсів (насіння, добрива, засоби захисту рослин) за рахунок диференційованого внесення.
 - **Екологічна стійкість:**
Зменшення негативного впливу на ґрунт та навколишнє середовище через точне дозування препаратів.
 - **Підвищення рентабельності:**

Збільшення прибутку шляхом покращення ефективності виробництва та зниження собівартості продукції.

- **Управління ризиками:**

Зменшення втрат врожаю та підвищення економічної передбачуваності сільськогосподарського виробництва.

Система точного землеробства особливо актуальна для України, так як це – **ризикова зона сільського господарства**, беручи до уваги строкатість кліматичних умов та неоднорідності полів. Саме в таких умовах точне землеробство є доцільним, мінімізуючи ризики та оптимізуючи витрати.

Експерт Ніколас Трімблей, президент міжнародної організації з точного землеробства (ISPA), у своїй доповіді на конференції «Prega Science 2018» зазначив, що 93% канадських фермерів впевнені у необхідності впровадження точного землеробства [5]. А ще тільки в кінці 1800 року, коли весь світ працював в сільському господарстві вручну, професори університету Південної Дакоти шукали варіанти механізації виробництва, і це була остання революція по механізації індустрії.

Приблизно 30 років тому, в 1990-х, почалася нова революція в сільському господарстві – електронна, тобто точне землеробство .

У XXI столітті агросектор значно просунувся вперед в плані використання ІТ-рішень: системи географічного позиціювання, геоінформаційні системи, а також, як не дивно, блокчейн технологій, штучного інтелекту, big data в поєднанні з «хмарними» сховищами та технологіями автоматизації.

На даний час існує безліч можливостей впровадження ІТ-рішень та новітньої техніки. Слайди із презентації Пітера Ковача, асистента професора кафедри агрономії, садівництва та рослинництва Державного університету Південної Дакоти (SDSU), чітко ілюструють популярність технологій точного землеробства.

GPS навігація та монітори врожайності ідуть в топі поширеності з-поміж виробників (69 та 66%). Далі іде використання посекційного контролю

на обприскувачах чи на сівалках (відповідно 56% та 45%). Також 52% виробників у США використовують відбір зразків ґрунту в полі згідно сітки або зонально.

Незважаючи на те, що можливість фотографування з повітря вже давно присутня на ринку, вона не набирає такої стрімкої популярності по причині, скоріш за все, високої ціни; а ще вона не є критично важливою. Інші технології просто дуже нові.

Застосування елементів живлення та вапна диференційовано виробниками становить 41% та 39%. Ми бачимо, що при достатньо великому розвитку технологій диференційована густота посіву (19%) або внесення пестицидів диференційовано (8%) не є такими популярними серед фермерів. Перспективним також є функція прижиму рядку на сівалці.

GPS – це базова технологія для точного землеробства. Саме з технології позиціонування починається **ТОЧНЕ** землеробство. Це фундамент, на якому будуються всі наступні складові даної концепції. Адже завдяки їй ми розуміємо, де знаходиться обладнання або з якої локації ми збираємо дані.

Саме тому, GPS навігація та функція паралельного водіння набуло найбільшого поширення в світі серед усіх елементів точного землеробства. Адже без точного позиціонування неможливо мінімізувати площу перекриттів, пересівів та недосівів.

Давайте переведемо це в цифри з полем в 40 га, в якому ви використовуєте типовий агрегат 6,2 м

Якщо проводити посів без системи автопілота та GPS навігації, розмір перекриттів (подвійного обробітку агрегатом) може досягати 2 га. Провівши калькуляцію, можна зрозуміти як така подвійна робота інтерпретується в затрати на пальне, енергію та час.

Таким чином, технологія дозволяє більш ефективно використовувати трактор, і завдання виходить менш втомливим. GPS також потрібна для прив'язки точок відбору зразків ґрунту для тестування. Найбільше значення

GPS навігації в тому, що вона забезпечує функцію контролю виконання технічних операцій в полі.

Питання для контролю

1. Історичний огляд виникнення системи точного землеробства в Україні.
2. Історичний розвиток глобальної системи позиціонування.
3. Географічна інформаційна система – основний критерій економічного, соціального та культурного розвитку регіону.
4. Що таке ГІС/ДЗЗ-технології та їх місце в інфраструктурі геопросторових даних.
5. Що таке GPS, і як ця система працює ?
6. Відмови систем GPS.
7. Комп'ютер і GPS: удвох ефективніше.
8. Огляд систем паралельного та контурного водіння МТА.
9. Системи автоматичного водіння МТА.
10. Технічні засоби та технології застосування систем паралельного водіння та автопілотування в керованому землеробстві
11. Розробка і впровадження технологій точного землеробства в Україні.
12. Економічна ефективність точних агротехнологій у рослинництві.

Лекція 3

Використання технічних засобів точного землеробства

Процес відбору проб ґрунту,

Навігації машинно-тракторного агрегату

Картографування врожайності зернових культур

Відбір проб ґрунту є важливою складовою агрохімічного, екологічного, геологічного та будівельного контролю. Для якісного та репрезентативного дослідження ґрунтів застосовують різноманітні технічні засоби, які

дозволяють отримати проби з різної глибини, типів ґрунту та з урахуванням вимог до збереження природної структури.

Основні технічні засоби поділяються на:

- ручні (шнекові бурові пробовідбірники, трубчасті ґрунтові зонди, лопати, ложки);
- механізовані (моторизовані бурові установки, гідробури);
- лабораторні (кольцеві пробовідбірники для збереження структури ґрунту);
- спеціалізовані (вакуумні пробовідбірники, пробовідбірники для болотяних ґрунтів).

Вибір обладнання залежить від завдань дослідження, глибини відбору, типу ґрунту та умов місцевості.

Огляд сучасних пробовідбірників

В умовах сучасних агрохімічних, екологічних та геологічних досліджень важливу роль відіграють ефективні та зручні засоби відбору проб ґрунту. Прогрес у технологіях дозволив створити широкий спектр пробовідбірників, які відрізняються за конструкцією, принципом дії, глибиною відбору та можливістю збереження природної структури ґрунту.

1) Ручні пробовідбірники:

- Трубчасті пробовідбірники (сонди) — прості металеві трубки для відбору зразків з поверхневого шару ґрунту до 30 см. (Рис.1. а)
- Шнекові бурові пробовідбірники — забезпечують відбір проб із глибини до 1,5 м. Використовуються в агрохімії, екологічному контролі. (Рис.1. б)
- Лопатки та бурильні ложки — доступні та універсальні
- інструменти для польових робіт. (Рис.1. в)

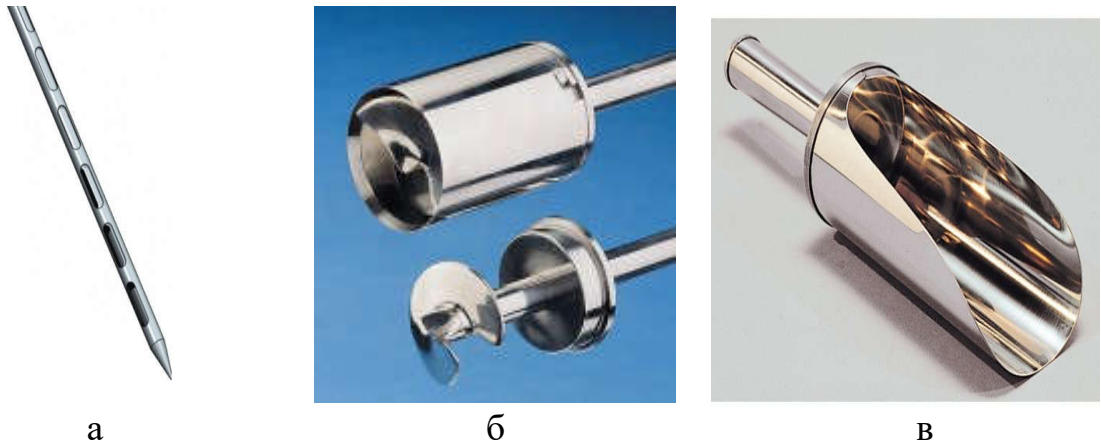


Рис.1. Ручні пробовідбірники

2) Механізовані пробовідбірники

Моторизовані бурові установки — дозволяють виконувати буріння та відбір проб на глибину до 30 м і більше. Часто встановлюються на автомобільні шасі.

Гідробури — механізми для буріння в умовах вологих або болотяних ґрунтів із промивкою свердловин.



Рис.2. Моторизована бурова установка

3) Лабораторні пробовідбірники

Кольцеві пробовідбірники — металеві циліндри для відбору зразків без порушення природної структури ґрунту. Використовуються для визначення фізико-механічних характеристик.

Глибокі пробовідбірники-циліндри — дозволяють отримувати монолітні зразки з глибини до 2 м для лабораторного аналізу.



Рис.3. Лабораторні пробовідбірники

4) Спеціалізовані пробовідбірники

Вакуумні пробовідбірники — застосовуються для відбору порових вод із ґрунту.

Пробовідбірники для болотяних і водонасичених ґрунтів — мають герметичні клапани, що запобігають витоку вологи.



Рис.4. Вакуумний пробовідбірник

Геоприв'язана інформація (геодані) — це дані, до яких прив'язано конкретні географічні координати (широта, довгота, висота). Вона використовується для відображення об'єктів і явищ на місцевості та їх аналізу в просторовому контексті.

Автоматизовані системи збору геоприв'язаної інформації - це комплекси апаратних і програмних засобів, які дозволяють автоматично

отримувати, зберігати, обробляти та аналізувати геопросторову інформацію.

Основні типи систем:

1) GPS / GNSS-системи

- Визначають координати об'єкта в реальному часі.
- Використовуються у сільському господарстві, геології, транспорті, кадастрових обстеженнях.



Рис.5. GPS / GNSS-системи

2) Мобільні ГІС-системи

- Встановлюються на смартфони, планшети або портативні пристрої.
- Забезпечують збір, перегляд та передачу геоданих у полі.



Рис.6. Мобільні ГІС-системи

3) БПЛА (дрони) з системами GPS

Використовуються для аерофотозйомки, 3D-моделювання місцевості, картографування.

Дані обробляються у спеціальних ГІС-програмах.

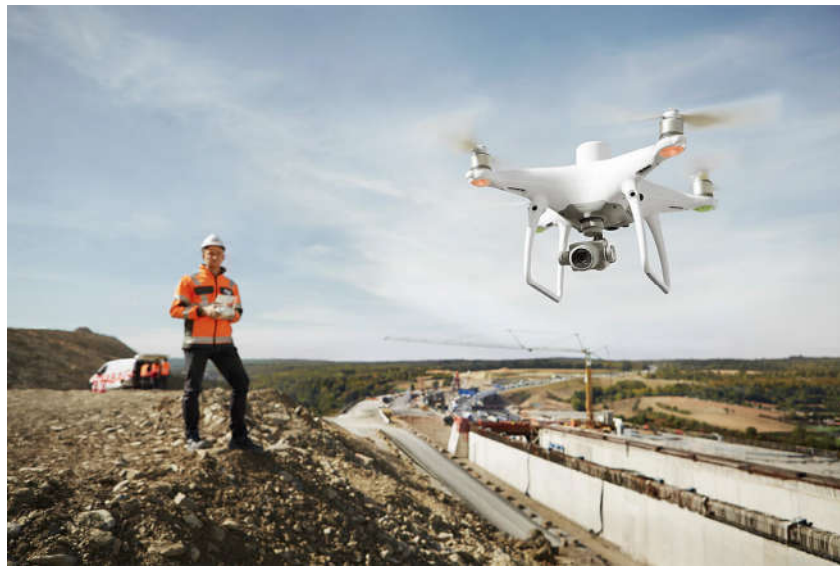


Рис.7. БПЛА (дрони) з системами GPS

4) Автоматизовані метеостанції з GPS

Збирають дані про кліматичні умови з прив'язкою до координат.

5) Важливо для моніторингу врожайності, лісових пожеж, прогнозування погоди. До складу якої входять сенсори, датчики та контролери з GPS-модулями, які автоматично передають геолокаційні та екологічні дані на сервер. Автоматизовані метеостанції з GPS



Рис.8. Автоматизовані метеостанції з GPS

Система паралельного та контурного водіння — це автоматизована система, яка допомагає механізатору точно вести машинно-тракторний агрегат (МТА) по полю під час виконання технологічних операцій. Вона використовує сигнали супутникових навігаційних систем (GPS/GNSS) для визначення положення агрегату та коригування його траєкторії руху.

Основні види водіння:

- Паралельне водіння - агрегат рухається паралельно до заданої лінії (наприклад, рядка чи маршруту). Система показує механізатору відхилення від оптимальної траєкторії та підказує, в який бік кермувати.
- Контурне водіння- агрегат рухається по замкнутому чи довільному контуру поля. Система запам'ятовує або генерує контур обробки та допомагає тримати задану відстань між проходами

Основні компоненти системи:

- GNSS-приймач — визначає координати агрегату з точністю до 2-30 см (з корекційними сигналами RTK/EGNOS).
- Бортовий комп'ютер (термінал) — відображає карту поля, маршрут, відхилення від заданої лінії.
- Програмне забезпечення — для планування маршрутів, обробки даних та створення карт покриття.
- Керуючий контролер або автопілот (за потреби) — автоматично

керує агрегатом без участі оператора.

GPS-навігація — це технологія супутникового позиціонування, яка дозволяє визначати точне місцезнаходження машинно-тракторного агрегату на полі в режимі реального часу. Вона базується на використанні сигналів глобальних навігаційних супутникових систем (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou).

Основні функції:

- визначення координат і швидкості агрегату;
- побудова оптимального маршруту руху;
- контроль пройденої та залишкової площі;
- формування карт обробки та технологічних карт.

Автопілот — це автоматизована система керування трактором чи комбайном, яка за допомогою GPS-навігації виконує водіння агрегату за заданим маршрутом без активної участі оператора.

- Основні можливості:
- точне ведення агрегату по паралельних, контурних або довільних лініях;
- автоматичне розвороти на кінцях загонів;
- підтримка постійної швидкості та напрямку руху;
- мінімізація перекриттів і пропусків.

Точність ведення агрегату — це відхилення фактичного положення тракторного чи іншого машинно-тракторного агрегату від запланованої траєкторії руху по полю. Вона є ключовим показником ефективності систем GPS-навігації та автопілотів у сільському господарстві.

№	Вид поля	Особливості	Складність	Точність з RTK- корекцією	Точність без корекції
1.	Прямолінійні межі	Найпростіші для ведення агрегату	Низька	$\pm 2\text{--}5$ см	Висока, навіть вручну
2.	Неправильної форми	Вигнуті або ламані контури	Середня	$\pm 2\text{--}3$ см	$\pm 20\text{--}30$ см (EGNOS)
3.	З перешкодами (яри, лісосмуги, водойми)	Можливі втрати сигналу, потрібна пам'ять маршруту	Висока	$\pm 2\text{--}3$ см	До ± 30 см
4.	З пересіченим рельєфом	Зміни висоти, потрібна 3D- навігація	Висока	$\pm 2\text{--}4$ см	Знижується суттєво

Картографування врожайності — це технологія збору, аналізу та візуалізації просторових даних про кількість зібраного врожаю на кожній конкретній ділянці поля. Вона дозволяє визначити неоднорідність врожайності в межах одного поля та приймати обґрунтовані агротехнологічні рішення.

Під час збирання врожаю зернозбиральним комбайном на ньому встановлюються спеціальні датчики та GPS-приймачі, які фіксують:

- об'єм або масу зібраного зерна в конкретній точці;
- географічні координати цієї точки;
- вологість зерна;
- швидкість руху комбайна.

Отримані дані передаються на бортовий комп'ютер комбайна, де формується цифрова карта врожайності.



Рис.9. Формування цифрової карти врожайності

Сенсори врожайності — це спеціальні вимірювальні пристрої, встановлені на зернозбиральних комбайнах, які визначають кількість зібраного врожаю в реальному часі під час проходження машини по полю. Ці дані дозволяють створювати карти врожайності для подальшого аналізу продуктивності полів.

№	Тип сенсора	Принцип роботи	Як працює	Результат
1.	Сенсор масового потоку (об'ємний або масовий датчик)	Вимірює силу удару зерна об чутливу пластину або тензодатчик	Більше зерна — сильніший удар — більший сигнал на сенсор	Розрахунок об'єму або маси зерна за одиницю часу
2.	Датчик вологості зерна	Вимірює електропровідність або діелектричні властивості зерна	Зразок постійно відбирається та аналізується у вимірювальній камері	Визначення вологості зерна для коригування даних врожайності
3.	GNSS-приймач (GPS/GLONASS)	Фіксує координати в реальному часі (з точністю до кількох см з RTK)	Визначає місцезоположення комбайна на полі під час збору врожаю	Географічна прив'язка показників врожайності до конкретних точок на полі

Побудова та аналіз карт врожайності — це важливий етап у системах точного землеробства, який дозволяє аграріям приймати обґрунтовані рішення щодо управління полями для підвищення ефективності та прибутковості господарства. Нижче подано короткий опис кожного з етапів.

Карта врожайності — це просторове зображення, яке показує розподіл врожайності по всьому полю. Її створюють на основі даних, отриманих із сучасної сільськогосподарської техніки (комбайнів з GPS та сенсорами

врожайності).



Рис. 10. Етапи побудови цифрової карти врожайності

Питання для контролю

1. Які типи пробовідбірників ґрунту використовуються у сучасному землеробстві та як забезпечується геоприв'язка результатів відбору?
2. У чому полягає різниця між системою паралельного та контурного водіння машинно-тракторного агрегату, і яку роль у цьому відіграє GPS-навігація?
3. Як змінюється точність ведення агрегату залежно від типу поля (прямолінійні межі, нерівний рельєф, наявність перешкод тощо)?
4. Які основні типи сенсорів використовуються для визначення врожайності зернових культур на комбайнах і за якими принципами вони працюють?

5. Які етапи включає побудова карти врожайності та як за допомогою цих карт здійснюється агроаналітика і прийняття рішень

Лекція 4

Застосування систем дистанційного моніторингу

Сенсори для визначення властивостей ґрунту

Засоби вимірювання параметрів рослин у точному землеробстві

Системи дистанційного моніторингу (англ. Remote Sensing Systems) — це сукупність технологій, які дозволяють отримувати, обробляти та аналізувати інформацію про стан сільськогосподарських угідь без безпосереднього контакту з об'єктом спостереження.

Вони є важливою частиною точного землеробства і дозволяють аграріям приймати обґрунтовані рішення щодо обробітку ґрунту, внесення добрив, зрошення та збирання врожаю.

Сучасне сільське господарство неможливо уявити без дистанційного моніторингу.

Ці системи стали незамінним інструментом для аграріїв, які прагнуть підвищити ефективність, мінімізувати витрати та вплив на довкілля, а також адаптуватися до змін клімату.

Джерела даних для дистанційного моніторингу

№	Вид	Задачі
1.	Супутникові знімки	- Використовуються дані з супутників Sentinel, Landsat, WorldView та інших. - Дають змогу охопити великі площі з різною частотою оновлення (від 5 до 16 днів). - Можна визначати рівень вегетації, вологість ґрунту, наявність бур'янів тощо.
2.	БПЛА (дрони)	- Забезпечують високу просторову роздільну здатність (до кількох сантиметрів). - Дають змогу оперативно моніторити конкретні ділянки, виявляти хвороби рослин, дефіцит елементів живлення. - Можуть бути обладнані RGB-, мультиспектральними, термальними або гіперспектральними камерами.
3.	Наземні сенсори	- Встановлюються безпосередньо на полях або техніці. - Міряють температуру, вологість ґрунту, концентрацію азоту в листі тощо. - Дають точні локальні дані в реальному часі

Системи моніторингу

№	Показники	
1.	Основні параметри, які контролюються	 Індекс вегетації (NDVI, NDRE тощо) Вологість ґрунту Стан посівів (зрідження, вилягання, ураження шкідниками) Температура рослин і ґрунту Ознаки нестачі поживних речовин Рельєф та ерозійні зони
2.	Переваги використання систем дистанційного моніторингу	 Оперативність можливість виявляти проблеми точково, що дозволяє зменшити витрати Прогнозування можливість оцінювати врожайність, прогнозувати строки збирання та ризики Аналітика об'єктивні й візуалізовані дані для прийняття рішень Прогнозування можливість оцінювати врожайність, прогнозувати строки збирання та ризики Оперативність
3.	Інтеграція з іншими системами	 GPS-навігацією — для точного розміщення проблемних ділянок на карті Польовими агрономічними системами — як-от Climate FieldView, Cropio, OneSoil Обладнанням на техніці — для точного диференційованого внесення ресурсів

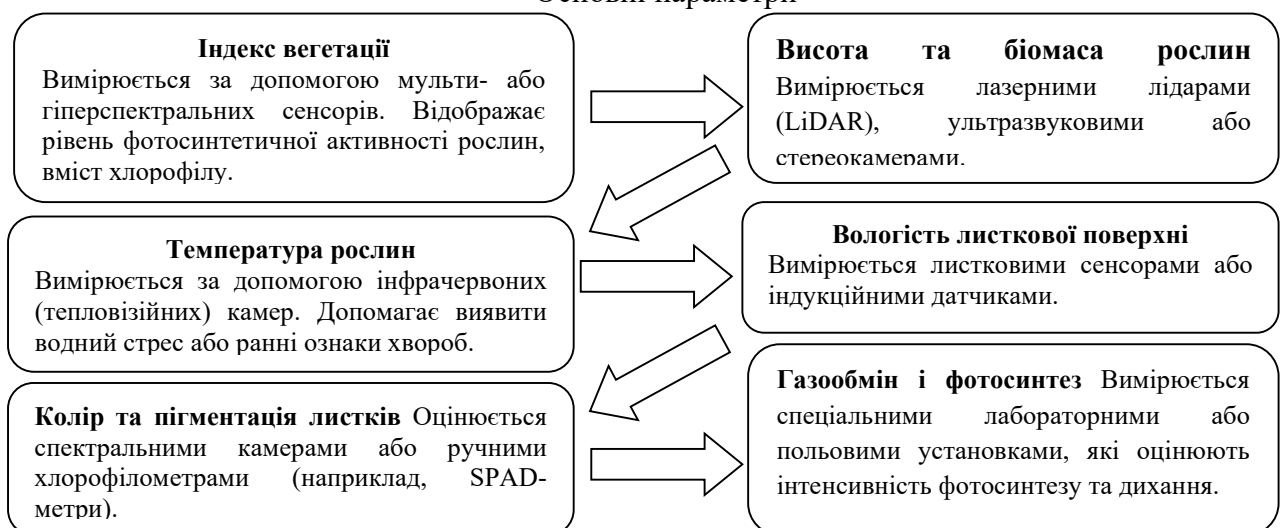
Сенсори для визначення властивостей ґрунту — це високотехнологічні пристрої, що забезпечують швидкий і точний аналіз фізичних, хімічних та біологічних параметрів ґрунту безпосередньо в полі або з можливістю лабораторної інтерпретації даних.

Вони є ключовим інструментом у точному землеробстві.

№	Тип сенсора	Принцип роботи	Що визначає	Приклади застосування
1.	ЕС-сенсори (електропровідність)	Вимірюють здатність ґрунту проводити електричний струм	Тип ґрунту, вологість, солоність, вміст органіки	Зонування полів, диференційоване внесення добрив
2.	Оптичні сенсори	Аналізують відбите світло у видимому та ближньому ІЧ-діапазоні	Органічну речовину, гумус, колір і структуру ґрунту	Картографування гумусу в реальному часі
3.	Гамма-спектрометри	Вимірюють природну радіоактивність елементів у ґрунті	Текстуру, мінеральний склад, глибину орного шару	Формування агрозон, зонування за стабільними властивостями ґрунту
4.	ІЧ-сенсори (NIR)	Аналізують поглинання інфрачервоного випромінювання зразком ґрунту	Вологість, органічний вуглець, азот, рН	Мобільні лабораторії, експрес-аналіз у полі
5.	Механічні сенсори	Вимірюють опір, який чинить ґрунт шупу чи елементу	Ущільнення, структура ґрунтового профілю	Визначення потреби в глибокому рихленні

Засоби вимірювання параметрів рослин – це сукупність сенсорів, приладів і систем, які дозволяють оперативно й об’єктивно оцінити фізіологічний стан рослин, виявити проблеми на ранніх етапах, а також прогнозувати врожайність.

Основні параметри



Питання для контролю

1. Які види систем дистанційного моніторингу використовуються для контролю стану посівів, і які параметри вони можуть фіксувати?
2. Які сенсори застосовуються для визначення вологості, температури та хімічного складу ґрунту безпосередньо в полі?
3. Які переваги мають мультиспектральні та гіперспектральні сенсори для вимірювання параметрів рослин у порівнянні з традиційними методами?
4. Як LiDAR-технології використовуються для оцінки висоти, біомаси та густоти рослинності на великих площах?
5. Які основні фактори потрібно враховувати при виборі сенсорів та систем дистанційного моніторингу для аграрного підприємства?

Лекція 5

Інформаційні технології в точному землеробстві

1. ГІС: обладнання і програмне забезпечення.

Геоінформаційні системи (ГІС) — це системи для збору, зберігання, аналізу, обробки та візуалізації просторових (географічно прив'язаних) даних

Категорія	Обладнання	Призначення / Особливості
Польове обладнання	GPS/GNSS-приймачі	Визначення географічних координат об'єктів. Бувають професійні (до см) і споживчі (до кількох м).
	Дрони (БПЛА)	Аерофотознімання, дистанційне зондування, моніторинг посівів.
	Лазерні сканери (LiDAR)	Тривимірне сканування рельєфу, об'єктів і рослинності.
	Мобільні геодезичні станції	Комплекси для картографування на місцевості (GPS, далекомір, планшет із ГІС-додатком).
	Датчики ґрунту і рослин	Збір показників ґрунту (вологість, температура, рН) і параметрів рослин.
Офісне обладнання	Комп'ютери з високою продуктивністю	Обробка великих обсягів просторових даних, аерофотознімків, карт
	Графічні планшети, сенсорні панелі	Точне нанесення об'єктів на карти.
	Плотери, широкоформатні принтери	Друк великих карт, схем, планів.



2. Комп'ютерні системи підтримки прийняття рішень у рослинництві.

Системи підтримки прийняття рішень (СППР) — це інтерактивні комп'ютерні програми або комплекси програмно-апаратних засобів, що допомагають агрономам, фермерам та управлінцям ухвалювати обґрунтовані рішення на основі аналізу даних, прогнозів та рекомендацій.

Вони не замінюють людину, а допомагають їй швидше та якісніше приймати рішення у складних ситуаціях із багатьма змінними.

Сучасне рослинництво — це не лише вирощування культур, а й постійна робота з даними:

- про стан ґрунту,
- погодні умови,
- шкідників і хвороби,
- ефективність агротехнологій,
- ринкові ціни.

СППР дозволяють:

- оптимізувати врожайність,
- зменшити витрати ресурсів (води, добрив, пестицидів),

- оперативно реагувати на ризики,
- прогнозувати врожай та рентабельність.



3. Електронні системи керування.

Електронні системи керування (ЕСК) — це комплекс апаратного та програмного забезпечення, який автоматично чи напівавтоматично керує роботою об'єктів, процесів або машин за допомогою електронних компонентів (датчиків, контролерів, виконавчих пристроїв тощо).

Основне завдання ЕСК — забезпечити ефективне, точне та надійне управління різними процесами без постійної участі людини або з мінімальним втручанням.



Класифікація електронних систем керування

Ознака	Види
За типом керування	• Автоматичні, • Напіваавтоматичні, • Дистанційні
За об'єктом керування	• Енергетичні, • Технологічні, • Транспортні, • Агротехнічні
За способом реалізації	• Аналогові, • Цифрові, • Комбіновані
За функціональними можливостями	• Одиночні, • Мережеві, • Інтелектуальні (з AI, машинним навчанням)
	•

Питання для контролю

1. Яке обладнання та програмне забезпечення використовуються у сучасних геоінформаційних системах (ГІС) для аграрного сектору?
2. Які функції виконують комп'ютерні системи підтримки прийняття рішень у рослинництві та як вони впливають на підвищення врожайності?
3. Які основні типи електронних систем керування використовуються в сільському господарстві, зокрема в автоматизації техніки?
4. Як інтеграція ГІС та систем підтримки прийняття рішень допомагає аграріям оптимізувати використання ресурсів на полі?
5. У чому полягають переваги впровадження електронних систем керування порівняно з традиційними методами управління технологічними процесами в аграрному виробництві

Лекція 6

Реалізація технологій внесення технологічних матеріалів у точному землеробстві

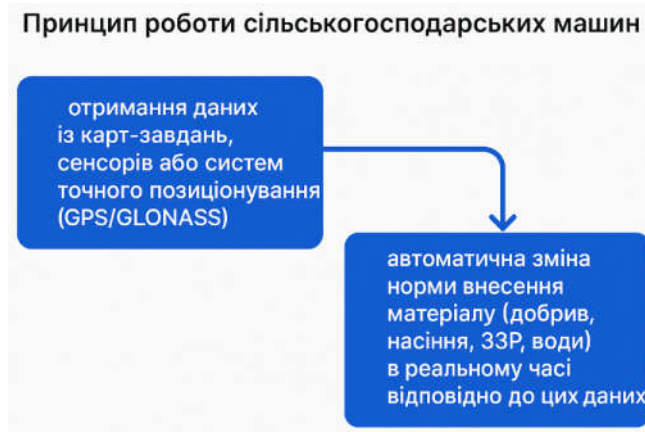
1.Сфери застосування технологій варіабельного внесення ТМ

Технології варіабельного внесення — це методи точного землеробства, які дозволяють автоматично регулювати кількість ресурсів (насіння, добрив, засобів захисту рослин) відповідно до просторових та агрохімічних особливостей окремих зон поля.

Основні сфери застосування:

№	Агротехнічна операція	Залежить від	Приклад або перевага
1.	Внесення мінеральних добрив	➤ Вміст поживних речовин у ґрунті ➤ Потреби культури ➤ Запланована врожайність	У бідних на азот ділянках доза збільшується, у багатих — зменшується
2.	Внесення органічних добрив	➤ Потреби окремих ділянок поля	Регулюється кількість гною, компосту тощо в залежності від стану ґрунту
3.	Варіабельний висів насіння	➤ Тип ґрунту Рельєф ➤ Історична врожайність	У кращих умовах — більша густина посіву, у гірших — менша
4.	Варіабельне внесення засобів захисту рослин (ЗЗР)	➤ Зони зараження ➤ Прогноз хвороб	Економія препаратів, зниження хімічного навантаження
5.	Зрошення (полив)	➤ Вологість ґрунту ➤ Потреби рослин ➤ Особливості ділянок	У низинах — менше води, на височинах — більше
6.	Вапнування	➤ Результати агрохімічного аналізу ґрунту	Створення карт внесення з оптимальними дозами для корекції рН ґрунту

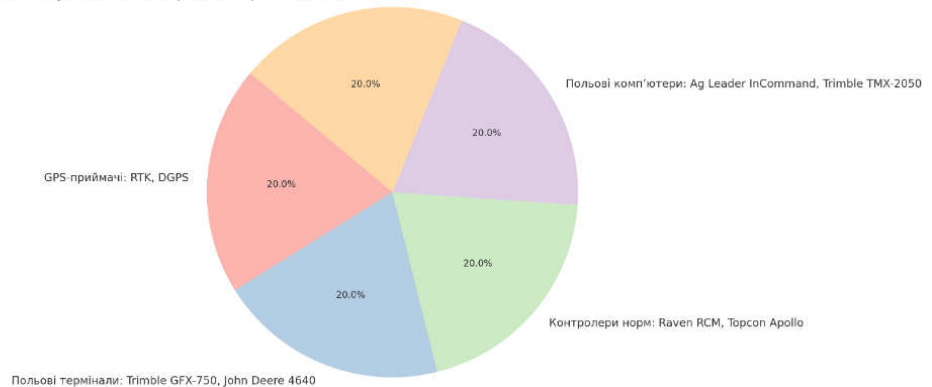
Машини та обладнання для варіабельного внесення ТМ



Основні види машин і обладнання для VRT

№	Тип машини/обладнання	Призначення	Оснащення	Популярні моделі
1.	Розкидачі мінеральних добрив	Диференційоване внесення гранульованих/сипучих добрив	Електроприводи, датчики швидкості, GPS-приймачі, контролери (Trimble, Raven, Topcon)	Amazone ZA-TS Profis Hydro, Rauch Axis H EMC+, Kuhn Axis 50.2
2.	Обприскувачі для ЗЗР	Варіабельне внесення рідких ЗЗР	Електронні клапани, насоси з автоматичним тиском, GPS-приймачі, контролери, датчики покриття	John Deere R4045, Berthoud Raptor, Hardi Commander
3.	Обприскувачі для ЗЗР	Варіабельне внесення рідких ЗЗР	Електронні клапани, насоси з автоматичним тиском, GPS-приймачі, контролери, датчики покриття	John Deere R4045, Berthoud Raptor, Hardi Commander
4.	Посівні комплекси	Зміна норми висіву насіння в реальному часі	Електроприводи на сошниках, контролери норм висіву, системи позиціонування	Vaderstad Seed Hawk, Horsch Pronto DC, John Deere 1895 Air Drill
5.	Обладнання для внесення органічних добрив	Регулювання подачі гною, компосту, рідких органічних	Дозуючі механізми, комп'ютери керування нормою, GPS-навігація	Strautmann, Bergmann, Joskin з VRT-контролем
6.	Системи варіабельного поливу	Регулювання кількості води за зонами поля	Електронні клапани, насоси, метеостанції, вологоміри, GPS-контролери	T-L Irrigation, Valley Irrigation

Додаткові компоненти для роботи VRT
Програмне забезпечення: SMS Ag Leader, FarmWorks, John Deere Operations Center



Правила використання технологій варіабельного внесення.

Основні вимоги та правила використання технологій варіабельного внесення

№	Компонент	Опис	Вимоги / Дії
1.	Наявність якісних карт-завдань	Електронні карти поля з нормами внесення по зонах	Агрохімічний аналіз, супутникові/дронові знімки, актуальність ≤ 2 роки, точність позиціонування ± 2 см
2.	Висока точність навігації	Точне позиціонування для посіву, обприскування, внесення добрив	RTK/DGPS, точність 1–2 см (посів, добрива), до 10 см (ЗЗР), стабільний сигнал
3.	Сумісне обладнання	Техніка, що підтримує варіабельне внесення	Електроприводи, контролери дозування, сумісність із картами-завданнями (shapefile, ISOXML тощо)
4.	Коректна калібровка обладнання	Підготовка техніки перед роботою	Калібрування норм, перевірка датчиків, налаштування параметрів (ширина захвату, швидкість)
5.	Контроль умов роботи	Забезпечення оптимальних умов для виконання операцій	Контроль вологості ґрунту, вітру, температури для ЗЗР і техніки
6.	Оперативний контроль і моніторинг	Моніторинг внесення та виконання карти-завдання в реальному часі	Перевірка терміналом, виявлення збоїв, облік внесення по ділянках
7.	Фіксація результатів і аналіз ефективності	Оцінка якості виконання та рентабельності	Збереження фактичних карт, порівняння з планом, аналіз врожайності, оновлення бази даних

Перспективи та майбутнє розвитку технологій варіабельного внесення



Питання для контролю

1. Що таке технології варіабельного внесення (ТМ) і в яких сферах сільського господарства вони застосовуються?
2. Які основні типи машин та обладнання використовуються для варіабельного внесення добрив, насіння та засобів захисту рослин?
3. Назвіть основні вимоги та правила, яких слід дотримуватись при використанні технологій варіабельного внесення в рослинництві.
4. Які переваги дають технології варіабельного внесення порівняно зі стандартними методами обробки полів?
5. Які перспективи розвитку технологій варіабельного внесення очікуються у найближчі роки в агропромисловості?

Лекція 7

Сучасні технології в системах точного землеробства

1 Базові станції автоматичного підкермовування: RTK, Baseline HD (Claas), AgGPS RTK Base 450, 900 (Trimble), AutoFarm RTK (Ravel), John Deere.

Базова станція — це стаціонарний GPS-приймач, який передає корекційний сигнал для систем автопілотування (автоматичного підкермовування) сільськогосподарської техніки. Вона забезпечує високу точність позиціонування — до $\pm 2,5$ см.

Принцип роботи:

- Базова станція приймає супутниковий сигнал.
- Порівнює фактичне місцезнаходження з розрахунковим.
- Відправляє корекційні дані на приймач у тракторі чи комбайні.

Основні типи та системи базових станцій

№ п/п	Тип/ система	Опис	Переваги
1	RTK базові станції	Найпоширеніша технологія для автоматичного підкермовування із сантиметровою точністю. Працюють у режимі реального часу, потрібен прямий радіосигнал до 10–20 км, точність ± 2 см.	Сантиметрова точність, робота в реальному часі.
2	Trimble AgGPS RTK Base 450, 900	Радіомодулі на частотах 450 MHz або 900 MHz. Забезпечують сигнал до 15–20 км, сумісні з технікою різних брендів, можуть бути стаціонарними чи мобільними	Стабільна робота у складному рельєфі, широкий вибір антен та конфігурацій

3	Baseline HD (Claas).	Мобільна RTK-база для Claas GPS Pilot. Радіус роботи — до 3–5 км, просте розгортання без ліцензій	Швидке встановлення, інтеграція в CEBIS та GPS Pilot
4	AutoFarm RTK (Raven).	RTK-базова станція для AutoFarm. Працює через радіо або GSM, радіус до 20 км.	Сумісність із різною технікою, підключення кількох машин до однієї бази
5	John Deere RTK Base Station	RTK-система на основі приймача StarFire. Радіус до 20 км, працює із сигналом від супутників і наземної бази, передача корекцій по радіо або через RTK-сервер	Повна інтеграція з GreenStar, AutoTrac, підтримка мережевих RTK (John Deere Mobile RTK Network).

2. Електронний помічник агронома ASUS.

ASUS (Agronomic Support Utility System) — це одна з концепцій електронного помічника агронома, яка реалізується у вигляді мобільного пристрою (планшет, ноутбук чи спеціальний термінал) або програмного комплексу, що допомагає агроному оперативно приймати рішення безпосередньо на полі.

Це програмно-апаратний комплекс для:

- збору інформації про стан рослин, ґрунту
- планування та ведення технологічних карт
- контролю виконання робіт
- формування карт-завдань для диференційованого внесення

Основні можливості ASUS:



Питання для контролю

1. Які основні функції виконує електронний помічник агронома ASUS у польових умовах?
2. У чому полягає принцип роботи RTK-базових станцій і яку точність вони забезпечують?
3. Які особливості та переваги має Baseline HD (Claas) у порівнянні з іншими базовими станціями?
4. Чим відрізняється AgGPS RTK Base 450, 900 (Trimble) за дальністю та сумісністю з технікою?
5. Як працює система AutoFarm RTK (Raven) та John Deere RTK Base Station, і які можливості вони надають для автоматичного підкермовування?

Лекція 8

Ефективність точного землеробства

1. Ефективність точного землеробства і проблеми його використання у виробництві.
2. Шляхи впровадження системи ТЗ в господарствах України.
3. Застосування організаційно-технічних заходів

Ефективність точного землеробства, проблеми його використання і шляхи впровадження в Україні

Точне землеробство (Precision Farming) — це система управління агровиробництвом, яка базується на:

- детальному зональному обліку стану ґрунтів і посівів;
- використанні сучасних ГІС, GPS, сенсорів, дронів, супутникових даних;
- застосуванні диференційованих технологій обробітку, посіву, внесення добрив та ЗЗР.

Ефективність точного землеробства

Переваги застосування ТЗ:

Показник	Ефект
Зменшення витрат добрив	на 10–30%
Зниження об'ємів ЗЗР	на 10–25%
Підвищення врожайності	на 10–20%
Скорочення витрат пального	на 5–15%
Оптимізація витрат на обробіток	до 20%
Зменшення екологічного навантаження	✓

Окупність технологій ТЗ в господарствах — 2–4 сезони.

Проблеми впровадження точного землеробства в Україні



Шляхи впровадження системи ТЗ у господарствах України

1. **Поступове впровадження** –
2. почати з GPS-навігації, картування врожайності та зонального аналізу полів.
3. **Навчання персоналу** – курси для агрономів, диспетчерів, механізаторів з основ точного землеробства.
4. **Створення цифрової карти полів** – межі полів, зональність, агрохімічний аналіз, історія посівів.
5. **Впровадження елементів VRT (варіабельного внесення)** –
6. на окремих культурах чи полях.
7. **Співпраця з консалтинговими компаніями** - для аналізу даних, складання карт-завдань, агросупроводу.
8. **Використання хмарних сервісів для обліку і планування** - агроплатформи (наприклад, Cropio, EOS Data Analytics, AgroOffice, AgriLab).

Організаційні заходи	Технічні заходи
Розробка стратегії впровадження ТЗ	Придбання GPS-навігаторів, RTK-станцій
Навчання працівників	Оснащення техніки контролерами дозування
Ведення електронного журналу полів	Встановлення систем обліку врожайності
Створення центру агромоніторингу	Використання дронів і сенсорів вологості

Інноваційні рішення зарубіжної с.г. техніки

Сучасна зарубіжна сільськогосподарська техніка активно розвивається у напрямках автоматизації, точного землеробства, роботизації, енергоефективності та екологічності.

У сфері автоматизації впроваджуються системи автоматичного водіння та паралельного керування, які забезпечують точний рух техніки по полю з мінімальними перекриттями, а також автоматичне регулювання параметрів роботи машин залежно від умов, наприклад швидкості жатки, висоти зрізу чи навантаження двигуна.

У точному землеробстві широко використовуються технології змінних норм внесення (VRT), дистанційний моніторинг посівів за допомогою дронів і супутників, а також мобільні додатки для автоматичного аналізу стану рослин.

Роботизація дозволяє зменшити потребу в людській праці завдяки безпілотним тракторам, роботизованим системам доїння та обприскувачам, які розпізнають бур'яни та обробляють лише необхідні ділянки.

Підвищення енергоефективності досягається через використання гібридних комбайнів, оптимізованих трансмісій та економічних двигунів, а також полегшених конструкцій машин, що знижують витрати пального.

Екологічність забезпечується системами точного внесення засобів захисту рослин, технологіями смугового обробітку ґрунту, що зберігають

його вологу та структуру, а також застосуванням біопалива та електротяги.

Основні напрями інновацій:

№ п/п	Напрямок/Приклади техніки	Основні можливості	Переваги
1.	Автоматизація і автопілоти John Deere AutoTrac, Trimble EZ-Pilot, Claas GPS Pilot	автоматичне підкермовування з точністю до 2 см (RTK) автопілоти для комбайнів, тракторів, обприскувачів інтеграція із картами полів і картами-завданнями	• зменшення пропусків та перекриттів • економія пального, добрив, ЗЗР • стабільна якість обробітку
2.	Роботизована техніка та автономні трактори Case IH Autonomous Concept Vehicle, John Deere 8R Autonomous, Fendt Xaver	повністю безпілотні трактори та сівалки GPS-навігація, лазерні сенсори, камери дистанційне управління через смартфон/планшет	• мінімізація людського фактора • цілодобова робота без втом • зниження витрат на персонал
3.	Системи точного диференційованого внесення Väderstad E-Control, Amazone Amatron, Kuhn CCI	варіабельне внесення насіння, добрив, ЗЗР сенсори контролю врожайності та норм витрат створення карт-завдань на основі даних з дронів, супутників, сканерів ґрунту	• економія ресурсів • підвищенн врожайності • екологічність
4.	Дрони для агромоніторинг у та	повітряне внесення ЗЗР, мікродобрив аерофотозйомка стану	• швидке обстеження полів • точкове внесення

	обприскування DJI Agras T40, XAG V40, Yamaha RMAX	посівів, NDVI-аналіз побудова карт неоднорідності посівів	препаратів • робота на важкодоступних ділянках
5.	Системи супутникового та зонального агромоніторинг у John Deere Operations Center, Trimble Ag Software, EOSDA Crop Monitoring	дистанційний моніторинг вегетації рослин супутникові індекси (NDVI, NDRE, MSAVI) аналіз продуктивності зон на полі	• прогнозування врожайності • оптимізація агрозаходів • зниження ризиків
6.	Енергозберігаючі рішення New Holland T6 Methane Power	трактори на біогазі (метані) зниження витрат на пальне до 30% зменшення викидів CO ₂ до 80%	• екологічність незалежність від дизпалива • зменшення собівартості виробництва

Питання для контролю

1. Які основні показники ефективності точного землеробства та як вони впливають на собівартість і врожайність продукції?
2. Назвіть ключові проблеми, що стримують впровадження точного землеробства в Україні, та поясніть їх причини.
3. Опишіть шляхи впровадження системи точного землеробства у господарствах України, враховуючи організаційні та технічні аспекти.
4. Які інноваційні рішення зарубіжної сільськогосподарської техніки застосовуються у сфері точного землеробства?
5. Які організаційно-технічні заходи необхідно реалізувати для успішного впровадження точного землеробства на підприємстві?

Рейтингова система балів по дисципліні

“ Системи точного землеробства ”

Підсумковою формою контролю за яким встановлено іспит, визначається як сума оцінок (балів) за всіма успішно оціненими результатами навчання під час семестру (оцінки нижче мінімального порогового рівня до підсумкової оцінки не додаються).

Мінімальний пороговий рівень оцінки з освітнього компоненту складає 60 відсотків від максимально можливої кількості балів.

Здобувач вищої освіти може бути недопущеним до підсумкового оцінювання, якщо під час семестру він: не досяг мінімального порогового рівня оцінки тих результатів навчання, які не можуть бути оцінені під час підсумкового контролю; якщо під час семестру він набрав кількість балів, недостатню для отримання позитивної оцінки навіть у випадку досягнення ним на підсумковому контролі максимально можливого результату.

Оцінювання результатів навчання під час семестру включає оцінювання знань здобувача під час практичних занять, індивідуальної роботи, самостійної роботи і неформальної освіти.

Оцінювання знань здобувача під час практичних занять відбувається за такими критеріями: своєчасність та правильність виконання завдань практичної роботи; повнота і правильність відповіді під час усного опитування та інших передбачених форм контролю.

Під час оцінювання індивідуальної роботи здобувача враховується її вид, актуальність, правильність виконання.

Під час оцінювання робіт, які винесено на обов'язкове самостійне виконання, враховується своєчасність та правильність виконання самостійної роботи та розуміння змісту завдання і його вирішення.

Під час оцінювання результатів неформальної освіти здобувача враховується відповідність наряду та змісту тематики дисципліни, актуальність, документальне підтвердження участі у заході.

Здобувачі вищої освіти, що хворіли і мають відповідні довідки медичних установ або були відсутні з інших поважних причин і не могли брати участь у контрольних заходах, проходять контроль під час спеціально встановлених додаткових занять за узгодженням з викладачами за графіком, що розроблює деканат факультету.

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти, та шкала оцінювання

Сума балів за всі види освітньої діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
90-100	A	Зараховано
82-89	B	
75-81	C	
64-74	D	
60-63	E	
35-59	FX	Не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	F	Не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

Список літературних джерел

1. Апаратне і машинне забезпечення в системах точного землеробства. Частина 1 : конспект лекцій / уклад. С. П. Соколік. Суми : Сумський національний аграрний університет, 2024. 59 с. URL: <https://surl.li/eztvme>.
2. Гончарук І. В., Ковальчук С. Я., Цицюра Я. Г., Лутковська С. М. Динамічні системи землеробства : підручник. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2020. 478 с. URL: <http://socrates.vsau.edu.ua/repository/getfile.php/27730.pdf>.
3. Дерев'янка Д. А., Аніскевич Л. В., Дерев'янка О. Д. Система точного землеробства. Практика : навч. посіб. Житомир, 2022. 480 с.
4. Дерев'янка Д. А., Петрівний О. І., Дерев'янка О. Д. Система точного землеробства. Теорія : навч. посіб. Житомир, 2021. 471 с.
5. Інформаційні технології та системи точного землеробства : конспект лекцій / уклад. С. П. Соколік. Суми : Сумський національний аграрний університет, 2024. 85 с. URL: <https://surl.lt/fepzzc>.
6. Кращі рішення, швидкі результати. Системи точного землеробства John Deere (AMS). URL: <https://agrotek.ua/upload/catalog/items/e/e88bea5ecabba272c962768c2e80.pdf>.
7. Наукові основи сучасних систем вітчизняного землеробства : навч. посіб. / І. Д. Примака та ін. ; за ред. І. Д. Примака. Вінниця : ТВОРИ, 2022. 320 с.
8. Точне землеробство. Промо-бук про сучасні технології. Mukovoz Agency, 2022. 40 с. URL: https://www.frendt.ua/wp-content/uploads/2022/11/promobuk_tochne_zemlerobstvo.pdf.
9. Холодюк О. В. Система точного землеробства : метод. вказівки. Вінниця : ВНАУ, 2020. 68 с. URL: <https://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/27870.pdf>.
10. Albanese A., Nardello M., Brunelli D. Automated Pest Detection with DNN on the Edge for Precision Agriculture. *arXiv preprint*. arXiv:2108.00421. 2021. URL: <https://arxiv.org/abs/2108.00421>.

11. Bazaluk O., Havrysh V., Nitsenko V., Mazur Y., Lavrenko S. Low-Cost Smart Farm Irrigation Systems in Kherson Province: Feasibility Study. *Agronomy*. 2022. Vol. 12, № 5. P. 1013. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12051013>.
12. Garg S., Pundir P., Jindal H., Saini H., Garg S. Towards a Multimodal System for Precision Agriculture using IoT and Machine Learning. *arXiv preprint*. arXiv:2107.04895. 2021. URL: <https://arxiv.org/abs/2107.04895>.
13. Hrynevych O., Blanco Canto M., Jiménez García M. Tendencies of precision agriculture in Ukraine: Disruptive smart farming tools as cooperation drivers. *Agriculture*. 2022. Vol. 12, № 5. P. 698. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12050698>.
14. Kocian A., Incrocci L. Learning from Data to Optimize Control in Precision Farming. *arXiv preprint*. arXiv:2007.05493. 2020. URL: <https://arxiv.org/abs/2007.05493>.
15. Lishchuk A., Parfenyk A., Furdychko O., Boroday V., Beznosko I., Drebot O., Karachinska N. Ecotoxicological hazard of pesticide use in traditional agricultural technologies. *Journal of Ecological Engineering*. 2024. Vol. 25, № 2. P. 274–289. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/177275>.
16. Lishchuk A., Parfenyk A., Horodyska I., Boroday V., Ternovyi Y., Tymoshenko L. Environmental Risks of the Pesticide Use in Agroecosystems and their Management. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. Vol. 24, № 3. P. 199–212. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/158537>.
17. Maddikunta P. K. R., Hakak S., Alazab M., Bhattacharya S., Gadekallu T. R., Khan W. Z., Pham Q.-V. Unmanned Aerial Vehicles in Smart Agriculture: Applications, Requirements and Challenges. *arXiv preprint*. arXiv:2007.12874. 2020. URL: <https://arxiv.org/abs/2007.12874>.
18. Osinnii O., Averchev S., Lavrenko S., Lykhovyd P. Cost-effective and time-saving method of phenological monitoring using satellite imagery in drip-irrigated rice. *Scientific Papers Series Management Economic Engineering in*

Agriculture and Rural Development. 2022. Vol. 22, № 4. P. 511–516. URL: https://managementjournal.usamv.ro/pdf/vol.22_4/Art56.pdf.

19. Pasichnyk N., Opryshko O. Methodical approaches to the identification of plants on high-resolution images under multispectral monitoring using a UAV. *Plant & Soil Science*. 2021. Vol. 12, № 2. P. 47–52. DOI: <https://doi.org/10.31548/agr2021.02.047>.

20. Prikhodko D., Sikachyna O., Pedersen E., Sylvester G., Rybchynshyi R. Digital technologies in the grain sector of Ukraine. *FAO Investment Centre Country Highlights*. № 18. Rome : FAO, 2022. DOI: <https://doi.org/10.4060/cc1600en>.

21. Romanov V., Galelyuka I., Antonova H., Kovyrova O., Hrusha V., Voronenko O. Application of wireless sensor networks for digital agriculture. *10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*. 2019. P. 340–344. DOI: <https://doi.org/10.1109/idaacs.2019.8924267>.

22. Semeniaka V., Zatserkovnyi V., Vorokh V., Ilyin L., Mironchuk T. Differential Technologies for Precision Agriculture. *International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2024» : Proceedings*. 2024. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2024510098>.

23. Shannon D. K., Clay D. E., Kitchen N. R. *Precision Agriculture Basics*. 1st ed. Madison, WI : ACSESS, 2020. 272 p.

24. Strizhkova A., Tokarieva K., Liubchych A., Pavlyshyn S. Digital farming as a direct of digital transformation state policy. *European Journal of Sustainable Development*. 2020. Vol. 9, № 3. P. 597–606. DOI: <https://doi.org/10.14207/ejsd.2020.v9n3p597>.

25. Study Precision farming in Ukraine. *Agroberichten Buitenland*. 2021. URL: <https://www.agroberichtenbuitenland.nl/documenten/publicaties/2021/11/5/ukraine-precision-farming-study..>

Додаткові літературні джерела

1. Бібліотека Миколаївського НАУ <https://lib.mnau.edu.ua/>
2. Репозитарій Миколаївського НАУ <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/>
3. Національна бібліотека України ім. В.І. Вернадського
<http://www.nbuv.gov.ua/>

ЗМІСТ

Вступ	3
Лекція1 Історія появи і впровадження системи точного землеробства в світову практику землекористування	6
Лекція2 Система точного землеробства: виникнення, стан та завдання.	11
Лекція 3 Використання технічних засобів точного землеробства	15
Лекція4 Застосування систем дистанційного моніторингу	26
Лекція5 Інформаційні технології в точному землеробстві	30
Лекція6 Реалізація технологій внесення технологічних матеріалів у точному землеробстві	34
Лекція7 Сучасні технології в системах точного землеробства	38
Лекція 8 Ефективність точного землеробства	41
Рейтингова система оцінювання дисципліни	46
Список використаних джерел	48

СИСТЕМИ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

Курс лекцій

Укладачі:

Галєєва Антоніна Петрівна

Тима Олег Миколайович

Формат 60×84 1/16 Ум. друк. арк. ____.

Тираж ____ прим. Зам. № ____

Надруковано у видавничому відділі

Миколаївського національного аграрного університету.

54010, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №4490 від 20.02.2013