

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

АПАРАТНЕ І МАШИННЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
Частина 1

Методичні вказівки щодо проведення практичних занять

СУМИ – 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінжинірингу

АПАРАТНЕ І МАШИННЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
Частина 1

Методичні вказівки щодо проведення практичних занять
для здобувачів 1м курсу освітньої програми «Агроінженерія», денної та
заочної форми здобуття вищої освіти
ступеня «Магістр»

СУМИ - 2026

УДК 631.3.01-82(075)
А 76

Укладачі: Шуляк М.Л., д.т.н., професор кафедри агроінжинірингу СНАУ
Соколік С.П., ст. викладач кафедри агроінжинірингу СНАУ

А 76 АПАРАТНЕ І МАШИННЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ. Частина І.

Методичні вказівки щодо проведення практичних занять для здобувачів 1м курсу освітньої програми «Агроінженерія», денної та заочної форми здобуття вищої освіти ступеня «Магістр» / укл.: М.Л. Шуляк, С.П. Соколік. - Суми, 2026 – 78 с.

В методичних вказівках описані проведення практичних занять з дисципліни апаратне і машинне забезпечення та рекомендації для їх виконання. Надано основні теоретичні відомості, які необхідні студентам для вивчення дисципліни і виконання практичних робіт.

Рецензенти:

Харченко С.О., д.т.н., професор кафедри агроінжинірингу СНАУ;
Думанчук М.Ю., к.т.н., доцент кафедри галузевого
машинобудування та технічного сервісу СНАУ.

Відповідальний за випуск: Шуляк М.Л., д.т.н., професор, завідувач кафедри
агроінжинірингу СНАУ.

Рекомендовано до видання Радою із забезпечення якості освітньої діяльності та якості вищої освіти інженерно-технологічного факультету.
Протокол № 5 від «12» березня 2026 року.

© М.Л.Шуляк, С.П.Соколік
© Сумський національний
аграрний університет, 2026

ЗМІСТ

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1. Основні складові, які необхідні для впровадження технологій точного землеробства.	4
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2. Знайомство з on-line ресурсами по точному землеробству в мережі Internet.	10
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №3. Основи роботи GPS.	16
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4. Навігація і системи керування транспортними засобами.	21
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5. Збір даних про врожайність культур. Складання карт врожайності.	25
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6. Сенсори для визначення властивостей ґрунту. Засоби вимірювання параметрів рослин.	32
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 7. Контролери внесення препаратів із змінними нормами.	40
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 8. Машини та обладнання для варібельного внесення ТМ.	47
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 9. Датчики для визначення фізико-хімічних властивостей ґрунту на ходу в реальному часі.	57
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 10. Базові станції для автоматичного підкормовування	67
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 11. Монтаж, підготовка до старту, робота, процес розвороту та зауваження до автоматичних систем рульового керування.	72

Практичне заняття 1. Основні складові, які необхідні для впровадження технологій точного землеробства

Метою заняття є формування у студентів системного розуміння технологій точного землеробства, ознайомлення з основними технічними та інформаційними компонентами, необхідними для їх впровадження у сільськогосподарському виробництві.

Завдання заняття:

1. ознайомитися з концепцією точного землеробства;
2. вивчити основні складові систем точного землеробства;
3. зрозуміти принцип взаємодії між елементами системи;
4. навчитися визначати технологічні компоненти, необхідні для впровадження точного землеробства у господарстві;
5. сформувати навички аналізу інформаційних та технологічних процесів у системах цифрового землеробства.

Матеріальне забезпечення: презентаційні матеріали; приклади карт агрономічних даних; програмне забезпечення для роботи з геопросторовими даними; демонстраційні зразки навігаційного обладнання.

Теоретичні відомості

1 Сутність технологій точного землеробства

Точне землеробство (Precision Agriculture) — це сучасна система управління сільськогосподарським виробництвом, яка базується на використанні інформаційних технологій, глобальних навігаційних систем, датчиків, геоінформаційних систем та автоматизованої техніки.

Основною метою точного землеробства є **оптимізація використання ресурсів шляхом врахування просторової неоднорідності полів.**

Основні принципи точного землеробства:

- збір просторових даних;
- аналіз агрономічної інформації;
- прийняття управлінських рішень;
- диференційоване виконання технологічних операцій.

2 Структура системи точного землеробства

Функціонування систем точного землеробства базується на **циклі управління агровиробництвом**, який включає наступні етапи:

1. Збір даних
2. Обробка та аналіз інформації
3. Прийняття управлінських рішень
4. Виконання технологічних операцій

Цей цикл постійно повторюється протягом виробничого процесу.

3 Основні складові систем точного землеробства

Системи супутникової навігації

Супутникові навігаційні системи використовуються для визначення точного місцезнаходження сільськогосподарської техніки.

Основні функції:

- паралельне водіння техніки;
- автоматичне керування трактором;
- точне позиціонування техніки;
- геоприв'язка агрономічних даних.

Застосування GNSS дозволяє підвищити точність виконання технологічних операцій та зменшити перекриття при обробці ґрунту.

Системи збору агрономічних даних



Рис. 1 - Системи збору агрономічних даних

Збір інформації про стан ґрунту та рослин здійснюється за допомогою різних датчиків.

Основні види датчиків:

- датчики вологості ґрунту;
- датчики електропровідності ґрунту;
- датчики стану рослин;

Отримані дані використовуються для створення карт просторової мінливості поля.

Геоінформаційні системи



Рис. 2 – Электронна карта поля

Геоінформаційні системи використовуються для:

- зберігання агрономічних даних;
- аналізу просторової мінливості полів;
- створення тематичних карт;
- формування карт-завдань для техніки.

Типи карт:

- карта врожайності;
- карта агрохімічних показників;
- карта електропровідності ґрунту;
- карта диференційованого внесення ресурсів.

Технології дистанційного зондування

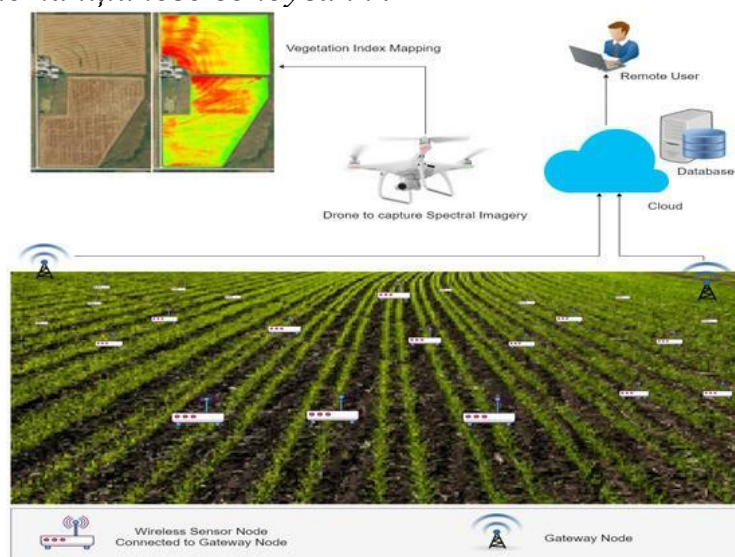


Рис. 3 - Технології дистанційного зондування

Дистанційне зондування дозволяє отримувати інформацію про стан посівів на великих площах.

Основні джерела даних:

- супутникові знімки;
- безпілотні літальні апарати;
- мультиспектральні камери.

Ці технології дозволяють:

- оцінювати стан рослин;
- визначати зони стресу;
- контролювати розвиток культур.

Засоби для диференційованого внесення технологічних матеріалів



Рис. 4 - Засоби для диференційованого внесення технологічних матеріалів

Техніка точного землеробства забезпечує диференційоване внесення ресурсів.

До таких машин належать:

- сівалки з системою змінної норми висіву;

- розкидачі добрив з системою VRT;
- обприскувачі з системою секційного відключення.

Інформаційні системи управління агропідприємством

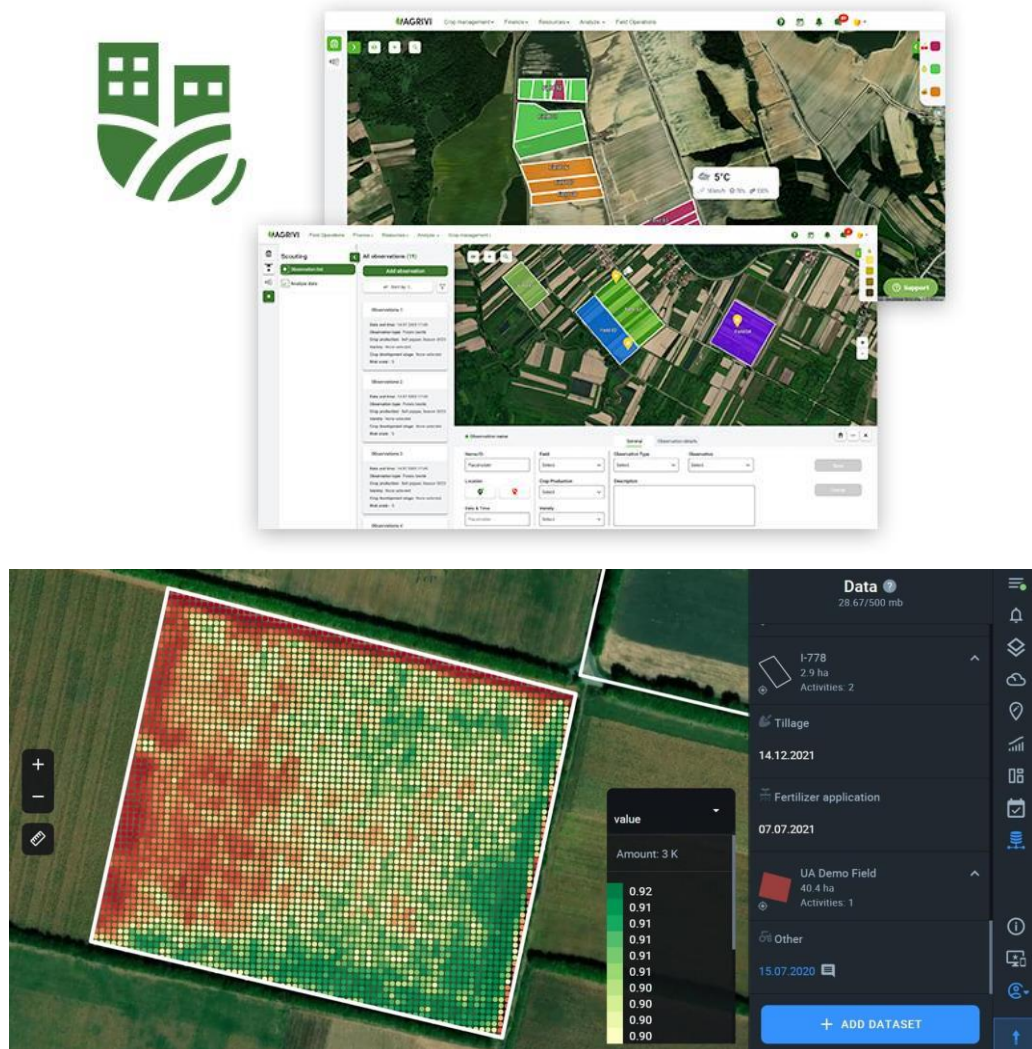


Рис. 5 - Інформаційні системи управління агропідприємством
Інформаційні системи управління господарством дозволяють:

- планувати агротехнологічні операції;
- контролювати роботу техніки;
- аналізувати економічні показники виробництва;
- приймати управлінські рішення.

Контрольні питання:

1. Що таке точне землеробство?
2. Які основні принципи точного землеробства?
3. Які джерела агрономічних даних використовуються у точному землеробстві?
4. Яку роль відіграють геоінформаційні системи?
5. Що таке диференційоване внесення ресурсів?
6. Які переваги використання технологій точного землеробства?

Список літературних джерел

1. Adamchuk V., Hummel J., Morgan M., Upadhyaya S. On-the-go soil sensors for precision agriculture. Computers and Electronics in Agriculture. 2020.
2. Zhang Q. Precision Agriculture Technology for Crop Farming. CRC Press, 2021.
3. Stafford J. Precision Agriculture. Burleigh Dodds Science Publishing, 2022.
4. Mulla D. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture. Biosystems Engineering. 2021.
5. Pedersen S., Lind K. Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives. Springer, 2021.
6. Vougioukas S., Zhang Q. Advanced Automation for Tree Fruit Orchards and Vineyards. Springer, 2023.

Практичне заняття 2. Знайомство з on-line ресурсами по точному землеробству в мережі Internet

Метою заняття є ознайомлення студентів із сучасними інтернет-ресурсами у сфері точного землеробства, формування навичок пошуку, аналізу та використання інформації про цифрові агротехнології, системи моніторингу посівів, геоінформаційні сервіси та платформи управління агровиробництвом.

Завдання:

1. ознайомитися з сучасними онлайн-ресурсами у сфері точного землеробства;
2. навчитися здійснювати пошук агрономічної та технічної інформації у мережі Internet;
3. дослідити функціональні можливості цифрових аграрних платформ;
4. отримати практичні навички роботи із супутниковими сервісами моніторингу полів;
5. навчитися аналізувати отримані дані для прийняття управлінських рішень у землеробстві.

Основні online-ресурси точного землеробства

Системи супутникового моніторингу полів

EOS Crop Monitoring

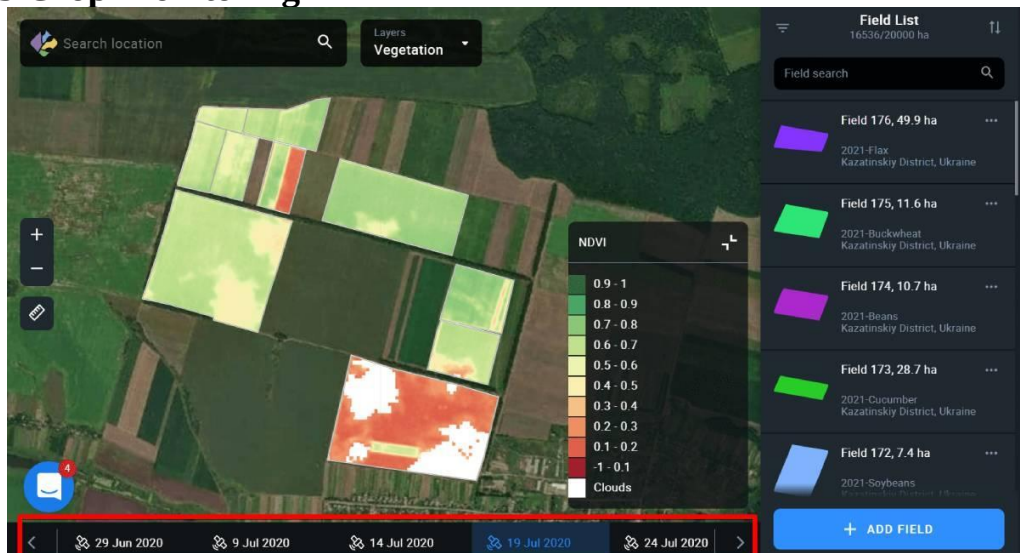


Рис. 1 - Онлайн-платформа для супутникового моніторингу стану посівів EOS Crop Monitoring

Основні можливості:

- аналіз індексів рослинності (NDVI, NDRE);
- визначення проблемних ділянок поля;
- моніторинг розвитку культур;
- аналіз погодних умов.

OneSoil



Рис. 2 - Платформа точного землеробства OneSoil

Платформа точного землеробства, що використовує супутникові знімки для аналізу стану посівів.

Функціональні можливості:

- автоматичне визначення меж полів;
- аналіз неоднорідності посівів;
- створення карт продуктивності;
- формування карт диференційованого внесення.

Cropwise Operations

Цифрова платформа управління агровиробництвом.

Основні функції:

- супутниковий моніторинг полів;
- планування польових робіт;
- управління технікою;
- облік агрономічних операцій.

Платформи управління господарством (Farm Management Systems)
John Deere Operations Center

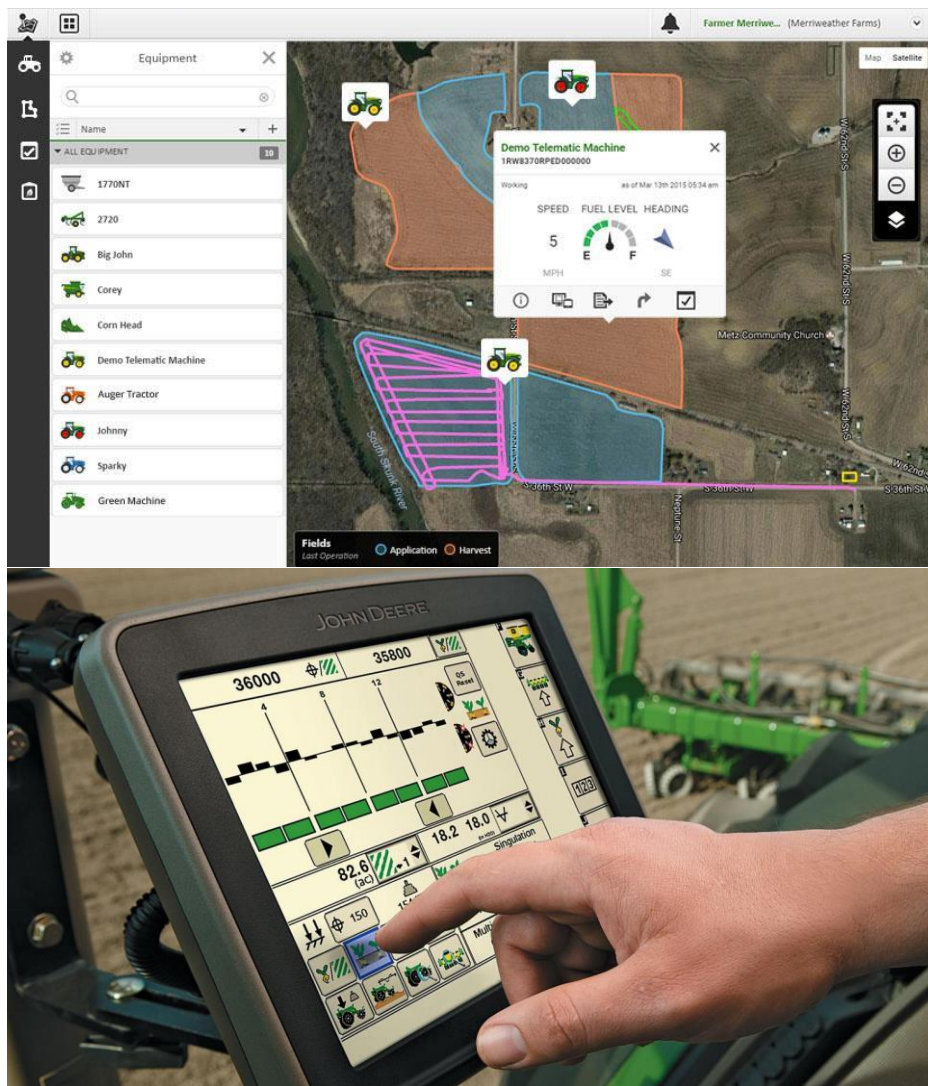


Рис. 3 - John Deere Operations Center

Цифрова платформа для управління сільськогосподарською технікою та польовими роботами.

Основні можливості:

- збір телеметричних даних із техніки;
- аналіз карт врожайності;
- планування польових операцій;
- управління технічними ресурсами господарства.

Climate FieldView

Платформа цифрового землеробства для аналізу польових даних.

Можливості:

- аналіз врожайності;
- створення карт продуктивності;
- аналіз стану посівів;
- управління польовими операціями.

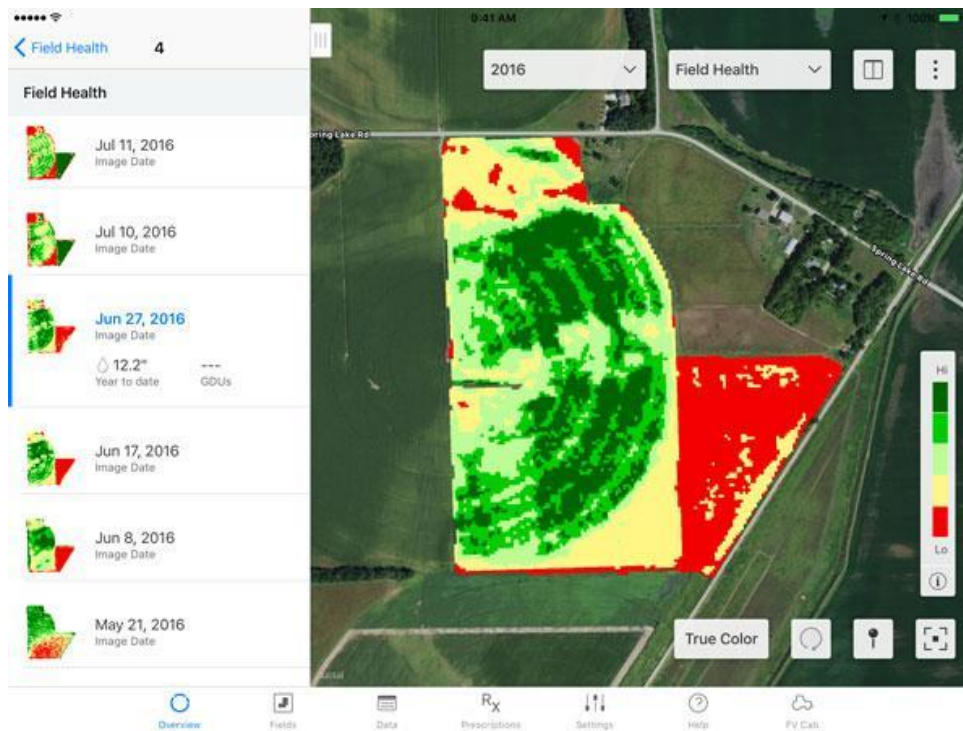


Рис. 4 - Climate FieldView

Геоінформаційні та картографічні ресурси Google Earth

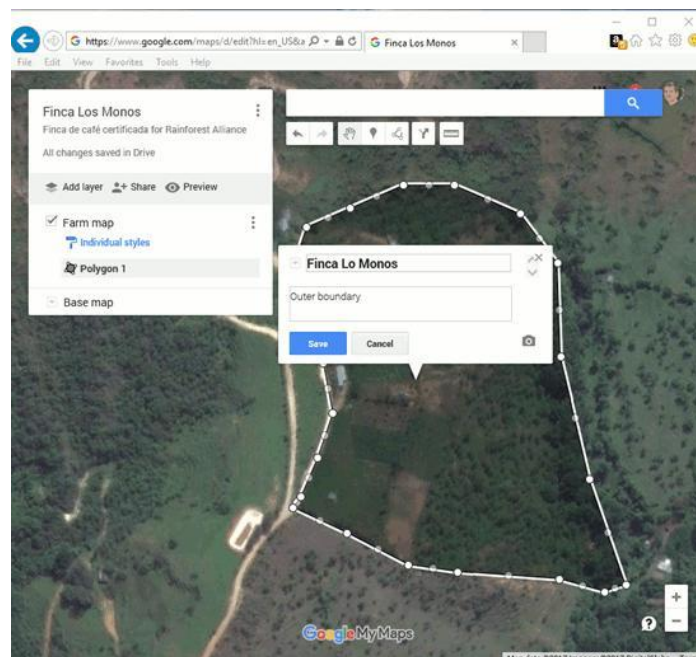


Рис. 5 - Картографічний сервіс Google Earth

Картографічний сервіс, який дозволяє працювати із супутниковими знімками земної поверхні.

Використання у точному землеробстві:

- аналіз структури полів;
- оцінка рельєфу;
- визначення площ земельних ділянок;
- попереднє планування польових робіт.

Практичні завдання для студентів

Завдання 1

Використовуючи пошукову систему Google, знайти **не менше 5 онлайн-ресурсів з точного землеробства.**

Необхідно визначити:

- назву ресурсу;
- країну розробника;
- основне призначення платформи;
- основні функції.

Завдання 2

Відкрити один із сервісів супутникового моніторингу:

- EOS Crop Monitoring
- OneSoil

Необхідно:

1. знайти поле у будь-якому регіоні;
2. переглянути супутникові карти;
3. визначити неоднорідність рослинності.

Завдання 3

Ознайомитися з можливостями **систем управління господарством.**

Визначити:

- які дані збирає система;
- які аналітичні інструменти використовуються;
- які рішення може приймати агроном.

Завдання 4

Використовуючи Google Earth:

1. знайти будь-яке сільськогосподарське поле;
2. визначити приблизну площу поля;
3. оцінити форму та структуру поля;
4. зробити скріншот зображення.

Контрольні питання

1. Що таке точне землеробство?
2. Які основні джерела даних використовуються у точному землеробстві?
3. Яку роль відіграють супутникові знімки у моніторингу посівів?
4. Що таке система управління господарством (Farm Management System)?
5. Які переваги використання онлайн-платформ у сільському господарстві?

Список літературних джерел

1. EOS Data Analytics. **EOS Crop Monitoring**. URL: <https://eos.com>
2. OneSoil. **OneSoil – platform for precision agriculture**. URL: <https://onesoil.ai>

3. Climate Corporation. **Climate FieldView digital farming platform.**
URL: <https://climate.com>
4. Syngenta Group. **Cropwise Operations digital farming platform.**
URL: <https://cropwise.com>
5. John Deere. **John Deere Operations Center.** URL:
<https://operationscenter.deere.com>
6. Google. **Google Earth web platform.** URL: <https://earth.google.com>

Практичне заняття 3. Основи роботи GPS

Мета заняття - ознайомлення студентів з принципами функціонування глобальних навігаційних супутникових систем, вивчення будови та принципу роботи системи GPS, а також набуття практичних навичок визначення координат об'єктів за допомогою GPS-приймачів.

Завдання:

Вивчити:

1. принципи функціонування глобальних навігаційних супутникових систем;
2. структуру системи GPS;
3. принцип визначення координат за допомогою супутників;
4. фактори, що впливають на точність позиціонування;
5. особливості використання GPS у сільському господарстві.

Матеріально-технічне забезпечення:

- GPS-приймач (Garmin, Trimble або аналогічний);
- смартфон з GPS-модулем;
- програмне забезпечення для визначення координат (GPS Test, Google Maps);
- ноутбук або планшет;
- блокнот для запису результатів.

Теоретичні відомості

1. Загальна характеристика супутникових навігаційних систем

Глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS — Global Navigation Satellite Systems) забезпечують визначення координат, швидкості та часу у будь-якій точці Землі.

Найбільш відомими супутниковими системами є:

- **GPS (Global Positioning System)** — США
- **Galileo** — Європейський Союз
- **BeiDou** — Китай

Сучасні навігаційні приймачі можуть використовувати сигнали від декількох систем одночасно, що дозволяє значно підвищити точність позиціонування.

Супутникові навігаційні системи широко застосовуються у:

- транспорті;
- геодезії;
- картографії;
- військовій сфері;
- сільському господарстві;
- точному землеробстві.

2. Історія розвитку системи GPS

Система GPS була розроблена Міністерством оборони США у 1970-х роках у межах програми **NAVSTAR GPS**.

Основні етапи розвитку:

Рік	Подія
1973	початок розробки системи GPS
1978	запуск першого супутника
1993	система досягла початкової готовності
1995	GPS введено в повну експлуатацію
2000	скасування селективної доступності

Після 2000 року точність визначення координат для цивільних користувачів значно зросла.

3. Структура системи GPS

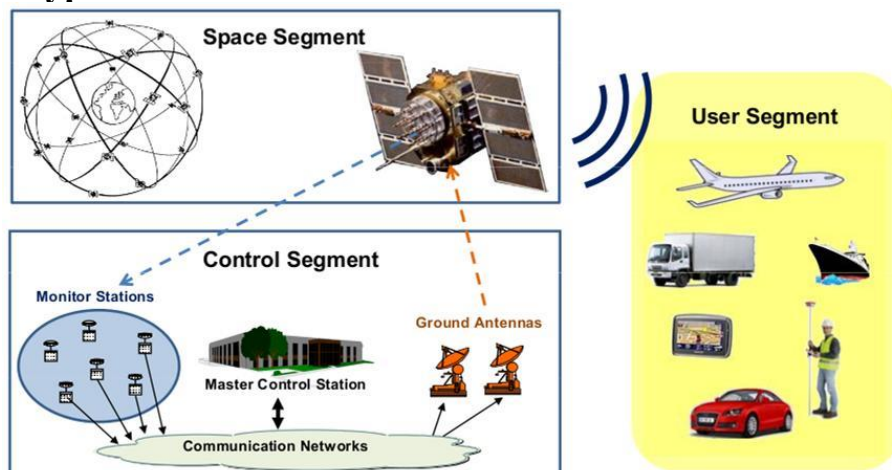


Рис. 1 - Структура системи GPS

Система GPS складається з трьох основних сегментів.

Космічний сегмент

Складається з супутників, що рухаються по орбітах на висоті приблизно 20 200 км.

Основні характеристики:

- 24 основні супутники;
- 6 орбітальних площин;
- період обертання — приблизно 12 годин.

Наземний сегмент

Наземна інфраструктура забезпечує:

- контроль орбіт супутників;
- синхронізацію часу;
- передачу коригувальних даних.

До складу входять:

- головна станція управління;
- станції моніторингу;
- наземні антени.

Користувацький сегмент

До користувацького сегмента належать:

- GPS-приймачі;
- антени;
- навігаційне програмне забезпечення.

4. Принцип визначення координат

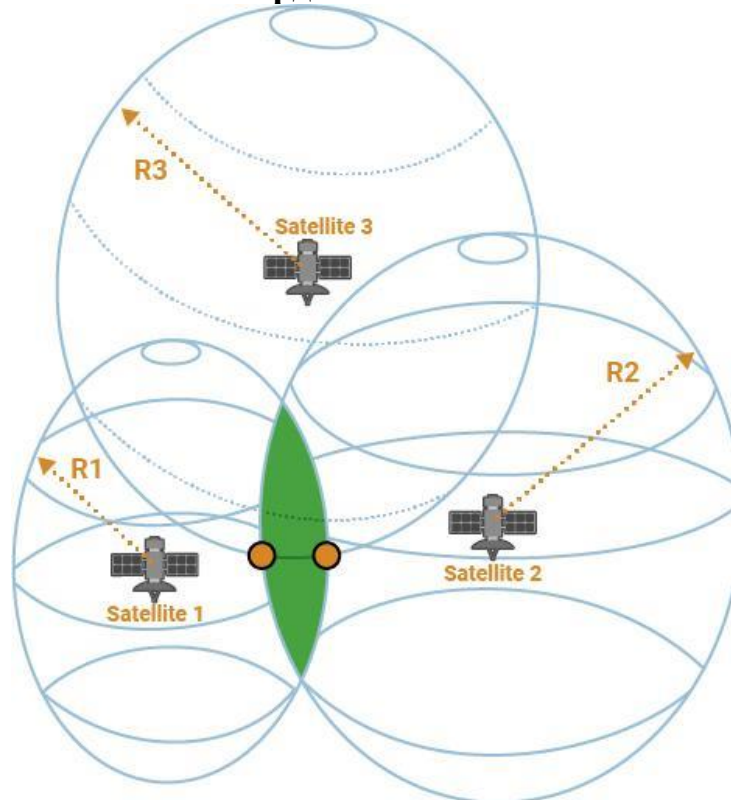


Рис. 2 - Визначення координат у GPS здійснюється за допомогою методу трилатерації

Визначення координат у GPS здійснюється за допомогою *методу трилатерації*.

Суть методу полягає у визначенні відстані від приймача до супутників.

Кожен супутник передає сигнал, що містить:

- точний час передачі сигналу;
- координати супутника.

GPS-приймач визначає:

1. час прийому сигналу;
2. час його передачі;
3. відстань до супутника.

Для визначення координат необхідно мінімум *4 супутники*.

GPS використовує географічну систему координат.

Основні параметри:

- широта (Latitude)
- довгота (Longitude)
- висота (Altitude)

Формати запису координат:

1. десяткові градуси

2. градуси та хвилини
3. градуси, хвилини та секунди

Приклад координат:

50.9075° N 34.7981° E

5. Фактори, що впливають на точність GPS

Точність визначення координат залежить від:

- кількості супутників;
- геометрії їх розташування;
- атмосферних умов;
- відбиття сигналів від будівель;
- якості приймача.

У сільському господарстві використовують системи підвищеної точності:

Тип системи	Точність
DGPS	0.5–1 м
SBAS	0.3–1 м
RTK	2–3 см

6. Використання GPS у точному землеробстві

GPS-технології широко застосовуються у сучасному сільському господарстві.

Основні напрямки використання:

- паралельне водіння техніки;
- автоматичне керування тракторами;
- картографування врожайності;
- диференційоване внесення добрив;
- моніторинг техніки.

Переваги застосування GPS у землеробстві:

- зменшення перекриттів при обробітку ґрунту;
- економія пального;
- підвищення продуктивності техніки;
- оптимізація використання ресурсів.

Порядок виконання роботи

1. Увімкнути GPS-приймач або мобільний додаток.
2. Дочекатися встановлення з'єднання із супутниками.
3. Зафіксувати координати першої точки.
4. Записати:
 - широту;
 - довготу;
 - висоту;
 - кількість супутників;

- точність позиціонування.
- 5. Переміститися на іншу точку (30–50 м).
- 6. Повторити вимірювання.
- 7. Виконати вимірювання для 3–5 точок.

Форма таблиці результатів

№ точки	Широта	Довгота	Висота, м	Кількість супутників	Точність, м
1					
2					
3					
4					

Аналіз результатів

Після виконання вимірювань студент повинен:

- порівняти координати точок;
- оцінити точність визначення координат;
- визначити можливі джерела похибок;
- зробити висновки щодо ефективності використання GPS.

Контрольні питання:

1. Що таке GPS?
2. Які супутникові навігаційні системи існують?
3. З яких сегментів складається система GPS?
4. Який принцип визначення координат використовується?
5. Скільки супутників необхідно для визначення координат?
6. Які фактори впливають на точність GPS?
7. Де використовується GPS у сільському господарстві?

Список літературних джерел

1. NASA. Understanding GPS Accuracy: Sources of Error in GPS Positioning. NASA Earth Science Division, 2019. URL: <https://www.nasa.gov>
2. Trimble Agriculture. GPS and Guidance Systems for Precision Agriculture. Trimble Inc., 2022. URL: <https://agriculture.trimble.com>
3. European GNSS Agency (GSA). Galileo Open Service – Service Definition Document. 2021. URL: <https://www.gsa.europa.eu>

Практичне заняття 4. Навігація і системи керування транспортними засобами

Мета заняття - ознайомити студентів з сучасними навігаційними системами та системами автоматичного керування транспортними засобами.

Завдання:

1. Ознайомитися з типами систем керування транспортними засобами. Вивчити принципи роботи глобальних навігаційних супутникових систем (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou).
2. Набути практичних навичок налаштування навігаційного обладнання та контролерів руху.
3. Виконати моделювання руху транспортного засобу по заданій траєкторії з використанням навігаційної системи.

Обладнання та програмне забезпечення:

- Навігаційні приймачі: GPS/RTK (Trimble, Topcon, NovAtel).
- Контролери автоматичного керування транспортними засобами.
- Комп'ютер або планшет з ПЗ для обробки навігаційних даних.
- Симулятори руху або тестові майданчики (якщо практична робота на техніці неможлива).

Теоретичні відомості

Нині виробники сільгосптехніки активно працюють над створенням прототипів «повного» автопілотування, де потреба у наявності оператора і, відповідно, кабіни відсутня, однак ці дослідження, випробування та впровадження відповідного законодавства потребують часу.

Передумовами інвестування у цю технологію є висока вартість енергоносіїв та доступні ціни на системи автоматичного керування. Чимало переваг, які отримує аграрій від її впровадження, є доволі очевидними, проте існують і додаткові. Головними серед них є:

- 1) Зменшення пропусків і перекриття;
- 2) Допомога оператору;
- 3) Можливість роботи в умовах поганої видимості;
- 4) Мінімальне налаштування і гарантія;
- 5) Простота в експлуатації.

Три типи автоматизації управління сільськогосподарським транспортним засобом:

1) Навігаційні засоби. Паралельні пристрої стеження або світлові ґрати – недорогі навігаційні засоби, які використовують оператори для візуалізації розміщення транспорту щодо попередніх проходів. Потрібно лише регулювати рульове управління, якщо визначене географічне положення відхиляється від потрібної доріжки.

2) Автогід – удосконалений варіант автоматизованого управління, подібний до попереднього пристрою, проте має додаткову функцію –

автоматичне рульове керування транспортним засобом за допомогою вбудованої електрогідравлічної системи управління або механічного рульового пристрою, встановленого всередині кабіни. При режимі автоматичного керування оператор лише управляє засобом під час поворотів та інших маневрів і стежить за роботою обладнання.

3) Польові роботи. Завдяки автономним транспортним засобам присутність оператора в кабіні не обов'язкова, контроль здійснюється дистанційно (за допомогою бездротового зв'язку) або в роботизованому режимі. Це зручно, наприклад, при обробці поля хімічними речовинами, які небезпечні для здоров'я людини. Основний недолік роботизованого сільського господарства – неналежна реакція у непередбачуваних ситуаціях на місцях. Таким чином, автогід був визнаний як найбільш перспективний варіант здійснення сучасних сільськогосподарських операцій.

Незважаючи на типи використаної системи, радіосигнал, який отримують приймачі, може залежати від декількох факторів: атмосферних перешкод, конфігурації супутників у небі, невизначеного часу тощо. Втім, перелік некоректних конфігурацій ситуації є досить обмеженим. Для налаштування розрахункових географічних координат у режимі реального часу використовуються різні диференціальні послуги корекції. До того ж більшість приймачів розпізнає сигнал відповідно до місця розташування антени. Враховуючи якість диференціальної корекції й внутрішньої обробки сигналів, приймачі автоматичного керування мають різні рівні точності: метр та більше, дециметр і сантиметр.

Рівні точності приймача:

1) Метр та більше. Широко використовується у сільському господарстві та інших галузях. Зовсім недавно Федеральне управління цивільної авіації створило систему Wide Area Augmentation (WAAS), щоб транслювати послуги диференціальної корекції на супутнику. Аналогічна послуга доступна через безкоштовний заряд John Deere StarFire 1 (SF1) і на основі передплати OmniSTAR Virtual Base Station (VBS) варіантів.

2) Дециметр. Для досягнення дециметрового рівня точності двочастотні приймачі можуть використовуватися на основі John Deere StarFire (SF2) або корекції послуг, або з локальною базою DGPS станції.

3) Сантиметр – локальна базова станція, яка також працює у реальному кінематичному часі (RTK) служби диференціальної корекції та забезпечує граничний рівень сантиметрової точності. У деяких штатах Америки локальні мережі постійних базових станцій RTK були створені приватними особами, щоби забезпечити платне покриття з відносно високим попитом на надзвичайно високу точність.

Найбільш поширене поняття про автопілот сьогодні пов'язане з т.з. системами підрулювання, які за допомогою даних GPS здатні точно вести техніку по чітко заданій траєкторії поля.

Що таке системи автопілотування та як вони працюють? Такі системи представлені спеціальним обладнанням, що складається з кількох компонентів. Це, у свою чергу, термінал/монітор з картою поля, лінія

напрямку, а крім того — гідравлічні механізми для спрямування керма, датчики повороту, додаткові контролери, електроприводи для керма. І вся ця система працює завдяки коригуючому сигналу точного позиціонування машини, який надходить через спеціальну антену-приймач.



Рис. 1 - Компоненти системи Trimble

У класифікації автопілотів усього два види: електричні і гідравлічні. Електричні 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.



Рис. 2 - Схема складових системи автопілотування на прикладі Trimble AgGPS

Типи 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 менш доцільний, якщо ви не володієте 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.

Загалом, економічні переваги від використання автопілотів можна звести до двох базових категорій:

- зменшення межі площі смуги подвійної обробки поля, а це — зниження витрат засобів виробництва таких, як добрива, ЗЗР, 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).

Порядок виконання:

1. Підготовчий етап
 - Перевірка справності обладнання.
 - Ознайомлення студентів з інтерфейсом ПЗ та функціями навігаційного обладнання.
2. Основна частина
 - Налаштування GPS/RTK приймача та визначення початкової позиції.
 - Побудова траєкторії руху транспортного засобу.
 - Виконання тестових рухів транспортного засобу або моделювання в ПЗ.
 - Вимірювання та аналіз відхилень від заданої траєкторії.
 - Регулювання параметрів системи керування для підвищення точності.

Контрольні запитання:

1. Які фактори впливають на точність роботи GPS/RTK систем?
2. Чим відрізняється ручне, напівавтоматичне та автоматичне керування транспортними засобами?
3. Які переваги використання автоматичних систем керування у сільському господарстві?
4. Як інтегруються дані навігації з контролером руху?

Список літературних джерел

1. Trimble Inc. (2022). *Precision Agriculture Solutions: GPS and RTK Technologies*. Trimble Agriculture. Retrieved from <https://agriculture.trimble.com>
2. Topcon Agriculture. (2023). *Automated Guidance and Vehicle Control Systems in Agriculture*. Topcon Positioning Systems. Retrieved from <https://www.topconpositioning.com/agriculture>

Практичне заняття 5. Збір даних про врожайність культур. Складання карт врожайності

Мета заняття

Ознайомити студентів з методами збору даних про врожайність сільськогосподарських культур, принципами роботи систем моніторингу врожайності на зернозбиральних комбайнах та навчити складати карти врожайності з використанням спеціалізованого програмного забезпечення.

Завдання

1. Ознайомитися з принципами роботи систем моніторингу врожайності на зернозбиральних комбайнах та основними датчиками, які використовуються для вимірювання параметрів урожаю.
2. Набути практичних навичок збору та обробки даних про врожайність за допомогою систем точного землеробства.
3. Виконати побудову карти врожайності поля на основі отриманих даних та провести її аналіз.

Обладнання та програмне забезпечення

- Зернозбиральний комбайн із системою моніторингу врожайності (наприклад, John Deere, CLAAS, New Holland).
- Навігаційні приймачі GPS/RTK (Trimble, Topcon, NovAtel).
- Бортовий термінал або монітор комбайна.
- Комп'ютер або планшет із програмним забезпеченням для обробки агрономічних даних (SMS AgLeader, QGIS, ArcGIS, Trimble Ag Software).
- Дані про врожайність (файли формату *.shp*, *.csv*, *.agdata* або ін.).

Теоретичні відомості

Поняття карт врожайності

Карта врожайності є одним із ключових елементів системи точного землеробства. Вона відображає просторовий розподіл врожайності на полі та дозволяє оцінити неоднорідність ґрунтових і агротехнологічних умов.

Кarti врожайності створюються на основі даних, отриманих під час збирання врожаю комбайном, обладнаним системою моніторингу врожайності та супутниковою навігацією. Система реєструє кількість зібраного зерна, його вологість, швидкість руху машини та координати.

Система моніторингу врожайності

Система моніторингу врожайності — це комплекс технічних засобів, встановлених на зернозбиральному комбайні, що забезпечують вимірювання та запис показників урожайності в реальному часі.

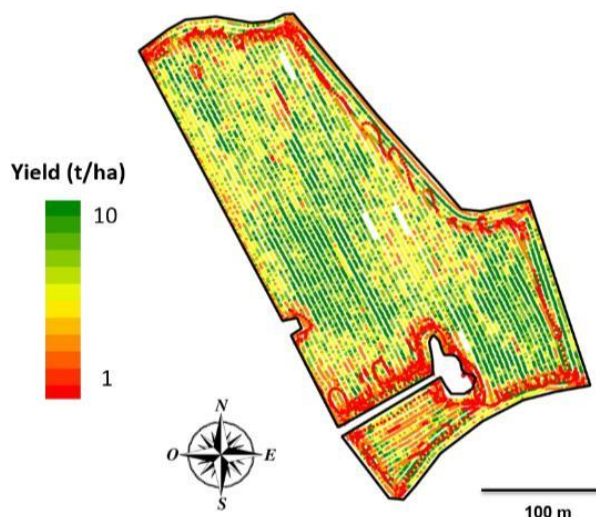


Рис. 1 – Карта врожайності

До основних елементів системи належать:

1. **Датчик масового потоку зерна** – визначає кількість зерна, що надходить у зерновий бункер. Найчастіше використовується ударний датчик (impact sensor), який фіксує силу удару зерна об пластину.
2. **Датчик вологості зерна** – вимірює вологість зібраної культури.
3. **GPS-приймач** – визначає координати комбайна під час руху полем.
4. **Датчик швидкості руху** – використовується для коректного визначення площі збирання.
5. **Бортовий комп'ютер (монітор)** – обробляє та записує дані.

Під час роботи комбайна система щосекунди реєструє координати машини та масу зібраного зерна, що дозволяє визначити врожайність на окремих ділянках поля.



Рис. 2 – Система моніторингу врожайності

Процес створення карти врожайності включає кілька етапів:

1. **Збір даних під час збирання врожаю** – комбайн фіксує параметри врожайності та координати.
2. **Збереження даних** – інформація записується у файл бортового комп'ютера.
3. **Передача даних** – файли копіюються на комп'ютер або в хмарне сховище.
4. **Обробка даних у GIS-програмі** – виконується фільтрація помилок, інтерполяція та побудова карти.
5. **Аналіз карти врожайності** – визначаються зони високої, середньої та низької продуктивності.

Карти врожайності використовуються для:

- визначення зон продуктивності поля;
- диференційованого внесення добрив;
- планування норм висіву;
- аналізу ефективності агротехнологій.

Точність карт врожайності залежить від багатьох факторів:

- правильності калібрування датчика масового потоку зерна;
- точності GPS-навігації;
- стабільності швидкості руху комбайна;
- ширини захвату жатки;
- вологості зерна;
- затримки потоку зерна у транспортних механізмах комбайна.

Для підвищення точності необхідно проводити калібрування датчиків перед початком збирання врожаю та використовувати диференціальні сигнали GPS (DGPS або RTK).

Моніторинг урожайності зернових культур – це система заходів, спрямованих на формування масивів місцевизначених даних урожайності на елементарних ділянках полів і побудову на базі цієї інформації картограм урожайності.

Для формування таких масивів місцевизначених даних необхідно мати наступну інформацію:

про точне місцезнаходження (в світових координатах) зернозбирального комбайна в кожний момент часу його роботи,

про урожайність на елементарних ділянках поля площею

$$S = BL,$$

де B – ширина захвату жатки комбайна,

L – відстань (по ходу комбайна) між двома послідовними точками, в яких фіксується місцезнаходження комбайна.

Отже, для проведення досліджень з моніторингу урожайності зернових культур необхідно мати обладнання, до складу якого входить апаратура для визначення місцезнаходження комбайна в полі і визначення урожайності на елементарних ділянках поля.

Розглянемо структуру подібного обладнання на прикладі системи Field Star, яка встановлюється на комбайнах Massey Ferguson.

Комплект апаратури Field Star для визначення місцезнаходження комбайна в полі включає в себе приймальну антену ДГСП – сигналу, що встановлюється на кабіні комбайна.



Рис. 3. - Установка приймальної антени ДГСП-сигналу на зернозбиральному комбайні MF-38

[ДГСП - сигнали](#), прийняті антеною, обробляються бортовим комп'ютером комбайна у складі контрольного дисплея і системного блоку. Інформація про місцезнаходження комбайна в полі у світових координатах (широта, довгота) виводиться на екран контрольного дисплею, а також записується на магнітний носій – флешкарту.

Для визначення урожайності на елементарних ділянках поля використовується датчик маси зерна, який складається з джерела γ -випромінювання 1 і детектора 2.

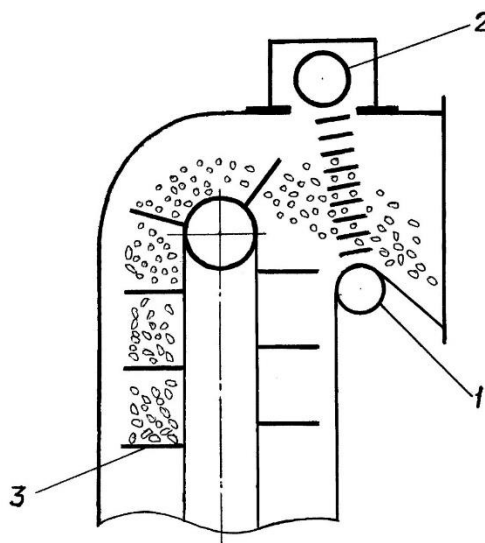


Рис. 4. - Схема функціонування датчика маси зерна Massey Ferguson.

- 1 – джерело γ -випромінювання; 2 – детектор ;
3 – зерновий елеватор.

Джерелом γ -випромінювання є контейнер з радіоактивним елементом Америцій-241. Контейнер має екран, який дає змогу утворювати нормальний потік γ -променів тільки в напрямку детектора. випромінювання в усіх інших напрямках заекрановане. Рівень радіаційного випромінювання при застосуванні такого датчика не становить загрози здоров'ю людини.

Детектор реєструє потік радіаційного випромінювання, який проходить через горловину зернового елеватора.

Визначення маси зерна базується на вимірюванні величини потоку радіоактивного випромінювання з урахуванням того, що ослаблення цього потоку пропорційне масі зерна, яка проходить між джерелом γ -випромінювання і детектором.

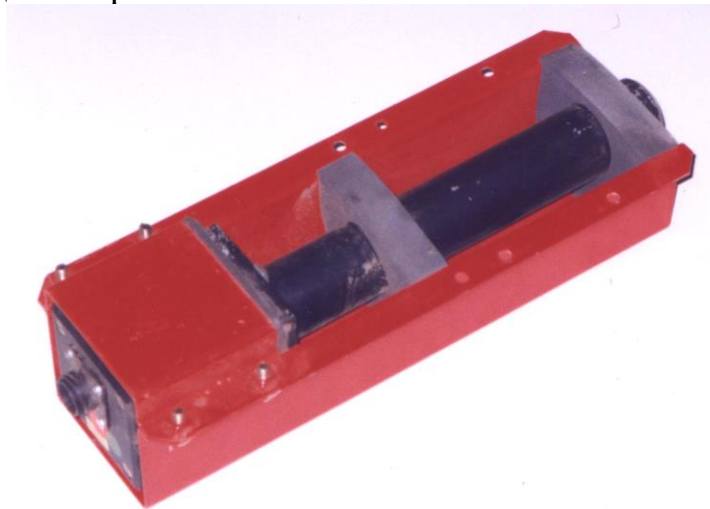


Рис. 5. - Детектор датчика маси зерна.

Точність визначення маси зерна датчиком становить + 0,5%.

Швидкість руху комбайна контролюється по спідометру, який зв'язаний з вихідним валом КПП комбайна.

Положення жатки комбайна по висоті контролюється датчиком підйому жатки. При піднятті жатки вище 50 см над поверхнею ґрунту, тобто коли процес збирання припинено, система Field Star не працює .

Складання карт врожайності

Числові значення урожайності на елементарних ділянках поля, що зафіксовані комп'ютером, складають масиви даних для побудови картограм урожайності на полі. Обробка та аналіз масивів урожайності зернових здійснюється за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Введення даних в цю програму здійснюється, в свою чергу, у стандартному форматі представлення даних NMEA. Цей формат включає дані про час, місце знаходження (фіксовані дані для ГСП приймача), параметри технологічної операції.

На прикладі нижче, показана картограма урожайності озимої пшениці. Як бачимо, рівень врожаю цього поля змінюється від 3,9 т/га до 8,6 т/га - варіація в 62% щодо середньої врожайності. Внесення технологічних

матеріалів (далі просте внесення) проводилося в традиційній формі (з сталою нормою).

Результати картографування врожаю, що виражені у вигляді гістограми, показують, що тільки 20 % поля лежать в межах середньої урожайності 7.5 т/га. Це дає привід до роздумів, як розподіляти внесені матеріали відповідно до отриманої карти врожаю.

Як бачимо, карти технологічного стану поля являються зв'язуючими ланками в ланцюгу механізованих технологічних операцій, що складають технологічний процес. Кожна карта технологічного стану поля подається у вигляді контурних (або спектральних) кольорових графіків. Таке графічне подання даних полегшує сприйняття інформації, але водночас ускладнює математичний аналіз карт поля. Тому спектральні карти технологічного стану поля трансформують у трьохмірні поверхні. Трансформація карт технологічного стану поля у трьохмірні поверхні дає можливість застосувати певний математичний апарат для аналізу зв'язків між різними картами технологічного стану поля та їх взаємного впливу.

Порядок виконання роботи

1. Підготовчий етап

- Ознайомлення з системою моніторингу врожайності комбайна.
- Завантаження базової карти поля або створення меж поля в програмному забезпеченні.

2. Основна частина

1. Передача даних

- копіювання файлів з бортового комп'ютера;
- імпорт даних у програмне забезпечення.

2. Обробка даних

- фільтрація помилкових точок;
- корекція затримки потоку зерна;
- інтерполяція даних.

3. Побудова карти врожайності

- створення карти у GIS-системі;
- класифікація врожайності за зонами;
- аналіз неоднорідності поля.

4. Аналіз результатів

- визначення зон високої та низької продуктивності;
- оцінка причин просторової неоднорідності врожайності.

Контрольні запитання

1. Що таке карта врожайності та для чого вона використовується?
2. Які датчики входять до складу системи моніторингу врожайності?
3. Які фактори впливають на точність визначення врожайності?
4. Які етапи побудови карти врожайності?
5. Які управлінські рішення можна приймати на основі карт врожайності?

Список літературних джерел

1. Alshihabi, O., Persson, K., & Söderström, M. (2024). *Easy yield mapping for precision agriculture*. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science. <https://doi.org/10.1080/09064710.2024.2411950>
2. Franzen, D. W., Casey, F. X. M., & Derby, N. (2023). *Site-specific farming: Yield mapping and use of yield map data*. North Dakota State University Extension. <https://www.ndsu.edu/agriculture/extension/publications/site-specific-farming-yield-mapping-and-use-yield-map-data>
3. Arnall, D. B. (2023). *Yield Monitoring and Mapping*. Oklahoma State University. <https://psssoil4213.okstate.edu/lecture/chapter-4-yield-monitoring-and-mapping/>

Практичне заняття 6. Сенсори для визначення властивостей ґрунту та параметрів рослин

Мета заняття. Ознайомити студентів із сучасними сенсорними системами, що застосовуються у точному землеробстві для визначення властивостей ґрунту та фізіологічних параметрів рослин, а також сформувати практичні навички роботи з відповідними вимірювальними приладами та програмним забезпеченням.

Завдання

1. Ознайомитися з основними типами сенсорів, що використовуються для визначення властивостей ґрунту (вологість, електропровідність, щільність, температура, вміст поживних елементів).
2. Вивчити принцип роботи сенсорів для моніторингу стану рослин (NDVI-сенсори, оптичні сенсори, флуоресцентні сенсори, сенсори висоти та біомаси рослин).
3. Набути практичних навичок роботи з сенсорним обладнанням, виконати вимірювання параметрів ґрунту та рослин і проаналізувати отримані результати.

Обладнання та програмне забезпечення

- Сенсори електропровідності ґрунту.
- Сенсори вологості ґрунту.
- Пенетрометри або пенетролоджери для визначення щільності ґрунту.
- Оптичні сенсори стану рослин.
- Комп'ютер або планшет з програмним забезпеченням для обробки даних (GIS, системи точного землеробства).
- Навігаційне обладнання GPS/RTK для геоприв'язки вимірювань.

Теоретичні відомості

Сучасне точне землеробство базується на принципі просторово диференційованого управління полем, що передбачає використання сенсорних систем для отримання оперативної інформації про стан ґрунту та рослин. Сенсори дозволяють збирати дані безпосередньо у полі, що значно підвищує точність агрономічних рішень.

Сенсори для визначення властивостей ґрунту

До найбільш поширених сенсорів, що використовуються для дослідження ґрунту, належать:

1. Сенсори електропровідності ґрунту. Електропровідність ґрунту є важливим показником, який пов'язаний із вмістом вологи, солей, текстурою та щільністю ґрунту. Вимірювання проводять контактними або електромагнітними методами. Найбільш поширені системи – Veris та EM38.

Дані електропровідності використовують для створення карт неоднорідності поля.

2. Сенсори вологості ґрунту Вологість ґрунту визначають за допомогою датчиків TDR (Time Domain Reflectometry) або FDR (Frequency Domain Reflectometry). Принцип їх роботи базується на вимірюванні діелектричної проникності ґрунту, яка залежить від вмісту води.

3. Пенетрометри. Пенетрометр використовується для визначення механічного опору ґрунту проникненню конуса. Цей показник характеризує ступінь ущільнення ґрунту та можливі обмеження для розвитку кореневої системи рослин.

4. Температурні сенсори. Температура ґрунту впливає на проростання насіння, мікробіологічну активність та швидкість росту рослин. Для її вимірювання застосовують термодатчики або термопари.

Зібрані дані часто використовуються для створення **карт електропровідності, вологості та ущільнення ґрунту**, які допомагають виділяти зони управління у точному землеробстві.



Рис. 1 - Сенсори для визначення параметрів рослин

Для моніторингу стану рослин у точному землеробстві широко застосовуються оптичні сенсори.

1. NDVI-сенсори. Ці сенсори визначають індекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), який характеризує стан рослинного покриву. Він розраховується на основі відбиття світла у червоному та ближньому інфрачервоному діапазонах.

2. Оптичні сенсори біомаси. Такі сенсори оцінюють густоту та біомасу рослин, що дозволяє визначати потребу у внесенні добрив.

3. Флуоресцентні сенсори. Використовуються для оцінювання фотосинтетичної активності рослин і можуть виявляти стресові стани на ранніх стадіях.

4. Сенсори висоти рослин. Лазерні або ультразвукові датчики застосовують для визначення висоти та розвитку рослинного покриву.

Отримані дані використовуються для **диференційованого внесення добрив, регулювання норм висіву та оптимізації захисту рослин.**

Приклади обладнання для моніторингу ґрунтових характеристик

1. Датчик вологи ґрунту Hunter Soil-Clik

Hunter Soil-Clik спрощує контроль за вологістю ґрунту. Сенсор Soil-Clik використовує перевірену технологію для того, щоб виміряти вологу у кореневій зоні. Коли датчик фіксує бажане значення вологи ґрунту, полив автоматично вимикається.

У **Soil-Clik** є два компоненти: сенсор вологи, який встановлюється в ґрунт, і електронний модуль, який передає інформацію на контролер. Сенсор вологи простий в установці: закопайте його в кореневу зону рослин та підключіть до модуля. Сенсор можна встановлювати на відстані до 300 м від контролера. Налаштування модуля здійснюється через простий і зручний інтерфейс, результати вимірювань вологи доступні практично одразу після завершення налаштування та установки.

Модуль підключається до контролерів Hunter і буде працювати з більшістю контролерів інших виробників. Soil-Clik можна запрограмувати на відключення поливу при досягненні певної вологості ґрунту. П'ятирічна гарантія на Soil-Clik робить його надійним і ефективним засобом контролю використання води як в парі з Solar Sync, так і без нього.

Особливості:

- Дозволяє легко перевірити рівень вологості.
- Вимикає полив при досягненні заданого рівня вологості.
- Байпас сенсора одним дотиком для особливих умов.
- Зовнішній датчик з низькою напругою, живиться від контролера.
- Проста установка сенсора до 300 м від контролера.
- Підключіть до терміналів для сенсора або для переривання ланцюга будь-якого 24В контролера для поливу.
- Ідеальний компаньйон для Solar Sync.
- Гарантійний період: 5 років.

Технічні характеристики:

- Максимальна дистанція від модуля до контролера 2 м.
- Максимальна дистанція від сенсора до контролера 300 м.
- Живлення: 24В, 1000мА максимально.
- Підключення: стандартне сухе.
- Корпус: NEMA 3R, внутрішній/зовнішній.
- Розміри модуля, см: 11,4 x 8,9 x 3,2.

- Розміри контактного датчика, см: 8,25 x 2,22 см.

Вибір місця для контактного датчика (рис. 2):

Виберіть ділянку з найбільшим сонячним освітленням, що знаходиться в швидко просихаючій частині поливаної території. При використанні у дерені датчик слід розташовувати в кореневій зоні на глибині приблизно 15 см (це значення може бути змінено відповідно до стану дерену). При використанні на ділянці з деревами і кущами виберіть більш глибоке розташування відповідно до кореневої зони. У зоні з тільки що висадженими саджанцями розміщуйте датчик в рідному ґрунті на глибині приблизно половини кореневої грудки.



Рисунок 2.- Вибір місця для контактного датчика

Цифровий датчик вологості ґрунту (рис. 3), на виході видає 1 або 0 в залежності від того, наскільки вологий ґрунт. Використовується для контролю

за домашніми квітами, в теплицях та ін., Може служити датчиком для автоматичних систем поливу. У комплекті йде плата, що перетворює аналоговий сигнал датчика в цифровий сигнал (нуль - одиниця), побудована на основі мікросхеми LM393 та потенціометра, яким регулюється поріг спрацьовування датчика.

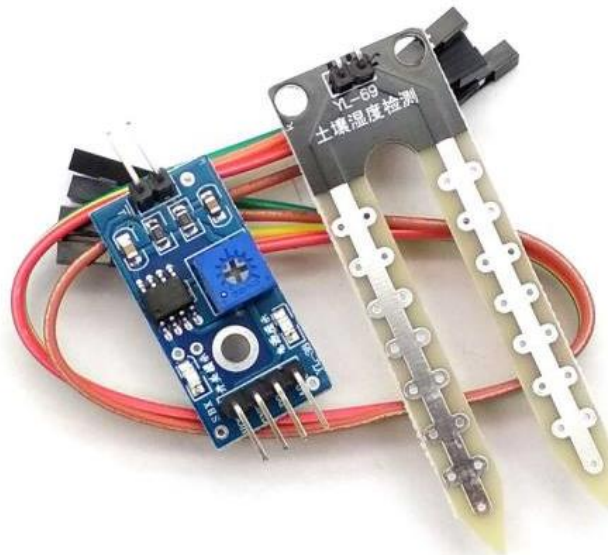


Рисунок 3. - Цифровий датчик вологості ґрунту

Для використання датчика потрібно зібрати на його основі макет (підключити живлення, підключити до контролера, помістити датчик в середовище вимірювання). Потім потрібно записати на контролер спеціальну програму, яка дозволяє працювати з датчиком. Після цього можна починати роботу. На платі є синій світлодіод, який горить, коли на датчик підключений до джерела живлення. На платі є червоний світлодіод, який горить, коли датчик передає дані в контролер.

Управління датчиком здійснюється або від Arduino контролера, або від іншого керуючого мікропроцесорного пристрою за допомогою спеціальних програм. На платі розташований змінний резистор, який використовується для налаштування порогу спрацьовування датчика (чутливості).

Датчик вологості ґрунту має два інтерфейси для підключення до живлення та до мікроконтролера, для підключення чутливого елемента:

- для підключення до живлення та до мікроконтролера використовується 4-контактний штирьовий інтерфейс. Позначення контактів: VCC - напруга живлення; GND - загальний контакт; D0 - цифровий вихід; A0 - аналоговий вихід;
- для підключення чутливого елемента використовується 2-контактний штирьовий інтерфейс.

Живлення датчика здійснюється або від Arduino контролера, або від іншого керуючого мікропроцесорного пристрою, або зовнішнього джерела живлення (блоку живлення, батареї). Напруга живлення датчика 3,3 - 5В.

Характеристики:

- вимірювальний елемент: металізований щуп (окремий)

- виконання датчика: на мікросхемі LM393 з налаштуванням чутливості
- виходи датчика: цифровий та аналоговий
- напруга живлення датчика: 3,3 - 5В
- габарити модуля: 38 x 15,6 x 8 мм
- габарити датчика: 63,8 x 20 x 8 мм
- довжина кабелю: 20 см
- вага комплекту: 11 г

2. Система TrueView

Нова технологія TrueView від компанії Great Plains за допомогою інноваційних датчиків ґрунту в режимі реального часу надає точну інформацію про такі показники поля, як вологість, температуру ґрунту, вміст органічної речовини та структуру ґрунту (останні - за принципом електропровідності). Завдяки отриманим даним проводиться зонування(картографування) поля, що допомагає фермерам виконувати критично важливі операції, які врахують особливості поля та стосуються обробітку ґрунту, оптимальних умов висіву, зокрема норм висіву, точних норм внесення, та інших операцій для максимальної ефективності і прибутків.

Система trueview вимірює:

1. Вологість ґрунту: система TrueView вимірює вологість ґрунту за допомогою ємнісного датчика, що зазвичай використовується для вимірювання вмісту води в зрізі ґрунту, що дає змогу планувати(налаштовувати) параметри по посіву, зрошенню, підживленню та захисту рослин. Дані про вологість ґрунту поля отримуються в реальному часі та дають змогу оператору, на ходу виконувати регулювання обробітку ґрунту, змінюючи кути атаки батарей дисків або притискне зусилля котка, щоб створити найкраще насіннєве ложе з максимальною рівномірністю та однорідністю по глибині.

2. Температура ґрунту: температура ґрунту вимірюється на глибині обробітку та підчас виконання фінішного(передпосівного) обробітку. Це допомагає визначити придатність ґрунту для висіву. Температура ґрунту може варіюватися в залежності від кількості рослинних залишків на поверхні поля, а також структури ґрунту та вологості. Заміри та картографування температурних зон, під час виконання обробітку ґрунту, надає додаткову інформацію для прийняття рішення сільськогосподарськими виробниками.

3. Електропровідність ґрунту: структура ґрунту вимірюється датчиком електропровідності. Однорідний ґрунт краще проводить електрику, ніж ґрунти із неуцільненими ділянками, що надає точну картину структури ґрунту. Датчик вимірює електропровідність зони росту коріння, надаючи аграрію дані по структурі, складу та однорідності ґрунту по всьому полю.

4. Вміст органічної речовини: вміст органічної речовини в ґрунті вимірюється інфрачервоним оптичним датчиком. Вміст органічної речовини позначається кольором. Темніші ділянки містять більше органічної речовини, ніж світліші. Цей показник, у поєднанні із структурою ґрунту, надає точні дані про рівномірність ґрунту по всьому полю. Здатність ґрунту утримувати воду,

поживні речовини та ущільнення - це лише декілька агрономічних факторів, які отримуються в результаті вимірювань.

3. Хлорофіло-метр *meteobot® nitro*

Вимірювання хлорофілу показує, скільки азоту поглинули рослини до теперішнього часу і скільки ще потрібно, щоб досягти свого максимального врожайного потенціалу



Рисунок 4.- система удобрення **Meteobot® Nitro** в полі

Компактна метеостанція meteobot® mini

Невеликі розміри і вбудований GPS, для безпеки та відстеження, дозволяють монтувати станцію в полі. Meteobot® Mini включає в себе:

- Датчик дощу;
- Датчик температури та вологості повітря;
- Датчик вологості ґрунту;
- Датчик температури ґрунту;
- Вбудований GPS для безпеки та відстеження;
- Сонячна панель и акумулятор;
- Мобільний застосунок для доступу до даних будь-де, будь-коли

Порядок виконання роботи

1. Підготовчий етап

- Перевірка справності сенсорного обладнання.
- Ознайомлення студентів з принципом роботи датчиків та інтерфейсом програмного забезпечення.
- Налаштування GPS-приймача для геоприв'язки вимірювань.

2. Основна частина

1. Виконати вимірювання електропровідності ґрунту за допомогою відповідного сенсора.
2. Провести вимірювання вологості ґрунту та температури на різних ділянках поля.
3. Визначити ступінь ущільнення ґрунту за допомогою пенетрометра.
4. Провести вимірювання стану рослин за допомогою оптичного NDVI-сенсора.
5. Здійснити геоприв'язку отриманих даних та сформувати карту неоднорідності поля.
6. Проаналізувати результати вимірювань та визначити можливі зони диференційованого управління.

Контрольні запитання

1. Які основні типи сенсорів використовуються для визначення властивостей ґрунту?
2. Що таке електропровідність ґрунту і які фактори на неї впливають?
3. У чому полягає принцип роботи NDVI-сенсорів?
4. Які параметри рослин можна визначати за допомогою оптичних сенсорів?
5. Для чого використовують пенетрометри у землеробстві?
6. Як дані сенсорів використовуються у системах точного землеробства?

Список літературних джерел

1. Li M., Yang C., Zhang Q. (Eds.). Soil and Crop Sensing for Precision Crop Production. Cham : Springer, 2022. 463 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-70432-2>.
2. Kerry R., Escolà A. (Eds.). Sensing Approaches for Precision Agriculture. Cham : Springer, 2021. 398 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-78431-7>.
3. Nawar S., Mouazen A. M., Kuang B. Rapid in-field soil analysis of plant-available nutrients and pH for precision agriculture – a review. Precision Agriculture. 2024. Vol. 25. P. 3189–3218. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-024-10181-6>

Практичне заняття 7. Контролери внесення препаратів із змінними нормами

Мета заняття. Ознайомити студентів із принципами роботи контролерів внесення препаратів зі змінними нормами (Variable Rate Technology – VRT), їх складовими елементами, принципами інтеграції з навігаційними системами та картами-завданнями, а також сформувати практичні навички налаштування і використання таких систем у технологіях точного землеробства.

Завдання

1. Ознайомитися з принципами технології диференційованого внесення засобів виробництва (добрив, ЗЗР, насіння) та типами контролерів змінної норми внесення.
2. Вивчити будову та принцип роботи контролерів внесення препаратів (контролер, датчики, виконавчі механізми, GPS-приймач, термінал управління).
3. Набути практичних навичок налаштування контролера внесення та завантаження карти-завдання для диференційованого внесення препаратів.

Обладнання та програмне забезпечення

- Контролери внесення препаратів (Trimble, John Deere, Raven, Topcon).
- Навігаційні приймачі GPS/RTK.
- Обприскувач або розкидач добрив з електронною системою управління.
- Комп'ютер або планшет із програмним забезпеченням для створення карт-завдань (Trimble Ag Software, SMS Ag Leader, QGIS, John Deere Operations Center).
- Демонстраційні карти урожайності, агрохімічних показників або зон продуктивності поля.

Теоретичні відомості

Сучасні технології точного землеробства передбачають використання систем диференційованого внесення матеріалів, що дозволяє враховувати просторову неоднорідність ґрунтових та агрономічних умов поля. Основою такої технології є Variable Rate Technology (VRT) – технологія внесення матеріалів із змінними нормами.

Принцип технології VRT.

Технологія змінних норм внесення базується на використанні карт-завдань або даних сенсорів, які визначають оптимальну норму внесення для кожної ділянки поля. Дані про фактичне місцезнаходження техніки отримуються від супутникових навігаційних систем, а контролер регулює роботу виконавчих механізмів машини.

Основні етапи реалізації технології VRT:

- збір просторових даних (карти врожайності, агрохімічний аналіз ґрунту, супутникові знімки);

- створення карти-завдання;
- завантаження карти у термінал техніки;
- автоматичне регулювання норми внесення під час руху агрегату.



Рис. 1 - Контролери змінної норми внесення

Контролер змінної норми внесення є центральним елементом системи диференційованого внесення. Він отримує дані про координати техніки від GPS-приймача та інформацію з карти-завдання і, відповідно до цих даних, керує роботою дозуючих механізмів.

Основні функції контролера:

- автоматичне регулювання норми внесення;
- управління секціями обприскувача або розкидача;
- відображення карти поля та поточних параметрів роботи;
- запис технологічних операцій та створення карт виконання.

Контролери можуть працювати у двох режимах:

1. Map-based VRT – регулювання норми внесення на основі попередньо створеної карти-завдання.

2. Sensor-based VRT – регулювання норми внесення на основі даних сенсорів у режимі реального часу.

Внутрішня будова контролерів

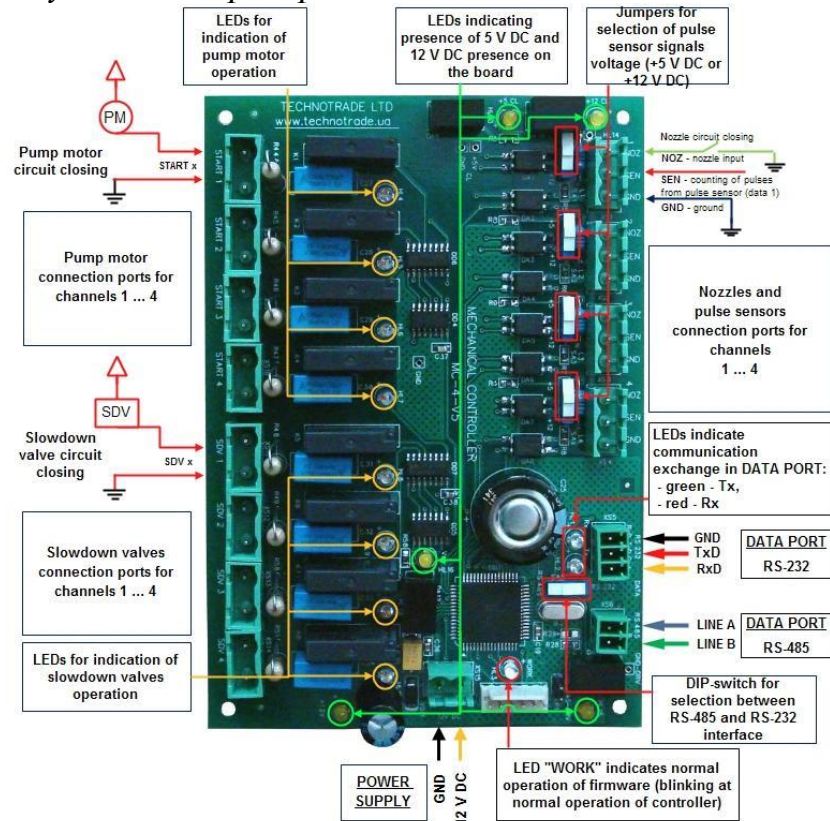


Рис. 2 – Архітектура контролера

Загальна структурна схема контролера

Таким чином, внутрішня структура контролера внесення препаратів складається з таких основних блоків:

1. центральний процесор;
2. система пам'яті;
3. блок обробки сигналів датчиків;
4. комунікаційні інтерфейси;
5. модуль керування виконавчими механізмами;
6. система живлення;
7. інтерфейс оператора.

Контролери внесення препаратів із змінними нормами є спеціалізованими електронними пристроями, що забезпечують автоматичне керування дозуванням матеріалів (добрив, засобів захисту рослин, насіння) відповідно до заданих параметрів або карт-завдань. Внутрішня будова контролера включає комплекс електронних, програмних та комунікаційних компонентів, які забезпечують обробку даних, керування виконавчими механізмами та взаємодію з іншими елементами системи точного землеробства.

1. Центральний процесор (мікроконтролер)

Основним елементом контролера є центральний процесор або мікроконтролер, який виконує функції обробки інформації та керування системою.

Основні функції процесора:

- приймання сигналів від датчиків;
- обробка навігаційних даних;
- аналіз карти-завдання;
- розрахунок необхідної норми внесення;
- формування керуючих сигналів для виконавчих механізмів.

Сучасні контролери використовують високопродуктивні *вбудовані мікропроцесори*, що дозволяють виконувати обчислення у реальному часі.

2. Пам'ять контролера

У контролерах застосовується кілька типів пам'яті:

Оперативна пам'ять (RAM). Використовується для тимчасового зберігання даних під час роботи системи (координати, параметри внесення, швидкість руху агрегату).

Постійна пам'ять (Flash або ROM). Містить програмне забезпечення контролера, алгоритми керування та налаштування системи.

Зовнішня пам'ять. Може використовуватися для зберігання карт-завдань, технологічних карт виконання операцій та журналів роботи.

3. Блок обробки сигналів.

Блок обробки сигналів забезпечує перетворення аналогових сигналів від датчиків у цифрову форму, придатну для обробки мікропроцесором.

До складу блоку входять:

- аналого-цифрові перетворювачі (ADC);
- фільтри сигналів;
- підсилювачі сигналів.

Цей блок обробляє сигнали від таких датчиків:

- датчиків швидкості руху;
- датчиків витрати рідини;
- датчиків тиску;
- датчиків положення механізмів.

4. Комунікаційні модулі

Контролери взаємодіють з іншими системами техніки через комунікаційні інтерфейси.

Найбільш поширені інтерфейси:

- CAN-bus (ISO 11783 / ISOBUS) – стандарт обміну даними між електронними системами сільськогосподарської техніки;
- RS-232 або RS-485 – послідовні інтерфейси для підключення датчиків та навігаційного обладнання;
- Ethernet або USB – для передачі даних і оновлення програмного забезпечення;
- Bluetooth або Wi-Fi – для бездротового зв'язку з мобільними пристроями.

Завдяки цим інтерфейсам контролер може інтегруватися з GPS-приймачами, терміналами управління та іншими системами точного землеробства.

5. Модуль керування виконавчими механізмами

Цей модуль формує сигнали керування для обладнання, яке безпосередньо регулює норму внесення.

До таких механізмів належать:

- електромагнітні клапани;
- електроприводи дозаторів;
- гідравлічні регулятори;
- секційні клапани обприскувачів.

Контролер змінює параметри їх роботи залежно від:

- швидкості руху агрегату;
- заданої норми внесення;
- даних карти-завдання.

6. Джерело живлення

Контролери працюють від *бортової електричної системи техніки*, зазвичай напругою 12 або 24 В.

До складу системи живлення входять:

- стабілізатори напруги;
- захист від перевантажень;
- фільтри електромагнітних перешкод.

Це забезпечує стабільну роботу електронних компонентів навіть у складних умовах експлуатації.

7. Інтерфейс оператора

Інтерфейс оператора забезпечує взаємодію людини з контролером. Він може бути представлений:

- сенсорним дисплеєм;
- кнопковою панеллю;
- графічним інтерфейсом програмного забезпечення.

Через інтерфейс оператор може:

- вводити параметри внесення;
- завантажувати карти-завдання;
- контролювати роботу агрегату;
- переглядати карти виконання технологічних операцій.

Взаємодія цих елементів забезпечує автоматичне та високоточне регулювання норми внесення матеріалів під час виконання польових робіт, що є важливою складовою технологій точного землеробства.

Система диференційованого внесення препаратів складається з кількох основних елементів:

1. Навігаційний приймач (GPS/RTK) Визначає точне місцезнаходження техніки на полі.

2. Термінал управління Виконує роль інтерфейсу між оператором і системою. На дисплеї відображається карта поля, параметри внесення та стан обладнання.

3. Контролер норми внесення Обробляє дані з карти-завдання та регулює роботу виконавчих механізмів.

4. Датчики Вимірюють швидкість руху агрегату, тиск у системі, витрату рідини або кількість внесених матеріалів.

5. Виконавчі механізми Це електроприводи, клапани, дозатори або гідравлічні механізми, які змінюють норму внесення.

Використання контролерів змінної норми внесення забезпечує низку технологічних та економічних переваг:

1. Рациональне використання ресурсів – зменшення перевитрат добрив, ЗЗР і насіння.

2. Підвищення врожайності – оптимізація живлення рослин відповідно до потреб окремих зон поля.

3. Зниження екологічного навантаження – мінімізація надлишкового внесення агрохімікатів.

4. Підвищення ефективності управління господарством – автоматичний збір та аналіз технологічних даних.

Порядок виконання роботи

1. Підготовчий етап

- Перевірка справності обладнання та підключення контролера.
- Ознайомлення студентів із інтерфейсом програмного забезпечення та функціями терміналу управління.
- Завантаження карти-завдання для диференційованого внесення.

2. Основна частина

- Підключення GPS-приймача та визначення координат техніки.
- Налаштування параметрів контролера (ширина захвату, кількість секцій, максимальна та мінімальна норма внесення).
- Запуск режиму диференційованого внесення на основі карти-завдання.

- Моделювання або виконання тестового проходу агрегату.

- Аналіз відповідності фактичної норми внесення заданій карті.

3. Обробка результатів

- Аналіз карти виконання операції.
- Визначення відхилень фактичної норми внесення від заданої.
- Формування висновків щодо ефективності роботи системи.

Контрольні запитання

1. Що таке технологія змінної норми внесення (VRT)?
2. Які основні елементи входять до складу системи диференційованого внесення препаратів?

3. Чим відрізняється внесення за картою-завданням від сенсорного внесення?
4. Які переваги застосування контролерів змінної норми внесення у точному землеробстві?
5. Які дані використовуються для створення карт-завдань?

Список літературних джерел

1. Trimble Inc. (2023). Precision Agriculture Solutions and Variable Rate Application Systems. Retrieved from <https://agriculture.trimble.com>
2. John Deere. (2022). Variable Rate Application in Precision Farming. John Deere Operations Center.
3. Topcon Agriculture. (2023). Precision Application Controllers and VRT Systems. Retrieved from <https://www.topconpositioning.com>

Практичне заняття 8. Машини та обладнання для варіабельного внесення технологічних матеріалів

Мета заняття. Ознайомити студентів з машинами та обладнанням для варіабельного внесення технологічних матеріалів (добрив, насіння, засобів захисту рослин), принципами їх роботи та налаштуванням систем диференційованого внесення.

Завдання

1. Ознайомитися з принципами диференційованого (варіабельного) внесення технологічних матеріалів у системах точного землеробства.
2. Вивчити будову та принцип роботи машин і обладнання для варіабельного внесення добрив, насіння та засобів захисту рослин.
3. Набути практичних навичок роботи з картами-завданнями та налаштування контролерів диференційованого внесення.
4. Виконати моделювання або налаштування параметрів внесення технологічних матеріалів залежно від просторової неоднорідності поля.

Обладнання та програмне забезпечення

- Розкидачі мінеральних добрив з системою змінної норми внесення (Amazon, Kuhn, Rauch, Bogballe).
- Сівалки з системами диференційованого висіву.
- Обприскувачі з системами змінної норми внесення (VRA – Variable Rate Application).
- Навігаційні приймачі GPS/RTK.
- Бортові комп'ютери та контролери управління нормою внесення.
- Комп'ютер або планшет з програмним забезпеченням для створення карт-завдань (SMS, Trimble Ag Software, John Deere Operations Center, QGIS).

Теоретичні відомості

Однією з ключових складових точного землеробства є технологія **варіабельного внесення технологічних матеріалів (Variable Rate Application – VRA)**. Її сутність полягає у зміні норми внесення насіння, добрив або засобів захисту рослин залежно від просторової неоднорідності поля.

У традиційній технології норма внесення є однаковою для всього поля, що не враховує різницю у родючості ґрунтів, вологозабезпеченні, попередній урожайності та інших агрономічних показниках. Використання технології VRA дозволяє адаптувати норму внесення до конкретних умов кожної ділянки поля.

Основними джерелами інформації для формування карт-завдань є:

- карти врожайності;
- карти агрохімічного аналізу ґрунтів;
- карти електропровідності ґрунту;
- супутникові або безпілотні знімки (NDVI);

- карти зон управління.

На основі цих даних створюється **карта-завдання**, у якій для різних зон поля встановлюється відповідна норма внесення.

Система диференційованого внесення складається з кількох основних елементів:

1. Навігаційна система (GPS/RTK) – визначає точне положення машини на полі.
2. Бортовий комп'ютер (термінал) – обробляє карту-завдання та передає команди виконавчим механізмам.
3. Контролер норми внесення – регулює роботу дозуючих пристроїв.
4. Датчики швидкості та положення агрегату.
5. Виконавчі механізми – електроприводи або гідравлічні системи, що змінюють норму внесення.

Під час руху агрегату по полю GPS-приймач визначає координати машини. Бортовий комп'ютер порівнює ці координати з картою-завданням і визначає необхідну норму внесення для конкретної ділянки. Після цього контролер подає сигнал на дозуючий механізм, який змінює подачу матеріалу.

Способи варіабельного внесення

Одне важливе питання, пов'язане з технологією: які методи внесення зі змінною нормою добрив, вапна, засобів боротьби з бур'янами та насіння доступні? Існує безліч технологій VRA, які можна використовувати з системою GPS або без неї. Дві основні технології для VRA: на основі карти та на основі датчиків.

VRA на основі карти регулює норму внесення на основі електронної карти, яку також називають картою призначення. Використовуючи положення поля з GPS-приймача та карту призначення з бажаною нормою, концентрація внесення змінюється під час руху аплікатора по полю. *VRA на основі датчиків* не потребує карти чи системи позиціонування. Датчики на аплікаторі вимірюють властивості ґрунту або характеристики культури «на ходу». На основі цього безперервного потоку інформації система керування розраховує потреби ґрунту або рослин у введенні та передає інформацію до контролера, який передає вхідні дані до місця, вимірюного датчиком. Оскільки VRA на основі карт та датчиків має унікальні переваги та обмеження, деякі системи SSCM були розроблені, щоб скористатися перевагами обох методів. VRA на основі карт

Метод на основі карт використовує карти попередньо вимірянних елементів і може бути реалізований з використанням низки різних стратегій. Виробники сільськогосподарських культур та консультанти розробили стратегії для варіювання вхідних даних на основі (1) типу ґрунту, (2) кольору та текстури ґрунту, (3) топографії (височини, низини), (4) врожайності, (5) даних польової розвідки, (5) дистанційно зондованих зображень та (6) численних інших джерел інформації, які можуть бути специфічними для культури та місця розташування. Деякі стратегії базуються на одному джерелі інформації, тоді як інші передбачають комбінацію джерел. Незалежно від фактичної стратегії, користувач зрештою контролює норму внесення. Ці

системи повинні мати можливість визначати розташування машини на полі та співвідносити це положення з бажаною нормою внесення шляхом «читання» карти приписів.

Наприклад, для розробки карти призначення поживних речовин VRA на певному полі, метод на основі карти може включати такі кроки:

- Виконання систематичного відбору проб ґрунту (та лабораторного аналізу) для поля.
- Створення карт властивостей поживних речовин ґрунту, що цікаві для конкретної ділянки.
- Використання алгоритму для розробки карти внесення поживних речовин для конкретної ділянки.
- Використання карти призначення для керування аплікатором зі змінною нормою внесення добрив.

Система позиціонування використовується під час етапів відбору проб та внесення для запису розташування точок відбору проб на полі та внесення заданих норм поживних речовин у відповідних ділянках поля.

Метод на основі датчиків надає можливість змінювати норму внесення добрив без попереднього картографування чи збору даних. Датчики в режимі реального часу вимірюють бажані властивості — зазвичай властивості ґрунту або характеристики культури — під час руху. Вимірювання, зроблені такою системою, потім обробляються та негайно використовуються для керування аплікатором зі змінною нормою. Метод на основі датчиків не обов'язково вимагає використання системи позиціонування, а також не вимагає ретельного аналізу даних перед внесенням змінної норми. Однак, якщо дані датчиків записані та географічно прив'язані, цю інформацію можна використовувати в майбутніх вправах з управління культурами на конкретних ділянках для створення карти приписів для інших та майбутніх операцій, а також для надання виробнику запису про внесення «як застосовується».

Що таке карта завдання/карта приписів? Карта завдання — це електронний файл даних, що містить конкретну інформацію про норми внесення, які слід застосовувати в кожній зоні поля.

Посів VRA

Сівалки та сівалки можна перетворити на сівалки VRA, регулюючи швидкість приводу висівного апарату. Це ефективно змінюватиме густоту рослин. Посів VRA здійснюється шляхом відокремлення або відключення систем висівного апарату сівалки від колеса приводу ґрунту. Приєднавши двигун або коробку передач (для зміни швидкості вхідного сигналу колеса ґрунту), норму висіву можна змінювати на ходу. Більшість цих пристроїв будуть узгоджені з картою приписів і можуть мати дві або більше норм висіву. Сценарій з двома нормами може бути системою, яка зменшує норми висіву поза межами досяжності системи зрошення з центральним шарніром, тоді як для регулювання типів ґрунту (вологоемності) та органічної речовини може знадобитися кілька норм висіву. Приклад комерційної системи доступний від Trimble Inc; вона включає гідравлічний привід, процесор та датчик швидкості руху по землі. Гідравлічний двигун (живиться від гідравліки трактора)

підключений до електричного крокового двигуна (рис 1) для контролю швидкості, що подається на вал висівного апарату (рис. 2). Контролер отримує сигнал швидкості руху відносно землі та координує швидкість із шириною сівалки та нормою висіву, щоб надіслати сигнал на гідравлічний привід. На деяких сівалках/газонокосарках норми висіву узгоджуються з нормами внесення добрив, гербіцидів або інсектицидів, оскільки вони приводяться в рух одним висівним валом.



Рисунок 1 - Гідравлічний двигун для керування висівним апаратом (привід PAR 2 Variable Rate Drive)

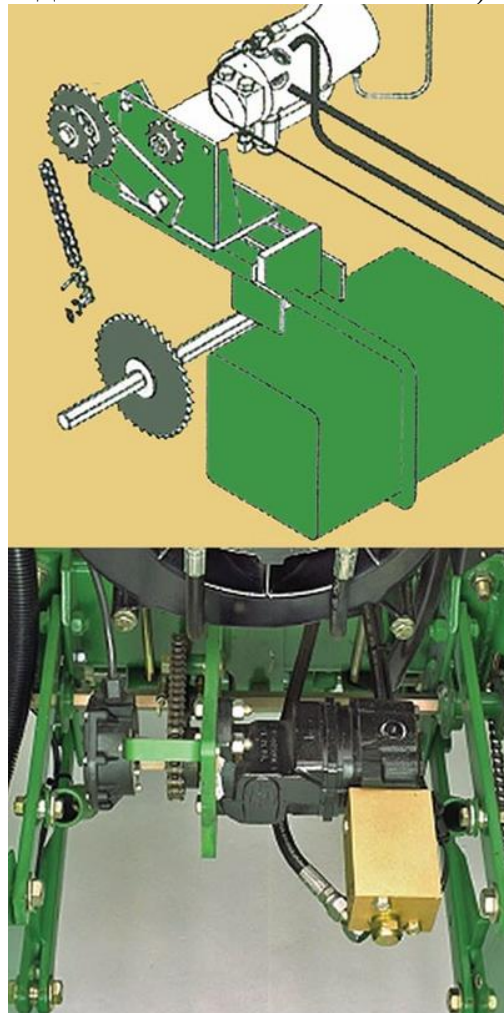


Рисунок 2 - Гідравлічний двигун, прикріплений до валу висівного апарата (контролери Trimble Variable Rate Controllers)

Системи керування на основі потоку

Керування баковою сумішшю на основі потоку є найпростішим з трьох типів, що обговорюються тут. Ці системи поєднують витратомір, датчик швидкості руху відносно землі та керований клапан (сервоклапан) з електронним контролером для подачі бажаної норми бакової суміші (малюнок 4). Мікропроцесор у консолі використовує інформацію щодо ширини обприскувача та заданої кількості галонів на акр для розрахунку відповідної швидкості потоку (галонів за хвилину) для поточної швидкості руху відносно землі. Потім сервоклапан відкривається або закривається, доки вимірювання витратоміра не збігатиметься з розрахунковою швидкістю потоку. Якщо між цим контролером та «системою карти» можна встановити зв'язок, можна виконати VRA. Ці системи мають перевагу в тому, що вони досить прості. Вони також здатні змінювати норму по всій штанзі так само швидко, як система керування реагує на нову команду норми, що зазвичай відбувається досить швидко (від трьох до п'яти секунд).

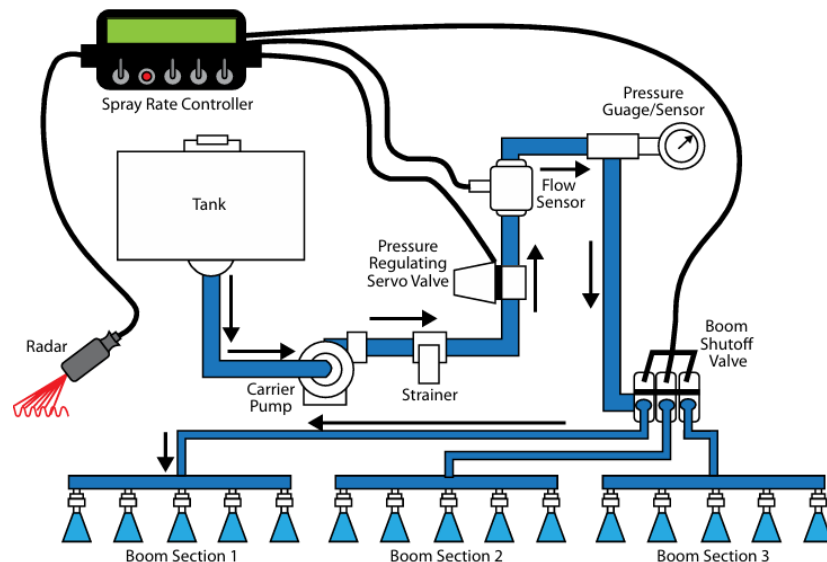


Рис. 3 - Система обприскування VRA, яка є системою керування швидкістю внесення на основі потоку

Як і будь-яка технологія, контролери на основі потоку мають обмеження. Датчик потоку та сервоклапан контролюють потік резервуарної суміші, дозволяючи подавати змінні швидкості тиску до розпилювальних форсунок. Це може призвести до значних змін розміру крапель розпилення та потенційних проблем зі зносом.

Деякі системи попереджають вас, коли тиск виходить за межі оптимального робочого діапазону для форсунок. Оператор може регулювати швидкість транспортного засобу, щоб повернути тиск до прийнятного діапазону. Це найпоширеніша система. Її стандартні операційні процедури визначають, що оператор повинен змішувати хімікат у баку обприскувача з носієм і, як правило, має мати справу з деякими залишками резервуарної суміші. Однак це відносно проста система, яка повинна задовольнити більшість потреб, надаючи операторам можливість використовувати єдиний гербіцид VRA.

Системи прямого впорскування хімікатів

Альтернативний підхід до внесення та керування хімікатами використовує пряме впорскування хімікату в потік води. Ці системи (рисунк 5) використовують контролер та хімічний насос для керування швидкістю впорскування хімікатів, а не швидкістю потоку резервуарної суміші. Швидкість потоку носія (води) зазвичай постійна, а швидкість впорскування змінюється для врахування змін наземної швидкості або змін заданої швидкості. Знову ж таки, якщо контролер був розроблений або модифікований для прийняття зовнішньої команди (від сигналу GPS та карти призначення), систему можна використовувати для VRA.

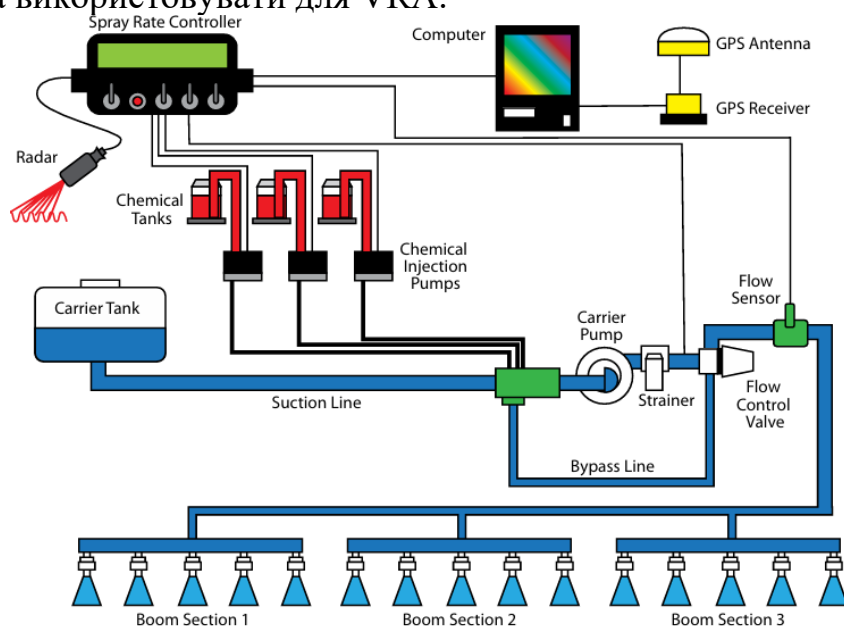


Рис. 4 – Система обприскування VRA, що включає технологію впорскування хімікатів. У цьому випадку доступні три інжекторні насоси та резервуари для зберігання трьох різних хімікатів, які можна вносити з різною швидкістю.

Впорскування хімікатів усуває залишки суміші в баку та зменшує вплив хімікатів під час змішування в баку. Додатковою перевагою цієї системи є те, що постійний потік носія можна регулювати для роботи форсунок штанги, щоб забезпечити оптимальний бажаний розмір та розподіл крапель розпилення. Основним недоліком керування змінною швидкістю є тривала затримка транспортування між насосом для впорскування хімікатів та випускними форсунками на кінцях штанги. Об'єм у трубопроводі розпилення (шланги та насадки) має бути поданий до того, як нова швидкість досягне форсунок. Це може призвести до затримок у зміні швидкості та «різдвяних ялинкових» моделей внесення, оскільки нова концентрація хімікатів виходить через штангу.

Пряме впорскування хімікатів

Впорскування хімікатів з керуванням розчином вимагає, щоб система керування змінювала як швидкість впорскування хімікатів, так і швидкість подачі води-носія, щоб реагувати на зміни швидкості або норми внесення. Один контур керування керує інжекторним насосом, а другий контролер керує

сервоклапаном для забезпечення відповідного потоку носія. Ідеальна система такого типу забезпечуватиме суміш постійної концентрації, ніби вона надходить з попередньо змішаного резервуара.

Система може мати багато переваг обох попередніх систем. Пряме впорскування хімікатів означає, що немає залишків суміші, про які потрібно турбуватися, і оператор не піддається впливу хімікатів у процесі змішування в резервуарі. Перехід від однієї швидкості до іншої відбувається так швидко, як можуть зробити зміну як контролери хімікатів, так і контролери носія, що зазвичай дуже швидко.

Недоліки включають складнішу систему з вищою початковою вартістю та проблему подачі різної кількості рідини через розпилювальні форсунки в міру зміни норми розпилення, що призводить до змін характеристик крапель та розпилення. Якщо ви багато обприскуєте та хочете уникнути небезпеки змішування в баку, ці системи нададуть вам значний контроль над вашими операціями обприскування та запропонують можливість VRA гербіцидів за допомогою карти призначення.

Модульовані системи керування розпилювальними форсунками

Системи модульованого керування розпилювальними форсунками (MSNC) дозволяють VRA з контролем дрейфу розпилення в широкому діапазоні робочих умов. MSNC контролює час та тривалість виходу з форсунок. Швидкісні клапани використовуються для регулювання часу, протягом якого розпилення подається зі звичайних форсунок. Системи пропонують можливість змінювати швидкість потоку та розподіл розміру крапель на ходу. Далі наведено короткий опис системи. Обприскувачі, оснащені MSNC, використовують звичайні вузли розпилювальних форсунок, які працюють разом з прямодіючими, вбудованими електромагнітними клапанами.

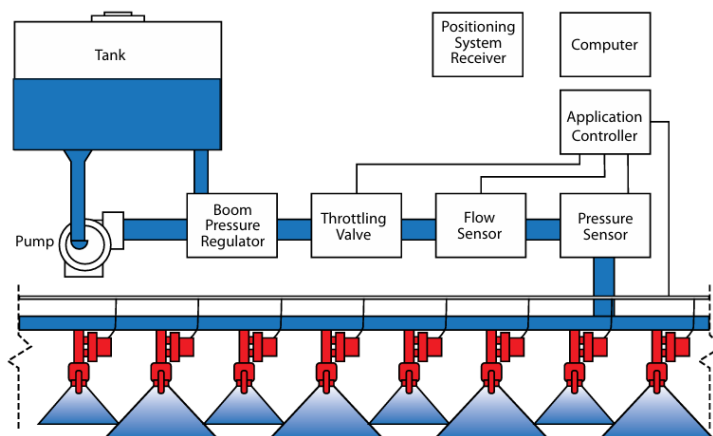


Рис. 5 - Система обприскування VRA з використанням технології модульованого керування розпилювальними форсунками (MSNC). Контролер може керувати окремими форсунками або одним сигналом для всієї штанги.

Рис. 5 – це схема системи обприскування, яка включає модульоване керування розпилювальними форсунками. Система працює під керівництвом мікропроцесора та контролера внесення, який реагує на сигнали від датчиків потоку та тиску.

Основна концепція обприскування MSNC полягає в роботі кожної форсунки при повному розрахунковому тиску та потоці в періоди, коли клапан регулювання потоку відкритий. Ключовим є зміна часу, протягом якого клапан залишається відкритим, щоб забезпечити зміну швидкості потоку (отже, швидкості внесення) без зміни розподілу розміру крапель або схеми розпилення. Швидкодіючий електричний вузол форсунок з соленоїдним керуванням (рисунк 6) монтується безпосередньо до звичайного вузла форсунок. Системи MSNC оснащені соленоїдами, які працюють на частоті 10 Гц.

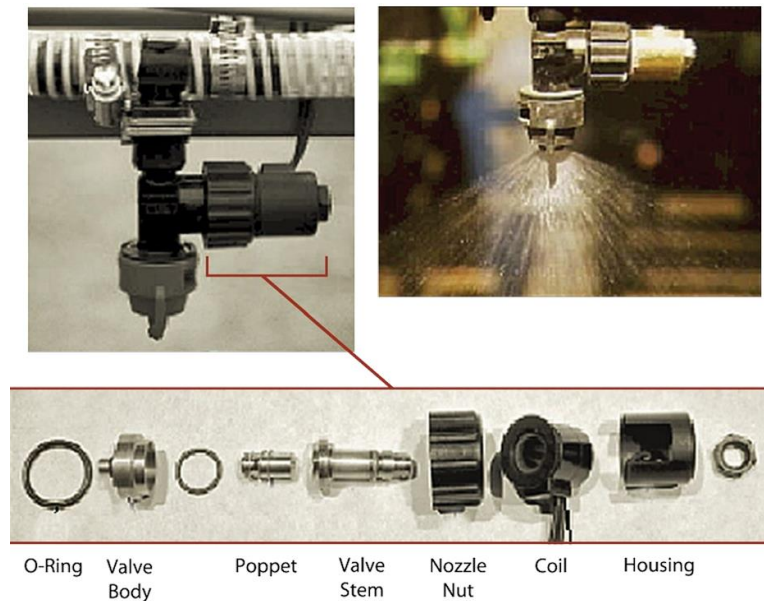


Рис. 6- Швидкодіючий, електричний, соленоїдний керований вузол форсунки

Це означає, що положення підшви може циклічно змінюватися між відкритим та закритим 10 разів на секунду, згідно з вказівками контролера, який реагує на вхідні дані від комп'ютера та набору датчиків. Цикл подій (відкриття клапана/розпилення/закриття клапана) відбувається за одну десяту секунди. Для того, щоб системи MSNC працювали найефективніше, реакція клапана має бути досить швидкою. Електричний сигнал для кожного клапана використовується для створення одного з двох станів потоку: повний потік (повністю відкритий клапан) або нульовий потік (повністю закритий клапан). Соленоїдним клапанам потрібно лише близько 4 мілісекунд (мс) або 0,004 секунди, щоб відреагувати на електричний сигнал.

Зміна положення клапана з відкритого на закриті і назад (або навпаки) займе 8 мс протягом будь-якого 0,1-секундного циклу. На практиці це перетворюється на мінімальний робочий цикл (час, протягом якого клапан відкритий для потоку). Система MSNC потім використовується для зниження швидкості приблизно на 10 відсотків та максимального робочого циклу приблизно на 90 відсотків, якщо система керування змінює положення клапана протягом кожного періоду часу 0,1 секунди. Система MSNC також може працювати з повністю відкритим положенням (100-відсотковий робочий цикл). Оскільки швидкість потоку з кожної форсунки визначається часом (робочим циклом), протягом якого кожен клапан регулювання потоку

залишається відкритим, відсоток повного номінального потоку форсунки дорівнюватиме робочому циклу, вираженому у відсотках. Це призводить до діапазону швидкостей потоку з кожної форсунки приблизно 9 до 1, хоча системи MSNC рекламуються з більш консервативним рейтингом діапазону регулювання потоку 8 до 1. Наприклад, припустимо, що стандартна форсунка має номінальну продуктивність 0,8 галонів на хвилину при тиску 40 фунтів на квадратний дюйм. Система MSNC дуже ефективна для зменшення швидкості потоку форсунок, зберігаючи при цьому розподіл крапель за розміром та характеристики форми розпилення. Тому стандартна процедура/стратегія полягає у встановленні форсунок, які задовольняють максимальну потребу в потоці в конкретній ситуації обприскування. Перевагою використання більших форсунок є зниження ймовірності засмічення.

Окрім контролю швидкості потоку форсунок за заданого тиску в системі, система MSNC може працювати за зниженого тиску, щоб збільшити розмір крапель та зменшити потенціал дрейфу в місцях та за атмосферних умов, за яких дрейф, ймовірно, спричинить пошкодження. Швидкість внесення можна підтримувати навіть при зниженні тиску в системі, збільшуючи час, протягом якого форсунка залишається відкритою протягом хвилини. Відкриття та закриття форсунок під час руху обприскувача по полю може здатися ризикованою пропозицією. Якщо форсунку тримати закритою навіть на мить, рідина не буде витікати. Звичайно, будуть ділянки поля, які будуть пропущені під час нормальної роботи обприскувача! Це вирішується за допомогою «фазового зсуву» сусідніх форсунок на 1/20 секунди (1/2 циклу). Коли одна форсунка вимкнена, сусідні форсунки ввімкнені. Щоб збільшити перекриття схеми розпилення та мінімізувати вплив «імпульсів та пауз», що виникають на форсунках, ці обприскувачі оснащені форсунками з широким кутом розпилення (кут 110 градусів проти більш поширеного кута 80 градусів).

Потенційні переваги використання системи внесення хімікатів, яка дозволяє регулювати як норму внесення, так і розподіл розміру крапель по всьому полю, включають можливість:

- Забезпечувати ширший діапазон витрат зі значно стабільнішими характеристиками розпилення, ніж у звичайних обприскувачів.
- Змінювати швидкість потоку форсунок та/або швидкість руху в широкому діапазоні, не впливаючи на схему розпилення або розподіл розміру крапель.
- Змінювати розподіл розміру крапель без зміни норми внесення, щоб мінімізувати потенційний дрейф поблизу чутливих ділянок або збільшити покриття розпиленням, необхідне для деяких контактних продуктів.

Технологія MSNC також може використовуватися для внесення поживних речовин VRA. Хоча контроль дрейфу не є основною проблемою при внесенні добрив, MSNC надає ще один варіант для тих, хто бажає скористатися перевагами методів управління культурами, орієнтованих на конкретну ділянку.

Порядок виконання роботи

1. Підготовчий етап

- Ознайомлення студентів з принципами технології варіабельного внесення.
- Перевірка працездатності обладнання та програмного забезпечення.
- Завантаження карти-завдання у бортовий комп'ютер.

2. Основна частина

1. Ознайомлення з конструкцією машини для варіабельного внесення.
2. Налаштування GPS/RTK приймача та системи управління нормою внесення.
3. Завантаження карти-завдання у бортовий термінал.
4. Моделювання або виконання проходу агрегату по полі.
5. Спостереження за зміною норми внесення відповідно до зон поля.
6. Аналіз отриманих результатів та оцінка точності роботи системи.

Контрольні запитання

1. У чому полягає сутність технології варіабельного внесення?
2. Які основні елементи входять до системи диференційованого внесення?
3. Які джерела даних використовуються для створення карт-завдань?
4. Які машини можуть використовувати технологію VRA?
5. У чому полягають переваги диференційованого внесення добрив?
6. Чим відрізняється внесення за картою-завданням від внесення за показниками датчиків?

Список літературних джерел

1. Trimble Inc. (2023). Precision Agriculture Solutions. Retrieved from <https://agriculture.trimble.com>
2. John Deere (2023). Variable Rate Application Technologies. Retrieved from <https://www.deere.com>

Практичне заняття 9. Датчики для визначення фізико-хімічних властивостей ґрунту на ходу в реальному часі

Мета заняття. Ознайомити студентів із сучасними датчиками та сенсорними системами для визначення фізичних і хімічних властивостей ґрунту у режимі реального часу під час руху сільськогосподарської техніки.

Завдання

1. Ознайомитися з основними типами сенсорів, що використовуються для визначення властивостей ґрунту (електропровідність, вологість, органічна речовина, pH, текстура).
2. Вивчити принципи роботи польових сенсорних систем для картографування ґрунтів у режимі **on-the-go**.
3. Набути практичних навичок інтерпретації даних ґрунтових датчиків та побудови карт просторової мінливості ґрунтових властивостей.

Обладнання та програмне забезпечення

- Польові сенсорні системи для вимірювання електропровідності ґрунту: Veris EC Sensor, EM38, SoilOptix.
- Датчики вологості ґрунту (TDR або FDR сенсори).
- Пенетрометр або Penetrologger для визначення щільності ґрунту.
- GPS/GNSS приймач для геоприв'язки даних.
- Комп'ютер або планшет з програмним забезпеченням для обробки даних (GIS-системи, QGIS, ArcGIS, спеціалізовані програми точного землеробства).

Теоретичні відомості

Основні вимоги до впровадження системи VRS полягають у наявності правильної технології, правильного процесу картування за призначенням та навчених спеціалістів. Ключові технології VRS включають GPS-приймач та дисплей у кабіні з можливістю завантаження та виконання карт за призначенням, збору даних та надання оператору трактора зворотного зв'язку в режимі реального часу щодо продуктивності сівалки та можливостей сівалки VRS. Опції VRS включають гідравлічний привід, який дозволяє змінювати норму висіву сівалки протягом усієї сівозміни. З розвитком кінематичних систем реального часу (RTK) та інших високоякісних GPS-приймачів, точні топографічні вимірювання можна отримувати одночасно з проксимальними показниками ґрунтових датчиків.

Технології регулювання норми висіву зі змінною нормою можуть працювати на основі карт за призначенням або показників датчиків у режимі реального часу (онлайн), які можна адаптувати для зміни норми висіву відповідно до певних алгоритмів. Специфічні для ділянки властивості поля (властивості ґрунту, органічний склад, відмінності ландшафту тощо) можна виявити під час сівби зернових культур або перед сівбою за допомогою різних датчиків. Оптичні датчики визначають частку органічної речовини та/або

вологи в ґрунті, безконтактні датчики електропровідності виявляють електромагнітну індукцію, датчики електромагнітної індукції виявляють електропровідність або вологість ґрунту (наприклад, EM38 TopSoil Mapper GEM-2 та DUALEM), датчики електричного опору визначають електропровідність ґрунту, з якого визначається вологість ґрунту, а датчики гамма-випромінювання визначають частку органічної речовини в ґрунті та його текстурі (наприклад, SoilOptix).

Дослідження показали, що датчик реального часу на багатосенсорній платформі Veris (MSP) точно відповідає просторовим моделям органічної речовини (OM) та ємності катіонного обміну (CEC). Veris OpticMapper може реєструвати значення OM та CEC ґрунту в режимі реального часу за допомогою двохвильового оптичного датчика, встановленого на спеціально налаштованому висівному агрегаті. Це дозволяє видаляти рослинні залишки, а сапфірове вікно в нижній частині датчика прилипати до ґрунту, записуючи показники щосекунди. Звичайні зразки ґрунту отримують з поля після проходження за допомогою OpticMapper, при цьому місця відбору зразків ґрунту контролюються за допомогою вимірювань OpticMapper. Інтеграція систем автоматичного зондування, моделювання та керування є складним завданням. Програму «VRfertilizer» та застосування пестициду хлорпірифосу можна виділити як приклади сенсорних застосувань для конкретних ділянок. SSS також мають потенціал для застосування подібних принципів, тому майбутні дослідження повинні зосередитися на розробці та оцінці SSS на основі сенсорних пристроїв для різних якостей ґрунту та культур, місцевих та погодних умов.

Вимірювання видимої електропровідності корелюють з властивостями ґрунту, які впливають на продуктивність сільськогосподарських культур, включаючи структуру ґрунту, ємність катіонного обміну, умови дренажу, засоленість та властивості підґрунтя. Контактний метод картування ґрунтової ЕСа використовує сошники, які безпосередньо контактують з ґрунтом, для вимірювання її ЕСа. Інший безконтактний метод використовує електромагнітну (ЕМ) індукцію для вимірювання ґрунтової ЕСа. Останній метод може бути використаний для визначення відмінностей у властивостях ґрунту в полі. Для створення точного плану відбору проб ґрунту та карти висіву зі змінною нормою можна використовувати сканер EM-38 МК-2 (рис. 1). При встановленні на пластикових санях ЕСа вимірює глибину ґрунту від 0 до 150 см.



Рис. 1 - Пристрій дистанційного зондування EM38-MK2, побудований на пластикових санчатах

Комерційна система картографування ґрунтового електрокоригуючого аналізу (ЕСа) від Veris Technologies вимірює ЕСа на двох глибинах (0–30 см, 0–90 см), коли пристрій переміщується полем. Можливість вимірювати та отримувати результати приблизно з 25 пробних ділянок на гектар надає фермеру або консультанту набір даних з вищою роздільною здатністю для вимірювання змін рН поля. Звичайна практика відбору проб ґрунту за допомогою сітки може забезпечити значення рН для кожної площі 2,5–4,0 га. Роздільна здатність відбору проб Veris Soil pH Manager у 25–40 разів вища, ніж у звичайної ґрунтової сітки. Контролер рН може бути поєднаний з масивом ґрунтового електрокоригуючого аналізу для одночасного вимірювання рН ґрунту, ЕСа ґрунту та кольору ґрунту. Датчик працює, опускаючи механічний маніпулятор для відбору проб у ґрунт для взяття зразка, а потім піднімаючи зразок перед набором електродів для вимірювання рН перед повторенням процесу. Дослідження показали, що сітки площею один гектар мають широкий діапазон значень рН, часто від ґрунту, який потребує вапна, до ґрунту з особливо високим рН.

Менеджер рН ґрунту від Veris Technologies оснащений датчиком для визначення рН ґрунту в режимі реального часу (рис. 2). Він автоматично збирає зразки ґрунту та вимірює рН ґрунту шляхом безпосереднього контакту з ґрунтовим матеріалом на цьому шляху.

Як згадувалося раніше, розрізняють два основні методи SSS, засновані на картах та сенсорних системах. Відповідно до методу картографування, ідентифікація та відбір проб ґрунту та культур, моделювання, картографування та підготовка рекомендацій SSS виконуються до фактичного використання в полі, а в SSS на основі датчиків ці різні кроки реалістично виконуються алгоритмами, апаратним та програмним забезпеченням. SSS на основі карти пов'язана з коригуванням норми висіву відповідно до попередньо

створеної та завантаженої карти приписів у віртуальний термінал точного висіву. ГІС та геостатистичний аналіз дозволяють пов'язати виміряні атрибути.

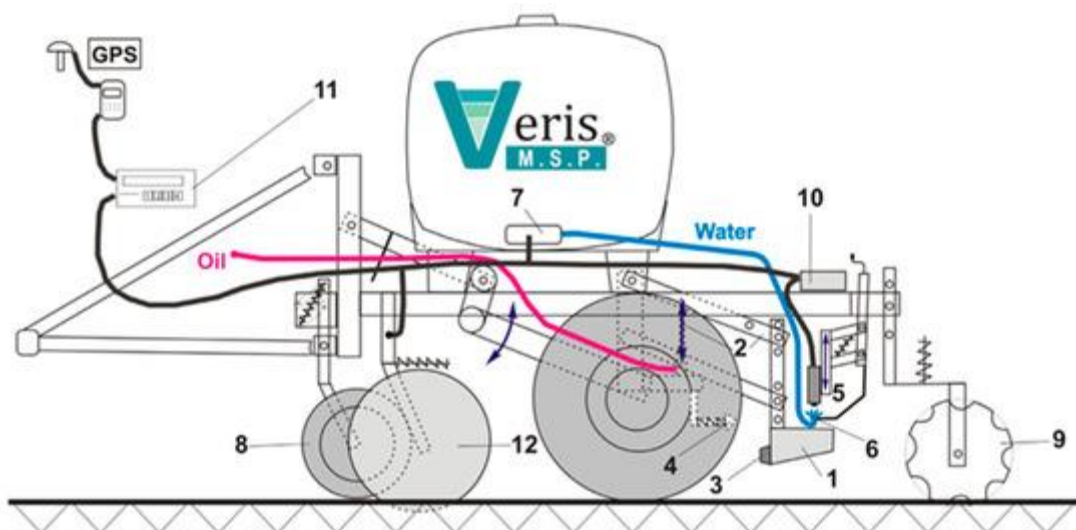


Рис. 2 – Багатосенсорна платформа Veris (MSP) з Soil pH Manager: 1 – башмак пробовідбірника ґрунту; 2 – паралельне з'єднання; 3 – адаптер; 4 – скребок; 5 – датчики рН; 6 – система водопостачання з форсунками; 7 – водяний насос; 8 – очищувач рядків; 9 – загортач борозни; 10 – контролер; 11 – реєстратор даних; 12 – датчик видимої електропровідності.

На основі стану врожайності різних польових зон поле поділяється на кілька менших зон, яким призначається певна норма висіву для створення карти програмного внесення (АМ) або карти управління. Після створення АМ вона перетворюється на файл, сумісний з машиною, та завантажується на віртуальний термінал. Під час роботи в полі контролер змінної норми висіву забезпечує норму висіву відповідно до оптимальної кількості та відповідного місця, зазначеного в АМ. Позитивним аспектом цієї системи є час, необхідний для проведення дослідження та подальшого застосування VRS. Це покращує реакцію контролера та згладжує перехідні процеси VRS. Для роботи за цим принципом обладнання використовує датчики, що працюють у русі, для змінної норми висіву (рис.3). Датчики органічної речовини ґрунту виявляють різні рівні органічної речовини та відповідно регулюють кількість насіння. Також є вимірювачі вологості ґрунту, які можна використовувати для регулювання глибини та зміни норми висіву.

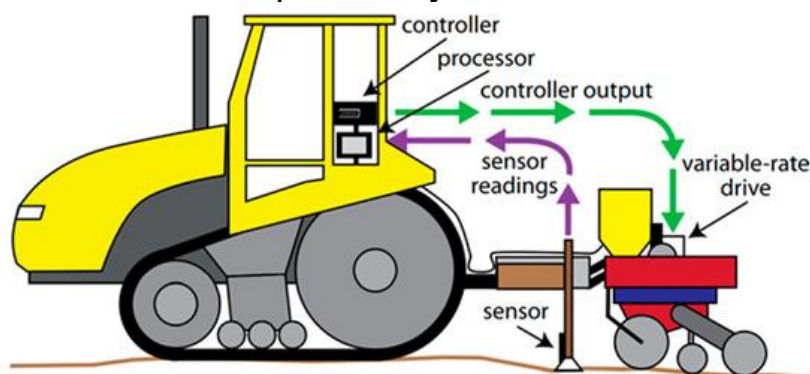


Рис. 3 – Вимірювання властивостей ґрунту за допомогою датчика в режимі реального часу перед посівом та регулювання норми висіву.

Ще один сучасний датчик ґрунту – SoilXplorer, який використовує інноваційні методи аналізу структури ґрунту в режимі реального часу. Це безконтактний датчик, який використовує електромагнітні сигнали для вимірювання ЕСа ґрунту та використовується для обґрунтування змінної глибини обробки ґрунту, змінної глибини посіву та змінної норми висіву. ЕСа ґрунту тісно корелює з розміром частинок ґрунту та його структурою. Наприклад, піщані ґрунти мають більші частинки та низьку водоутримувальну здатність, що призводить до нижчої ЕСа, тоді як ЕСа вища в глинистих та органічних ґрунтах. Тому датчик ґрунту може виявляти ущільнені ділянки та відповідно коригувати глибину обробки. На основі цього принципу вимірювання можна визначити зони типу ґрунту, відносний вміст води та зони ущільнення. Завдяки чотирьом приймальним котушкам, ЕСа можна вимірювати одночасно в чотирьох різних шарах ґрунту (0–25 см, 15–60 см, 55–95 см та 85–115 см).

Датчик SoilXplorer (рис. 4) встановлюється на висоті 30–40 см перед трактором або іншою машиною, щоб сівалку або ґрунтообробну машину можна було приєднати ззаду. Датчик автономно визначає різні властивості ґрунту, і в режимі реального часу сівалки ISOBUS регулюють норму висіву відповідно до текстури ґрунту та відносної кількості ґрунтової вологи. Найвища норма висіву застосовується до найкращих ґрунтових умов, а найнижча – до поганих, хоча може бути й навпаки. Завдяки датчику SoilXplorer фермери можуть поглибити свої знання про ґрунт та підвищити ефективність процесів обробки ґрунту та посіву. Польові випробування показали, що зменшення глибини обробки з 18 до 10 см зменшує витрати енергії під час процесу обробки ґрунту на 45%. Крім того, під час того ж процесу пробуксовка коліс може бути зменшена приблизно на 53%, а врожайність – приблизно на 20%.



Рис. 4 - Пристрій SoilXplorer для вимірювання відмінностей у структурі ґрунту.

Технологія VRS вимагає підготовки карти приписів, яка показує, як електронний контролер сівалки повинен змінювати проміжки між насінинами в рядку, щоб максимально зручно було змінювати норму висіву. Дійсно, VRS може виконуватися комерційними сівалками з електронними контролерами дисків висіву, які можуть змінювати норму висіву, змінюючи відстань між насінинами вздовж рядка. Існує два основних способи адаптації сівалок з рівномірною нормою висіву для висіву зі змінною нормою, тобто шляхом зміни довжини активного подавального ролика або шляхом зміни швидкості приводного валу висівного апарату. Додавши контролер до звичайної сівалки, можна змінювати швидкість приводу висівного апарату на ходу.

Датчик Smart Firmer система SmartDepth фірми Precision Planting.



Рис. 5.- Датчик Smart Firmer система SmartDepth фірми Precision Planting

На основі цього датчика компанія Precision Planting розробила та впровадила на власних сівалках точного висіву систему SmartDepth, за яку на Міжнародній виставці Agritechnica 2019 отримала срібну нагороду.

Завдяки показникам датчика Smart Firmer, ця система автоматично контролює та регулює в режимі он-лайн глибину закладання насіння відносно поточних умов ґрунту, зокрема з урахуванням рівня його вологості та температури. Для цього оператор визначає діапазон, який має мінімальну й максимальну глибину, та вказує параметр мінімальної вологості.

Під час висівання система SmartDepth вимірює та аналізує різні рівні вологості на різних глибинах у режимі реального часу. Автоматично розміщена насінина на глибині, де рівень вологості оптимальний для її швидкого «старту», забезпечує рівномірне проростання кожної насінини, і як наслідок — отримання рівномірних та дружних сходів у кожній частині поля. Окрім отримання рівномірних сходів, система дає змогу економити вартісний посівний матеріал.

Адже через затягування посівної кампанії чи за умов висівання на полях зі складним рельєфом, коли насіння може потрапляти в пересушений ґрунт, не потрібно для перестраховки збільшувати висівну норму насіння. Система завжди покладе насінину в найоптимальніші для неї умови в чітко вказаному оператором чи агрономом діапазоні параметрів

Електромагнітний сканер topsoil mapper.



Рис. 6 - Електромагнітний сканер TOPSOIL MAPPER

Уже дуже багато сучасних українських компаній пропонують свої послуги з агрохімічного обстеження полів і надання рекомендацій щодо вирощування с.-г. культур, вапнування ґрунтів, удобрення та системи захисту. TopSoil Mapper дає змогу доповнити дані, які надають такі компанії, картами рельєфу, ущільнення та ґрунтових відмін.

Сканер складається із власне електромагнітного сканера та польового комп'ютера для накопичення даних у файлах. Прилад має чотири електромагнітні датчики, які призначені для сканування на чотирьох різних глибинах: 0,5 м, 0,7 м, 0,9 м, 1,1 м. Польовий термінал оснащений GPS-приймачем для визначення місцезнаходження сканера. Після того, як відповідні файли зі сканера зібрані, вони обробляються в спеціалізованому програмному забезпеченні Topsoil Data Box (TSDB), що базується на ядрі Матлаб (для складних математичних обчислень). Topsoil Data Box дає змогу виконувати аналіз і корекцію даних, моделювати різні карти розподілу в разі зміни параметрів. Але це є проміжний етап. Для подальшої роботи з даними вони переносяться в Геоінформаційну Систему (ArcGIS, QGIS, SAGA GIS і ін.). Там дані зіставляються з даними рельєфу, картами врожайності, NDVI, і вже на цій інформаційній основі створюються електронні карти, які можна використовувати в робочих цілях, зокрема для планування глибини обробітку, визначення норми висіву тощо.

Особливістю сканера є те, що геофізичний метод вимірювання неінвазивний, тобто не потребує порушення ґрунтової поверхні поля. Електропровідність землі використовується для встановлення таких параметрів, як ущільнення та насичення ґрунту вологою на глибині близько 1 м (40 дюймів). Для визначення типу ґрунту система Topsoil Data Box (TSDB) використовує спеціальні бібліотеки, підготовлені організаціями (такими, як USDA), які ідентифікують типи ґрунтів, що зустрічаються у всьому світі. Інші бази даних за потреби можуть регулярно додаватися.

Перші враження від створених карт неймовірні: колосальні відмінності в межах одного поля, критичні ущільнення на глибинах 15–20 см, нерівномірність розподілу вологи та багато інших факторів, які не дають змоги підвищити врожайність за наявності всіх поживних речовин для отримання максимального врожаю.

Крім цього, використання цих датчиків дає змогу регулювати глибину ґрунтообробітку в режимі он-лайн, що, своєю чергою, допомагає: за наявності ущільнень у глибших горизонтах ґрунту успішно з ними боротися, а за ущільнень ближче до поверхні ґрунту — зменшувати глибину обробітку, тим самим зменшуючи витрату пального на обробіток одиниці площі поля. І водночас — створювати оптимальні умови для проростання культурних сільськогосподарських рослин у кожній його частині.+

Датчик CropX для аналізу стану ґрунту в певній зоні поля та вимірювання його вологості CropX — датчик ґрунту другого покоління, який аналізує стан ґрунту в певній зоні поля та вимірює його вологість.

Оптимальна вологість ґрунту позитивно впливає на розвиток кореневої системи рослини, що дає змогу їй отримати більшу кількість поживних речовин і підвищує врожайність культури. У країнах із низькою кількістю опадів функціонують системи зрошення, проте часто не враховується різна потреба у волозі в різних частинах поля. Це призводить до перезволоження та вимивання корисних мікроелементів. CropX може вирішити цю проблему. Принцип роботи полягає в аналізі стану ґрунту в певній зоні поля та внесенні нормованого обсягу води.

Датчики вологості розміщують безпосередньо в полі. Їх підключають до мережі Інтернету, і користувач зможе отримувати інформацію про необхідність зрошення через мобільний додаток. Далі, як то кажуть, — справа техніки.

Американський стартап teralytic анонсував випуск першої партії бездротових ґрунтових зондів власної розробки (рис.7)



Рис. 7.- бездротовий сенсор NPK

Перший у світі бездротовий сенсор NPK, який працює в режимі реального часу. Кожен зонд має 26 датчиків, включаючи перший у світі бездротовий сенсор NPK, який працює в режимі реального часу.

Зонд Teralytic дає змогу проводити збирання й передавання даних про стан ґрунту в реальному часі 24 години на добу і 365 днів на рік. Це дасть змогу фермерові виявляти негативні зміни в ґрунті ще до того, як вони стануть проблемними. Для ефективної роботи зондів і отримання точної інформації компанія застосовує технології машинного навчання, обробляючи зібрані із зондів дані в хмарі.

Класичний аналіз ґрунту — це ручний або напівмеханізований тривалий процес, який триває кілька днів або тижнів. Teralytic позиціонує свій продукт як рішення, яке дасть змогу фермерові стежити за станом ґрунту без проведення відбору проб і в режимі он-лайн. Зокрема, вбудовані в зонд датчики дають змогу отримувати таку інформацію, як:

- поточний стан мікроклімату: зонд має датчики для стеження за погодою на ділянці, збирає інформацію про температуру, вологість, рівні інсоляції;
- аерація ґрунту: показує кількість O_2 і CO_2 , що міститься в ґрунті, а також його обмін з атмосферою;
- якісні показники ґрунту: рівень засоленості, вологість, кислотність (pH) і показники за вмістом азоту, фосфору і калію (NPK).

Пристрій виробляє знімки ґрунтових умов кожні 15 хв, передаючи інформацію на хмарний сервер за допомогою бездротової технології LoRa.

Для успішного виконання управлінських рішень потрібні точніші карти ґрунтових властивостей. Невідповідна щільність відбору зразків щодо кількості ґрунтових відмін у межах поля та висока вартість аналізу звичайних ґрунтових проб обмежують можливість точного визначення меж різнорідних за родючістю ділянок. Натомість обладнання автомобіля сенсорами є перспективною альтернативою, яка змогла б підвищити якість і знизити вартість створення ґрунтових карт.

Подальше вдосконалення процесу аналізу ґрунту датчиками під час руху дасть змогу використовувати їх для регулювання режимів роботи агрегатів у реальному часі або для подальшого контролю виробничих витрат. На сьогодні лише системи електромагнітного картографування доступні споживачеві на комерційній основі.

Порядок виконання роботи

1. Підготовчий етап

- Ознайомлення студентів з типами ґрунтових сенсорів.
- Перевірка справності обладнання.
- Налаштування GPS-приймача та програмного забезпечення.

2. Основна частина

1. Підключення сенсорної системи до комп'ютера або контролера.
2. Налаштування параметрів вимірювання (частота запису даних, швидкість руху агрегату).
3. Проведення вимірювань на дослідній ділянці або моделювання у програмному середовищі.
4. Збір і збереження даних з датчиків.
5. Побудова карти просторової мінливості показників ґрунту.
6. Аналіз отриманих результатів та визначення зон управління полем.

Контрольні запитання

1. Які основні фізико-хімічні властивості ґрунту можуть визначатися сенсорними системами у режимі реального часу?

2. Які принципи роботи датчиків електропровідності ґрунту?
3. Чим відрізняються контактні та індукційні сенсори ґрунту?
4. Які фактори впливають на точність вимірювання ґрунтових параметрів?
5. Як використовуються дані сенсорів для створення карт точного землеробства?

Список літературних джерел

1. Tavakoli H., Correa J., Vogel S., Oertel M., Heisig M., Harder A., Wruck R., Pätzold S., Leenen M., Gebbers R. The RapidMapper: State-of-the-art in mobile proximal soil sensing based on a novel multi-sensor platform // Computers and Electronics in Agriculture. 2024. Vol. 226. 109443. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109443>
2. Sousa A., Zero E., Sacile R., Trincherro D., Fossa M. Smart Sensors and Smart Data for Precision Agriculture: A Review // Sensors. 2024. Vol. 24(8). 2647. DOI: <https://doi.org/10.3390/s24082647>
3. Elashmawy R., Uysal I. Precision Agriculture Using Soil Sensor Driven Machine Learning for Smart Strawberry Production // Sensors. 2023. Vol. 23(4). 2247. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23042247>.
4. Sharma D., Tomar G. S. Soil Nutrient Analysis and Automatic Monitoring in Precision Agriculture // Communications in Soil Science and Plant Analysis. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2024.2406478>

Практичне заняття 10 . Базові станції для автоматичного підкермовування (RTK)

Мета заняття. Ознайомити студентів з принципами роботи базових станцій RTK, їх роллю у забезпеченні високоточного позиціонування сільськогосподарської техніки та особливостями використання базових станцій різних виробників (Trimble, Claas, John Deere, Raven/AutoFarm).

Завдання

1. Ознайомитися з принципом роботи RTK-базових станцій та їх роллю у системах автоматичного підкермовування.
2. Вивчити конструкцію та технічні характеристики базових станцій різних виробників.
3. Набути практичних навичок підключення та налаштування RTK-базової станції.
4. Провести аналіз точності позиціонування при використанні RTK-сигналу.

Обладнання та програмне забезпечення

- RTK-базові станції або їх демонстраційні моделі:
 - Trimble AgGPS RTK Base 450 / 900
 - Claas Baseline HD
 - Raven (AutoFarm) RTK Base Station
 - John Deere RTK Base Station
- GNSS-приймачі та антени (Trimble, John Deere, Topcon або інші).
- Комп'ютер або планшет з програмним забезпеченням для конфігурації RTK-станції.
- Інтернет-з'єднання або радіомодеми для передачі корекційного сигналу.
- Навчальні стенди або симуляційне програмне забезпечення.

Теоретичні відомості

Принцип роботи RTK-базових станцій.

RTK (Real Time Kinematic) – це технологія високоточного супутникового позиціонування, що забезпечує визначення координат з точністю до 1–2 см у режимі реального часу.

Принцип роботи RTK-системи базується на використанні двох основних елементів:

1. **Базова станція (Base Station)** – стаціонарний GNSS-приймач, встановлений у точці з точно відомими координатами.
2. **Ровер (Rover)** – рухомий GNSS-приймач, встановлений на сільськогосподарській техніці.

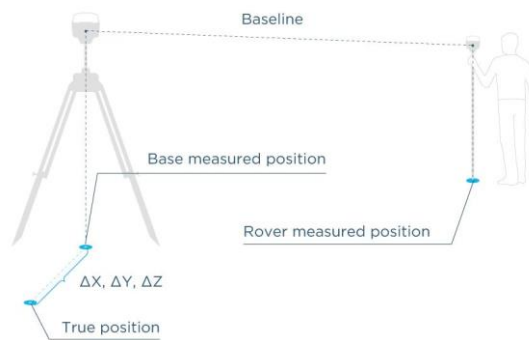
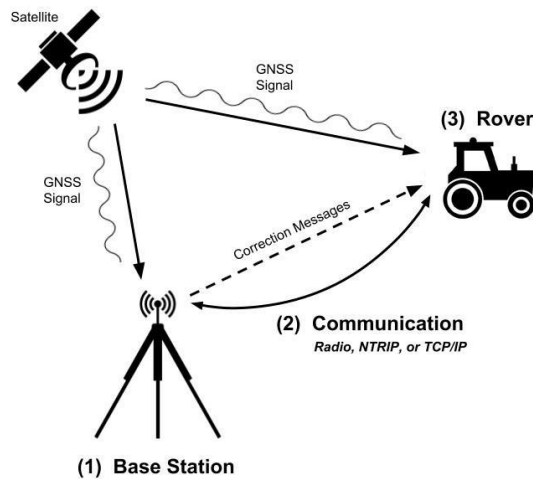


Рис. 1 - Принцип роботи RTK-системи

Базова станція приймає сигнали від супутників (GPS, Galileo, BeiDou) та порівнює обчислені координати з реальними. Різниця між ними визначає похибку сигналу. На основі цього формується *коригуюче повідомлення*, яке передається на рухомі приймачі.

Передача корекцій може здійснюватися через:

- радіомодеми;
- мобільний інтернет (NTRIP);
- локальні RTK-мережі.

Завдяки цьому техніка отримує координати з сантиметровою точністю, що дозволяє точно вести агрегат по траєкторії руху.

Основні переваги RTK-технології:

- точність позиціонування 1–2 см;
- повторюваність проходів;
- можливість роботи вночі та за поганої видимості;
- зменшення перекриттів та пропусків;
- підвищення продуктивності техніки.

Базові станції RTK різних виробників
Baseline HD (Claas)



Рис. 2 - Baseline HD (Claas)

Baseline HD – базова станція RTK, що використовується у системах точного землеробства компанії Claas.

Основні характеристики:

- підтримка GPS;
- радіус покриття до 15–20 км;
- точність позиціонування до 2 см;
- передача сигналу через радіомодем або інтернет;
- сумісність із системами автопілотування Claas.

Станція встановлюється на стаціонарній опорі (щоглі або будівлі) та забезпечує стабільне покриття сигналом сільськогосподарських угідь.



Рис. 3 - Trimble AgGPS RTK Base 450 / 900

RTK-базові станції *AgGPS RTK Base 450* та *AgGPS RTK Base 900* компанії Trimble є одними з найпоширеніших у системах точного землеробства.

Основні характеристики:

- підтримка GPS;
- дальність передачі сигналу до 20–25 км;
- використання радіомодему потужністю 450 або 900 МГц;
- точність позиціонування 1–2 см;
- можливість інтеграції з системами автопілотування Trimble Autopilot.

Такі станції широко застосовуються у великих господарствах, де потрібна стабільна зона покриття RTK.



Рис. 4 - AutoFarm RTK (Raven)

RTK-базові станції *AutoFarm*, розроблені компанією *Raven*, використовуються для забезпечення високоточного позиціонування техніки у системах автоматичного керування.

Основні характеристики:

- підтримка GPS;
- точність позиціонування до **2 см**;
- сумісність з автопілотами *AutoFarm*;
- можливість передачі корекцій через радіоканал або інтернет.

Системи *AutoFarm* відзначаються високою стабільністю сигналу та широко застосовуються у господарствах Північної Америки та Європи.



Рис. 5 - John Deere RTK Base Station

RTK-базові станції компанії *John Deere* використовуються разом із приймачами *StarFire* та системами автопілотування *AutoTrac*.

Основні характеристики:

- підтримка GPS, Galileo;
- точність позиціонування 1–2 см;
- радіус дії до 20 км;
- передача корекцій через радіомодем або мережу RTK;
- інтеграція з системами John Deere Operations Center.

Використання RTK-систем John Deere дозволяє досягати високої повторюваності проходів техніки навіть через кілька років.

Порядок виконання

1. Підготовчий етап

- Ознайомитися з конструкцією RTK-базової станції.
- Перевірити справність обладнання.
- Встановити GNSS-антену у відкритому місці без перешкод.

2. Основна частина

1. Увімкнути RTK-базову станцію.
2. Визначити координати базової точки.
3. Налаштувати параметри передачі корекційного сигналу.
4. Підключити GNSS-приймач (ровер).
5. Перевірити отримання RTK-корекцій.
6. Визначити точність позиціонування техніки.
7. Провести аналіз стабільності сигналу.

Контрольні запитання

1. Що таке технологія RTK і як вона працює?
2. Яку роль виконує базова станція у RTK-системі?
3. Яка точність позиціонування забезпечується RTK?
4. Які способи передачі корекційного сигналу використовуються у RTK?
5. Які переваги використання RTK у точному землеробстві?
6. Чим відрізняються RTK-базові станції різних виробників?

Список літературних джерел

1. Global Navigation Satellite Systems as State-of-the-Art Solutions in Precision Agriculture: A Review of Studies Indexed in the Web of Science // *Agriculture*. 2023. Vol. 13(7). DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13071417>
2. CHCNAV. RTK Precision Agriculture: How RTK GNSS Improves Agricultural Operations. 2025. URL: <https://agriculture.chcnav.com>

Практичне заняття 11. Монтаж, підготовка до старту, робота, процес розвороту та зауваження до автоматичних систем рульового керування

Мета заняття. Ознайомити студентів з конструкцією, принципами монтажу, підготовкою до роботи та особливостями експлуатації автоматичних систем рульового керування сільськогосподарської техніки, а також сформувати практичні навички їх налаштування і використання під час виконання польових робіт.

Завдання

1. Ознайомитися з конструкцією та складовими елементами автоматичних систем рульового керування (антена-приймач, контролер, датчики, термінал керування, електро- або гідропривід).
2. Вивчити порядок монтажу обладнання та підготовки системи до роботи.
3. Набути практичних навичок запуску системи автопілотування, виконання проходів по заданій траєкторії та здійснення розворотів на краю поля.
4. Проаналізувати особливості експлуатації, типові помилки та обмеження роботи автоматичних систем рульового керування.

Обладнання та програмне забезпечення

- Навігаційні приймачі GNSS (GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou) з підтримкою RTK.
- Антена GNSS-приймача.
- Контролер автопілота та датчики положення машини.
- Електрична або гідравлічна система автоматичного керування рульовим механізмом.
- Бортовий термінал (монітор) управління.
- Комп'ютер або планшет з програмним забезпеченням для налаштування системи.
- Сільськогосподарський трактор або симулятор руху техніки.

Теоретичні відомості

Загальна будова автоматичних систем рульового керування

Основними складовими таких систем є:

- GNSS антена-приймач – визначає точні координати машини.
- Бортовий термінал (монітор) – відображає карту поля, траєкторію руху та параметри системи.
- Контролер автопілота – обробляє навігаційні дані та формує команди управління.
- Датчики положення та нахилу – контролюють орієнтацію машини у просторі.

- Привід рульового механізму – електричний або гідравлічний механізм, який безпосередньо повертає колеса.

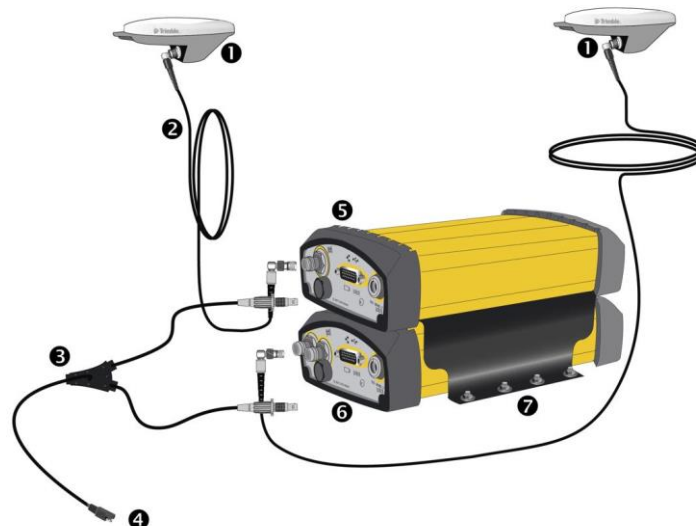


Рис. 1 – Система автоматичного керування

Автоматичні системи рульового керування (автопілоти) є важливим елементом технологій точного землеробства. Вони забезпечують автоматичне ведення сільськогосподарської техніки по заданій траєкторії з використанням супутникових навігаційних сигналів.

Завдяки взаємодії цих елементів система забезпечує точне ведення техніки по паралельних проходах поля.

Монтаж системи автопілота виконується у кілька основних етапів.

1. Встановлення антени

GNSS-антена встановлюється на даху кабіни трактора, зазвичай по центральній осі машини. Це дозволяє мінімізувати похибку визначення координат і забезпечує симетричність сигналу.

2. Монтаж бортового терміналу

Монітор встановлюється у кабіні в зоні зручного огляду оператора. Він використовується для налаштування параметрів системи та контролю її роботи.

3. Встановлення контролера та датчиків

Контролер автопілота та датчики нахилу розміщуються всередині кабіни або в технічному відсіку машини. Вони повинні бути закріплені нерухомо для запобігання помилкам вимірювання.

4. Монтаж приводу керма



Рис. 2 - Монтаж системи автоматичного керування

Існує два основних варіанти:

- Електричний привід – встановлюється безпосередньо на кермо.
- Гідравлічний автопілот – інтегрується в гідравлічну систему рульового керування.

Після встановлення всі елементи підключаються до бортової електромережі та комунікаційних шин (CAN).

Підготовка системи до початку роботи

Перед початком польових робіт необхідно виконати калібрування системи.

Основні етапи підготовки:

1. Увімкнення бортового терміналу.
2. Перевірка підключення GNSS-антени.
3. Вибір джерела корекційного сигналу (RTK або RTX).
4. Калібрування датчиків нахилу та курсу.
 - Введення параметрів машини: ширина захвату агрегату; база трактора; зміщення антени.

Після завершення налаштування система готова до побудови траєкторії руху.



Рис. 3 - Робота системи під час виконання проходів

Під час роботи оператор задає початкову лінію руху (А–В лінію), після чого система автоматично формує паралельні проходи по всій площі поля.

Алгоритм роботи:

1. Оператор встановлює початкову точку А.
2. Після руху техніки вперед встановлюється точка В.
3. Система формує паралельні лінії руху.
4. При досягненні заданої траєкторії автопілот бере на себе керування рульовим механізмом.

Оператор у цей час контролює роботу агрегату та технологічного процесу.

На краю поля виконується розворот для переходу на наступний прохід.

Розрізняють кілька типів розворотів:

- U-подібний розворот;
- петлеподібний розворот;
- автоматичний headland turn.

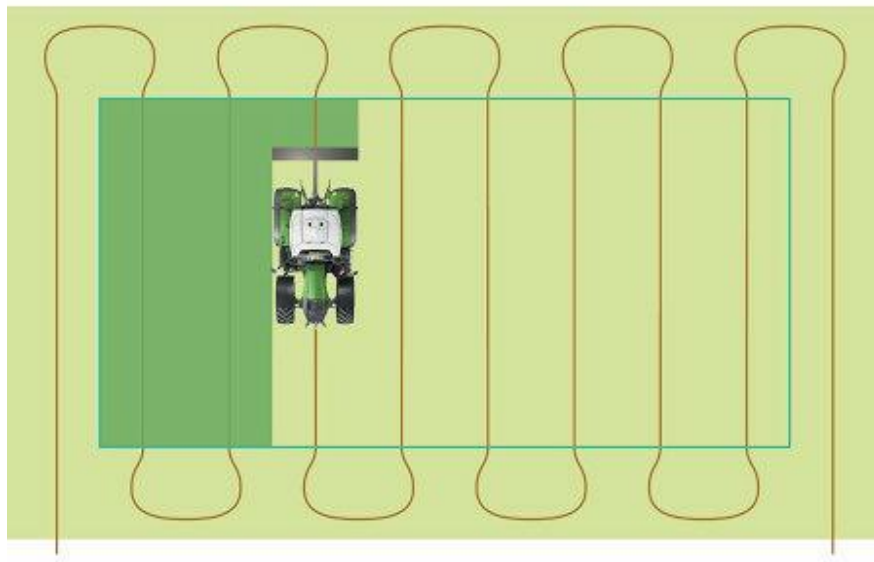


Рис. 4 - Процес розвороту на краю поля

Послідовність дій оператора:

1. Вимкнення автопілота перед розворотом.
2. Підняття робочого агрегату.
3. Виконання розвороту на краю поля.
4. Вирівнювання трактора по наступній лінії.
5. Повторне ввімкнення автопілота.

У сучасних системах частина цих операцій може виконуватися автоматично.

Зауваження та обмеження роботи автоматичних систем

Незважаючи на високий рівень автоматизації, системи автопілотування мають певні обмеження.

Основні зауваження:

1. Залежність від якості навігаційного сигналу – погіршення сигналу може викликати відхилення від траєкторії.

2. Необхідність постійного контролю оператором – система не може повністю замінити механізатора.

3. Можливі похибки при роботі на схилах – через зміщення антени відносно ґрунту.

4. Наявність перешкод на полі – автопілот не завжди здатний їх розпізнати.

5. Потреба регулярного калібрування системи.

Незважаючи на ці обмеження, використання автоматичних систем керування дозволяє значно підвищити ефективність польових робіт, зменшити перекриття та пропуски, а також скоротити витрати ресурсів.

Порядок виконання роботи

1. Підготовчий етап

- Ознайомлення з обладнанням системи автопілота.
- Перевірка справності всіх компонентів.
- Встановлення параметрів машини та агрегату.

2. Основна частина

- Монтаж GNSS-антени та перевірка її положення.
- Підключення бортового терміналу.
- Калібрування датчиків системи.
- Побудова траєкторії руху (А–В лінії).
- Виконання тестових проходів.
- Аналіз точності руху та коригування налаштувань.

Контрольні запитання

1. Які основні елементи входять до складу системи автоматичного рульового керування?

2. Які існують типи автопілотів у сільськогосподарській техніці?

3. Які етапи монтажу системи автопілота?

4. Що таке А–В лінія у навігаційних системах?

5. Які фактори впливають на точність роботи систем автопілотування?

6. Які типи розворотів використовуються на краю поля?

Список літературних джерел

1. Raven Industries. AutoSteer and guidance systems [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ravenprecision.com>

2. CNH Industrial. Precision technology and auto guidance systems [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.caseih.com/precision-technology>

Шуляк Михайло Леонідович
Соколік Сергій Петрович

Апаратне і машинне забезпечення

частина I

Методичні вказівки щодо проведення практичних занять

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет, вул. Г.Кондратьєва, 160

Підписано до друку: березень, 2026 р. Формат А5: Гарнітура Times New

Roman Тираж: 100 примірників Замовлення _____ Ум. друк. арк.
