

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства  
та природокористування

Кафедра будівельних, дорожніх, меліоративних,  
сільськогосподарських машин і обладнання

**02-01-538М**

### **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання практичних робіт  
з освітньої компоненти

#### **«Система точного землеробства»**

для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня  
за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія»  
спеціальності 208 «Агроінженерія»  
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-методичною  
радою з якості ННМІ  
Протокол № 4 від 27 грудня 2022 р.

Рівне – 2023

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з освітньої компоненти «Система точного землеробства» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» за спеціальності 208 «Агроінженерія» денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Голотюк М. В., Фурманець О. А., Ювчик Н. О. – Рівне : НУВГП, 2023. – 53 с.

Укладачі:

Голотюк М. В. – к.т.н., доцент кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання;

Фурманець О.А. – к.т.н., доцент кафедри агрохімії, ґрунтознавства та землеробства;

Ювчик Н.О. – аспірантка.

Відповідальний за випуск: Налобіна О. О., в. о. завідувача кафедри агроінженерії.

Керівник групи забезпечення спеціальності  
208 «Агроінженерія»

Налобіна О. О.

Методичні вказівки схвалено на засіданні кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання  
Протокол № 6 від 19 грудня 2022 року.

Схвалено науково-методичною радою з якості ННМІ  
Протокол № 4 від 27 грудня 2022 року.

© М. В. Голотюк,  
О. А. Фурманець,  
Н. О. Ювчик, 2023  
© НУВГП, 2023

## ЗМІСТ

<i>Вступ</i> .....	4
<i>Практична робота № 1. Основи роботи із системами глобального позиціонування</i> .....	5
<i>Практична робота № 2. Відбір проб ґрунту та аналіз агрохімічних матеріалів у прецизійному виробництві ...</i>	11
<i>Практична робота № 3. Системи паралельного водіння</i> .....	15
<i>Практична робота № 4. Обмір контурів полів та його точність</i>	24
<i>Практична робота № 5. Загальна методологія побудови карт-завдань</i> .....	29
<i>Практична робота № 6 Побудова завдань для диференційованого внесення азотних добрив</i> .....	32
<i>Практична робота № 7. Побудова завдань для диференційованого внесення засобів захисту рослин</i>	36
<i>Практична робота № 8 Основні принципи роботи з БПЛА. Типові задачі у рослинництві.</i> .....	39
<i>Практична робота № 9. Шляхи отримання метеоданих та їх роль у прецизійному землеробстві</i> .....	43
<i>Практична робота № 10. Економічна ефективність технологій прецизійного землеробства</i> .....	47
<i>Список рекомендованої літератури</i> .....	53

## Вступ

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

Метою досліджень точного 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 агроєкосистемах, збалансувати господарський комплекс за рахунок більш ощадного та раціонального використання матеріально-технічних ресурсів.

Вивчення освітньої компоненти «Система точного землеробства» 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.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

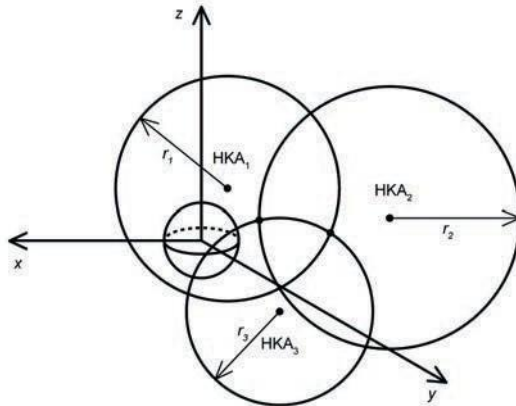
### Тема: Основи роботи із системами глобального позиціонування

*Мета роботи: набути практичних навичок роботи із системами глобального позиціонування*

*Теоретичні відомості.*

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 службу 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 показуєточний 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 антеною, 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 конічну 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: синтезаторопорної 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 змодельовати 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.

Таблиця 1

**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
Міжканальні 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

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.

### *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, тарадіус 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.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

### **Тема: Відбір проб ґрунту та аналіз агрохімічних матеріалів у прецизійному виробництві**

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

#### *Теоретичні відомості.*

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 угіддях, мотостабільність, легка керованість, низький тиск на ґрунт, простота в експлуатації, висока продуктивність робіт (рис. 1).



*Рис. 1. 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 ґрунотипами.

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

грунтові 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. 2. Приклад обладнання для потокового аналізу стану поля*

Оброблені сканерні знімки (картографи 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: «pole.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 прізвищем.
8. Призначити першому та другому полю культуру та атрибути відповідно до індивідуального завдання.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

### Тема: Системи паралельного водіння

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

#### *Теоретичні відомості.*

При впровадженні у сільськогосподарське виробництво технологій точного землеробства найбільш затребуваним на прямом 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. 1. 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 широкою захватною 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  $\pm 30$  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  $\pm 30$  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  $\pm 30$  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. 2. 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 екрана.

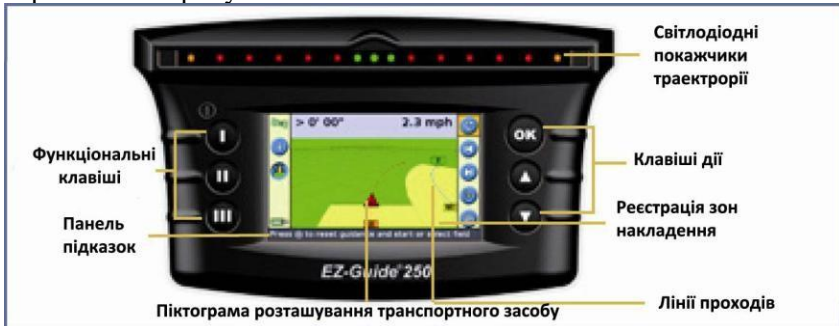


Рис. 3. Загальний вигляд курсовказівника

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



Рис.4. Типи траєкторій руху

4. 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 не доступне

Рис. 5. Індикація якості сигналу супутника

5. 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./Вимк. 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
	Повернення в поп. меню (майстер)		Зміна вигляду		Запис кривої лінії
			Меню налаштувань		Без запису кривої

Рис. 6. Меню управління Trimble EZ250

6. Ознайомитись із головним екраном та основним 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.



Рис. 7. Головний екран курсовказівника ASN

7. Ознайомитись із основними налаштуваннями робочого агрегату в системі

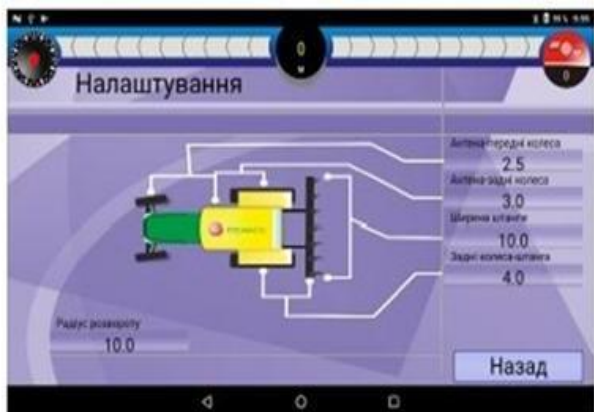


Рис. 8. Основні налаштування курсовказівника ASN

## 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. 9. Налаштування функціонального меню

## 9. Вивчити меню паралельного водіння

Натисніть кнопку «А» (при натисканні фон кнопки стане чорним) і почніть рух по прямій. Пройшовши 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.

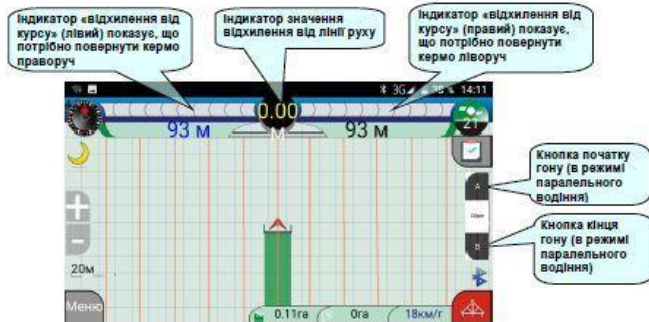


Рис. 10. Меню паралельного водіння

## 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 <b>ASN-agro</b>
Неправильний розрахунок площі поля при обробці декількох полів	Додавання площі попереднього поля до площі нового поля без перезапуску програми <b>ASN-agro</b>	При переїзді на нове поле в <b>МЕНЮ</b> натиснути кнопку « <b>Нова обробка поля</b> » або перезапустити програму <b>ASN-agro</b>
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 планшет	Захистити планшет від попадання прямих сонячних променів

*Рис. 11* Можливі несправності системи паралельного водіння

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

### Тема: Обмір контурів полів та його точність

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

#### *Теоретичні відомості.*

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.

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 автопілотівтехніки, 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 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 GNSSприймач.

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 покращеногорівня 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 однієюістотною 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 відрізнятися. Прилади з такою комплектацією вже можна вважати професійним рівнем для агрономів та служби контролю земельних ділянок підприємства, які займаються оцифруванням полів. Але все ж такитакого

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 РПК 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 «по флу» 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.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

### Тема: Загальна методологія побудови карт-завдань

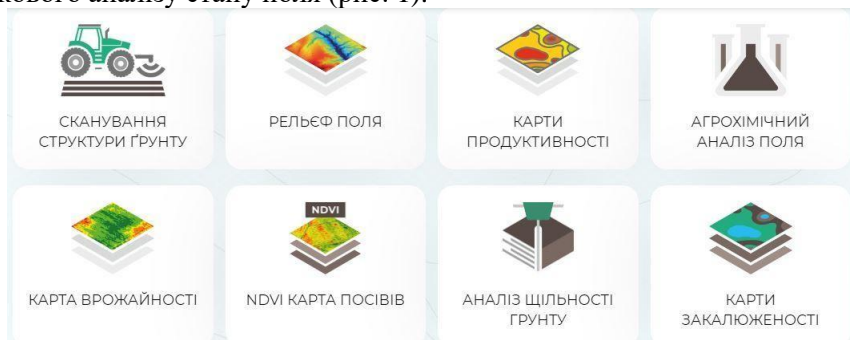
*Мета роботи: вивчити загальні підходи до побудови карт-завдань. Обґрунтувати необхідність їх використання.*

#### *Теоретичні відомості.*

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. 1).



*Рис. 1 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 цілих 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.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7

### **Тема: Побудова завдань для диференційованого внесення азотних добрив**

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

#### *Теоретичні відомості*

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 обґрунтованого 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. 1 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.

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 прізвищевиконавця) записуються на чіп-карту.

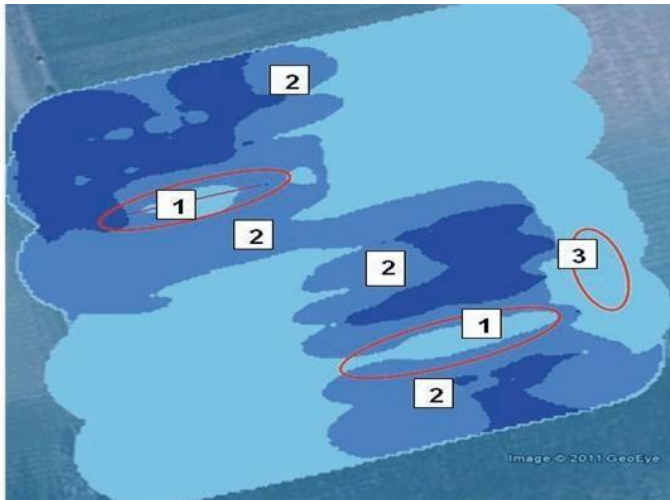


Рис. 1. Карта-завдання доз внесення азоту за технологією offline

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 буланижчою, 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. Сформулювати відповідні висновки;
7. Надіслати звіт на перевірку викладачу.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7

### **Тема: Побудова завдань для диференційованого внесення засобів захисту рослин**

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

#### *Теоретичні відомості.*

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 осмилене 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 умовіривності 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 необхідність 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 озимійпшениці 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 [Harvio](#).
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. Сформувати відповідні висновки;
7. Надіслати звіт на перевірку викладачу.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 8

### Тема: 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.*

#### *Теоретичні відомості.*

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, рекультивації 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, щобезпосередньо 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 загушеності насаджень.
- Опрыскування - завдяки можливості дооснащення, дрони використовують для точкового опрыскування рослин і плодкових 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'ясування 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 добривата 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, загнути 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. Угаряче 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.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 9

### **Тема: Метеодані. Шляхи отримання метеоданих та їх роль у прецизійному землеробстві.**

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

#### *Теоретичні відомості.*

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.



*Рис. 1. Метеостанція Arable Mark2*

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.

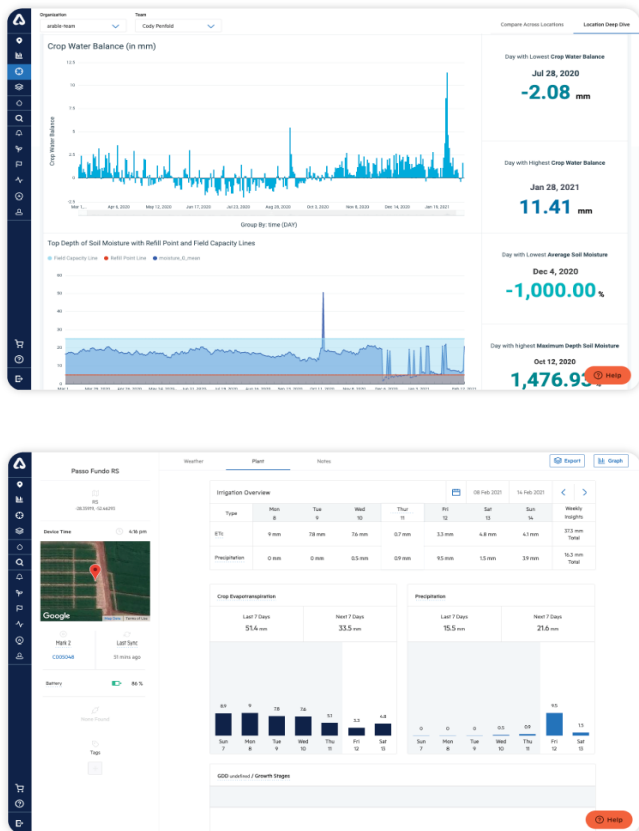


Рис 2. Представлення аналітичних даних у метеостанції Arable Mark 2

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.

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

### *Практична частина*

1. Ознайомитись із теоретичним матеріалом
2. Ознайомитись із описом та функціональними можливостями приладу Agable 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.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 10

**Тема: Економічна ефективність технологій прецизійного землеробства. Комплексна оцінка ефективності прецизійного виробництва**

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

*Теоретичні відомості.*

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 покриття 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	Врожайність	Використання добрив	Використання гербіцидів	Використання палива	Використання води
<p>Дас змогу уникати використання непродуктивних / охоронюваних земель в процесі виробництва.</p> <p>Знижується ушільнення ґрунту.</p>	<p>Підвищення врожайності за рахунок точного інтервалу (від проходу до проходу, ряди кшцевих точок) і швидкості виконання робіт.</p>	<p>Оптимізація внесення добрив (зменшення перекриттів, запобігання пропусків, оптимальне розміщення і норма внесення).</p>	<p>Оптимізація внесення гербіцидів (зменшення перекриттів, запобігання пропусків, оптимальне розміщення і швидкість введення).</p>	<p>Економія палива за рахунок меншої кількості проходів по полю, змінної глибини обробки ґрунту і / або більш ефективного збору врожаю.</p>	<p>Вияток застосування води завдяки дм станційному відключення центральних шарнірів, а також вибіркового застосування.</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>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>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>Чисте скорочення викидів парникових газів.</p>	<p>Поліпшення якості води за рахунок зменшення стоку. Менше енергоспоживання за рахунок меншої кількості годин роботи насосів.</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%. Гербіциди: від 5% до 22%.

- Диференційоване вплив

Добрива: від 15% до 54%. Гербіциди: 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. Сформулювати 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

Таблиця 9

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

## Список рекомендованої літератури

1. Аніскевич Л. В., Войтюк Д. Г., Захарін Ф. М., Пономаренко С. О. Система точного землеробства : підручник. К. : НУБіП України, 2018. 566 с.
2. Адаптивні системи землеробства : підручник. / Гудзь В. П., Шувар І. А., Юник А. В., Рихлівський І. П., Міщенко Ю. Г.; за ред. Гудзя В. П. К. : «Центр учбової літератури», 2014. 336 с.
3. Машиновикористання в землеробстві / Ільченко В.Ю., Нагірний Ю.П., Джолос П.А. та ін.; за ред. В. Ю. Ільченко, Ю. П. Нагірного. К. : Урожай, 1996. 384 с.
4. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва : підручник / у 2 т: Т 2 ; за ред. А. В. Рудя. К. : Агроосвіта, 2012. 434 с.
5. Основи застосування високоточних технологій рослинництва : монографія / Аніскевич Л. В., Войтюк Д. Г., Захарін Ф. М., Адамчук Н. І., Пономаренко С. О. К. : НУБіП України, 2020. 405 с.
6. Сільськогосподарські машини : підручник / Д. Г. Войтюк, Л. В. Аніскевич, В. В. Іщенко та ін.; за ред. Д. Г. Войтюка. Київ : Агроосвіта, 2015. 679 с.
7. Виробнича експлуатація і ремонт машин та обладнання : навч. посібник / Романюк В. І., Гавриш В. С., Хітров І. О., Кононов Ю. А., Голотюк М. В. Рівне : НУВГП, 2016. 290 с.
8. Моделювання управління транспортними потоками з використанням інтелектуальних транспортних систем / Голотюк М. В., Дорошук В. О., Пахаренко В. Л., Кучерук М. О. *Вісник НУВГП, серія: Технічні науки*. Рівне : НУВГП, 2018. Вип. 3(83). С. 110–118.
9. 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] / Веремєнко С. І., Фурманець О. А. Рівне : НУВГП, 2023. 88 с.
10. Мехатроніка в системах точного землеробства / Голотюк М. В., Налобіна О. О., Бундза О. З., Тхорук Є. І., Дорошук В. О. *Вісник НУВГП, серія: Технічні науки*. Рівне : НУВГП, 2022. Вип. 4(100). С. 114–123.