

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Навчально-науковий інститут агроєкології та землеустрою
Кафедра агрохімії, ґрунтознавства та землеробства

05-01-243М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт
з освітньої компоненти

«Технології прецизійного землеробства»

для здобувачів вищої освіти другого рівня за освітньо-
професійною програмою «Агрохімія і ґрунтознавство»
спеціальності 201 «Агрономія» денної та заочної форм
навчання з елементами
дуальної освіти

Рекомендовано науково-
методичною радою
з якості ННІАЗ
Протокол № 1 від 30.08.2022 р

Рівне – 2023

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з освітньої компоненти «Технології прецизійного землеробства» для здобувачів вищої освіти другого рівня за освітньо-професійною програмою «Агрохімія і ґрунтознавство» спеціальності 201 «Агрономія» денної та заочної форм навчання з елементами дуальної освіти [Електронне видання] Веремеєнко С. І., Фурманець О. А. – Рівне : НУВГП, 2023. – 88 с.

Укладачі:

Веремеєнко С. І, доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри агрохімії, ґрунтознавства та землеробства;

Фурманець О. А., кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри агрохімії, ґрунтознавства та землеробства .

Відповідальна за випуск: Колесник Т. М., кандидат сільськогосподарських наук, доцент, завідувачка кафедри агрохімії, ґрунтознавства та землеробства.

Керівник групи забезпечення кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Олійник О. О.

© С. І. Веремеєнко,
О. А. Фурманець, 2023
© НУВГП, 2023

ЗМІСТ

	Вступ	
1	Структура освітньої компоненти	4
2	Теми практичних робіт	5
2	Практична робота 1	6
3	Практична робота 2	12
4	Практична робота 3	15
5	Практична робота 4	23
6	Практична робота 5	32
7	Практична робота 6	37
8	Практична робота 7	42
9	Практична робота 8	45
10	Практична робота 9	49
11	Практична робота 10	52
12	Практична робота 11	54
13	Практична робота 12	61
14	Практична робота 13	65
15	Практична робота 14	68
16	Практична робота 15	73
17	Практична робота 16	75
18	Практична робота 17	79
19	Практична робота 18	79
20	Рекомендована література	85
21	Інформаційні ресурси	88

Вступ

Освітня компонента «Технології прецизійного землеробства» спрямована на опанування здобувачем освіти теоретичних основ та практичних навичок роботи із основними складовими систем точного землеробства, що використовуються у рослинництві.

Метою досліджень прецизійного землеробства є визначення системи підтримки прийняття рішень для управління цілим господарством з метою оптимізації рентабельності вхідних ресурсів. На сучасному етапі господарювання прецизійне землеробство виступає методичним підходом, що дозволяє підвищити господарську та економічну ефективність рослинництва, зменшити екологічні ризики в агроекосистемах, збалансувати господарський комплекс за рахунок більш ощадного та раціонального використання матеріально-технічних ресурсів.

Вивчення дисципліни складається з лекційних, практичних занять та самостійної роботи над курсом. На практичних заняттях здобувач освіти повинен навчитися працювати із типовим обладнанням, виконувати основні поширені задачі, брати участь у дискусії за темою, що розглядається, ставити запитання з приводу позначеної проблеми. Проблемні питання можуть бути додатково опрацьовані на консультаціях викладача.

Структура освітньої компоненти

Ступінь вищої освіти	Магістр
Освітня програма	Агрохімія і ґрунтознавство
Спеціальність	201 Агрономія
Рік навчання, семестр	1-ий рік навчання, 2 семестр 2-ий рік навчання 1 семестр
Кількість кредитів	7,5 кредити
Лекції	38 годин д.ф.н. /8 год. з.ф.н.
Практичні/семінари	36 годин д.ф.н./10 год з.ф.н.
Самостійна робота	151 годин д.ф.н. /207 год з.ф.н.
Форма навчання	Денна/заочна/з елементами дуальної освіти
Форма підсумкового контролю	Залік
Мова викладання	Українська

Теми практичних робіт

№	Тема роботи	Відповідає лекції
1	Основи роботи із системами глобального позиціонування	Тема 3
2	Системи диференціальної корекції	Тема 4
3	Системи паралельного водіння	Тема 4
4	Технічні основи та принципи роботи копілота.	Тема 4
5	Обмір контурів полів та його точність	Тема 5
6	Відбір проб ґрунту та аналіз агрохімічних матеріалів у прецизійному виробництві	Тема 6
7	Загальна методологія побудови карт-завдань	Тема 7
8	Побудова завдань для диференційованого внесення азотних добрив	Тема 7
9	Побудова завдань для посіву культур	Тема 8
10	Побудова завдань для диференційованого внесення засобів захисту рослин	Тема 8
11	Шляхи отримання вегетаційних індексів.	Тема 9
12	Основні принципи роботи з БПЛА. Типові задачі у рослинництві.	Тема 10
13	Визначення проникності ґрунту цифровим пенетрометром	Тема 11
14	Картування врожайності. Отримання даних із робочого терміналу. Первинна обробка даних.	Тема 11
15	N-тестер. Типові задачі , навик роботи із приладами моніторингу азотного живлення	Тема 12
16	Метеодані. Шляхи отримання метеоданих та їх роль у прецизійному землеробстві.	Тема 12
17	Економічна ефективність технологій прецизійного землеробства	Тема 15
18	Підсумки. Комплексна оцінка ефективності прецизійних технологій	Тема 16

Практична робота 1

Основи роботи із системами глобального позиціонування

Мета роботи: набутти практичних навичок роботи із системами глобального позиціонування

Теоретична частина

Найбільш простим способом вирішення навігаційної задачі є використання далекомірного методу, в якому місце розташування об'єкта визначається координатами перетину сфер (рис. 1).

НС постійно передають службову інформацію, яка містить час її відправлення та координати супутника. Після отримання інформації приймач визначає час проходження сигналу. Знаючи швидкість передачі даних (швидкість світла у вакуумі), можна обчислити відстань (псевдодальність) між супутником і приймачем або радіус сфери, на якій може бути приймач. При використанні другого джерела сигналу приймач перебуватиме на перетині двох сфер. У результаті, додавши ще одне джерело, можна знайти точне розташування. Однак псевдодальність не може бути обчислена абсолютно точно через розбіжність шкал часу, затримки поширення сигналу та інших помилок.

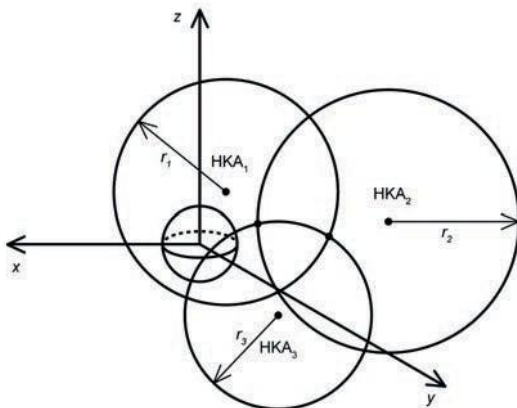


Рис. 1. Визначення розташування методом перетину сфер

Для визначення розташування навігаційного приймача, що знаходиться над землею поверхнею, потрібно визначити псевдодальність мінімум до чотирьох супутників. На основі одночасних вимірювань за даними, отриманими від чотирьох

супутників, приймач коригує показання свого годинника і показує точний час на додаток до визначення своєї широти, довготи та висоти.

Підтримка технології НС в електронних пристроях апаратури споживачів реалізується з урахуванням навігаційних приймачів. Приймач НС приймає сигнали навігаційних супутників, обробляє їх, виробляючи необхідні вимірювання, розшифровує навігаційне повідомлення і перетворює отриману інформацію значення координат, швидкості руху і часу. Апаратна реалізація приймача може бути виконана у вигляді окремого пристрою (трекер, навігатор, геодезичний приймач), а також у вигляді плати або модуля, що вбудовується в кінцеву апаратуру споживача.

Незалежно від розміру, ціни, призначення чи складності сучасного приймача, він може бути поділений на такі основні частини:

- антенна система;
- радіочастотний блок;
- цифровий корелятор;
- навігаційний обчислювач.

Антенна приймача призначена прийому радіохвиль з правосторонньої кругової поляризацією на частотах L1 і/або L2 від навігаційних супутників. Сигнали, прийняті антенною, направляються через підсилювач, який збільшує їх потужність, полегшуючи обробку наступними електронними пристроями. Спеціальні фільтри пропускають корисні сигнали та пригнічують сторонні. У компактній апаратурі можуть використовуватися зовнішні або вбудовані антени. У разі зовнішньої антени підсилювач зазвичай завжди розміщується в корпусі антени і для живлення використовується коаксіальний кабель, що з'єднує антену з приймачем. Антена з підсилювачем називається активною. Вбудовані антени використовуються у випадках, коли антенна, навігаційний приймач та система обробки інтегровані в єдиний прилад, наприклад смартфон. Вбудовані антени (чіп-антени та патч-антени) зазвичай встановлюються на плату приладу (рис. 2).

Для геодезичної апаратури прийнято використовувати зовнішні конічні кільцеві антени (conic choke ring). Така антенна виготовляється з цільної алюмінієвої заготовки та має від трьох до п'яти кільцеподібних структур глибиною у чверть хвилі.

Одна з цілей створення такої конфігурації - перешкодити поширенню поверхневої хвилі, відбитої від перешкод і підстилаючої поверхні. З метою покращення умов прийому сигналів від супутників, розташованих під малими кутами до горизонту, кільця виконуються так, щоб вся структура мала кінчну форму (рис. 3).



Рис. 2. Малогабаритні антени (чип-антена, патч-антена, зовнішня антена)



Рис. 3. Choke Ring-антена зі знятим захисним кожухом

Робота радіочастотного блоку в приймачі полягає в переводі радіочастоти, що надходить на антену, на нижчу частоту, яка називається проміжною частотою, з подальшим перетворенням у цифрову форму за допомогою аналого-цифрового перетворювача. Основними елементами радіочастотного блоку є: синтезатор опорної частоти, помножувачі отримання більш високих частот,

фільтри для придушення непотрібних частот. Часто радіочастотний блок реалізується у вигляді окремої спеціалізованої інтегральної плати.

Цифровий корелятор призначений для паралельного пошуку супутникових сигналів та їхнього супроводу. Також корелятор виконує обчислення часів затримок між супутниковими сигналами, синхронізацію часу, виділення навігаційних повідомлень супутників, що відстежуються, і передачу отриманих даних в мікропроцесор навігаційного обчислювача.

Для забезпечення можливості спільної обробки різних систем навігації (наприклад, ГЛОНАСС та GPS) найчастіше використовують паралельні шляхи первинної обробки. Навігаційний обчислювач виконує управління окремими блоками приймача в цілому та здійснює обчислювальні процедури для вторинної обробки сигналу (навігаційний алгоритм) щодо визначення розташування користувача та його швидкості.

Визначення параметрів навігації (координат, швидкості, часу) за спостереженнями супутників навігаційних систем може виконуватися в абсолютному режимі (стандартна навігація) і диференціальному (ДР). В абсолютному режимі приймач визначає навігаційні параметри незалежно від інших приймачів, у диференціальному режимі спостереження виробляють не менше двох приймачів, один з яких розташовується на опорному пункті з відомими координатами, а другий поєднаний з об'єктом, що визначається. Точність вимірювань параметрів навігації залежить від ряду джерел похибок, які можна розділити на три групи:

- похибки, що вносяться навігаційним супутником, а також системою контролю та управління;
- похибки, які додаються під час поширення радіосигналу від супутника до приймача;
- внутрішні похибки приймача.

Перша група помилок пов'язана з похибками частотно-тимчасового забезпечення та похибками ефемерид. Помилки годинника можуть виникати через нестабільність частоти внутрішнього генератора супутника, а також неточність моделі догляду годинника і неточність прив'язки бортової шкали часу. Ефемеридні похибки виникають через розбіжності у фактичному положенні супутника та його розрахунковим становищем, отриманим у складі навігаційного повідомлення.

Середньоквадратичне відхилення (СКО) помилки ефемерид GPS супутника становить у середньому 1-3 м. До другої групи помилок входять похибки, пов'язані з іоносферною та тропосферною затримкою, а також ефект променевості поширення сигналів. Наслідком неоднорідної щільності іонізації у верхніх шарах атмосфери є іоносферна похибка, яка має порядок 20-30 м вдень та 3-6 м – вночі. В одночастотному приймачі вплив іоносфери можна змоделювати за даними навігаційного повідомлення з точністю близько 50%. Тому залишкова похибка іоносфери може досягати 10 м і більше. У двочастотних приймачах ефект впливу іоносфери може бути повністю компенсований. Тропосферна похибка пов'язана із затримкою радіосигналу в нижніх шарах атмосфери через зміну температури, тиску та вологості. Висока точність моделі дозволяє практично повністю компенсувати цю похибку. На багатопроменевість поширення радіосигналу сильно впливає взаємне розташування антени приймача, супутників і поверхонь, що відбивають. На відкритому просторі ця похибка може становити 0,5-2 м, а в межах міста за несприятливих умов може збільшуватися до 100 м.

Внутрішні похибки навігаційного приймача пов'язані з шумами вимірювань, які залежать від типу коду (високої або стандартної точності), а також з неточностями квантування та догляду внутрішніх годинників. Для оцінки сумарної похибки визначення дальності до супутника використовується параметр еквівалентної похибки вимірювання дальності (UERE – User Equivalent Range Error). Орієнтовні значення похибок в абсолютному та диференціальному режимах наведені в табл. 1.

Похибки визначення залежать не тільки від помилок визначення навігаційного параметра, але і від геометрії супутникового сузір'я. Кількісним показником якості геометрії супутникового сузір'я є "фактор геометричного зниження точності" (Geometric Dilution Of Precision, GDOP). Даний коефіцієнт набуває найменшого значення, коли один із супутників знаходиться в зеніті, а три інших розташовуються якомога ближче до горизонту, утворюючи рівносторонній трикутник. У практичних навігаційних вимірах допустимим геометричним фактором є значення менше семи ($GDOP < 7$), оптимальне значення GDOP – не менше ніж 3.

Похибки визначення місця залежно від режиму НС

Джерела похибок	Абсолютний метод		Диференціальний метод	
	код високої точності, м	код стандартної точності, м	код високої точності, м	код стандартної точності, м
Помилка годин супутника	3,0	3,0	0	0
Ефемеридні похибки	2,0	2,0	0	0
Затримка в іоносфері	3,5	2,3	0,1	0,1
Затримка в тропосфері	0,4	0,4	0,1	0,1
Шуми приймача	1,5	0,2	1,5	0,25
Міжканалльні зсуви в приймачі	0,6	0,15	0,6	0,15
Багатопроменевість	1,2	1,2	1,2	1,2
Сумарна похибка UERE	5,4	4,5	2,0	1,3

Практична частина

1. Ознайомитись із теоретичною інформацією. Визначити свої координати в системі GPS.
2. В навчальній аудиторії визначити свої відносні координати, відповідно до розмітки.
3. За допомогою мірної стрічки визначити відстань від свого місцеперебування до заданого викладачем шуканого об'єкта.
4. На міліметровому папері розмітити систему координат, аналогічно до заданої в аудиторії, відобразити в намальованій системі координат своє місцезнаходження, та радіус перебування шуканого об'єкта.
5. Нанести іншим кольором на міліметровому папері місцезнаходження інших присутніх. Обрати двох довільних, та відобразити радіусами відстані від них, до шуканого об'єкта.
6. Визначити точне місцезнаходження шуканого об'єкта.
7. Аналогічно нанести відстані від інших учасників, перевірити збіжність результату. Зробити відповідні висновки.

Запитання для самоконтролю:

1. Назвіть основні поширені типи навігаційних систем
2. Які основні вимоги до точності НС?
3. Чим зумовлена наявність похибок при визначенні місцеположення об'єкта?

Практична робота 2

Системи диференціальної корекції

Мета роботи: ознайомитись із базовими принципами роботи систем диференціальної корекції. визначити сферу застосування, переваги та недоліки базових систем корекції.

Теоретична частина

Супутникові системи навігації під час роботи в абсолютному режимі дозволяють визначати розташування об'єктів з точністю близько 3-10 м. Однак для багатьох завдань потрібна метрова, дециметрова і навіть сантиметрова точність. Основним способом підвищення точності позиціонування є принцип диференціальних навігаційних вимірювань (кодових і фазових). Система диференціальної корекції за кодovими вимірами заснована на вимірі та обробці псевдодальностей. Цей вид корекції дозволяє отримати субметрову точність розташування з областю дії до 500 км і більше. Система диференціальної корекції за фазовими вимірами характеризується більш високою точністю (дециметровою та сантиметровою), проте має обмежену область дії (10-20 км) та вимагає застосування більш складних алгоритмів обробки даних. Зокрема, при фазових вимірах необхідно виконувати роздільну здатність неоднозначності фази.

У диференціальному режимі використовуються два навігаційних приймачі, що вимірюють псевдодальність. Один із приймачів, встановлений у місці з відомими координатами, називається базовою станцією (БС). Другий приймач (ровер) визначає свої координати, використовуючи коригуючу інформацію (КІ), одержувану від БС. Суть даного методу полягає в тому, що БС визначає та передає роверу поправки для псевдодальностей.

Ровер, використовуючи поправки від БС, коригує свої параметри та отримує координати з вищою точністю. Коригуюча

інформація БС виходить шляхом порівняння поточних вимірів псевдодальностей з точними даними координат БС, отриманих при геодезичній прив'язці. Якщо БС і ровер знаходяться досить близько, то виміряні псевдодальності містять однакові складові систематичних похибок, що повільно змінюються. Цей режим дозволяє ефективно компенсувати похибки ефемерид, помилки шкали часу, а також вплив затримок сигналу в тропосфері та іоносфері.

Для обчислення поправок існує метод корекції координат та метод корекції за параметром навігації. У методі корекції координат як поправки БС передає добавки до вимірних координат. Даний метод відрізняється простотою, але його недоліком є необхідність використання одного і того ж сузір'я супутників для БС та ровера, що складно здійснити на практиці. Тому цей метод у реальних умовах застосовується рідко.

У методі корекції за навігаційним параметром БС визначає та передає поправки до псевдодальностей для всіх супутників, які можуть використовуватися ровером. У цьому відпадає необхідність використання одного й того ж сузір'я. Ровер використовує необхідний набір поправок і застосовує його для уточнення своєї позиції. Даний метод використовується у більшості систем диференціальної корекції. Ступінь підвищення точності позиціонування безпосередньо залежить від дистанції між ровером і БС. При збільшенні відстані зменшується рівень кореляції систематичних похибок БС і ровера і знижується ефект коригування даних. За експериментальними даними, БС повинна розташовуватись не далі 500 км від ровера.

У диференціальному режимі БС і ровер виконують вимір псевдодальностей щодо однакових умов. Похибки шкали часу компенсуються практично повністю. Ступінь компенсації тропосферних та іоносферних похибок залежить від ідентичності умов проходження супутникових сигналів БС та ровера. Типова залишкова іоносферна похибка для супутників поблизу зеніту становить 0,1-1 м на дистанції 100 км. Залишкова тропосферна похибка залежить від профілю щільності повітря вздовж шляху розповсюдження сигналу, і вона зазвичай більша для супутників з малим кутом піднесення. Зі збільшенням відстані відбувається ослаблення кореляції (декореляція) помилок ефемерид через різниці в кутах, під якими спостерігаються супутники з різних

точок. Так, при дистанції 100 км та помилці ефемерид 10 м некомпенсована помилка на відстані буде менше 5 см.

Похибки, пов'язані з шумами приймача та багатопроневістю, є некорельованими і не можуть компенсуватися. За звичайних умов вважається, що диференціальна система дозволяє визначити місце розташування ровера з точністю 1,5-2 м у динамічних умовах та близько 1 м у статичі.

Практична частина

1. Ознайомитись із теоретичною інформацією. В навчальній аудиторії визначити свої відносні координати, відповідно до розмітки.
2. За допомогою мірної стрічки визначити відстань від свого місцеперебування до заданого викладачем шуканого об'єкта в тривимірній системі координат. Визначити також висоту об'єкта над умовним рівнем нуля.
3. Розрахувати лінійну відстань від свого місця до шуканого об'єкта розрахунковим методом.
4. На міліметровому папері розмітити систему координат, аналогічно до заданої в аудиторії, відобразити в намальованій системі координат своє місцезнаходження, та радіус перебування шуканого об'єкта.
5. Визначити точне розташування двох БС за заданими даними викладача. Розрахувати лінійну відстань від кожної з БС до шуканого об'єкта.
6. Нанести іншим кольором на міліметровому папері місцезнаходження БС та відобразити радіусами відстані від них, до шуканого об'єкта.
7. Визначити точне місцезнаходження шуканого об'єкта.
8. Аналогічно нанести відстані від інших учасників, перевірити збіжність результату. Зробити відповідні висновки.

Запитання для самоконтролю:

1. Чим зумовлена необхідність застосування систем диференціальної корекції?
2. Які типи помилок визначення місцезнаходження можуть бути компенсовані за рахунок диференціальної корекції?
3. Які особливості обладнання для диференціальної корекції навігаційного сигналу?

Практична робота 3

Системи паралельного водіння

Мета роботи: ознайомитись із принципами роботи обладнання для паралельного водіння. Вивчити основні налаштування робочого монітору.

Теоретична частина

При впровадженні у сільськогосподарське виробництво технологій точного землеробства найбільш затребуваним напрямом стало використання систем паралельного та автоматичного водіння.

Порівняно із звичайним керуванням машинно-тракторним агрегатом використання цих систем при виконанні технологічних операцій дозволяє виключити повторні обробки сусідніх проходів (перекриттів) та пропуски необроблених ділянок, підвищити продуктивність та комфортність роботи, знизити стомлюваність водія, скоротити витрату палива та технологічних матеріалів. При цьому забезпечуються різні режими водіння по прямих та криволінійних траєкторіях.



Рис. 4. Принцип функціонування курсовказівника

Система паралельного водіння є найнаочнішою та швидко окупною частиною технології прецизійного землеробства, призначена для проведення польових робіт і найбільш ефективна при застосуванні з широкозахватною технікою, а також у нічний час.

У сільському господарстві набули широкого поширення і довели свою ефективність два типи обладнання для керування рухом тракторів та комбайнів: системи паралельного водіння та підрулюючі пристрої для автопілотування.

Використання космічних навігаційних систем стає можливим після встановлення на транспортний засіб спеціального приймача, який постійно отримує сигнали про місцезнаходження навігаційних супутників і відстані до них. Залежно від необхідної точності, керування такою технікою здійснюється механізатором вручну за показаннями мітки на екрані дисплея (курсказівника) або з використанням пристрою або автопілотування, що підрулює.

Курсказівник - комплект обладнання для автоматизованого керування машиною за схемою "вимірювання поточних координат машини - відображення відхилень від заданого маршруту на табло в кабіні - обертання механізатором рульового колеса для утримання агрегату на заданому маршруті".

Психомоторна реакція середньостатистичного тракториста не дозволяє здійснювати паралельне водіння з відхиленнями менше ± 30 см, що відповідає точності приймача, що опирається на дані 24 супутників. У загальному випадку найпростіша система паралельного водіння складається з приймача із зовнішньою антеною та покажчиком курсу. Системи легко та швидко встановлюються на трактор чи комбайн. Потрібне лише підключення до електроживлення та встановлення зовнішнього блоку. Час навчання механізаторів роботі з цим видом обладнання (залежно від бажаної «глибини» вивчення) – від кількох хвилин до доби. Тому використання приладів паралельного водіння з точністю ведення агрегату ± 30 см дуже обмежене, переважно на внесенні добрив.

Основна перевага використання систем паралельного водіння – зменшення кількості помилок (зведення до мінімуму людського фактора) під час обробки полів. Практика показує, що при обприскуванні культур традиційним способом більшість операторів вважають за краще проходити сусідні ряди з перекриттям, щоб уникнути перепусток. У результаті взаємне перекриття рядів, навіть із використанням пінних маркерів, становить щонайменше 5%. Застосування покажчиків курсу з пристроями, що підрулюють, зменшує перекриття до 2-3% і менше.

Мінімальний набір для паралельного водіння з точністю ± 30 см показано на рис. 5. Основні його компоненти - світлодіодна панель, антена, установча площадка антени, стійка кріплення, набір сполучних кабелів, програмне забезпечення та інструкція з використання.



Рис. 5. Типовий склад системи паралельного водіння

Доцільність та ефективність застосування систем паралельного водіння оцінювалася у процесі польових випробувань, проведених у 2003 р. Технічним університетом міста Хохенхайм на низці німецьких агропідприємств. В результаті було встановлено, що за середньої вартості комплекту навігаційного обладнання для паралельного керування близько 8-10 тис. євро система, яка застосовувалася, наприклад, при обприскуванні полів загальною площею 1000 га, окупилася практично за один сезон використання.

Дане обладнання має попит тому, що воно забезпечує економію коштів. Наприклад, у Європі економічний ефект від застосування навігаційного обладнання у сільському господарстві сягає від 50-60 євро на гектар.

Для проведення ґрунтообробки, посіву, міжрядної обробки та захисту рослин, збирання та низки інших операцій потрібна більш висока точність ведення агрегату. Для цього застосовуються автоматичні системи управління сільськогосподарської технікою (автопілот).

Практична частина

1. Ознайомитись із теоретичним матеріалом
2. Ознайомитись із принципами роботи курсовказівника Trimble EZ250, визначити його основний функціонал, дослідити меню головного робочого екрану.

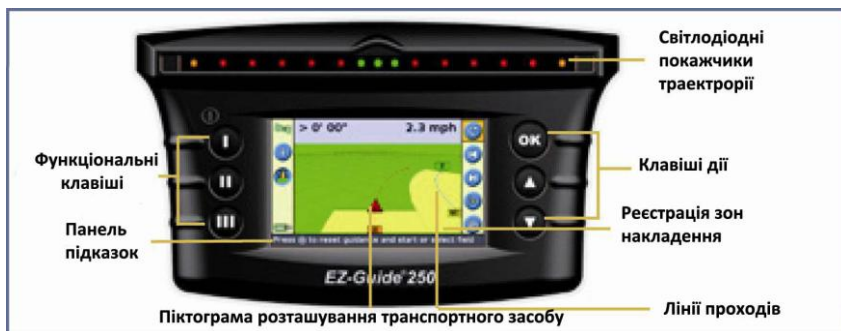
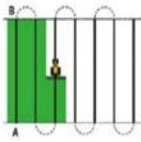


Рис. 6. Загальний вигляд курсовказівника

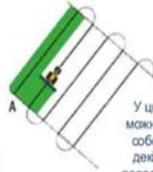
3. Вивчити можливі варіанти траєкторій при русі за допомогою системи паралельного водіння

СИСТЕМИ ПАРАЛЕЛЬНОГО ВОДИННЯ

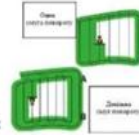
ТРАЕКТОРІЇ РУХУ



Лінія АВ
Відображається пряма лінія напрямку АВ. Ставиться точка А на початку лінії і точка В в кінці лінії.

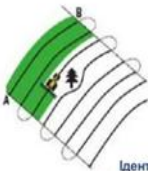


А+
У цьому режимі руху можна узгоджувати між собою напрямку руху двох машин при паралельній обробці. На підставі заданої точки А і значення кута повороту іншої машини визначається точка В і адаптується до опорної колії.

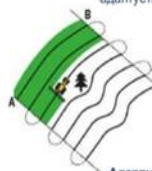


Поворотна смуга
Прямі смуги автоматично заповнюють краї захисної смуги поля. Ведуть к-ть

бажаних поворотів перед початком визначення поля. Починають поворотну смугу, визначають лінію напрямку і потім повертаються до початкового кола



Ідентична крива
Напрямок оснований на ідентичній кривій. Встановлюється точка А, проводиться крива і потім встановлюється точка В.



Адаптивна крива
Напрямок завжди заснований на повторенні останнього проходу. Кожна нова смуга автоматично утворюється при повороті або встановлюють точку В в кінці кожного проходу для створення нової смуги



Центральна точка повороту
Ставиться точка А, повертається відносно центральної точки, а потім ставиться точка В.

Рис. 7. Типи траєкторій руху

- Ознайомитись із базовою індикацією отримання супутникового сигналу

Індикація	Стан супутників	Індикація	Стан USB
	Хороший сигнал		Підключено
	Сигнал за межею налаштувань		Триває завантаження
	Сигнал відсутній		USB ує доступне

Рис. 8. Індикація якості сигналу супутника

- Вивчити елементи управління курсовказівника Трімбл.
























Знак	Опис	Знак	Опис	Знак	Опис
	Відображає інформаційні закладки		Скидання курсу		Встановлення точки А
	Довідкова інформація		Переміщення лінії курсу вліво		Встановлення точки Б
	Вмик./Вим. реєстрації даних		Переміщення лінії курсу вправо		Початок поворотної смуги
	Повернення вигляду мапи		Зміщення в поточну позицію		Кінець поворотної смуги
	Повернення в поп. меню (меню)		Зміна масштабу		Пауза збереження кривої
	Відміна змін		Пауза		Наступна АБ
	Попернення в поп. меню (майстер)		Зміна вигляду		Запис кривої лінії
			Меню налаштувань		Без запису кривої

Рис. 9. Меню управління Trimble EZ250

6. Ознайомитись із головним екраном та основними налаштуваннями курсовказівника ASN agro.

Курсовказівник виконаний на схемою зовнішня антена-приймач-планшет-програмне забезпечення.

В якості основного робочого монітору використовується серійний планшет Lenovo. Всі робочі операції виконуються в спеціально розробленому програмному середовищі. Має можливість Bluetooth-підключення. саме така компоновка робочого екрану має перевагу і перспективу в наступних періодах розвитку систем прецизійного землеробства.

Програма ASN-Agro. Короткий опис v1.03

Загальний вигляд програми

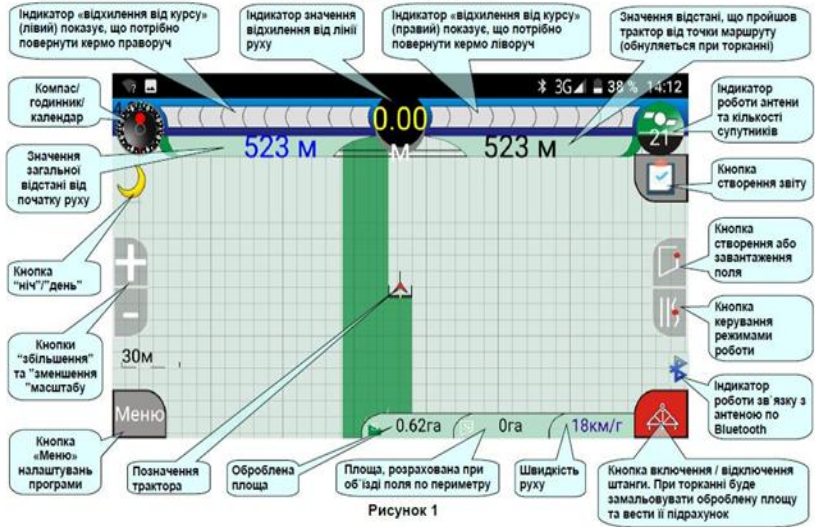


Рисунок 1

Рис. 10. Головний екран курсовказівника ASN

7. Ознайомитись із основними налаштуваннями робочого агрегату в системі

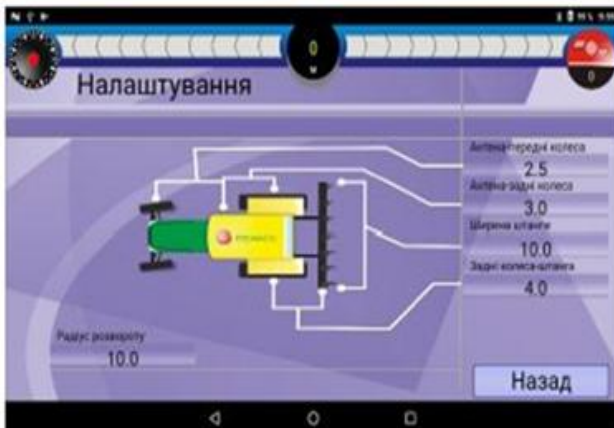


Рис. 11. Основні налаштування курсовказівника ASN

8. Ознайомитись із основними налаштуваннями функціонального меню

Програма має дві кнопки управління режимами, що відображені на екрані праворуч:
Кнопка 1 управління формуванням поля і збереженням обробленої ділянки;
Кнопка 2 управління вибору режимів роботи.



Рис. 12. Налаштування функціонального меню

9. Вивчити меню паралельного водіння

Натисніть кнопку «А» (при натисканні фон кнопки стане чорним) і почніть рух по прямій. Проїхавши деяку відстань (мінімально необхідно проїхати ~100 метрів), натисніть кнопку «В» (при натисканні фон кнопки стане чорним). Програма розкреслить паралельні лінії (гони) на дисплеї планшета (рисунок 12). При відхиленні від лінії руху зверху екрану з'явиться індикатор відхилення від лінії та абсолютне значення відхилення.

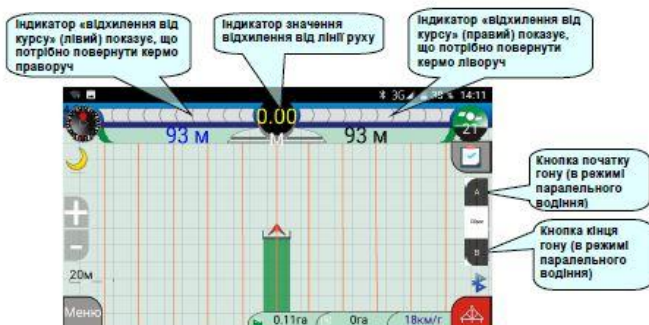


Рис. 13. Меню паралельного водіння

10. Вивчити можливі несправності, їх причини та індикацію.

Зовнішній прояв несправності	Можлива причина несправності	Методи усунення несправності
Значок Bluetooth червоного кольору, немає індикації кількості супутників	Відсутнє живлення антени	Відновити живлення антени
	Відсутній зв'язок по Bluetooth	Налаштувати зв'язок по Bluetooth (пункт 4.2)
Під час роботи значок Bluetooth перестав миготіти та став червоного кольору	Пропало живлення антени	Перевірити (відновити) живлення антени. Перезапустити програму ASN-agro
Неправильний розрахунок площі поля при обробці декількох полів	Додавання площі попереднього поля до площі нового поля без перезапуску програми ASN-agro	При переїзді на нове поле в МЕНЮ натискати кнопку « Нова обробка поля » або перезапустити програму ASN-agro
Уповільнення роботи програми	Обмежений об'єм пам'яті	Перевірити стан пам'яті планшета. При необхідності видалити неактуальні програми
Планшет виключається під час роботи від перегріву	Пряме попадання сонячних променів на планшет	Захистити планшет від попадання прямих сонячних променів

Рис. 14 Можливі несправності системи паралельного водіння

Запитання для самоконтролю:

1. Які переваги системи паралельного водіння?
2. Чи може система паралельного водіння гарантувати якісне виконання операцій на полі?
3. Які основні складові системи паралельного водіння?

Практична робота 4

Системи паралельного водіння. Автопілот.

Мета роботи: вивчити складові частини та переваги роботи автопілотів. Ознайомитись із основними зразками технічних систем автопілотування.

Теоретична частина

Автопілот – автоматизована система, що здійснює керування кермовим колесом трактора або самохідної сільськогосподарської машини при його русі заданою траєкторією. Розрізняють автопілоти з гідравлічним виконавчим механізмом та з електричним та додатковим механізмом.

Автопілотування відрізняється від паралельного водіння тим, що відхилення від заданої траєкторії, що виробляються приймачем і навігаційним контролером, через спеціальні пристрої (керівний клапан, рис. 15) вводяться безпосередньо в гідравлічну систему управління ходовою частиною трактора, виключаючи інертність і управління.

На додаток до трактора встановлюється спеціальний датчик кута повороту коліс (рис. 16). Така система забезпечує максимальну точність (відхилення ± 2 см) руху маршрутом без втручання механізатора.

У повний комплект обладнання для систем автоматичного керування входять:

- навігаційний приймач з точністю позиціонування – до 10 см, здатний працювати двох частотах (рис. 17);
- дисплей (рис. 18) або робоча панель (рис. 19);
- контролер для розрахунку відхилень на нерівностях антени приймача та коригування напряму руху (рис. 20); підрулюючий пристрій).

Є кілька поширених способів коригування супутникових сигналів навігацій для досягнення високої точності. Поправки можуть бути отримані як від геостаціонарних супутників, що підвищить точність до ± 10 см, так і від контрольної-коригуючої станції диференціальної підсистеми ДПС (РГК-станція), яка часто називається супутниковою базовою станцією.

Гідравлічний клапан отримує електричні сигнали від контролера і перетворює їх на гідравлічні, які система використовує для утримання транспортного засобу на заданому курсі.



Рис. 15. Клапан керування

Датчик куту повороту колес призначений для безперервного зворотнього зв'язку із системою керування агрегатом.



Рис. 16. Датчик кута повороту коліс



Рис. 17. Приймач AgGPS 252

Приймач підтримує варіанти поправок GPS. Використання цих поправок забезпечує точність до ± 10 см.



Рис. 18. Польовий комп'ютер AgLeader с програмним забезпеченням



Рис. 19. Панель AgGPS EZ-GUIDE PLUS



Рис. 20. Контролер AgGPS NAVCONTROLLER II

Так як точність керування безпосередньо залежить від точності вимірювань приймача, то дуже важливим є знання механізаторами основних принципів роботи приймачів. На точність позиціонування впливають кілька основних факторів: тимчасові неузгодженості, кількість супутників, що одночасно спостерігаються, атмосферна інтерференція, варіації орбіт супутників, багатопроменеве поширення сигналу та ін.

Для цього системи паралельного водіння мають спеціальний інтерфейс, що суттєво полегшує роботу.

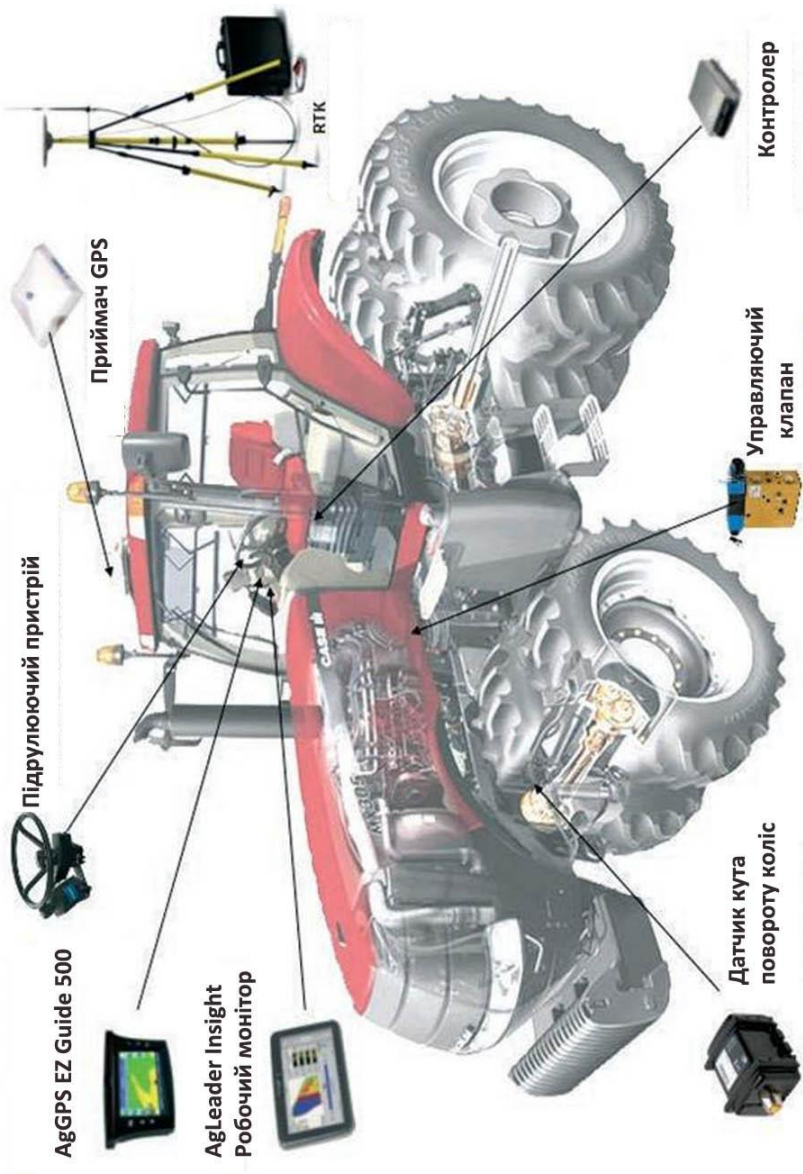


Рис. 21 Загальна компоновка автопілота на прикладі Case Magnet з диференціальною корекцією RTK



Рис. 22. Інтерфейс навігаційного приладу EZ-Guide 500 Lightbar у роботі

Системи паралельного водіння та автопілотування допомагають точно дотримуватись відстані між проходами машин при виконанні польових робіт. При їх використанні технологічні операції виконуються з мінімальними перекриттями, економляться робочий та машинний час, паливо-мастильні матеріали, насіння, добрива та засоби захисту рослин. Навігація дуже зручна для обприскування, яке краще проводити вночі, коли нижча температура повітря та відсутня вітер. Таким чином, перевагами систем паралельного та автоматичного водіння є:

- точність руху агрегатів по міжряддям; зниження навантаження на тракториста (машиніста);
- можливість роботи у темний час доби та в умовах поганої видимості.

Рух може здійснюватися як по прямолінійних, так і по криволінійних траєкторіях, проте точність ведення, особливо при роботі з причіпними агрегатами, вища під час руху прямими лініями.

Практична частина

1. Ознайомитись із теоретичним матеріалом.
2. Обговорити варіанти компоновки навігаційного обладнання на тракторах різних марок та моделей.
3. Ознайомитись та проаналізувати результати тестів навігаційного обладнання.

У Німеччині було проведено випробування таких систем семи виробників. Для визначення точності водіння виконані п'ять проходів агрегату шириною захвату 3 м та по 450 вимірювань для кожного приладу. Прилади оцінювалися за п'ятибальною шкалою: оцінка 1 – добре, 5 – незадовільно (табл. 2).

Таблиця 2

Результати порівняння ефективності навігаційних систем

Показник	Модель						
	EZ Guide250 (Trimble)	PCS 110 (Topcon)	Track- Guide (Müller Elektronik)	GPS Copilot (Claas Agrosys-tems)	Lightbar (John Deere)	Easy Drive (Helm)	Center-line 220 (Teejet)
Якість виготовлення	1	2	1,5	2	1	1,5	2
Зручність монтажу	2	2,5	2,5	2	1,5	2	2
Налаштування на роботу	1,5	1,5	1,5	1,5	2	1,5	1
Інформативність	1,5	1,5	1,5	1	1,5	1,5	1,5
Можливості пам'яті пристрою	1	1	1,5	3,5	4	3,5	5
Додаткові можливості	1,5	1	2	2	1,5	1,5	4
Точність руху	2	2	1,5	1,5	2,5	2,5	1,5
Підсумок оцінка	1,5	1,6	1,7	1,9	2	2	2,4

За якістю виготовлення найкращими виявилися прилади EZ Guide 250 та Lightbar. За пристосуванням до монтажу та

підключення на першому місці прилад Lightbar. Для його встановлення достатньо приєднати світлодіодну панель, антену та живлення до основного кабелю. Третій показник оцінював час налаштування приладу та враховував, щоб введення координат для руху з точки «А» в точку «В» можна здійснювати без посібника з експлуатації. Всі прилади, що порівнюються, прості в налаштуванні, однак кращу оцінку отримав Centerline 220.

Після включення він готовий до режиму руху прямою «А-В», клавіші мають чітке позначення, введення ширини захоплення агрегату не викликає проблем. Оцінка четвертого показника виявила, що це прилади мають приблизно однаковий рівень чіткості показань дисплея чи світлодіодного покажчика. Прилад GPS Copilot отримав чудову оцінку за розділені показання. Верхня панель з напівкруглим розташуванням світлодіодного покажчика інформує про рекомендований напрямок руху в даний момент, нижня – про положення трактора в смузі. Чотири вертикальні світлодіоди між верхньою і нижньою панелями світяться при правильному положенні агрегату. На дисплеї висвічується номер проходу.

Вбудовані пристрої приладів дозволяють зберігати в пам'яті координати руху останніх обробок і ряд інших параметрів: площа поля, число і номери проходів. За даними позиціями відмінні оцінки у EZ Guide 250 та PCS 110 («Торсон»). У приладі Centerline 220 при відключенні живлення всі показники зникають та не зберігаються (оцінка 5).

Крім забезпечення паралельного водіння, прилади мають додаткові можливості, серед яких: вимірювання обробленої площі, звукове попередження про досягнення розворотної смуги та перешкоди, повернення агрегату у вихідну точку, керування навісною зброєю, документування даних. Найкраща оцінка таких можливостей у PCS 110, EZ Guide 250, Lightbar і Easy Drive.

Точність водіння трактора водієм, яка залежить не тільки від точності сигналу, що приймається, але і від чіткості зображення екрана дисплея або слідовказівника, оцінювалася за величиною відхилення від лінії ідеальної траєкторії в той чи інший бік і величиною амплітуди відхилень.

Найбільш оптимально дозволяють вести трактор прилади GPS Copilot і PCS 110, їх середні значення відхилень знаходяться недалеко від теоретичної лінії траєкторії, причому GPS Copilot має

менший розмах відхилень (52 см). Але найменший розмах відхилень забезпечив прилад Centerline 220 (41 см). Найбільша величина похибок у приладу Easy Drive (74,5 см), а перекриттів – у Lightbar (59,5 см)

Хороші підсумкові оцінки отримали прилади EZ Guide 250, PCS 110 та Track-Guide на останньому місці Centerline 220.

Більш високу точність забезпечують системи паралельного водіння, які використовують коригувальні поправки RTK, що надходять від базової станції або мережі мобільного зв'язку (табл. 3).

Таблиця 3

Відхилення від заданого напрямку руху при різних режимах

Модель	Рух по прямій лінії «А-В»			Рух по криволінійній траєкторії			Підсумок, бал
	Середнє відхилення, см	Стандартне відхилення, см	Оцінка, бал	Середнє відхилення, см	Стандартне відхилення, см	Оцінка, бал	
Auto Track (John Deere)	-8	6	3	-10	13	1	1,52
Vario Guide (Topcon, Fendt)	-2	4	1,5	6	26	2	1,55
Ag GPS FmX (Trimble, JCB)	0	4	1	20	18	2,5	1,74
System 150 (Topcon)	0	5	1,5	5	18	1	1,83
AFS (Trimble, Case IH)	0	4	1	Н.д.	Н.д.	1,5	1,84
Intellisteer (Trimble, NewHolland)	1	3	1	Н.д.	Н.д.	2,5	1,93
A5 Display (Autofarm)	3	4	2	6	33	3	1,93

Точність водіння оцінювалася за величиною середнього значення відхилення від траєкторії та стандартного відхилення, а також експертно за п'ятибальною шкалою. При водінні трактора по прямій найкращі результати показали системи Ag GPS FmX (середнє значення відхилення дорівнює 0, стандартне відхилення дорівнює 4), AFS (0, 4) та Intellisteer (1, 3). Усі вони отримали відмінну оцінку у балах. При керуванні по кривій траєкторії відмінні оцінки отримали Auto Track і System 150.

За величиною підсумкової оцінки, яка враховує поряд з точністю водіння багатofункціональність приладів та інші додаткові можливості, кращими виявилися Auto Track (1,52 бала), Vario Guide (1,55) та Ag GPS FmX (1,74).

Аналіз результатів випробувань показав, що підсумкові оцінки порівнюваних систем паралельного водіння відрізняються один від одного незначно: різниця між найгіршою та найкращою оцінками у першому випадку становить 0,9 бала, у другому – 0,4 бала. Точність водіння систем, що працюють з коригуючою поправкою RTK, значно вища.

4. Обговорити отримані результати, зробити відповідні висновки.

Запитання для самоконтролю:

1. Які відмінності автопілота від системи паралельного водіння?
2. Чи може автопілот працювати без втручання людини?
3. Які складові системи автопілотування?

Практична робота 5

Обмір контурів полів та його точність

Мета роботи: набути практичних навичок визначення точних площ полів із використанням навігаційного обладнання

Теоретична частина

Точний контур також є базою для інструментів точного землеробства – при впровадженні паралельного водіння, диференційованого внесення добрив та ЗЗР, роботі з системами контролю техніки. Сам процес обміру полів можна поєднати з проведенням відбору проб ґрунту, моніторингом стану посівів,

створенням ортофотопланів, що дозволяє окрім точного контуру отримувати набори даних про рельєф поля або стан вегетації рослин, необхідних при роботі з технологіями точного землеробства.

Методи обміру ділянок

Є декілька найбільш поширених способів отримання точних контурів. В основному вони відрізняються між собою за точністю отриманих даних, вартості 1 гектару в грошах та часі:

- Оцифрування контурів на знімках Google;
- Об'їзд ділянки на авто з GPS-обладнанням;
- Оцифрування контурів по комерційних супутникових знімках;
- Обліт полів дроном.

1. Використання карт

Можна відкрити загальнодоступні карти Bing, Google Earth, або ортофотоплани з кадастрової карти. В режимі онлайн переглянути супутникові знімки, які доступні в архіві. Обравши актуальні знімки, можна обвести контури своїх полів вручну і отримати їх площу.

Плюси:

- Швидко.
- Безкоштовно.

Мінуси:

- Неможливість визначити контур деяких полів.
- Неможливість врахувати рельєф.
- Велика похибка.
- Не можна врахувати втрати в середині поля: заболочення, солончаки, дерева чи виведені паї.

Метод підійде невеликим господарствам, які знають місцезнаходження своїх ділянок і які хочуть хоча б візуалізувати поля на інтерактивній карті.

2. Об'їзд поля

Автомобіль з GPS-трекером об'їжджає поле по периметру.

Плюси:

- Обмір поля можна провести самостійно.

Мінуси:

- Похибка даних – 3-5 метрів.

- Об'їзд не враховує рельєф.
- Обмір об'їздом не дає можливості врахувати в середині поля заболочені ділянки, солончаки, дерева та інші технічні втрати.
- Обміри поля не можна робити, коли на ньому вже ростуть культури.

Невеликі господарства часто використовують дані з автопілотів техніки, для отримання контуру. Такий обмір можна проводити під час польових робіт, проте тут як і з об'їздом є проблеми з точністю.

Всі GPS пристрої для обміру площі земельної ділянки можна поділити на такі групи:

- Смартфон з модулем gps
- Спортивні та побутові gps трекери
- Смартфон із зовнішнім GPS/GNSS, що підключається, приймачем базового рівня точності.
- Смартфон із зовнішнім GPS/GNSS, що підключається, приймачем покращеного рівня точності
- Смартфон із зовнішнім RTK приймачем, що підключається.

Все обладнання за винятком останнього працює з безкоштовним сигналом, який вони отримують від тієї чи іншої системи супутників. Для отримання субсантиметрової точності використовується мережа базових наземних станцій, які в режимі реального часу передають поправки та значно покращують точність позиціонування.

Смартфон з gps модулем один із найнеточніших варіантів вимірювання площі поля. Похибка при його використанні може становити понад 10%, що є критично багато для реальних завдань.

Спортивні та побутові gps трекери не сильно кращі за перший варіант, вони також мають невелику за розмірами gps антену і не можуть забезпечити належну точність вимірювання.

Смартфон із зовнішнім GPS/GNSS приймачем базового рівня точності - це вже пристрій, що кардинально відрізняється по точності від першого і другого варіанту. На відміну від попередніх варіантів, антена та приймач – це окремий пристрій, що підключається до смартфона через Bluetooth. Фізичний розмір антени в ньому в 2-3 рази більше, ніж у звичайному GPS модулі смартфона. Це дозволяє не тільки отримувати сильніший сигнал, а

й одночасно «бачити» більше супутників. Іншою особливістю є те, що така антена завдяки спеціальному модулю приймача може «ловити» сигнал не лише з однієї супутникової мережі, а одразу від кількох, тим самим покращує точність і це вже не GPS, а GNSS приймач.

Похибка вимірювання площі таким обладнанням становить близько 0,5-1%, що в рази краще за попередні варіанти. Що стосується виконання лише одного завдання – вимірювання площі поля, то подібної системи цілком буде достатньо для 99% випадків. Якщо потрібно отримати багатофункціональну систему, де до завдання обміру площі полів додається вихід на точку чи визначення меж земельної ділянки, то рівня точності такого приладу буде замало.

Смартфон із зовнішнім GPS/GNSS приймачем покращеного рівня точності. Таке обладнання, як і раніше, буде працювати з безкоштовним супутниковим сигналом, але завдяки збільшеному розміру антени і спеціальним фільтрам згладжування «відбирають» тільки супутники з найкращим сигналом, точність лінійних вимірювань буде вищою, ніж у попередньому варіанті. Наприклад, при виході на точку або межування він дасть точність в 20-30 см, в той же час, як у базовому тільки 50-70 см. Ще однією істотною відмінністю буде якість контуру виміру. У приладі з антеною GNSS і фільтром згладжування він буде в більшості випадків рівніше за рахунок більшої щільності точок, яка залежить від частоти приймача. У базових він до 2 Гц, у покращених 5-10 Гц. Щільність точок може також регулюватися налаштуваннями ПЗ, з яким працює приймач, тому у різних постачальників вона може відрізнятись. Прилади з такою комплектацією вже можна вважати професійним рівнем для агрономів та служби контролю земельних ділянок підприємства, які займаються оцифруванням полів. Але все ж таки такого приладу буде недостатньо для професіоналів вимірювання - геодезистів-землевпорядників.

Смартфон із зовнішнім RTK приймачем - професійний вимірювальний прилад, який з точністю 1-2 см допоможе винести межі земельної ділянки, провести розмітку дорожнього полотна або ділянки під будівництво. Точність вимірювань досягається завдяки спеціальній мережі базових станцій, які одночасно отримують сигнал від супутників і з'єднуються з ровером

(зазвичай це вішка з RTK приймачем), отримуючи різницю в цих вимірах на RTK приймач відправляються поправки, які компенсують ті неточності, що дає пряме з'єднання з супутниками.

3. Обмір контурів поля по супутникових знімках

Сьогодні комерційні супутники можуть видавати точність до декількох сантиметрів на піксель.

Плюси:

- Можна отримати історичні знімки поля.
- Можна використовувати у зонах, заборонених для польотів дронів.

Мінуси:

- Зйомку можна проводити лише в безхмарну погоду.
- Достатньо велика похибка.
- На отримання знімків високої якості при новій зйомці потрібно багато часу.

Це оптимальне рішення при інвентаризації великого земельного банку, який достатньо щільно згрупований. Це зручніше, дешевше та точніше за об'їзд, плюс на додачу можна отримати ортофотоплани полів.

4. Обмір поля дроном

Для обльоту ділянок буде потрібен навчений екіпаж, власне, сам дрон. Варто використовувати дрони з РРК або RTK модулем, щоб отримати максимальну точність.

Під час польоту дрон робить велику кількість знімків, які частково накладають один на один. Це дозволяє отримати деталізовані ортофотоплани. Через те, що висота польоту дрона зазвичай становить 100-300 метрів над землею є можливість отримати знімки з роздільною здатністю декілька сантиметрів на піксель.

Для прив'язки знімків до координат на місцевості знадобиться допомога ГІС фахівця, який «збере» з тисяч знімків ортофотоплани з прив'язкою координат, на основі чого створюється електронна карта поля з даними про площу.

Дрон дозволяє отримати контур, площу, ортофотоплан поля та матрицю рельєфу з точністю до 20 см. А його використання дозволяє виявити придатні та не придатні ділянки для обробітку,

уточнити розбіжність площ ділянок на папері та тих, які є в реальності.

Плюси:

- Висока точність даних – до 20 см.
- Оперативність проведення обміру.
- Можливість врахувати втрати всередині поля, створити матрицю рельєфу.

Мінуси:

- Обмір не можна проводити при сильній вітряності чи в дощ.

В «no fly» зонах біля аеропортів, військових і інших режимних об'єктів потрібно за 10 днів до вильоту отримати дозвіл і погодити виліт зі службовцями об'єкту.

Практична частина

1. Ознайомитись із теоретичною інформацією.
2. Обговорити переваги та недоліки різних методів отримання даних
3. Обміряти задану ділянку різними способами
4. Порівняти отримані дані, зробити висновки
5. Співставити власні дані із аналогічними результатами колег. Зробити висновки.

Запитання для самоконтролю:

1. Чим зумовлена необхідність точного обміру земельних ділянок?
2. Назвіть основні методи отримання даних площ ділянок.
3. Яка із атестованих систем на Вашу думку найкраща?

Практична робота 6

Відбір проб ґрунту та аналіз агрохімічних матеріалів у прецизійному виробництві

Мета роботи: вивчити особливості та технічні вимоги до аналізу ґрунту для потреб прецизійного землеробства

Теоретична частина

Відбір проб, для отримання інформації щодо потенційного рівня родючості ґрунту, на кожній елементарній ділянці поля, є основним елементом в системі точного землеробства.

Сучасні технології прецизійного землеробства передбачають прив'язку основних польових операцій до абсолютних або відносних географічних координат. У цих цілях звичайно використовують приймачі сигналів глобальних (супутникових) або локальних (наземних) систем позиціонування.

Технологія пробовідбору полягає, насамперед, у визначенні координат обстежуваного поля і виділених на ньому тим чи іншим способом елементарних ділянок (контурів).

Відбір проб може здійснюватися механізованим або вручну. Для механізованого відбору проб пробовідбірники встановлюються на самохідних машинах: самохідних шасі, мотоколясках, квадроциклах. Основна вимога до таких агрегатів - висока прохідність по орних угіддям, мотостабільність, легка керованість, низький тиск на ґрунт, простота в експлуатації, висока продуктивність робіт (рис. 23).



Рис. 23. Мобільний пробовідбірник на автомобільному шасі, SkokAgro, Україна

При невеликому обсязі робіт (у селянських, фермерських господарствах) може практикуватися ручний відбір проб з використанням пробовідбірників (бурів) різної конструкції. У цих цілях для відбору проб з орного шару найбільш придатні штирьові пробовідбірники, які використовують агрохімслужби. Для взяття проб з орного і підорного шарів (при діагностиці азотного живлення) практикуються ударні або свердлильні бури, що дозволяють пошарово відбирати ґрунт з глибини до 100 см. Загальна маса проб для змішаного зразка повинна становити не менше 300 г.

В промислових умовах переважає методика автоматизованого відбору проб. За допомогою спеціалізованого програмного забезпечення створюється карта-завдання для відбору проб за оптимальним маршрутом із GPS-прив'язкою.

Вибір методики побудови маршруту

1. За типом ґрунту

Застосування такого методу доцільно при наявності хорошої ґрунтової карти поля. У цьому випадку проби відбираються по кожній з ділянок з одним типом ґрунту. При цьому слід уникати відбору проб на межах ділянок з різними ґрунтотипами.

2. Виділення контурів за даними моніторингу урожайності

Даний спосіб заснований на автоматичному скануванні урожайності сільськогосподарських культур в процесі їх збирання. Використовуючи контури однакової урожайності як елементарні ареали, можна провести по ним відбір ґрунтових проб і встановити рівень забезпечення ґрунтів тими чи іншими елементами, тобто скласти агрохімічну картограму поля.

Зазначений спосіб значно економніший відбору проб по регулярній сітці. Наприклад, на полі площею в 200-300 га замість сотні змішаних ґрунтових зразків, складених з 2-3 тисяч індивідуальних проб, в цьому випадку виділяється кілька елементарних ділянок з відповідним зменшенням кількості проб, змішаних зразків і коштів на їх агрохімічний аналіз.

Недоліками даного методу є його орієнтація на чутливість певної культури на фактори родючості, які визначають саме її врожайність, причому визначені за агрометеорологічними ресурсами в конкретний рік. Разом з тим відомо, що різні культури неоднаково реагують на ґрунтові умови. Погодні умови (вологозабезпеченість), також можуть неоднозначно впливати на врожайність культур по території поля.

Проте, даний спосіб виявлення контурів ґрунтової родючості заслуговує уваги для використання в практиці прецизійного землеробства.

3. Виділення контурів за даними дистанційного зондування

Даний спосіб виділення агрохімічних контурів ґрунтової родючості базується на використанні різних методів дистанційного авіакосмічного зондування земної поверхні. Для регіонів з підвищеною хмарністю найчастіше вдаються до

дистанційного визначення внутрішньопольових контурів з допомогою радіолокації земної поверхні, що здійснюється в теплу пору року незалежно від погодних умов і часу доби з літаків або штучних супутників (ШС), в дециметровому діапазоні хвильового спектру випромінювання. Дослідженнями та тематичним обробленням (оцифрованих) космічних знімках полів досить чітко визначаються межі ділянок полів, що розрізняються за комплексом агрохімічних показників.

Поряд з радіолокаційними знімками, для виявлення агрохімічних контурів на орних землях можна використовувати фотометричні зображення, які одержані в різних діапазонах хвильового спектра за допомогою скануючої апаратури, встановленої на літаках або штучних супутниках Землі.

Таким чином, дистанційні методи зондування сільськогосподарських угідь дозволяють реально виконувати диференціацію родючості ґрунтів з метою диференційованого застосування засобів хімізації. З подальшим вдосконаленням методів дистанційної індикації з'явиться можливість взагалі перейти на оперативне визначення показників ґрунтової родючості цими методами, не вдаючись до широкомасштабних агрохімічних досліджень мільйонів гектарів орних земель, які вимагають величезних витрат праці і коштів.

Можливо також сканування властивостей ґрунту методом електроіндукції. За таким методом, сканування інтенсивності зеленого забарвлення посівів здійснюється спеціальними широкозахватними спектрофотометричними сенсорами, що встановлюються перед або над кабіною трактора або машини та передають оцифровані сигнали на бортовий комп'ютер із занесенням на електронну карту поля (режим off-line) або через бортовий комп'ютер агрегату безпосередньо на робочі органи удобрювача (режим on-line).



Рис. 24. Приклад обладнання для потокового аналізу стану поля

Оброблені сканерні знімки (картограми поля) служать основою для виділення контурів ґрунтової родючості як елементарних ділянок для агрохімічного обстеження або безпосередньо для диференціації доз добрив під культуру.

Параметри стандартного автоматизованого відбору ґрунтових зразків:

- автоматичний збір зразків ґрунту гарантує якість забору кожної міні-проби та геоприв'язку до сектора відбору.
- глибина відбору зразків від 10 до 30 см.
- загальна проба ґрунту складається з 15 міні-проб та має вагу ~500 г.
- продуктивність в середньому 50 загальних зразків в день в залежності від розміру сітки загальної проби.
- кожен зразок має свій унікальний код який складається з назви поля та номера сектора: «role.007_3»
- етикетки для проб з поліпропілену та термотрансферний спосіб їх друку, це гарантує збереження коду проби навіть у вологих умовах.

Зібрані проби нумеруються та передаються до агрохімлабораторії для аналізу.

У лабораторних умовах організують сушку ґрунту за природної температури повітря (якщо не потрібне визначення

агрохімічних властивостей в свіжевідібраних зразках), його ретельне перемішування, подрібнення з просіюванням через сито.

Результати аналізу заносяться до програмного забезпечення, у процесі обробітку в якому, створюються карти розподілу елементів живлення на елементарних ділянках поля.

У подальшому, отриману карту можна використовувати для прийняття необхідних управлінських рішень та створення карт-завдань для диференційованого внесення добрив.

Практична частина

1. Ознайомитись із теоретичним матеріалом
2. Ознайомитись із ілюстративними відеоматеріалами автоматизованого відбору проб ґрунту
3. Побудувати маршрути відбору проб за різними методиками на прикладі пропонованого еталонного поля
4. Проаналізувати переваги та недоліки кожного із маршрутів
5. Зробити висновки.
6. Встановити на ПК програмний засіб Xarvio Field Manager.
7. Освоїти головне меню засобу, створити власне поле намалювавши його вручну, створити друге поле завантаживши його контур. Назвати обидва поля за своїм прізвиськом.
8. Призначити першому та другому полю культуру та атрибути відповідно до індивідуального завдання.

Запитання для самоконтролю:

1. Яка відмінність автоматизованого відбору проб ґрунту?
2. Які специфічні вимоги до відбору проб ґрунту для потреб прецизійного землеробства?
3. Які існують способи побудови маршрутів для відбору проб?

Практична робота 7

Загальна методологія побудови карт-завдань

Мета роботи: вивчити загальні підходи до побудови карт-завдань. Обґрунтувати необхідність їх використання.

Теоретична частина

Одним із ключових елементів впровадження точного землеробства є диференційований підхід до проведення операцій.

Урахування особливостей кожної ділянки поля – рельєфу, агрохімічного складу та типу ґрунтів, факту врожайності та інших нюансів та дозволяє сформувавши план по кожній операції у вигляді карти-завдання для сільськогосподарської техніки.

Основою для формування карти-завдання може слугувати картографічний матеріал, отриманий в попередній період роботи, або дані потокового аналізу стану поля (рис. 25).

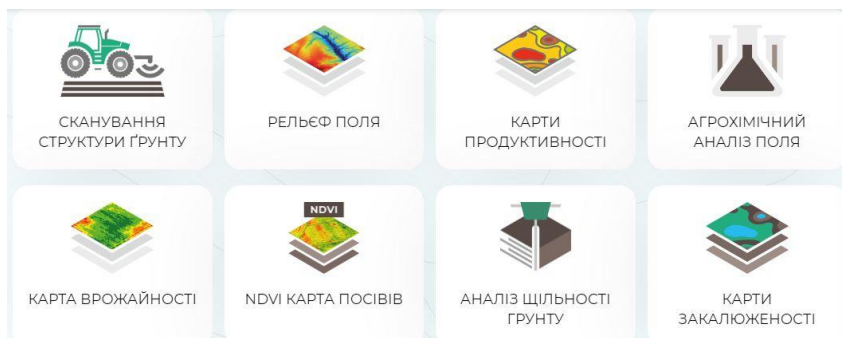


Рис. 25 Джерела даних для побудови карт-завдань (Smartfarming.ua)

Головна вимога до побудови карти-завдання – це виділення території з однорідними, близькими за значенням критеріями та індикаторами, що дозволить найефективніше використовувати ґрунтовий покрив. При переведенні природного ландшафту в агроландшафт порушуються як вертикальні, так і горизонтальні зв'язки основних критеріїв та індикаторів формування ґрунтового покриву. В умовах складного рельєфу спроба структурувати простір агроландшафту з використанням великих агроекологічних одиниць не дозволяє повною мірою визначити в ньому рівень активності ґрунтоутворювальних процесів.

Залежно від інтенсивності використання необхідно проводити типізацію також з урахуванням гідрології та тепловологозабезпеченості елементів агроландшафту. Для цього бажано розділяти фації південних експозицій від північних та північно-західних експозицій. При цьому одне поле не повинно включати фації полярних експозицій.

При адаптації технологій та культур до системи точного землеробства на однорідних за рельєфом територіях необхідно

враховувати ґрунтові властивості та особливості зволоження, пов'язані з мікрорельєфом (половини, западини).

Неоднорідність ґрунтового покриву лімітує рівень продуктивності. Вивчення впливу параметрів ґрунтів, що становлять її неоднорідність, дозволить коригувати витрати, отримувати адекватний рівню родючості врожай сільськогосподарських культур необхідної якості.

Невисока вирівняність рослинного покриву пов'язана з неоднорідністю складу та властивостей ґрунтів. Це справедливо як для цілинних та залежних ділянок, так і для орних угідь. Неоднорідність може виявлятися як зміні видового складу рослин, і мінливості величини врожайності культур.

Диференціація ґрунтової родючості всередині поля може бути викликана як рельєфними змінами, що зачіпають різні ґрунтові горизонти, так і агрохімічними та агрофізичними показниками, пов'язаними з природними процесами та антропогенною діяльністю.

З метою оптимізації сільськогосподарського виробництва неоднорідність ґрунтового покриву намагаються згладити внесенням добрив, тим самим збільшуючи строкатість ґрунтової родючості.

Зі збільшенням строкатості рельєфу (крутості та експозиції схилів), розчленованості території необхідна додаткова диференціація схилових агроландшафтів. У цих умовах перерозподіл у просторі чинників ґрунтоутворення та життя рослин має чільне значення. Ці фактори можна розбити на три групи:

- 1) Ґрунтові та ландшафтні
- 2) Агрохімічні властивості
- 3) Мікрокліматичні

Практична частина

1. Ознайомитись із теоретичним матеріалом
2. Ознайомитись із прикладами топооснов для побудови карт-завдань
3. Проглянути приклади карт-завдань, проаналізувати правильність вибору основи.
4. Ознайомитись із типовими помилками, що допускаються при побудові карт-завдань на конкретних виробничих прикладах.

5. Зробити відповідні висновки.
6. У програмному засобі Харвіо розглянути карти продуктивності власних двох полів, що були створені раніше.
7. Зробити відповідні висновки.

Запитання для самоконтролю:

1. Для чого потрібні карти-завдання?
2. Які існують джерела отримання даних для побудови карт-завдань?
3. Які є ризики при побудові карт-завдань?

Практична робота 8

Побудова завдань для диференційованого внесення азотних добрив

Мета роботи: набути практичних навичок побудови карт-завдань для диференційованого внесення гранульованих азотних добрив

Теоретична частина

Важливим компонентом системи прецизійного землеробства є диференційоване внесення добрив залежно від стану культурних рослин, наявності бур'янів на окремих ділянках поля.

При традиційній системі землеробства, навіть за досить точного й обгрунтованого розрахунку необхідних доз добрив, все одно відзначається їх значна перевитрата, що економічно не вигідно, та створює реальну небезпеку забруднення довкілля.

З іншого боку, агрохімічний аналіз ґрунту показує у пробах значні відхилення вмісту азоту, фосфору та калію, незважаючи на те, що мінеральні добрива вносилися досить рівномірно. Це пов'язано, насамперед, з неоднорідністю ґрунтової родючості.

Все це є наслідком того, що рослини поглинають не тільки речовини, що вносяться при вирощуванні цієї (сьогоднішньої) культури, а й накопичені раніше у ґрунті. При цьому сама біологічна потреба рослини в живленні на тій чи іншій ділянці поля може бути різною залежно від освітленості, вологості ґрунту, наявності бур'янів тощо.

Отже, при внесенні постійної дози добрив не можна досягти оптимізації живлення всіх рослин. Тому добрива потрібно вносити у ґрунт диференційовано, з урахуванням кількості раніше

накопичених у ній основних поживних речовин та низки інших характеристик конкретної ділянки поля. Ще більшу винахідливість та гнучкий підхід до розрахунку доз слід виявляти при боротьбі з бур'янами, шкідниками та хворобами рослин.

Внесення добрив за технологією точного землеробства проводиться диференційовано, тобто, умовно кажучи, на кожний квадратний метр вноситься стільки добрив, скільки необхідно саме тут (на даній елементарній ділянці поля).

Внесення може виконуватися у двох режимах – offline та online.

Режим offline передбачає попередню підготовку на стаціонарному комп'ютері карти-завдання, в якій містяться просторово прив'язані за допомогою навігації дози добрива для кожної елементарної ділянки поля. Для цього здійснюється збір просторово прив'язаних даних про межі поля та контури неоднорідності властивостей. Проводиться розрахунок дози для кожної елементарної ділянки поля, тим самим формується (у спеціальній програмі) карта-завдання, яка потім переноситься на флеш-карті (або іншому носії інформації) на бортовий комп'ютер, оснащений приймачем та керуючим контролером сільськогосподарської техніки. Трактор, оснащений бортовим комп'ютером, рухаючись полем, за допомогою приймача визначає своє місцезнаходження, зчитує з карти дозу добрив, відповідну місцезнаходженню і посилає сигнал на контролер розподільника добрив. Контролер, отримавши сигнал, виставляє на розподільнику добрив необхідну дозу.

Диференціальне внесення мінеральних добрив – один із найважливіших економічних та екологічних аспектів точного землеробства. Застосування даної технології та обладнання дозволяє значно скоротити витрати на добрива, тобто, вносити їх залежно від потреби культурних рослин, а також забезпечує оптимальний вміст поживних речовин у ґрунті.

На рис. 26 представлено карту-завдання для внесення азоту на полі озимої пшениці. Світло-блакитне тло – зони внесення стандартної дози 70 кг/га азоту, синій – підвищення дози до 80 кг/га, темно-синій – доза вище 80 кг/га. При зіставленні карт видно, що у посівах з хорошою біомасою доза внесення азоту становить стандартну задану величину 70 кг/га. Темно-сині плями показують, що на ці місця було внесено азот з розрахунку понад

80 кг/га з метою вирівнювання біомаси посіву. На ділянках поля з історично низькою врожайністю у зв'язку з незадовільним станом посівів була значно знижена доза азоту.

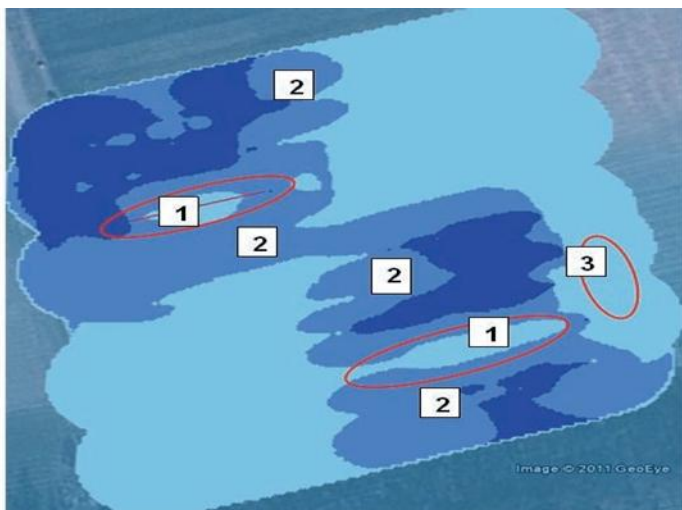


Рис. 26. Карта-завдання доз внесення азоту за технологією *offline*

Режим реального часу (*online*) передбачає попереднє проведення калібрування безпосередньо на посівах перед виконанням операції, а доза добрив визначається під час роботи агрегату безпосередньо. Калібрування, в даному випадку – це кількісна залежність дози добрива від показань датчика, встановленого на сільськогосподарській техніці, яка виконує операцію. Одним з таких датчиків є Hydro-N-Sensor виробництва фірми Yara©, який в інфрачервоному та червоному діапазонах випромінювання визначає вміст хлорофілу в листі і за цими показниками розраховує відносну біомасу.

На підставі цих даних, а також даних щодо сорту та фази розвитку (фенофази) рослини визначається доза азотних добрив. Крім використання N-сенсора (Hydro-N-Sensor) також використовується портативний прилад N-Tester, що визначає азотний статус рослини і дозволяє розрахувати рекомендовану дозу внесення добрив за калібрувальними таблицями для різних сортів. Результати виконання операції внесення добрив *online*

(дози та координати, оброблена площа, час виконання та прізвище виконавця) записуються на чіп-карту.

У режимі online бортовий комп'ютер отримує дані від датчика, порівнює їх із певними та записаними в пам'ять значеннями, отриманими під час калібрування, і надсилає сигнал на контролер за тією ж схемою, що й у режимі offline. В даний час активно ведуться розробки різних датчиків, які дають змогу використовувати режим online. Це оптичні датчики, що працюють у діапазонах різних довжин хвиль, що визначають вміст азоту в листі, засміченість посівів, а також розвиток хвороб посівів. Відзначається колосальна користь спільного використання сенсорів та систем навігації під час розкидання та обприскування. На відміну від посіву та ґрунтообробки, де помітна оброблена площа, на цих операціях механізатору орієнтуватись на попередні проходи значно складніше.

Як зазначалося, навігаційне устаткування розроблялося для паралельного водіння (виключення пропусків і перекриттів), тобто. основна економія відбувається саме цьому етапі. Так, у ході роботи традиційним (окозомірним) способом було виявлено, що при внесенні мінеральних добрив, зважаючи на відсутність маркерів на розкидачах та обприскувачах, отримані такі дані: на 11% площі поля були перекриття, т. е. на цих ділянках було внесено подвійну норму мінеральних добрив, посіви на цих ділянках були пригнобленими, або отримали опік (на 4% площі поля). Там, де було допущено пропуски, врожайність була нижчою, ніж на нормально оброблених ділянках, тобто. на 15% площі поля не було дотримано норми внесення та недоотримано прибуток. Слід зазначити, що з використанням систем автоматичного водіння відбувається підвищення робочої швидкості на 13-20% з допомогою концентрації тракториста лише з технологічному процесі.

Практична частина

1. Ознайомитись із теоретичним матеріалом
2. Відкрити ресурс [Harvio](#).
3. Для обох власних полів запроектувати карти-завдання для виконання азотного підживлення культур відповідно до вихідних даних..

4. Зберегти результати у форматі звіту.
5. Зберегти результати у форматі, сумісному з обраним типом терміналу агрегату.
6. Сформувати відповідні висновки;
7. Надіслати звіт на перевірку викладачу.

Запитання для самоконтролю:

1. Чому для зон різного розвитку культури алгоритми побудови карт різні?
2. Які фактори впливають на норму внесення добрив?
3. Як впливають на якість внесення добрив технічні параметри агрегату? Як саме?

Практична робота 9

Побудова завдань для посіву культур

Мета роботи: набути практичних навичок побудови карт-завдань для посіву просапних культур та культур суцільного висіву.

Теоретична частина

Диференціація норми висіву культури є результатом аналітичного опрацювання комплексних даних у складі середньої багаторічної продуктивності поля, врожайності культур, рівня агротехнологій господарства, складу та стану робочої техніки, ступеня інтенсифікації виробництва, планових показників господарської та економічної ефективності.

При цьому вибір правильної топооснови напряму визначає ефективність кінцевого рішення, тому для отримання оптимальних результатів слід:

- визначити чинники, що обмежують врожайність на конкретному полі;
- спробувати побудувати максимально актуальну картографічну основу, яка буде враховувати варіацію саме цього лімітуючого чинника.

Загальна приуроченість окремих контурів із змінними нормами висіву до зон різного потенціалу зберігається, однак тенденції взаємозв'язку відмінні для різних культур.

Кукурудза.

Культура яка вкрай гостро реагує не лише на зміну густоти стояння рослин на полі, а й на конфігурацію відносно рельєфу та сторін світу. Компенсаторні механізми присутні, однак працюють

виключно в діапазоні оптимальних умов місцезростання, тому при розвитку будь-яких стресів вплив фактора густоти рослин посилюється.

Логіка побудови:

- ділянкам із вищим потенціалом продуктивності призначається вища норма висіву. І навпаки;
- ділянки сильнішого зволоження потребують вищої норми висіву, слабкіше зволожені – меншої;
- ступінь теплозабезпечення ділянки не має прямого впливу, однак він має бути врахований разом із волого забезпеченням;
- рельєф слід враховувати відповідно до логіки попередніх пунктів;
- ділянки із розвинутою підплужною підшвою або близьким заляганням ілювію потребують зниження норми висіву;
- пізніша група стиглості потребує зменшення норми висіву, відносно більш ранньої;
- діапазон відхилень зазвичай перебуває в межах $\pm 20-25\%$.

Соняшник.

Культура із вкрай сильними компенсаторними властивостями, при цьому зниження густоти стояння рослин до 35 тисяч на гектар не призводить до зниження врожайності за умови рівномірного розподілу по площі, тоді як загушення понад норму різко негативно впливає на розвиток і продуктивність. Культура дуже вимоглива до умов зволоження на початку вегетації і добре посухостійка надалі. Стрижнева коренева система.

Загальна логіка побудови завдань:

- збільшення норми висіву на ділянках високої продуктивності не проводиться, однак на ділянках меншої продуктивності є сенс зменшувати норму висіву;
- прив'язка до умов зволоження аналогічна до попередньої;
- ділянки із органоменими ґрунтами потребують зменшення норми висіву на 10-12%;
- решта умов аналогічно до кукурудзи;
- варіація норми в межах $-20 \dots +10\%$ від базової норми.

Зернові культури.

Для більшості колосових культур на моент збирання оптимальною густиною є 700-800 продуктивних пагонів на 1 метр

квадратний. Таку кількість продуктивних стебел за оптимальних умов може забезпечити 100-150 рослин сорту, та 40-50 рослин гібридних. При цьому зберігається загальна закономірність того, що при однаковій кількості стебел, чим меншою є кількість рослин на одиниці площі тим краща індивідуальна стійкість та загальна продуктивність посіву.

Тому при виборі норми висіву слід керуватись задачами:

- створення оптимальних умов проростання та розвитку для кожної окремої зернини;
- забезпечення можливості формування кінцевої густоти в 700-900 пагонів на метр.

Загальна логіка побудови завдань:

- ділянки слабшої продуктивності характеризуються гіршими умовами для проростання та кущення, відповідно потребують вищої норми висіву;
- ділянки вищої продуктивності та кращого волого забезпечення потребують зменшення норми висіву;
- ділянки сильнішого прогрівання для озимих культур потребують зменшення норми висіву;
- ділянки органогенних ґрунтів потребують зменшення норми висіву на 20-25%;
- при зміні строків посіву корекція загальної норми відбувається по всіх зонах продуктивності. При ранніх строках норма зменшується на 10-15%, при пізніх – збільшення залежно від термінів від 10 до 50%.

Практична частина

1. Ознайомитись із теоретичним матеріалом
2. Відкрити ресурс [Harvio](#).
3. Для обох власних полів запроектувати карти-завдання для посіву просапної культури та культури суцільного висіву відповідно до індивідуального завдання.
4. Зберегти результати у форматі звіту.
5. Зберегти результати у форматі, сумісному з обраним типом терміналу агрегату.
6. Сформувати відповідні висновки;
7. Надіслати звіт на перевірку викладачу.

Запитання для самоконтролю:

1. Чому для різних культур алгоритми побудови карт різні?
2. Які фактори впливають на норму висіву кукурудзи?
3. Як пов'язаний термін висіву пшениці озимої з її нормою?

Практична робота 10

Побудова завдань для диференційованого внесення засобів захисту рослин

Мета роботи: набути практичних навичок побудови карт-завдань внесення засобів захисту рослин

Теоретична частина

Загальна логіка та методологія побудови завдань для внесення засобів захисту рослин подібна до внесення мінеральних добрив.

При offline роботі картографічною основою слугують дані моніторингу стану посіву. Ключовим відмінним моментом є динамічність даних, пов'язана із стрімким розвитком ділянок в період активного росту, що зменшує період часу на опрацювання даних та підготовку завдання, та ускладнює оперування даними супутникового моніторингу, дані якого мають дискретність та обмежені метеорологічними умовами.

Оптимальним джерелом даних в такому випадку є БПЛА, з допомогою яких можна отримати оперативні дані високої роздільної здатності.

Недоліком використання безпілотників є обмежена продуктивність та необхідність опрацювання великої кількості фотознімків, що вимагає високого технічного рівня обчислювальних машин.

Також використання БПЛА має зональні та погодні обмеження, тому в промислових умовах обстежити з їх допомогою великі масиви полів не завжди вдається.

Якщо присутня історія поля та зрозуміла дія лімітуючих чинників багаторічного характеру (волога, рельєф, ґрунтові умови), можливе використання в якості топооснови карти середньої багаторічної продуктивності поля.

Загальна логіка побудови карт залежить від цільового засобу, що вноситься.

Для диференційованого внесення гербіцидів ключовим чинником є ступінь забур'яненості. Варіабельність розвитку бур'янів в більшості випадків приурочена до різного зволоження

окремих ділянок. В окремих випадках може бути зумовлена різними технологічними умовами в попередні періоди використання (відмінна культура-попередник, різні внесені гербіциди і т.д.), або вкрапленнями азональних ґрунтів (торфові плями, алювіальні виходи на поверхні). Оптимальною топоосною є дані оперативного дистанційного моніторингу. Допустиме осмислене використання карт-продуктивності.

Загальна диференціація за принципом вища забур'яненість – вища доза препарату. Діапазон конкретних значень та відхилення залежать від стану поля та специфіки діючої речовини гербіциду.

Оскільки інтенсивність розвитку патогенів значною мірою залежить від мікрокліматичних умов в нижньому ярусі стеблостою, для диференційованого внесення фунгіцидів за умови рівності технологічних параметрів (сорт, норма висіву, строки проведення робіт, мінеральний фон) визначальним є розвиток та густина рослин в окремих ділянках поля. В свою чергу цей показник є інтегральною функцією зволоження та прогрівання ділянок, і може бути приуроченим до зміни елементів рельєфу або ґрунтових відмін.

Загальна логіка побудови: більша біомаса – вища доза препарату. Відхилення і конкретні значення залежно від способу дії, фази внесення продукту та його специфіки.

Ретарданти вносять за тією ж логічною послідовністю, що й фунгіциди, однак для цих продуктів більш гостро постає вимога оперативності даних, оскільки ступінь необхідної дії регулятора росту напряму корелює із ступенем розвитку біомаси на конкретній ділянці. Також у ретардантів завжди більший діапазон відхилень, допускається використання у високих нормах, що перевищують реєстраційні, у випадках, коли це обґрунтовано станом культури. Також специфічною вимогою є необхідна чіткість у фазі застосування, оскільки зміщення строку внесення навіть на одну фазу, може категорично змінювати напрям та силу дії продукту. Так, наприклад, внесення регулятора росту на озимій пшениці у ВВСН 27-30 має на меті провокування закладки додаткових продуктивних пагонів, тоді як симетричне внесення цього ж продукту у ВВСН 30-31 матиме дію обмеження росту головного пагона. При цьому тривалість міжфазного періоду може бути 2-3 дні, що суттєво обмежує вікно застосування продукту, а, отже, і стискає період підготовки карти-завдання.

Диференційоване застосування інсектицидів та акарицидів використовується рідко, і здебільшого за окремими ручними приписами. Наприклад – крайові обробки ріпаку перед цвітінням, або локальна обробка ділянок, що уражені малорухливими шкідниками. в такому випадку зона обробки визначається за даними оперативного візуального, або дистанційного моніторингу і топооснова як така не використовується взагалі.

Практична частина

1. Ознайомитись із теоретичним матеріалом
2. Відкрити ресурс Xarvio.
3. Для обох власних полів запроектувати карти-завдання для внесення гербіциду та фунгіциду відповідно до індивідуального завдання.
4. Зберегти результати у форматі звіту.
5. Зберегти результати у форматі, сумісному з обраним типом терміналу агрегату.
6. Сформувані відповідні висновки;
7. Надіслати звіт на перевірку викладачу.

Запитання для самоконтролю:

1. Чому для різних препаратів алгоритм побудови завдань відмінний?
2. Яка специфіка диференційованого застосування фунгіцидів?
3. В чому полягає додаткова ефективність диференціації внесення?

Практична робота 11

Шляхи отримання вегетаційних індексів

Мета роботи: набути практичних навичок оперативного отримання даних вегетаційних індексів, ознайомитись із основними доступними програмними ресурсами для обробки даних дистанційного моніторингу

Теоретична частина

У практиці рослинництва широко використовують оптичні датчики, з допомогою яких проводиться оцінка розвитку посівів під час вегетації. Цілі таких досліджень можуть бути різними: оцінка неоднорідності посіву для обґрунтування сценаріїв застосування технологій (online та offline) диференційованих обробок, визначення плям розвитку хвороб або поширення

бур'янів на полі, визначення потенційної родючості ґрунту та оцінка біомаси посівів для прогнозування врожаю.

Для оцінки варіабельності ґрунтової родючості все частіше застосовуються непрямі методи, що ґрунтуються на оцінці стану рослинності під час вегетації. Карти вегетаційних індексів та карти врожайності використовуються на додаток до карт електропровідності ґрунту та агрохімічних властивостей. Спільний аналіз інформації цих карт дозволяє здійснити комплексну оцінку ґрунтової родючості та на основі цього планувати дози добрив у точному землеробстві, а також прогнозувати врожай з урахуванням метеоумов поточного року. Багаторічний моніторинг розвитку біомаси та облік врожайності на тлі контрольованих умов виробництва та спільно з метеоспостереженнями відкриває широкі можливості для створення динамічних моделей продукційного процесу, що, у свою чергу, є основою для створення зручних та надійних виробничо-аналітичних агрономічних платформ.

Для оцінки стану рослинності використовується близько 160 варіантів вегетаційних індексів, заснованих на вимірі спектральної відбивної здатності рослин та ґрунту в різних діапазонах електромагнітного випромінювання.

Найбільш популярний та простий індекс – NDVI, Normalized Difference Vegetation Index – обчислюється за формулою:

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{RED}) / (\rho_{NIR} + \rho_{RED}),$$

де ρ_{NIR} – коефіцієнт відображення у ближній інфрачервоній області спектру, ρ_{RED} – коефіцієнт відображення у червоній області спектра. Діапазон абсолютних значень індексу NDVI лежить в інтервалі від -1 до $+1$. Для рослинності індекс приймає позитивні значення (приблизно від $0,2$ до $0,9$), і що більше зелена фітомаса рослин у момент виміру, то значення NDVI ближче до одиниці.

Показник NDVI не є абсолютною оцінкою властивостей рослинності в момент вимірювання, але дає уявлення про відносні значення, які на підставі порівняння з даними польових прямих вимірювань можуть бути перераховані в абсолютні одиниці, що характеризують рослинність: біомасу, вміст хлорофілу, площу листової поверхні та ін.

Залежність між цими параметрами та NDVI, як правило, не пряма і пов'язана з особливостями досліджуваної території, її кліматичними та екологічними характеристиками, крім цього, часто доводиться враховувати тимчасову затримку параметра та реакції NDVI у відповідь (табл. 4).

Таблиця 4

Орієнтовні значення NDVI для різних типів поверхонь

Тип об'єкта	Відбиття в червоному каналі	Відбиття інфрачервоного	Значення NDVI
Густа рослинність	0,100	0,50	0,700
Зріджена рослинність	0,100	0,30	0,500
Відкритий ґрунт	0,250	0,30	0,025
Хмари	0,250	0,25	0,000
Сніг	0,375	0,35	- 0,050
Вода	0,020	0,01	- 0,250
Бетон, асфальт	0,300	0,10	- 0,500

До дистанційних методів оцінки значення NDVI відносяться супутникова та аерофотозйомка, до наземних – використання оптичних датчиків безпосередньо в полі. У дистанційних методах, як правило, використовуються пасивні датчики (камери, що фіксують відображення в різних спектрах), у наземних – крім пасивних, можливе використання активних датчиків з власним джерелом випромінювання в заданому діапазоні. Різниця всіх використовуваних методів, в першу чергу, стосується способу збору інформації про посіви, а саме, яку площу і з якою здатністю можна оцінити в одиницю часу.

Супутникові знімки – найбільш продуктивний спосіб збору інформації з погляду одномоментного охоплення площі: один знімок покриває площу Землі в сотні і тисячі квадратних кілометрів.

Перевагами аерофотозйомки за допомогою БПЛА над супутниковою зйомкою є відносна дешевизна зображень, оперативність, висока детальність (3-50 см/піксель), можливість роботи в хмарну погоду, можливість проводити зйомку практично з будь-якою періодичністю. На обробку матеріалів фотозйомки в комп'ютерній програмі потрібно від кількох хвилин до кількох годин, залежно від кількості та детальності знімків та потужності

процесора обчислювальної машини (оскільки величезний масив точок обробляється за типом bigdata).

Найбільш достовірним способом оцінки NDVI є наземне обстеження посівів оптичними датчиками з активним джерелом випромінювання. Перевага такого обстеження полягає в тому, що значення, що вимірюються, відразу висвічуються на екрані монітора, не вимагають додаткової обробки та очікування результатів, тобто по оперативності віддачі інформації цей спосіб обстеження найшвидший. Другою перевагою є те, що робота датчиків з активним джерелом випромінювання не залежить від умов зовнішнього освітлення.

Основне цільове призначення таких оптичних систем у рослинництві – оптимізація витрати добрив та пестицидів при внесенні за технологією online на основі оперативної оцінки варіабельності рослинної маси посіву. У світовій практиці найбільшого поширення набули сенсорні датчики Green-Seeker, CropSpec, Miniveg N, N-Sensor, Grop-Sensor, N-Sensor Yara, Grop-Sensor ISARIA.

GreenSeeker® RT від «Trimble» (запатентована назва з 2009 р., колишня назва RT від NTech Industries) – датчик з активним джерелом світла в червоному та інфрачервоному діапазонах, був розроблений у 1990-х роках. у США та випробуваний в університеті Оклахома на посівах бермудської трави, потім кукурудзи та пшениці для внесення азотних підживлень. Перші наукові публікації про застосування цього датчика для азотних підживлень відносяться до 1999-2000 років. (Raun et al., 1999; Raun et al., 2001), проте комерційна назва обладнання у цих публікаціях не розголошується. Починаючи з 2005-2006 років. датчик стає доступним для покупки: спочатку під назвою GreenSeeker N-Tech (N-Tech Industries), з 2009 р. – GreenSeeker RT (Trimble). З цього часу з'являється безліч публікацій про переваги його використання при внесенні азотних підживлень у диференційованих дозах за технологією online, що дозволяє раціональніше витратити азотні добрива.

Принципова схема роботи датчика та приклад установки оптичних головок (датчиків) на штангу обприскувача показані на рис. 27.

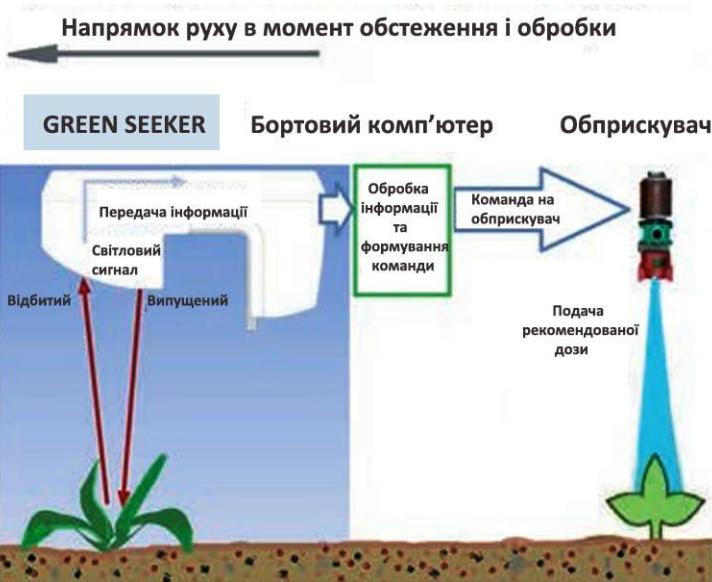


Рис. 27 Принципова схема роботи приладу GreenSeeker (WeedSeeker) у комплекті з бортовим комп'ютером та обприскувачем при внесенні за технологією online.

Для економії гербіцидів при вибіркового обприскуванні від бур'янів використовується подібний датчик з тим самим принципом дії (комерційна назва WeedSeeker від Trimble). У цій технології використовуються передові оптичні та комп'ютерні системи для виявлення бур'янів. Вбудовані світлодіоди сканують поверхню поля в червоному та інфрачервоному діапазоні. Ширина сканування одного сенсора становить від 30 до 38 см. Відбите від поверхні світло вловлюється детектором, який знаходиться в центральній частині сенсора. При попаданні бур'янів у поле огляду датчика система сигналізує форсунці про необхідність внесення необхідної кількості гербіцидів. Працює незалежно від часу доби.

Розробки оптичної системи N-sensor також було розпочато з 1990-х, першою комерційною моделлю був датчик Hydro N-Sensor, випущений у виробництво 1999 р. Датчик фіксує відбите від рослин світло у червоному та інфрачервоному діапазоні, тобто є «пасивним», оскільки працює без власного джерела

випромінювання, і лише «ловить» відображення зовнішньої освітленості, що обмежує можливості його роботи.

Принципова відмінність цього обладнання від GreenSeeker крім джерела світла полягає в тому, що система N-Sensor має вбудовану базу даних по основним культурам, що обробляються, і рекомендованим дозам азотних добрив для них (розробка компанії AgriCon на підставі аналізу даних польових випробувань у Німеччині). З 2005 р. випускається нова модель цього сенсора з активним джерелом світла Yara N-Sensor ALS (Active Light Source)..

Обидві системи - GS і NS виробляють імпульсно, під час руху, при цьому вони поєднані з GPS-антенами, що дозволяє записувати координати точок вимірювання під час руху і будувати просторові карти вегетаційного індексу NDVI (у NS - карти відносної біомаси BI, розрахованої на основі NDVI). Для приладу NS побудова просторових карт відносної біомаси та доз внесення азотних добрив здійснюється через онлайн-доступ на сайт <http://www.sensor-office.com/> зі збереженням у форматах *.pdf або *.kml/kmz; для приладу GS – у портативному бортовому комп'ютері із збереженням у GIS-сумісному форматі *.shp. Дані карти мають, насамперед, практичне утилітарне призначення, оскільки використовуються для розрахунку доз внесення азотних підживлень, але можуть бути використані і в наукових цілях (моніторинг наростання біомаси, розрахунок моделей продукційного процесу та пов'язаних з ним потоків речовини та енергії в агрофітоценозах при різних технологіях обробітку культур, порівняння з супутниковими знімками, з результатами аерофотозйомки для верифікації дистанційних обстежень за наземними вимірами).

У комплектацію YARA N-сенсора (фірма «Yara») входить програмний пакет Precision Farming Box (PF-Box), що дозволяє використовувати програму управління сенсором паралельно з іншими процесами, наприклад, передача даних до центрального офісу або збереження та робота з даними.

Програма працює у трьох режимах:

- online – щомиті вимірювання стану рослин (варіабельне внесення азоту);
- offline – обробка цифрових карт внесення добрив (CaO, K, P, Mg);

- комбінований режим – звіряння цифрових карт полів та показань сенсора.

Програма може бути підключена до внутрішніх мережевих ресурсів, до Інтернету, при використанні GPRS/UMTS-карти можна передати дані на центральний комп'ютер, а також проведення сервісних і навчальних робіт за допомогою віддаленого доступу. При цьому трактор може працювати у полі.

Сканер рослинного покриву CropSpec (фірма «Topcon») дозволяє оператору під час руху агрегату контролювати неоднорідність рослинного покриву, забезпечувати моментальне внесення добрив або зберігати дані сканування для подальшого аналізу, обробки, складання карт вмісту азоту в ґрунті та внесення мінеральних добрив. Він складається із двох сенсорів, встановлених на даху кабіни для забезпечення оптимального кута огляду та максимальної ширини захвату. Сенсор за допомогою імпульсних лазерних діодів ближнього інфрачервоного діапазону вимірює сигнал, відбитий від рослин та за допомогою спектрального аналізу визначає кількість хлорофілу.

Крім зазначених способів обстеження посівів існують портативні датчики для безконтактних вимірювань показників травостою і контактних для роботи з індивідуальними рослинами. До портативних приладів відносяться оптичні датчики типу GreenSeeker Handheld від Trimble і Yara N-Tester™, за допомогою яких проводять листову діагностику потреби зернових в азотних підживленнях. Обидва датчики мають цифровий екран, на якому висвічуються середні значення серії кількох вимірювань.

Практична частина

1. Ознайомитись із теоретичним матеріалом
2. Ознайомитись із практичними матеріалами роботи системи N-sensor.
3. Розглянути практичні кейси дистанційного визначення NDVI за завданням викладача. Обговорити результати у групах.
4. Сформулювати відповідні висновки.

Затитання для самоконтролю:

1. Чому найбільшого використання набув саме індекс NDVI?
2. Чим відрізняється активний датчик від пасивного?
3. Який алгоритм опрацювання даних супутникових знімків?

Практична робота 12

Основні принципи роботи з БПЛА. Типові задачі у рослинництві

Мета роботи: набути практичних навичок роботи із безпілотними літальними апаратами. Ознайомитись із основними типами та функціоналом БПЛА, що використовуються у рослинництві.

Теоретична частина

Безпілотники в сільському господарстві можуть виконувати різноманітні операції:

- Аерофотозйомка - для виявлення лисин, загибелі врожаю після впливу природних факторів і інших дефектів, які потребують своєчасного усунення. Аерофотозйомка з дрона значно краще зйомки з супутника за своєю детальністю, за рахунок невеликої висоти польоту.

- Відеозйомка - продуктивність літального апарату при відеозйомці досягає 30 км за 1 годину, що істотно знижує часові та фінансові витрати в порівнянні з використанням наземної техніки.

- 3D моделювання - дозволяє визначати перезволожені або посушливі території, виїмку ґрунту, грамотно створювати плани і карти зволоження або осушення ґрунту, рекультивациі ділянок або меліорації земель.

- Тепловізійна зйомка - здійснюється із застосуванням усього спектру інфрачервоного випромінювання: ближнього, середнього і далекого діапазону. Дослідження дає можливість визначити терміни диференціювання точок зростання, що безпосередньо впливає на врожайність і збереження продуктивних властивостей рослин зі збереженням спадкових можливостей сорту.

- Лазерне сканування - застосовується для аналізу місцевості на важкодоступних або недоступних територіях. Даний метод забезпечує отримання точної моделі високої щільності з детальним відображенням рельєфу навіть при роботі в умовах сильної загущеності насаджень.

- Опрыскування - завдяки можливості дооснащення, дрони використовують для точкового опрыскування рослин і плодих

дерев. Такий підхід дозволив фермерам обробляти тільки хворі рослини, виключаючи попадання хімікатів на решту урожаю.

- Посадка насіння - практикується порівняно недавно і ще не отримала широкого поширення, однак деякі компанії ставлять експерименти, висаджуючи насіння рослин за допомогою безпілотників. По суті, виробники експериментують зі специфічними системами, які запрограмовані розкидати насіння в підготовлений ґрунт.

- Ця технологія допомагає мінімізувати необхідність в особистій присутності для посадки рослин в обраній місцевості, що часом стає дорогим і енерговитратним завданням.

Сучасні безпілотні системи вирішують **наступні завдання**:

1. Оцінка якості посівів і виявлення пошкодження або загибелі культур;

2. Визначення точної площі загиблих культур;

3. Аудит і інвентаризація земель;

4. Визначення дефектів посіву і проблемних ділянок;

5. Аналіз ефективності заходів, спрямованих на захист рослин;

6. Моніторинг відповідності структури та планів сівозміни;

7. Виявлення відхилень і порушень, допущених в процесі агротехнічних робіт;

8. Аналіз рельєфу і створення карти вегетаційних індексів PVI, NDVI;

9. Збір інформації для служби безпеки, в тому числі з виявленням факту незаконного випасу худоби на полях;

10. Супровід будівництва систем меліорації;

11. Моніторинг зберігання коренеплодів в кагатах;

12. Внесення трихограми;

13. Створення карт для диференційованого внесення добрива та оприскування полів.

14. Підрахунок сходів і біологічної урожайності.

Ортофотоплани

Ортофотоплан дозволяє точно виміряти геометричні розміри поля і визначити його геометричну площу в проекції. Це буде та площа, за яку фермер платить податок на землю та орендну плату. Крім того, отриманий за допомогою дрона ортофотоплан, дасть

багато додаткової інформації для уважного агронома. Тут видно і просівання, і пересівання, і ділянки де рослини загинули, і сліди витоптування поля людьми і технікою. На ортофотоплані їх можна підрахувати, виміряти площу і отримати векторні контури цікавих і проблемних ділянок для подальшої роботи з ними. Скажімо, для складання завдань наземної безпілотної техніки, яка так само працює з використанням векторних контурів і GPS координат.

Карти висот

При обстеженні ми отримуємо карту висот - плоску карту, яка показує рельєф поля. На цій карті перепади рівня поверхні мають кодовий колір як на звичній геофізичній карті, де гори коричневі, а низини зелені. Крім колірного кодування на карту рельєфу наносяться ізолінії, що з'єднують точки, що лежать на одному рівні. Для роботи з рельєфом зручно, коли висоти в метрах нанесені разом з ізолініями. Таке маркування допомагає виявити проблемні місця на полях.

Мультиспектральна зйомка

Вихідними даними для системи диференційованого внесення матеріалів може служити інформація, одержана в результаті обробки мультиспектральної зйомки з дрона.

Створення завдань для систем паралельного водіння

Отримуючи в результаті мультиспектральної зйомки поля інформацію про його зонування за різними показниками - рівнем стресу у рослин, вегетативній масі, розподілу питомої змісту хлорофілу по полю, рівню засміченості бур'янами і їх локалізацією, агроном зможе виробити правильні стратегії ведення цього поля..

Внесення речовин дроном. Рідини, гранули, трихограмма, фумігація

У випадку високих культур, таких як соняшник та кукурудза, загнати на поле оприскувач взагалі не завжди можливо. На відміну від оприскувачів на колісному ході, обприскувач на сільгоспдроні може внести речовини на лист з ювелірною точністю, та ще й з витратою всього декількох літрів на гектар. З огляду на той факт, що дрон буквально вдмухує агрохімію до самої землі своїми повітряними гвинтами, внесення рідин дронами на сьогоднішній день стає чи не найефективнішим. Крім рідин, дрон здатний розсіювати на полі гранульовані препарати. І,

зрозуміло, дроном можна вносити і трихограму, як засіб безпечного біологічного захисту рослин. При фумігації спеціальна установка на дрон створює потужний потік гарячого повітря. У гаряче повітря подається суміш з рідкого і біологічно нейтрального парогенератора і діючої речовини. Мікрокраплі діючої речовини (ДВ) прикріплюються до частинок пари, потім біологічно активний пар, з силою виривається з сопла фумігатора. Парою з діючою речовиною можна обкурювати сади, виноградники, ефективно знищувати шкідників на відкритих складах, токах та в лісосмугах, знищувати комарів в очеретах. Метод фумігації особливо ефективний у поєднанні з дроном, що приносить хмару пари за призначенням в місця, куди іншим способом не дістанешся.

Збільшення кількості безпілотних літаючих об'єктів, керованих операторами з різним ступенем підготовки і соціальної відповідальності, ставить питання про необхідність законодавчого регулювання цієї сфери. Поки що діяльність безпілотників не є врегульовано на законодавчому рівні. Тому запровадження законодавчого регулювання використання дронів в Україні є нагальним питанням, яке потребує оперативного вирішення з урахуванням досвіду провідних країн світу.

Незважаючи на недоліки роботи безпілотників, ринок стабільно розвивається. Так, за прогнозами Global Market Insights, до 2024 року обсяг світового ринку сільськогосподарських безпілотних літальних апаратів перевищить \$4,4 млрд.

Практична частина

1. Ознайомитись із теоретичним матеріалом
2. Ознайомитись із зразками БПЛА, що використовуються в агрокомплексі України
3. Розглянути практичні кейси використання агродронів.
4. Сформувати відповідні висновки.

Запитання для самоконтролю:

1. Чому БПЛА настільки стрімко розвиваються на агроринку?
2. Які основні недоліки та ризики застосування БПЛА для базових функцій?
3. Чи всі варіанти внесення ЗЗР можна виконувати із допомогою БПЛА?

Практична робота 13

Визначення проникності ґрунту цифровим пенетрометром

Мета роботи: набути практичних навичок роботи із пенетрометром.

Теоретична частина

Важливою технологічною характеристикою поля, що надає механічний опір кореневій системі рослин, що розвивається, впливає на схожість насіння і розвиток рослин, що визначає водний, повітряний і тепловий режим ґрунту, є твердість ґрунту. Отримання достовірних інформаційних відомостей про твердість ґрунту має особливе значення тому, що на ущільнення ґрунту значний вплив мають багаторазові проходи по полю тракторів, комбайнів та іншої мобільної сучасної техніки. Функціонування такої техніки призводить до розпорошення верхнього та ущільнення нижнього шарів ґрунту, негативно впливає на його родючість, знижує врожайність сільськогосподарських культур.

В даний час для вимірювання твердості ґрунту застосовуються твердоміри як ручні, так і автоматичні (рис. 28).

Автоматичний вимірювач твердості ґрунту дозволяє зафіксувати розподіл щільності за профілем ґрунту, визначити наявність плужної підшви (рис. 29) та визначити оптимальну глибину обробітку ґрунту.

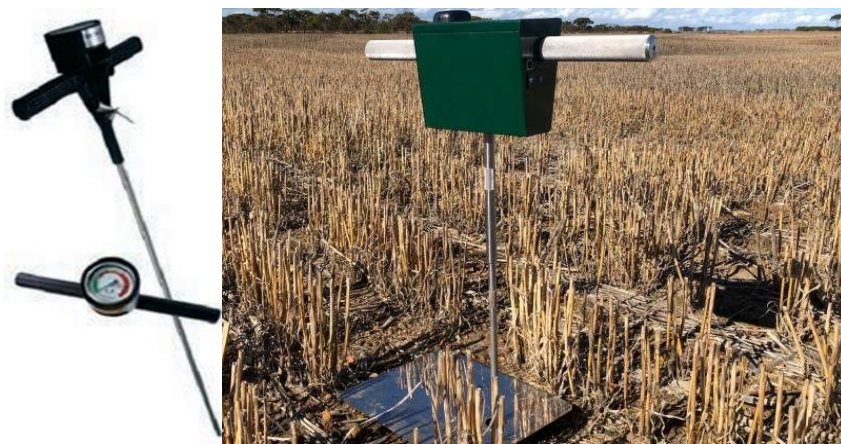


Рис. 28. Прилади для вимірювання твердості ґрунту

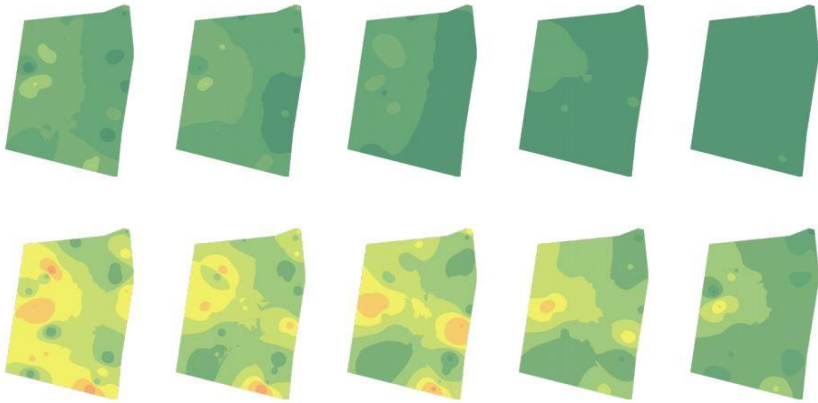


Рис. 29. Розподіл щільності за профілем ґрунту

Вимірювання твердості ґрунту проводиться перед початком робіт з обробітку ґрунту. Для отримання точних даних виміру повторюють кілька разів в одному місці та різних точках поля.

Опір пенетрації на різних глибинах тісно пов'язані між собою, причому кореляції між сусідніми шарами вищі. Така залежність пояснюється існуванням певних зон, де щільність збільшена по всій глибині орного шару та глибше.

Практична частина

1. Ознайомитись із теоретичним матеріалом
2. Ознайомитись із пенетрометром S600 виробництва SkokAgro
3. Ознайомитись із методикою роботи приладу та цифровою платформою до нього.
4. Перевірити роботу приладу в польових умовах в межах заданої ділянки
5. Після відображення даних на сервері, скачати звіт по виконаній ділянці та проаналізувати його.
6. Сформуванати відповідні висновки.

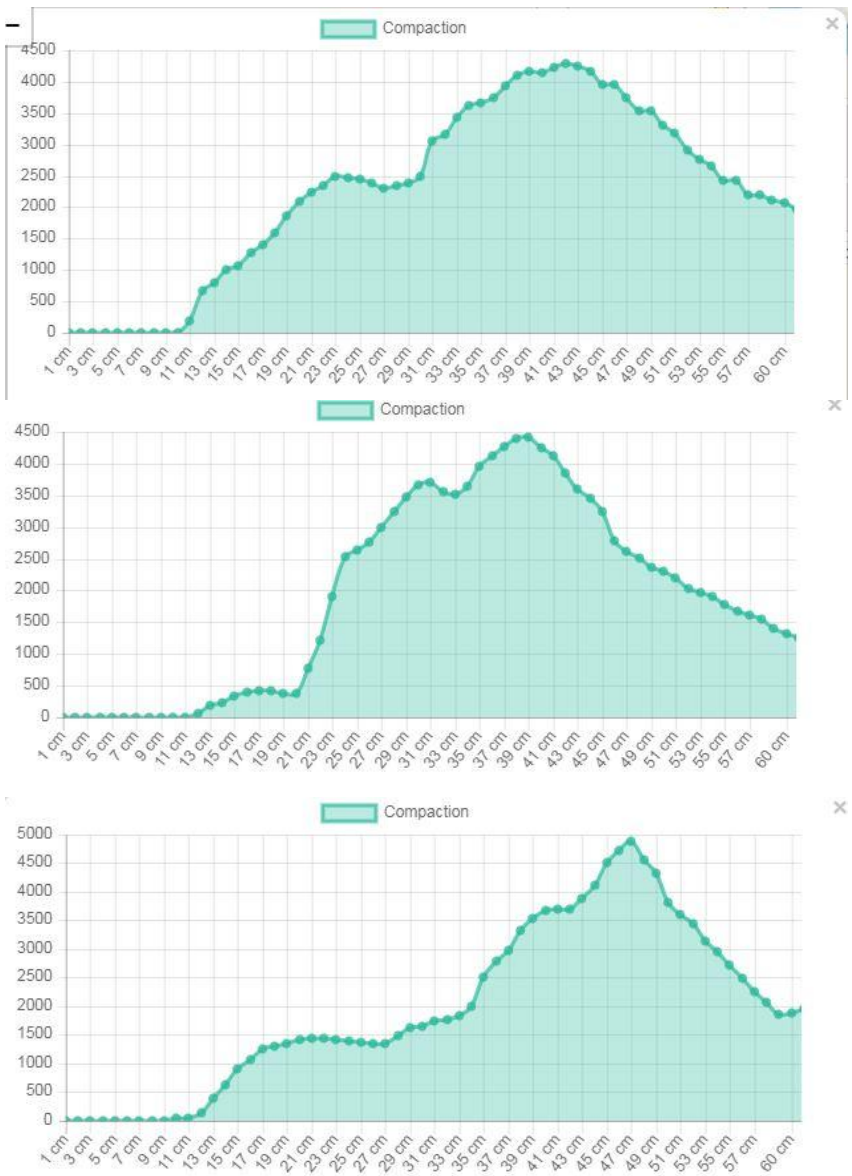


Рис. 30. Зміна твердості ґрунту за різних способів обробітку ґрунту

Запитання для самоконтролю:

1. Для чого використовуються пенетрометри?
2. Яка різниця між щільністю ґрунту та проникністю? Чи мають ці показники кореляцію?
3. Яку інформацію можна отримати при використанні пенетрометрів?

Практична робота 14

Картування врожайності. Отримання даних із робочого терміналу. Первинна обробка даних.

Мета роботи: ознайомитись із методами отримання даних потокової врожайності, набутти практичних навичок роботи із робочим монітором Case AFS750.

Теоретична частина

Вимірювання кількості намолоченого зерна, вмісту сухої речовини, скошеної площі з прив'язкою до координат в полі є необхідними при створенні карт врожайності для використання в системах точного землеробства.

Серед обладнання для оцінки врожайності, важливе місце займають різні датчики (оптичний датчик об'єму зерна в бункері, датчики вологості зерна, поперечних та поздовжніх відхилень та ін.), що являють собою набір сенсорів. Їх застосування дає можливість визначати врожайність та вологість зерна з одиниці площі з урахуванням розташування комбайна та нерівностей поля.

Картування врожайності в технологіях точного землеробства має на увазі комплекс заходів з використанням супутникових навігаційних систем, що в основному полягає в зборі, обробці та зберіганні даних про врожайність та вологість зерна в процесі комбайнування.

Для здійснення картування врожайності на зернозбиральний комбайн встановлюється комплекс наступного обладнання: приймач, датчик положення жниварки, датчик потоку зерна, датчик вологості зерна, дисплей.

Накопичення інформації здійснюється в режимі реального часу, безпосередньо при збиранні врожаю, при цьому комбайнер

на основі врожайності та вологості зерна має можливість змінювати режими роботи комбайна.

Датчик жнивarki встановлюється під кабіною, а важіль датчика приєднується до похилої камери молотарки. Призначений для включення та вимкнення процесу ресстрації (розрахунку) прибраної площі.

Датчик потоку зерна заснований на технологіях п'ездатчика або світлодіода та визначає кількість матеріалу, що проходить через елеватор комбайна за одиницю часу.

Датчик вологості встановлюється збоку на площадці елеватора і служить для вимірювання вологості та температури зерна під час обмолоту.

Крім створення карт врожайності та вологості зерна по площі, що збирається, навігаційна система створює карти висотної позначки, швидкості, виходу врожаю по масі, а також розрахункового обсягу врожаю в сухому стані.

Можливі варіанти розташування обладнання для картування врожайності на зернозбиральному комбайні показано на рис. 31.



Рис. 31. Розташування обладнання для картування врожайності на зернозбиральному комбайні

Застосування навігаційної системи, наприклад, EZ-GUIDE 500 з пристроєм, що підрулює, або аналогічного обладнання дозволяє

також здійснювати паралельне водіння комбайна, що актуально в нічний час.

Дані, отримані від датчиків, відображаються на дисплеї польового комп'ютера Insight і одночасно записуються на знімну флеш-карту, а при необхідності можуть копіюватися для подальшого аналізу на комп'ютер.

При побудові картки розподілу індексу NDVI або врожайності дані отримують методом суцільного обліку або безперервних вимірювань і подають у вигляді картки або як окремі точки, де кожна точка відповідає центру облікового майданчика, або контуру або картограми.

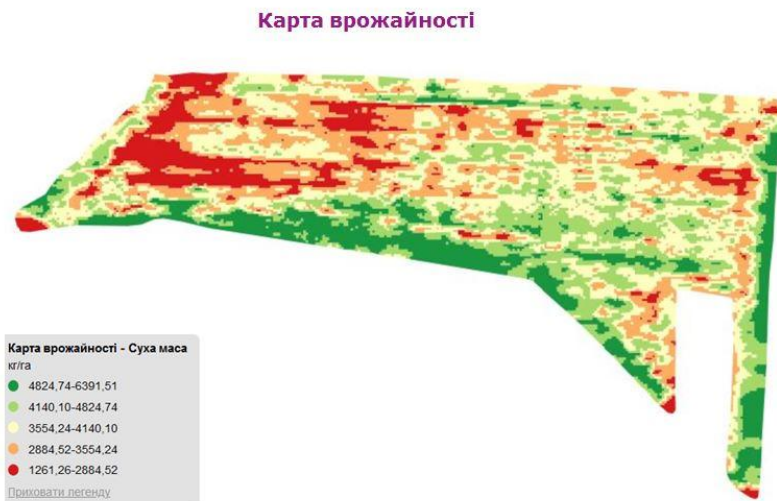


Рис. 32. Приклад картограми врожайності пшениці озимої на полі

Зернозбиральні комбайни фірми Claas оснащуються комп'ютерною системою ведення точного землеробства Fieldstar. Розташований в кабіні монітор Data Touch видає цифрову та графічну інформацію про врожайність і вологість культури, що збирається, продуктивність, швидкість руху, рівень заповнення зернового бункера та ін. Інформація про намот зерна надходить від датчика в зерновому елеваторі. На замовлення комбайни оснащують системою картування врожаю. У комплект системи Fieldstar входять антена та приймач сигналів.

Фірма New Holland використовує на своїх комбайнах систему Intellcruise, що змінює швидкість руху в залежності від щільності хлібної маси, яка вимірюється датчиками, встановленими на жнивирці і похилому транспортері. Високоточний датчик кількості зібраного зерна вимірює вміст вологи в зерні в режимі реального часу, дані передаються в монітор IntelliView™ IV, який не потребує калібрування при переході від однієї культури до іншої.

Фірмою випускаються чотири варіанти обладнання для точного землеробства:

- система реєстрації врожайності культури, що забирається;
- система реєстрації врожайності та вологості культури, що забирається;
- система реєстрації врожайності та вологості культури, що забирається, блок накопичення та аналізу даних;
- повний набір для впровадження технологій точного землеробства, що включає: DGPS-сумісні антену і приймач, систему реєстрації врожайності і вологості матеріалу, що забирається, електронно-картографічний додаток для ПК, матеріали для навчання ефективному користуванню комп'ютерним додатком.

Комбайни фірми «Case IH» обладнуються системою картування врожайності ASF, що включає антену для прийому сигналів з супутника, приймач, що перетворює сигнал в дані про положення комбайна, датчики потоку і вологості зерна, монітор контролю врожайності, який може розраховувати і зберігати дані в пам'яті. Отримана інформація обробляється на персональному комп'ютері для одержання кольорової картки врожайності.

Комбайни компанії Challenger (корпорація AGCO) обладнані центром управління врожаєм Harvest Management з цифровим дисплеєм.

На комбайнах фірми «Deutz-Fahr» електронна контрольно-інформаційна система TCS, що встановлюється на замовлення, може використовуватися як частина системи картування врожайності з наступною передачею отриманих даних у персональний комп'ютер, встановлений в офісі.

Для обліку врожайності на зерно- та кормозбиральних комбайнах фірма «John Deere» розробила три системи HarvestLab,

AutoLOC та HarvestDoc. Датчик системи HarvestLab, розташований на силосопроводі самохідного кормозбирального комбайна, автоматично під час збирання збирає дані щодо вмісту сухої речовини, білка, цукру, крохмалю, протеїну, клітковини.

Датчик використовує технологію роботи із відображенням ближнього інфрачервоного спектру (NIR). Суть її полягає в наступному: джерело світла спрямовує промінь безпосередньо на культуру, відбувається передача світлової енергії, яка частково поглинається або відбивається рослиною. За допомогою даних про вимірне відображення та математичних методів датчик NIR отримує дані вологості. Вимірювання вологості здійснюється за швидкості потоку матеріалу до 40 м/с – в середньому один вимір на 50 кг силосу. Інформація про склад скошеної маси, врожайність, а також показники пропускнуої спроможності для кожного поля або на 1 га відображаються в режимі реального часу на моніторі в кабіні. Звіт, що містить цю інформацію, можна надрукувати на бортовому принтері (опція).

Система HarvestDoc дозволяє аналізувати зібрану інформацію та в залежності від кількості сухої речовини, висоти зрізу та об'єму рослинної маси підбирати оптимальну дозу консервантів для найкращого збереження силосу, створювати карти полів, складати звіти. Систему можна використовувати безпосередньо при збиранні культур та в умовах лабораторії.

На кормозбиральних комбайнах компанії Krone застосовується система виміру врожайності Crop Control в режимі реального часу. Індуктивний датчик переміщення змонтований на обох останніх вальцях, що підпресовують. Можна вести підрахунок прибраної маси та за допомогою принтера виводити дані на друк.

Фірма «Claas» використовує пристрій Quantimeter, що входить в бортову електронну систему Cebis, яке безперервно заміряє прохідний переріз і швидкість маси, що проходить через апарат, і спільно з датчиком вологості визначає врожайність і кількість сухої маси на кожній ділянці поля.

Таким чином, використання більшої частини сучасних технологій у галузі прецизійного землеробства неможливе без картографування полів з подальшим створенням електронних карт. Із застосуванням електронних карт полів можливо, у зручному для користувача вигляді, збирати, класифікувати та використовувати інформацію щодо сівозміни, врожайності, типів

ґрунтів, хвороб, внесених добрив та засобів захисту рослин, що забезпечує економію коштів для сільгоспвиробників.

Практична частина

1. Ознайомитись із теоретичним матеріалом
2. Відкрити програмний засіб Xarvio Field Manager
3. На прикладах готових карт урожайності проаналізувати особливості роботи системи картування для різних культур
3. Ознайомитись із базовими функціональними можливостями програмного засобу SMS AgLeader
4. Ознайомитись із головним меню та практичними аспектами роботи монітору Case AFS Pro 750
5. Сформувати відповідні висновки.

Запитання для самоконтролю:

1. Які переваги технології картування врожайності?
2. Наскільки точними є дані картування врожайності, що отримані при обмолоті?
3. Які складові частини системи картування врожайності?

Практична робота 15

N-тестер. Типові задачі, навик роботи із приладами моніторингу азотного живлення

Мета роботи: ознайомитись із функціональними можливостями роботи приладу N-тестер. Набути практичних навичок роботи із ним.

Теоретична частина

Для моніторингу розвитку посівів в процесі вегетації існують портативні датчики для безконтактних вимірювань показників травостою і контактних для роботи з індивідуальними рослинами. До портативних приладів відносяться оптичні датчики типу GreenSeeker Handheld від Trimble і Yara N-Tester™ (рис. 33), за допомогою яких проводять листову діагностику потреби зернових в азотних підживленнях. Обидва датчики мають цифровий екран, на якому висвічуються середні значення серії кількох вимірювань.

Датчики не обладнані вбудованими антенами і пристроями, що запам'ятовують, тому показники з них необхідно записувати вручну. Датчик N-Tester має активне джерело випромінювання і

відповідне вікно, що приймає, але вимірює не відображений від листа оптичний сигнал, а сигнал після проходження через листову пластинку. Для цього лист рослини поміщають у притисний пристрій датчика і просвічують наскрізь. Вимірювання проводяться по 30-32 листкам, прилад розраховує середнє значення: це безрозмірний показник, аналог NDVI, що обчислюється за різницею листа сигналів, що випускається і поглинається (діапазон показань приладу від 0 до 999, що умовно зіставляється з діапазоном 0000 до 0999).



Рис 33. Оптичні датчики для визначення потреби у азотному живленні

Для обстеження посівів у динаміці протягом сезону необхідно проводити періодичне сканування посівів оптичними датчиками за типом датчиком NT. Періодичність обстеження посівів під час вегетації залежить від цілей дослідження. Для оцінки динаміки зміни стану рослинності за індексом NDVI, необхідно проводити зйомку не рідше одного разу на сім-десять днів. З практичними цілями на посівах озимих зернових необхідно проводити обстеження перед застосуванням азотних підживлень для визначення дози азоту, що рекомендується, для цього підходять всі три датчики: GreenSeeker, N-Sensor, N-Tester. Розрахунок доз азотного добрива для підживлення проводять згідно з калібрувальними таблицями даних приладів і на підставі експертної оцінки агронома під плановану врожайність зернових.

Практична частина

1. Ознайомитись із теоретичним матеріалом

2. Ознайомитись із функціональними можливостями приладу N-тестер, та програмними засобами для його роботи
3. Провести заміри приладом для двох різних культур, зафіксувати результати.
4. Сформувати відповідні висновки.

Запитання для самоконтролю:

1. В яких випадках доцільне застосування N-тестера?
2. Яку інформацію можна отримати з його допомогою?
3. В яких одиницях вимірює дані прилад? За яким принципом?

Практична робота 16

Методані. Шляхи отримання метеоданих та їх роль у прецизійному землеробстві.

Мета роботи: ознайомитись із функціональними можливостями сучасних метеостанцій. Набути практичних навичок отримання метеоданих.

Теоретична частина

Сучасна електронна метеостанція працює на сонячних батареях та має резервний акумулятор, щоб у режимі реального часу безперервно передавати інформацію про стан погоди. На будь-якому комп'ютері або планшеті, підключеному до мережі Інтернет, вводячи ім'я станції та пароль, можна аналізувати параметри метеостанції (температура, опади, вологість, швидкість та напрям вітру та ін.).

Метеостанція інформує про те, що насправді відбувається на полі, і допомагає:

- Отримати точний локальний прогноз погоди в радіусі 10 км;
 - спостерігати за фітосанітарним станом полів із будь-якої точки світу;
 - прогнозувати терміни появи захворювань та шкідників;
 - своєчасно проводити заходи щодо захисту рослин.
- Переваги станції:
- Отримання даних в режимі реального часу;
 - Можливість підключення до однієї базової станції багатьох бездротових сенсорів;
 - Високий рівень захисту даних;
 - Простий інтуїтивний інтерфейс;
 - Можливість локального прогнозування погоди;

- Можливість експорту даних в інші додатки;
- Можливість доступу з мобільного телефону;
- можливість одночасного перегляду кількох станцій;
- Табличне та графічне подання даних.

У базову комбінацію типово входять:

- Анемометр;
- Збірник опадів;
- датчики температури та вологості повітря;
- датчики швидкості та напрямки вітру.

У додаткову комбінацію можуть входити:

- датчики температури ґрунту;
- датчики вологості ґрунту;
- Датчик вологості листової пластини;
- Датчик сонячної радіації;
- Датчик сонячного випромінювання;
- датчик NDVI;
- Нагрівач для дощового колектора.

Висока точність прогнозування досягається за рахунок точного відстеження та аналізу інформації, що складається з безлічі різних характеристик: зміни напрямку та швидкості вітру, інтенсивності опадів, показника випаровування, атмосферного тиску, температури повітря, контролю ультрафіолетового випромінювання та інших параметрів. Крім того, враховуються такі характеристики, як поточна пора року та координати знаходження метеорологічного приладу. Інформація ретельно обробляється та аналізується, на підставі чого формується метеорологічний прогноз.

Прилади мають ергономічний комп'ютерний інтерфейс, що дозволяє комфортно працювати з аналізованими даними. Крім того, кожен із приладів має значний обсяг пам'яті, де зберігаються всі дані за звітний період. Працювати з даними можна за допомогою спеціальної опції пошуку. Прилад обробляє дані та відображає їх у вигляді графіків зміни характеристик, побудованих на основі різних інтервалів.



Рис. 34. Метеостанція Arable Mark2

Бездротовий тип станції на зразок Mark2 здійснює передачу даних від зовнішніх датчиків за допомогою малопотужного передавача.

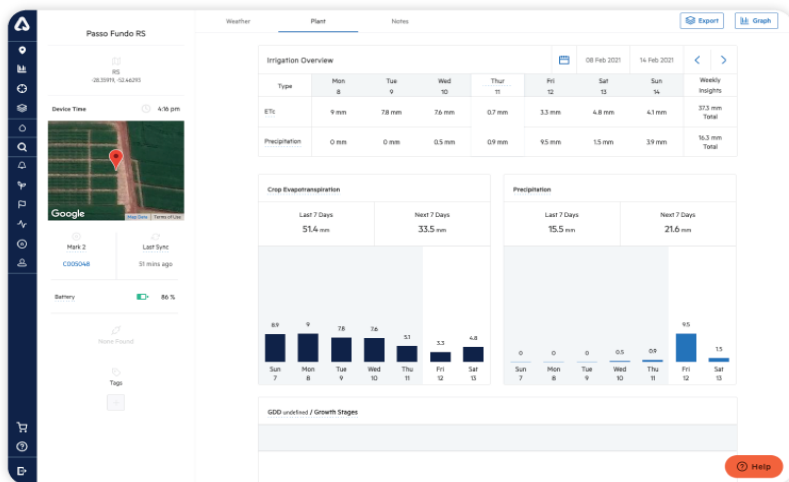


Рис 35. Представлення аналітичних даних у метеостанції Arable Mark 2

Практична частина

1. Ознайомитись із теоретичним матеріалом
2. Ознайомитись із описом та функціональними можливостями приладу Arable Mark 2
3. Відкрити програмний ресурс Harvio.
4. Провести аналітику актуального прогнозу погоди. Порівняти його із загальнодоступними даними інтернет-ресурсів. Зробити висновки.
5. Проаналізувати архів фактичних метеоданих за період минулих 12 місяців за показниками температур повітря та кількості опадів за формою таблиці 5. Порівняти дані із загальнодоступними даними світового архіву. Зробити відповідні висновки.

Запитання для самоконтролю:

1. Яка роль метеоданих у прецизійному землеробстві?
2. Чим зумовлена висока актуальність саме локальних метеоданих?
3. Яким чином дані фактичного стану погоди можуть передаватись від польового блоку до серверних ресурсів?

Практична робота 17-18

Економічна ефективність технологій прецизійного землеробства. Комплексна оцінка ефективності прецизійного виробництва

Мета роботи: набути навичок об'єктивної оцінки господарської, економічної, екологічної ефективності технологій прецизійного землеробства.

Теоретична частина

Технології точного землеробства вносять значний вклад в підвищення врожайності основних культур.

В точному землеробстві використовуються технології для підвищення стійкості за рахунок більш ефективного використання критично важливих ресурсів, таких як земля, вода, паливо, добрива та пестициди. Фермери, які купляють обладнання для точного землеробства, використовують менше, щоб вирощувати більше.

Ключові екологічні переваги

П'ять ключових переваг раціонального використання природних ресурсів, що досягаються за рахунок впровадження технологій точного землеробства, в тому числі:

- Зростання врожайності за рахунок підвищення ефективності
 - Зменшення кількості добрив за рахунок більш точного внесення
 - Зменшення кількості пестицидів за рахунок більш точного внесення
 - Економія палива за рахунок меншого перекриття і кращого контролю
 - Економія води за рахунок більш точного визначення потреб

Одна тільки економія палива за рахунок інструментів точного землеробства еквівалентна щорічному зняттю з дороги (в США) майже 200 000 автомобілів.

Ключові економічні переваги:

У міру того, як обладнання та технології точного землеробства отримують все більш широке поширення, це призведе до ще більшого збільшення врожайності і подальшої економії витрат, а саме:

- Продуктивність збільшилася приблизно на 4% і може вирости на 6% при більш широкому впровадженні .
- Точне землеробство підвищило ефективність внесення добрив приблизно на 7% і має потенціал для подальшого підвищення ще на 14%.
- Використання гербіцидів було скорочено приблизно на 9% і може ще більше знизитися на 15% при повному впровадженні.
- Використання викопного палива зменшилася приблизно на 6% з потенціалом подальшого скорочення на 16%.
- Використання води знизилося приблизно на 4% при нинішньому рівні впровадження точного землеробства з потенціалом подальшого скорочення на 21% при повному впровадженні.

Основні переваги були визначені кількісно в результаті дослідження впровадження технологій точного землеробства:

Непрямі	Прямі
<p>Дає змогу уникати використання непродуктивних / охоронюваних земель в процесі виробництва. Знижується ущільнення ґрунту.</p>	<p>Підвищення врожайності за рахунок точного інтервалу (від проходу до проходу, ряди кінцевих точок) і швидкості виконання робіт.</p>
<p>Поліпшення якості води (зменшення стоку шкідливих речовин) Поліпшення здоров'я ґрунту. Чисте скорочення викидів парникових газів (в тому числі при виробництві ресурсів).</p>	<p>Оптимізація внесення добрив (зменшення перекриттів, запобігання пропусків, оптимальне розміщення і норма внесення).</p>
<p>Поліпшення стану ґрунту і зниження ерозії за рахунок меншої обробки ґрунту. Чисте скорочення викидів парникових газів (в тому числі при виробництві ресурсів). Поліпшення якості води. Зниження розвитку стійкості до бур'янів.</p>	<p>Оптимізація внесення гербіцидів (зменшення перекриттів, запобігання пропусків, оптимальне розміщення і швидкість введення).</p>
<p>Поліпшення якості води за рахунок зменшення стоку. Менше енергоспоживання за рахунок меншої кількості годин роботи насосів.</p>	<p>Економія палива за рахунок меншої кількості проходів по полю, змінної глибини обробітку ґрунту і / або більш ефективного збору врожаю.</p>
	<p>Вияток застосування води завдяки дистанційному відключення центральних шарнірів, а також вибіркового застосування.</p>

Ступінь впровадження технологій точного землеробства в США в даний час

– Автоматичне рульове управління

25% to 80%

- Управління секціями машин

Добрива: від 10% до 45%. Гербициди: від 5% до 22%.

- Диференційоване вплив

Добрива: від 15% до 54%. Гербициди: від 2% до 13%.

- Аналітика автопарку, телематика

12%

- Точне зрошення

від 0% до 22%

Сприятливі фактори для розвитку галузі:

– Політика, що заохочує інновації

– Поліпшення допоміжної інфраструктури

– Бездротовий зв'язок на орних землях

– Збільшення доходу ферми – це капітал для інвестування у виробничу діяльність

– Поліпшення взаємодії зі споживачами

– Зміцнення довіри до науки

Практична частина

1. Ознайомитись із теоретичним матеріалом

2. Провести розрахунок економічної ефективності диференційованого внесення матеріалів в порівнянні із суцільним за даними практичних робіт 8-10. Розрахунки виконати для обох варіантів індивідуальних полів та оформити за прикладом таблиць 5-8.

3. Сформувати відповідні висновки.

4. Скласти підсумковий звіт про виконання практичного курсу відповідно до таблиці 9.

5. Написати загальний висновок щодо комплексної ефективності впровадження прецизійних технологій для умов ділянки, що була досліджена.

Таблиця 5

**Приклад розрахунку економічної ефективності застосування
змінних норм висіву**

Зона	Покриття, %	Площа, га	Норма посіву, млн./га	Норма посіву кг/га	Потреба насіння, т	Вартість насіння, тис. грн	Із врахуванням логістичних витрат, тис. грн
1	1	0,24	5,0	225	0,05		
2	5	1,25	5,0	225	0,28		
3	16	3,93	3,4	153	0,60		
4	44	10,82	3,4	153	1,66		
5	34	8,36	4,2	189	1,58		
Разом					4,17	43,78	50,34
Суцільно	100	24,6	4,2	189	4,65	48,83	56,15

Таблиця 6

**Приклад розрахунку економічної ефективності застосування
змінних норм азотних добрив**

Зона	Покриття, %	Площа, га	Норма внесення, кг./га	Потреба добрива, т	Вартість добрива, тис. грн. за 1 т.	Вартість на площу, тис. грн
1	2	0,49	126	0,06		
2	7	1,72	142	0,24		
3	24	5,90	160	0,94		
4	41	10,09	178	1,80		
5	26	6,40	194	1,24		
Разом				4,29	28,10	120,47
Суцільно	100	24,6	160	3,94	28,10	110,60

Таблиця 7

**Приклад розрахунку економічної ефективності застосування
змінних норм засобів захисту рослин**

Зона	Покриття, %	Площа, га	Норма препарату, л (кг)/га	Потреба препарату, л (кг)	Вартість препарату, тис. грн./л (кг)	На площу, тис. грн.
1	12	2,95	0,6	1,77		
2	7	1,72	0,9	1,55		
3	31	7,63	1,1	8,39		
4	14	3,44	1,25	4,31		
5	36	8,86	1,5	13,28		
Разом				29,30	0,81	23,73
Суцільно	100	24,6	1,2	29,52	0,81	23,91

Таблиця 8

**Приклад розрахунку сумарної економічної ефективності
застосування диференційованих технологій, тис. грн**

Варіант технології	Традиційна	Диференційована
Площа, га	24,6	24,6
Вартість посівного матеріалу	56,15	50,34
Вартість внесення азоту	110,6	120,46
Вартість герб. обробки	23,91	23,73
Вартість фунгіцидної обробки	41,24	36,21
РАЗОМ	231,9	230,74
Затрати на 1 га, тис. грн	9,43	9,38
Врожайність, т/га	5,34	5,71
Вартість врожаю грн./т	8600	8600
Вартість додаткового врожаю, грн		78,28
Вартість додаткового врожаю на 1 га, грн		3,18
Додатковий прибуток, грн/га		3230

Структура підсумкового звіту із виконання практичного курсу освітньої компоненти «Технології прецизійного землеробства»

№	Структурний елемент
1	Титульний лист
2	Вихідні дані відповідно до індивідуального завдання
3	Міліметровий папір із розміткою ПР 1
4	Міліметровий папір із розміткою ПР2
5	Два варіанти схеми відбору проб ґрунту ПР6
6	Звіт диф. внесення азоту ПР8 (2 вар.)
7	Звіт диф. посів ПР9 (2 вар.)
8	Звіт двократне диф. внесення ЗЗР ПР10 (2 вар.)
9	Звіт карта ущільнення ПР13
10	Таблиця порівняння метеоданих ПР16
11	Економічна оцінка ПР17 (таблиці 5-8) 2 варіанти

Запитання для самоконтролю:

1. Яка роль прецизійного землеробства у сучасному господарському комплексі?
2. Чим зумовлена висока економічна ефективність прийомів прецизійного застосування матеріалів?
3. Яким чином можна оптимізувати виробництво за рахунок систем точного землеробства?

6. Рекомендована література

1. Балабанов В. И., Федоренко В. Ф., Технологии, машины и оборудование для координатного (точного) земледелия : учебник. М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. 240 с.
2. Белавцева Т. М. Технологии точного земледелия, их перспективе и возможности использования на мелиорированных землях. М. : 2009. 113 с.
3. Бурляй А. П., Охрименко Б. О., Точне землеробство як напрям модернізації аграрного виробництва, Електр. Наукове видання з економічних наук «*Modern Economics*» №29 (2021). С. 29–34.
4. Забродин В. П., Бондаренко А. М. Технологические процессы внесения минеральных удобрений в системах точного земледелия. Ростов-на-Дону, 2008. 150 с.

5. Курепін В. М. Безпілотні літальні апарати як інструмент сучасного землеробства. *Матеріали XXI Міжнародної наукової конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки»*, 2020.

6. Мельничук Д., Мельников М., Хофман Дж. Та ін., Якість ґрунтів та сучасні стратегії удобрення, К. : Арістей, 2004. 488 с.

7. Методология мониторинга почвенного плодородия. Зональные теоретически обоснованные агропотребования для точного земледелия и ландшафтной агрохимии / Медведев И. Ф., Губарев Д. И., Деревягин С. С. и др. Саратов : НИИСХ Юго-Востока, 2017. 92 с.

8. Романов В. О., Палагін О. В., Безпроводна сенсорна мережа для прецизійного землеробства та екологічного моніторингу. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*, №13, 2014. С. 53–63.

9. Соловьева Н. Ф., Опыт применения и развития точного земледелия. М. : ФГНУ, 2008. 100 с.

10. Точное земледелие : учеб. пособие / Е. В. Труфляк, Е. И. Трубилин, В. Э. Буксман, С. М. Сидоренко. Краснодар : КубГАУ, 2015. 376 с

11. Труфляк Е. В., Лабораторный практикум по использованию элементов точного земледелия. Краснодар, 2018. 169 с.

12. Труфляк Е. В., Точное земледелие: состояние и перспективы. Краснодар, 2018. 27 с.

13. Уланчук В. С., Загребельний Б. В., Інноваційні технології обробітку ґрунту та ефективність їх застосування при вирощуванні зернових культур на Черкащині. *Електр. Наукове видання з економічних наук «Modern Economics»*. №6 (2017). С. 210–220.

14. Фурманець О. А. Коригування технологічних процесів у рослинництві на основі даних дистанційного моніторингу вологозабезпечення рослин. *Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Науково-інноваційний супровід збалансованого природокористування»*. Рівне, 4-5 листопада 2021 р. С. 155–157.

15. Фурманець О. А., Піддубняк В. А. Обґрунтування удосконалення технології вирощування ріпаку озимого на розкислених дерново-підзолистих ґрунтах Західного Полісся. *Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції*

«Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва». Харків, 25-26 листопада 2021 р. С. 241–244.

16. Dobermann, A., & Nelson, R. (2013). Opportunities and solutions for sustainable food production. *Sustainable Development Solutions*. Network : Paris, France. 24 [in English].

17. Armstrong L., Cowen E. (2020) Improving Data Management and Decision Support Systems in Agriculture Burleigh Dodds Science Publishing Limited, 2020. 341 p. ISBN 978-1-78676-340-

18. D. Kent Shannon, David E. Clay, Newell R. Kitchen (2018) Precision Agriculture Basics. American Society of Agronomy Crop Science Society of America Soil Science Society of America

19. Trofimenko P. I., Trofimenko, N. V., Veremeenko S. I., Furmanets O. A. Remote monitoring of winter crops' development using the satellite data. *XVIIIth International Conference Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects*. Kyiv, 13-16 May 2019.

20. [Furmanets O. A.](#), [Veremeenko S. I.](#), [Poliovyi V. M.](#), [Pidybn'ak V. A.](#) Remote monitoring of moisture deficit as a basis for preventing environmental and economic risks. *15th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Monitoring 2021*. Kyiv.

21. Furmanets O. A., Trofimenko P. I., Veremeenko S. I. The usage of remote field monitoring data while yields prediction and resource management in winter crops growth. *XIXth International Conference Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects, Kyiv*, 13-16 November 2019.

22. Furmanets O. A., Veremeenko S. I., Bratsenyuk V. Y., Trofimenko P. I. Design of adaptive measures in crop production based on remote monitoring of crops. *XIV International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment"*, 11-13 November 2020. Kyiv.

23. Precision Planting, 2021 Research Summary, Precision Technology Institute, Pontiac, IL, 2021. 62 p.

24. Precision Planting, 2020 Research Summary, Precision Technology Institute, Pontiac, IL, 2020. 36 p.

25. Uddin M., Bansal J. (2021). Computer Vision and Machine Learning in Agriculture. Springer, 2021. 180 p. (Algorithms for Intelligent Systems). ISBN 978-9813364233.

7. Інформаційні ресурси

26. Законодавство України. URL: <http://rada.gov.ua/>
27. Сторінка курсу на навчальній платформі НУВГП. URL: <https://exam.nuwm.edu.ua/course/view.php?id=4676>
28. Національна бібліотека ім. В. І. Вернадського. URL: <http://www.nbu.gov.ua/>
29. Рівненська обласна універсальна наукова бібліотека (м. Рівне, пл. Короленка, 6). URL: <http://libr.rv.ua/>
30. AgLeader Technologies. URL: <https://www.agleader.com/>
31. Trimble Solutions. URL: <https://www.trimble.com/en/>
32. Наукова бібліотека НУВГП (м. Рівне, вул. Олекси Нова-ка, 75). URL: http://nuwm.edu.ua/MySql/page_lib.php
33. Каталог НД України. URL: <http://csm.kiev.ua/nd/nd.php?b=1>
34. [OECDiLibrary.](https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-andfood/data/oecd-agriculture-statistics_agr-data-en) URL: https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-andfood/data/oecd-agriculture-statistics_agr-data-en
35. Сторінка НУВГП “Якість освіти”. URL: <http://nuwm.edu.ua/sp/akademichna-dobrochesnisti>