

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

**П о я с н ю в а л ь н а   з а п и с к а**

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**Ефективність використання техніки застосуванням методів цифрового  
землеробства**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГАІ-24 за  
спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Сінішин Сергій

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Олексій ДЕРКАЧ

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Дніпро 2025

# ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку  
Освітній ступінь: «Магістр»  
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри

ЕМТП .

(назва кафедри)

доцент .

(вчене звання)

Деркач О.Д.

(підпис)

(прізвище,  
ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

## ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Сергію Сінішину

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** «Ефективність використання техніки застосуванням методів цифрового землеробства»

керівник роботи Олексій ДЕРКАЧ, к.т.н., доцент .

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ДДАЕУ від

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 року № \_\_\_\_\_

2. **Строк подання студентом роботи** \_\_\_\_\_ .

3. **Вихідні дані до роботи.** Електронні джерела з телематичних систем (John Deere Operation, JD Link, AFS Connect), навчальна та довідкова література з машиновикористання в рослинництві, інструкція з використання цифрового твердоміра S600, навчальні посібники: «Digital Farming» (2023 р.), «Дипломне проектування з машиновикористання в рослинництві» (2007 р.), «Машиновикористання в землеробстві» (1996 р.), а також інші джерела за темою дипломної роботи.

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Оцінка ефективності експлуатації техніки у секторі сучасного сільського господарства. 2. Методи і обладнання, що застосовуються в технологіях цифрового землеробства. 3. Розробка карти завдань на диференційоване внесення добрив та хімічного захисту. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях 5. Економічне обґрунтування роботи. Загальні висновки. Бібліографічний список.

**5. Перелік демонстраційного матеріалу**

1. Титульний лист. 2. Тема, мета, завдання. 3. Аналіз показників машиновикористання. 4,5. Обладнання та телематичні системи, що використовуються в цифровому землеробстві. 6,7. Розробка карти завдань на диференційований обробіток ґрунту. 8, 9. Розробка технологічної карти на вирощування соняшнику. 10. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 11. Економічне обґрунтування роботи. 12. Висновки.

**6. Консультанти розділів роботи**

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Деркач О. Д., доц. каф. ЕМТП		
2	Деркач О. Д., доц. каф. ЕМТП		
3	Деркач О. Д., доц. каф. ЕМТП		
4	Деркач О. Д., доц. каф. ЕМТП		
5	Деркач О. Д., доц. каф. ЕМТП		
Нормоконтроль			

7. Дата видачі завдання: \_\_\_\_\_ р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)		
2	Теоретичний		
3	Експериментально - розрахунковий		
4	Охорона праці		
5	Економічний		
6	Демонстраційна частина		

**Студент**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

**Сергій Сінішин**

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

**Олексій ДЕРКАЧ.**

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)



**УДК 631.3**

## **АНОТАЦІЯ**

Сінішин С.М. Ефективність використання техніки із застосуванням методів цифрового землеробства / Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

У кваліфікаційній роботі досліджено особливості використання сільськогосподарської техніки в умовах сучасного аграрного виробництва з урахуванням впровадження методів цифрового землеробства. Проаналізовано сучасний стан та тенденції розвитку машиновикористання, а також можливості застосування програмних продуктів і технічних засобів точного землеробства у виробничих процесах.

Розглянуто функціональне призначення телематичних систем, виконано оцінку ефективності їх використання під час виконання технологічних операцій. У практичній частині роботи розроблено цифрові карти-завдання для диференційованого внесення мінеральних добрив та засобів хімічного захисту рослин, що сприяє підвищенню точності виконання робіт і раціональному використанню ресурсів.

Робота містить пояснювальну записку обсягом 73 сторінки та мультимедійну презентацію, підготовлену в середовищі PowerPoint. Практичні результати досліджень апробовано та представлено у вигляді конкурсної наукової роботи на «IV Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених», що відбулася 21 листопада 2025 року.

*Ключові слова:* цифрове землеробство, машиновикористання, точне землеробство, телематичні системи, диференційоване внесення, ефективність.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТЕХНІКИ У СЕКТОРІ СУЧАСНОГО СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА .....	10
1.1. Основні відомості.....	10
1.2. Аналіз критеріїв експлуатації машинно-тракторних агрегатів.....	11
1.3. Шляхи підвищення показників використання техніки .....	18
1.4. Обґрунтування теми дипломної роботи .....	21
Висновки по розділу .....	22
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ І ОБЛАДНАННЯ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ В ТЕХНОЛОГІЯХ ЦИФРОВОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА.....	24
2.1. Основні відомості.....	24
2.2. Ключові функції програмного забезпечення та обладнання, що використовуються в цифровому землеробстві.....	25
2.3. Базові та розширені можливості програмного забезпечення для агробізнесу.....	27
Висновки по розділу.....	37
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	38
3.1. Програма досліджень.....	38
3.2. Методика проведення досліджень диференційного внесення добрив та засобів захисту рослин.....	43
3.3. Аналіз отриманих результатів .....	48
Висновки по розділу .....	50
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДВЗИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ....	51
4.1. Головні питання з охорони праці.....	51
4.2. Аналіз та запобігання шкідливих факторів при виконанні диференційованого внесення рідких добрив КАС .....	52

4.3. Організація роботи з гербіцидами та пестицидами в безпечних умовах .....	53
Висновки по розділу.....	54
5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ.....	55
5.1. Суть економічного ефекту.....	55
5.2. Економічний розрахунок операції по диференційному внесенню добрив та хімічного захисту .....	56
Висновки по розділу .....	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	59
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	61
ДОДАТКИ.....	63

## ВСТУП

Сільське господарство України є однією з ключових галузей національної економіки, що формує значну частину валового внутрішнього продукту та забезпечує стабільні експортні надходження. В умовах післявоєнного відновлення країни особливої актуальності набуває підвищення ефективності використання матеріально-технічних ресурсів, зокрема машинно-тракторного парку, з метою зменшення виробничих витрат і підвищення конкурентоспроможності аграрного сектору [8].

Сучасне сільськогосподарське виробництво характеризується високою енерго- та ресурсоемністю, що зумовлює необхідність раціонального використання техніки та оптимізації технологічних процесів. Значна частина втрат продуктивності пов'язана з неефективним завантаженням машин, перевитратами пального, нерівномірним внесенням матеріалів та недотриманням оптимальних строків виконання польових робіт. У таких умовах особливого значення набуває впровадження методів цифрового землеробства.

Цифрове землеробство базується на використанні глобальних навігаційних супутникових систем (GPS), геоінформаційних систем (GIS), дистанційного зондування Землі, автоматизованих систем управління технікою та аналітики агровиробничих даних. Застосування цих технологій дозволяє забезпечити точне водіння машин, диференційоване внесення добрив і засобів захисту рослин, контроль робочих параметрів техніки та оперативний моніторинг стану посівів, що в підсумку сприяє підвищенню продуктивності машинно-тракторних агрегатів і зниженню експлуатаційних витрат [10].

Ефективність використання сільськогосподарської техніки при застосуванні цифрових технологій значною мірою залежить від правильного підбору машин і агрегатів, рівня їх технічного оснащення, організації механізованих робіт та адаптації технологій до конкретних ґрунтово-кліматичних умов господарства. Важливу роль відіграє також аналіз отриманих цифрових даних, на

основі яких приймаються управлінські рішення щодо оптимізації виробничих процесів.

У зв'язку з цим актуальним є наукове обґрунтування ефективності використання техніки із застосуванням методів цифрового землеробства, що дозволяє підвищити рівень механізації, зменшити енерговитрати та забезпечити стабільний розвиток аграрного виробництва.

Саме тому метою дипломної роботи є оцінка та обґрунтування ефективності використання сільськогосподарської техніки при впровадженні методів цифрового землеробства.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку цифрового землеробства.
2. Дослідити вплив методів цифрового землеробства на ефективність використання машинно-тракторного парку.
3. Обґрунтувати вибір технічних засобів та технологій із застосуванням цифрових рішень.
4. Виконати енергетичну оцінку ефективності використання техніки.
5. Навести вимоги з охорони праці та безпеки під час виконання механізованих робіт.
6. Провести економічну оцінку впровадження методів цифрового землеробства.

# РОЗДІЛ 1

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТЕХНІКИ У СЕКТОРІ СУЧАСНОГО СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

### 1.1. Основні відомості

Показники, що описують роботу техніки, є ключовою інформацією для планування та покращення складу машинно-тракторного парку (МТП) сільськогосподарського підприємства. Чим краще і продуманіше складено структуру МТП, тим вигіднішим та успішнішим буде виробництво. Ці показники необхідні для того, щоб техніка працювала згідно з двома важливими правилами: правилами використання ресурсів, агротехнічними та технологічними вимогами.

До найголовніших критеріїв оцінки роботи машин належать: продуктивність агрегату (МТА) (скільки роботи зроблено за певний час), забезпеченість технікою (співвідношення вартості причіпних знарядь до вартості тракторів), забезпеченість енергією (співвідношення загальної потужності машин до кількості працівників), витрати на роботу (гроші на утримання техніки в порядку), а також екологічність МТА (дотримання машинами екологічних норм під час роботи) [14].

#### Правила Роботи (Регламенти)

Експлуатаційний регламент - це набір чітких правил, головна мета яких - забезпечити максимально ефективно використання всієї наявної техніки в конкретних умовах господарства, зберігаючи при цьому її технічну справність.

Технологічний регламент - це встановлені вимоги, які регулюють процес виконання механізованих робіт. Вони визначають мінімальну кількість ресурсів, потрібну для того, щоб вчасно завершити роботу, суворо дотримуючись усіх агротехнічних норм. При цьому найважливішим завжди є якість виконаних операцій [14].

Ці два види правил тісно пов'язані між собою і відіграють вирішальну роль для успішного та прибуткового ведення сільськогосподарської діяльності.

## **1.2. Аналіз критеріїв експлуатації машинно-тракторних агрегатів**

Оскільки продуктивність є найважливішим показником при роботі з технікою - її оглядають при виборі машин, плануванні завдань та в економічних підрахунках, почнемо детальний опис саме з неї.

Виробіток агрегату — це кількість роботи, виконаної згідно з нормами якості, за певний відрізок часу. Обсяг роботи може вимірюватися у площі, відстані, вазі тощо. Зазвичай для вимірювання часу беруть одну годину, але іноді цього часу замало або забагато. У таких випадках використовують секунди, хвилини, робочу зміну та інші одиниці [14].

Залежно від виконуваних операцій, продуктивність можна оцінити: у одиницях обробленої землі (при посіві, оранці, внесенні поживних речовин); у тоннах отриманого врожаю (під час збирання, заготівлі силосу, навантаження); або в тоннах на кілометр (для перевезення вантажів).

Продуктивність машинно-тракторного комплексу вресіті-решт визначає загальну ефективність господарства. Вона показує, скільки роботи певної якості було зроблено за одиницю часу. Важливо, що чим вищий рівень якості виконаних операцій, тим кращою вважається і загальна продуктивність [13].

Розрізняють максимальну (теоретичну) та реальну (фактичну) продуктивність агрегатів. Теоретична — це ідеальна межа, коли беруться повна ширина захвату і максимальна швидкість. Фактична ж враховує найкраще можливе використання ширини захвату та швидкості, а якщо розрахунок охоплює всю зміну, то береться до уваги лише час корисної роботи.

Продуктивність сільськогосподарських машин традиційно розраховується на основі їхньої ширини робочого захвату та швидкості руху за такою формулою:

$$W = 0,1 \cdot B \cdot v, \quad (1.1)$$

де  $B$  – Ширина захвату знаряддя, у метрах (м). Цей показник береться з конструктивних даних машини.

$W$  - Теоретична продуктивність, вимірюється у гектарах за годину (га/год).

$v$  – Робоча швидкість руху агрегату, у кілометрах за годину (км/год). Ця швидкість визначається агротехнічними вимогами до конкретної операції.

Формула (1.1) найкраще підходить для визначення максимального (теоретичного) значення виробітку. Для встановлення реальної (фактичної) продуктивності машинно-тракторного агрегату (МТА), необхідно ввести додатковий ключовий параметр — коефіцієнт використання часу зміни. У такому разі рівняння набуває вигляду:

$$W = 0,1 \cdot B \cdot v \cdot \tau. \quad (1.2)$$

Показник  $\tau$  визначається як частка фактичного робочого часу агрегату від загальної тривалості зміни:

$$\tau = \frac{T_p}{T_{зм}}, \quad (1.3)$$

де  $T_p$  – тривалість чистої роботи агрегату, у годинах (год).

$T_{зм}$  – Повний час робочої зміни, у годинах (год).

#### Структура Часу Робочої Зміни

Сам повний час зміни  $T_{зм}$  складається з багатьох елементів і розраховується за такою формулою:

$$T_{зм} = T_p + T_{пз} + T_{пов} + T_{то} + T_{пер} + T_{обс} + T_{воп} + T_{тп} + T_{нм} + T_{он} + T_{пу}, \quad (1.4)$$

де  $T_{пз}$  – Час на підготовчі та заключні операції: витрати на щоденне технічне обслуговування (ТО) агрегату, переміщення на початку і в кінці зміни, оформлення та здачу наряду.

$T_{пов}$  – Час на непродуктивні переміщення: холості пробіги та маневри розвороту.

$T_{то}$  – Тривалість технологічного обслуговування: заправка посівних комплексів, зміна транспортних одиниць тощо.

$T_{пер}$  – Час на переїзди: можливі переміщення між різними робочими ділянками.

$T_{обс}$  – Тривалість оперативного обслуговування у полі: перевірка якості роботи, необхідні технологічні коригування.

$T_{воп}$  – Час на відпочинок: перерви та особисті потреби працівників.

$T_{тп}$  – Витрати часу на усунення технологічних збоїв: очищення робочих частин від рослинних залишків, що заважають якісному виконанню роботи.

$T_{нм}$  – Час усунення несправностей: тривалість ремонту технічних поломок машин.

$T_{он}$  – Час простою через організаційні проблеми: затримки, пов'язані з управлінням.

$T_{пу}$  – Час простою через погодні умови: вимушені зупинки через несприятливі погодні фактори.

Для більш чіткої візуалізації структури загального часу робочої зміни машинно-тракторного агрегату (МТА) на основі рівняння (1.4) доцільно побудувати відповідну графічну схему (рис. 1.1).

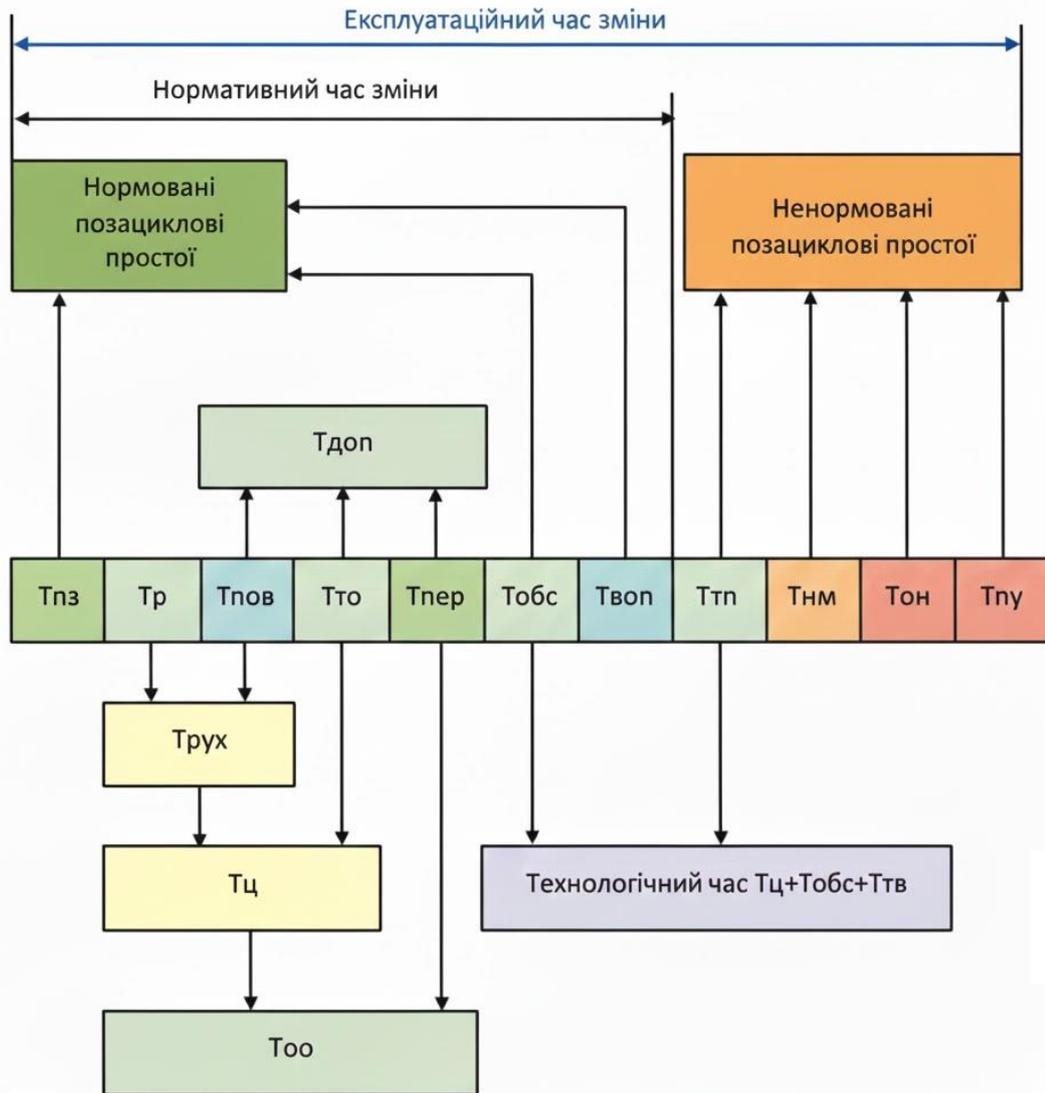


Рис. 1.1. Складові елементи з чого складається час зміни.

Наступним індикатором в оцінці використання техніки є експлуатаційні витрати. Цей показник відображає обсяг залучених ресурсів: праці механізаторів та допоміжного персоналу, паливно-мастильних матеріалів (ПММ), механічної енергії, фінансових коштів тощо. Розрахунок цього показника може проводитися як для однієї конкретної операції, так і для всього виробничого процесу в цілому. У другому випадку розмірність часто визначають як витрати енергії чи грошей на одиницю кінцевої продукції [19].

У рамках цього показника важливе місце займає термін «енерговитрати», який позначає механічну роботу, виконану машинно-тракторним агре-

гатов. Розрізняють загальні та питомі енергетичні витрати. Для більшості розрахунків використовують саме питомі витрати, які визначають як кількість витраченої енергії на одиницю площі чи іншу одиницю виконаної роботи. Тому для їх вимірювання застосовують такі одиниці, як кВт\*год/га, Дж/т, т\*км тощо.

За режимом виконання роботи енергетичні витрати класифікують на такі групи:

- ❖ Витрати під час робочого процесу;
- ❖ Витрати під час холостого ходу та зупинок;
- ❖ Сукупні витрати за весь час зміни.

Залежно від типу потужності, що використовується в роботі, енерговитрати поділяють на:

- ❖ Тягові (необхідні для переміщення);
- ❖ Приводні (для руху робочих органів);
- ❖ Ефективні;
- ❖ Індикаторні;
- ❖ Повні;
- ❖ Корисні.

Окрім перелічених класифікацій, енерговитрати також поділяються на фактичні, номінальні та нормативні.

Фактичними називають ті витрати, які відбуваються у певний момент часу. Наприклад, під час роботи агрегату на різних швидкостях у розрахунок беруться відповідні показники потужності. Це дозволяє точно визначити реальну витрату палива, продуктивність МТА тощо.

Номінальні — це енерговитрати, розраховані на основі номінальної потужності техніки. Їх зазвичай використовують для планування необхідної кількості енергетичних засобів (наприклад, палива).

Нормативні енерговитрати — це витрати, розраховані на основі нормативної потужності. Вони необхідні для встановлення норм виробітку та норм витрати палива для виконання конкретних агротехнічних операцій.

Наступним індикатором застосування машин, який ми розглянемо, є екологічність. Цей показник має високу значущість при виборі та формуванні оптимальних машинно-тракторних агрегатів [14].

Для оцінки екологічної безпеки виробничого процесу прийнято використовувати методологію енергетичного аналізу технологічних систем. Вона оперує енергетичними одиницями. Під час обчислень враховується два основні припущення:

1. Кожен матеріальний об'єкт містить у собі певну сумарну енергію (як власну, так і витрачену на його створення).
2. Усі дії (як корисні, так і негативні) можна кількісно оцінити через витрати сукупної енергії.

Виходячи з цих вихідних положень, для розрахунку енергоємності фізичних об'єктів застосовується наступна формула:

$$E_i = \alpha_i \cdot M_i, \quad (1.5)$$

де  $E_i$  – Кількість сукупної енергії, що міститься в  $i$ -му матеріальному об'єкті, у Джоулях (Дж).

$\alpha_i$  – Енергетичний еквівалент одиниці маси чи об'єму  $i$ -го об'єкту, наприклад, у Дж/кг, Дж/л, Дж/м<sup>3</sup>;

$M_i$  – Кількісна характеристика об'єкта, наприклад, у кілограмах (кг), літрах (л), кубічних метрах, кг, л, м<sup>3</sup>.

У контексті ресурсомісткості технологічних процесів, одним із найбільш важливих аспектів є витрачання технологічних матеріалів (таких як насіння, пестициди, добрива), чий енергетичний еквівалент є досить значним. У разі їх нераціонального використання загальна енергоємність виробництва сільськогосподарської продукції суттєво зростає.

У аграрному секторі земля відіграє провідну роль у створенні продукції, тому збереження та поліпшення її корисних якостей є пріоритетним завданням для фермерів. Однак на практиці цей процес не тільки не завжди успішний, але й у більшості ситуацій діяльність людини погіршує стан ґрунтів. Наприклад, академік Г. Ковда встановив, що одно- чи дворазовий прохід машинно-

тракторного агрегату по поверхні поля знижує здатність ґрунту пропускати вологу (в коліях) більш ніж у 50 разів. Це призводить до втрати врожайності в межах 8-25%. Таким чином, дотримання екологічних стандартів безпосередньо впливає на обсяг та якість вирощуваної сільськогосподарської продукції [20].

Показники якості виконання робіт повинні забезпечувати повне дотримання технологічного регламенту використання машин. Це досягається шляхом неухильного виконання агротехнічних вимог для кожної технологічної операції.

Для кожного виду робіт існують спеціальні правила та умови їх проведення, включаючи заборони та допустимі відхилення. Наприклад, для одних операцій перекриття робочих ділянок дозволене (обробка ґрунту, внесення добрив, збирання врожаю), а для інших — неприпустиме (обприскування). Також для деяких робіт погодні умови не мають критичного значення (протруювання насіння), тоді як для інших є визначальним фактором (підбирання сіна).

Крім того, агротехнічні нормативи можуть залежати не лише від типу операції, але й від інших умов. Наприклад, при сівбі кукурудзи відхилення глибини висіву на 10 мм вважається прийнятним, тоді як для насіння буряка це недопустимо.

Оцінка якості проведених технологічних операцій здійснюється шляхом розрахунку коефіцієнта дотримання встановлених нормативів якості та своєчасності робіт  $k_{\text{я}}$ . Він визначається за формулою:

$$k_{\text{я}} = k_{\text{св}} \cdot \sum_1^n \lambda_i \cdot p_i, \quad (1.6)$$

де  $k_{\text{св}}$  – Коефіцієнт своєчасності виконання робіт.

$\lambda_i$  – значення впливу  $i$ -го нормативного показника;

$p_i$  – показник значення імовірності дотримання, нормативних значень  $i$ -го показника.

Вагомість кожного з критеріїв якості може змінюватися в різних діапазонах  $i$ , як правило, залежить від характерних особливостей використовуваних сортів, зональних умов та інших чинників. Найчастіше коефіцієнти вагомості

встановлюються або за методом експертних оцінок, або на підставі результатів спеціалізованих наукових досліджень.

### **1.3. Шляхи підвищення показників використання техніки**

Оскільки індикатори використання машин мають тісний взаємозв'язок, поліпшення одного з них може сприяти зростанню іншого, або ж, навпаки, призвести до його зниження. Для досягнення їхньої оптимізації використовують такі підходи:

- Комплексні телематичні системи та програмне забезпечення;
- Автономні наземні платформи і повітряні апарати для збору необхідних даних;
- Спеціальні заходи, спрямовані на послаблення тиску на ґрунтовий покрив;
- Точне (диференційоване) виконання обробітку, посіву та внесення поживних речовин і засобів захисту.

Далі розглянемо детально кожен із цих пунктів.

Телематичні комплекси, які застосовуються в аграрному виробництві, націлені на підвищення ефективності машинно-тракторних агрегатів (МТА). Їхня функція полягає в передачі інформації про поточний стан техніки, її географічне положення, а також у можливості віддаленого керування. Це відкриває широкий спектр переваг:

1. Дистанційне діагностування обладнання, що скорочує час на виправлення неполадок чи ремонтні роботи (наприклад, коли виникають помилки в роботі трактора, сервісний фахівець може або вирішити проблему дистанційно, або встановити причину і підготувати необхідні засоби для виїзду). Прикладами таких платформ є JD Operations Center від John Deere, Claas Telematics від Claas та інші розробки [5].

2. Моніторинг місцезнаходження техніки, ключових параметрів та режимів її експлуатації для оперативного корегування процесів і прискорення їх

виконання (наприклад, можливість оптимізувати логістику транспортування врожаю з поля, щоб звести до мінімуму простої техніки).

3. Автоматизація робочих операцій, які можуть виконуватися в безпілотному режимі, що зменшує навантаження на оператора і підвищує точність дотримання агротехнічних норм (створення електронної карти завдань на полі, за якою МТА буде рухатися автоматично, забезпечуючи мінімальні пропуски/перекриття та використовуючи максимально допустиму робочу швидкість). Таку функціональність пропонують телематичні системи від корпорації CNH – AFS (Case IH), PLM Connect (New Holland), а також вже згаданий JD Operations Centre та інші [5].

Залучення автономних платформ суттєво покращує індикатори використання техніки, оскільки з робочого процесу виключаються негативні чинники, пов'язані з присутністю людини. Таким чином, змінний виробіток зростає за рахунок відсутності витрат часу на фізіологічні потреби оператора, а використання машин може здійснюватися цілодобово. Від людини вимагається лише завантаження необхідних технологічних матеріалів.

Що стосується використання літальних апаратів (дронів/БПЛА), вони також здатні виконувати окремі технологічні завдання (наприклад, точкове обприскування), але переважно їх застосовують для збору детальної інформації про стан полів. До таких даних належать: засміченість ділянок бур'янами, рівень розвитку (вегетації) культур, ознаки їхньої захворюваності тощо. Це дає значну економію часу, оскільки агроному не потрібно обходити чи об'їжджати все поле; достатньо оглянути його з висоти, ідентифікувати «проблемні» або «цікаві» зони та зосередити увагу саме на них.

Наступний метод оптимізації полягає у зменшенні тиску, який чинять рушії машинно-тракторного агрегату на ґрунтовий покрив. Насамперед це підвищує екологічність аграрного виробництва, оскільки надмірне ущільнення має значний негативний вплив на стан ґрунтів і призводить до їхньої деградації. Наприклад, колісні трактори створюють тиск у межах 1.2-2.65 кг/см<sup>2</sup>, тоді

як гусеничні машини чинять значно менший тиск - 0.3 - 0.6 кг/см<sup>2</sup>, при тому, що допустима норма становить до 1 кг/см<sup>2</sup>.

Одним із ключових способів зниження тиску сільськогосподарської техніки на поверхню землі є збільшення площі контакту рушіїв із ґрунтом. Це може бути реалізовано кількома шляхами, а саме через використання:

1. Здвоєних коліс (двоколісні системи);
2. Шин із низьким внутрішнім тиском;
3. Гусеничних або напівгусеничних рушіїв.

Основні переваги першого методу (здвоєних коліс) — це відносна простота переобладнання та очевидне зменшення питомого тиску. Однак його недоліками є збільшення матеріаломісткості конструкції та габаритних розмірів. Крім того, при дублюванні передніх коліс виникає додаткове навантаження на рульовий механізм і трансмісію трактора [14].

Застосування шин низького тиску дозволяє уникнути недоліків попереднього варіанту, але ефект від цього рішення щодо зменшення тиску на поверхню землі є менш вираженим.

Останній зі згаданих методів (використання гусениць) вважається найбільш результативним, оскільки гусенична техніка чинить на ґрунт удвічі менший тиск, ніж її колісні аналоги. Однак вона має вищу вартість, а сучасні гумові гусениці не призначені для експлуатації на дорогах із якісним покриттям і швидко зношуються під час руху по них.

Високоєфективним способом підвищення показників використання машин є диференційоване (точне) виконання сільськогосподарських операцій.

Так, обробка ґрунту на різну глибину одночасно підвищує продуктивність агрегату і скорочує питому витрату палива на цю операцію. Це досягається за рахунок поверхневого обробітку верхнього шару в тих зонах, де ґрунт не є ущільненим, і, навпаки, заглиблення робочих органів там, де потрібне інтенсивніше розпушення. Прикладами такої техніки є комплекс Case IH MX310 + Ecolo-Tiger 530 з використанням індуктивного сенсора TopSoil Mapper, або John Deere 8340RT + GRS 5 з попередньо заданою картою глибини обробітку.

Диференційований висів дозволяє зменшити норму використання посівного матеріалу в тих місцях, де потенціал росту рослин є низьким, і збільшити її там, де умови оптимальні. Це забезпечує повноцінне насичення культур необхідними елементами для їх найкращого розвитку. Аналогічну функцію виконує і диференційоване внесення добрив [7].

Роздільне (точкове) внесення пестицидів сприяє покращенню як екологічної, так і фінансової складових: цільове використання хімікатів знижує шкідливий вплив на довкілля, а також скорочує загальні витрати на препарати.

При диференційованому виконанні робіт необхідно заздалегідь формувати електронні завдання для техніки, або ж застосовувати спеціалізовані датчики. Останні в режимі реального часу аналізують стан ключових факторів і автоматично налаштовують параметри виконання операції.

#### **1.4. Обґрунтування теми дипломної роботи**

Помітне підвищення показників використання машинно-тракторних агрегатів (МТА) традиційними способами стає дедалі складнішим. Причиною цього є те, що конструктивні можливості для збільшення ефективності функціонування МТА практично вичерпані. Наприклад, хоча ми все ще можемо нарощувати потужність і пропускну здатність комбайнів (це належить до технологічних рішень), фізичне збільшення ширини жаток до 20-25 м для оптимального завантаження молотарки є неможливим, оскільки це призведе до деформації конструкції. Отже, необхідно перейти до сучасних підходів, що включають цифрові методи контролю та управління. Це ж стосується і обмежень по ширині захвату ґрунтообробних машин, а також самохідних і причіпних обприскувачів.

Основною метою даного дослідження є підвищення загальної ефективності експлуатації МТА шляхом впровадження диференційованих технологічних рішень, які ґрунтуються на сучасних цифрових платформах.

**Завдання Дослідження**

Для досягнення цієї мети необхідно виконати такі ключові завдання:

- Проаналізувати наявні цифрові платформи, оцінити їхні переваги, недоліки та обмеження у використанні.
- Інтегрувати обґрунтовану (обрану) цифрову платформу у технологічний процес вирощування конкретної культури та здійснити розрахунок показників ефективності МТА.
- Розробити необхідні заходи з охорони праці при використанні техніки в умовах цифрового (точного) землеробства.
- Навести економічне обґрунтування запропонованих рішень та загального результату роботи.

### Висновки по розділу

У межах даного розділу було досліджено ключові індикатори залучення сільськогосподарської техніки (машиновикористання). Зокрема, було детально проаналізовано та інформативно охарактеризовано такі показники, як продуктивність, екологічність, експлуатаційні витрати та якість проведених робіт.

Були визначені та описані сучасні методи підвищення згаданих вище показників. Розкрито принципи їхньої дії, сильні та слабкі сторони, а також наведено конкретні приклади їхнього застосування. До цих прогресивних методів належать: телематичні комплекси та програмне забезпечення; автономні машини та безпілотні літальні апарати; заходи зі зменшення тиску на ґрунт; а також диференційовані технології виконання польових операцій.

Було встановлено, що однією з головних причин зниження врожайності (до 25%) є переущільнення ґрунту. Зокрема, при допустимій нормі тиску 1 кг/см<sup>2</sup>:

- Сучасний колісний трактор, наприклад John Deere 8310R, перевищує цю норму в 1,6 рази.
- Зернозбиральний комбайн Claas Tukanо 480 із заповненим зерном бункером перевищує норму більш ніж у 2,63 рази.

Крім того, втрати продуктивності, пов'язані з відсутністю телематичних систем, можуть сягати 4 - 6% за рахунок збільшення зон перекриття під час роботи та до 10% через недотримання оптимальних робочих швидкостей і втому механізатора.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИ І ОБЛАДНАННЯ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ В ТЕХНОЛОГІЯХ ЦИФРОВОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

#### 2.1. Основні відомості

Сучасний агропромисловий комплекс активно застосовує високопродуктивне обладнання, значна частина якого є імпортною. Часто аграрії, придбавши таку техніку (за порадами маркетологів чи самостійно), інвестують у додаткові дороговартісні функції та системи, призначені для впровадження елементів цифрового землеробства. Однак на практиці, через недостатнє розуміння їхніх можливостей, це обладнання використовується неефективно або не застосовується взагалі. Помилки трапляються на всіх рівнях: серед власників агрофірм, інженерно-технічного персоналу та безпосередньо механізаторів [14].

Як правило, більшість сільгоспвиробників асоціюють «точне землеробство» виключно з такими можливостями, як створення траєкторій паралельного руху (які на сучасній техніці можуть виконуватися повністю автоматично, включно з автокеруванням та розворотами), моніторинг обробленої площі, облік споживання пального на гектар тощо. Проте насправді, як точне, так і тим паче цифрове землеробство є значно ширшим поняттям і охоплює всі аспекти діяльності агропідприємства. Це включає:

- Бухгалтерський та техніко-технологічний облік використання машинно-тракторного парку.
- Створення карт урожайності полів.
- Формування карт-завдань (карт припису) для техніки.
- Реалізацію більш детальних технологічних операцій, таких як автоматичне відключення посівних/обприскувальних секцій для запобігання перекриттям, диференційоване внесення добрив, посівного матеріалу та засобів захисту рослин (ЗЗР).

Для підвищення коефіцієнта машиновикористання та загальної продуктивності україн необхідним є комплексне впровадження сучасних цифрових технологій в агрофірмах нашої країни. Застосування систем цифровізації від різних виробників дозволить збільшити рентабельність сільськогосподарського виробництва. Це завдання набуває особливої актуальності в умовах військового часу, коли існує реальна загроза національній продовольчій безпеці [18].

## **2.2. Ключові функції програмного забезпечення та обладнання, що використовуються в цифровому землеробстві**

Однією з основоположних і початкових функцій технічних засобів цифрового землеробства є збір, накопичення та наступний аналіз даних. До цих даних відноситься широкий спектр інформації: відомості про загальну площу земельного банку, конфігурацію ділянок і полів, поточні показники врожайності певної культури, ступінь твердості ґрунтів, а також їхній хімічний склад (вологість, концентрація макро- та мікроелементів, які є критично важливими для повноцінного росту і розвитку рослин) та інше.

Для ефективного збору даних про врожайність застосовують однойменні датчики врожайності. На сучасних комбайнах ці сенсори зазвичай розташовуються у зернових елеваторах. Існують два головні типи таких датчиків: механічні та оптичні. Перші функціонують за принципом визначення сили, з якою потік зерна вдаряється об чутливий елемент під час транспортування в бункер. Такими пристроями обладнана сільськогосподарська техніка більшості провідних світових виробників, як-от John Deere, Case, Massey Ferguson та інші. Другий тип, оптичний, використовує спеціальні світлочутливі сенсори для вимірювання кількості зерна на лопатях шнека. На основі отриманих даних про об'єм та вологість зібраного матеріалу визначається його фактична маса. Цю технологію активно використовує компанія Claas у своїх комбайнах [1].

Твердість ґрунту вимірюють за допомогою приладу, відомого як пенетрометр. Ці пристрої також поділяються на два види – механічні та електронні. Незважаючи на те, що механічний варіант відрізняється нижчою вартістю, простотою конструкції та високою надійністю, він не здатен забезпечити таку ж високу точність вимірювань і зручність в обробці зібраної інформації, як його електронний аналог.

Серед представників цифрових пенетрометрів вітчизняного виробництва можна виділити твердомір Skok Agro S600 (див. Рис. 2.1) [4]. Його конструкція включає: вимірювальний блок, щуп для підключення до тензодатчика, сам вимірювальний щуп, набір наконечників (1/2 дюйма для стандартних ґрунтів і 3/4 дюйма для піщаних або надмірно зволжених ґрунтів), а також пластину, що обмежує глибину занурення щупа. Додатково пенетрометр оснащений модулями GPS та GSM, що дозволяє дистанційно передавати дані про точне місцезнаходження точки дослідження та отримані показники твердості на певній глибині. Ця функція забезпечує швидке та максимально зручне отримання необхідної польової інформації, незалежно від поточного місця знаходження оператора.



Рис. 2.1. Загальний вигляд цифрового пенетрометра Skok Agro S600.

Для визначення вмісту макро- та мікроелементів у ґрунті необхідний відбір його зразків, після чого необхідні дані отримуються шляхом хімічного аналізу. На даний момент існують мобільні лабораторні станції, які можуть надати необхідну інформацію за відносно короткий час. Однак, як правило,

вони здатні визначити лише вміст окремих елементів. Для проведення більш комплексного та точного аналізу зразки ґрунту доставляються до спеціалізованих лабораторій, де проводяться подальші дослідження.

Оскільки ефективно цифрове землеробство неможливе без використання сучасної комп'ютерної техніки, виникає потреба в спеціалізованому програмному забезпеченні, що дозволяє опрацьовувати зібрану польову інформацію. Можливості цих програм не обмежуються виключно обробкою та зберіганням даних. Вони також використовуються для планування графіків проведення польових робіт та технічного обслуговування машин, створення завдань на технологічні операції (наприклад, карт-завдань), відстеження місцезнаходження та ключових робочих параметрів техніки в господарстві, розрахунку виробничих витрат та багатьох інших функцій. Наступні розділи присвячені більш детальному розгляду цих функцій.

### **2.3. Базові та розширені можливості програмного забезпечення для агробізнесу**

Функція зберігання необхідної інформації є фундаментальною для всіх програмних комплексів цифрового землеробства, оскільки ця технологія ведення агробізнесу спрямована на довгострокову перспективу. Відчутний економічний ефект від її впровадження можна отримати не раніше ніж на третій рік експлуатації, оскільки саме до цього часу формується достатня та необхідна база даних про стан ґрунтів і полів.

Наступною важливою можливістю є обробка та візуалізація зібраних даних. Інформація, отримана з різних джерел, збирається, систематизується та конвертується у форми, зручні для користувача, — це можуть бути таблиці або карти, залежно від конкретних потреб. Наприклад, для спеціаліста з бухгалтерського обліку більш простою та корисною буде інформація, представлена у табличному форматі [5]. Тоді як для інженера або агронома наочнішими та інформативнішими будуть карти полів, що дозволяють отримати необхідні дані щодо стану конкретної ділянки поля.

Карти полів можуть значно відрізнятися одна від одної залежно від типу інформації, яку вони відображають. Серед найбільш поширених розрізняють: карти врожайності, карти твердості ґрунтів, карти вмісту макро- та мікроелементів, карти рівня вегетації рослин (наприклад, індекс NDVI), карти фактичної витрати пального, карти вологозабезпеченості та інші.

Ще однією функцією програмного забезпечення для ведення цифрового землеробства є планування робіт. Завдяки цій можливості можна не лише обирати оптимальні терміни проведення тих чи інших технологічних операцій при вирощуванні культур, але й запланувати ремонт або технічне обслуговування машинно-тракторного парку господарства. Це дає змогу швидко побачити, які агрегати є задіяними у певному процесі, а які перебувають у резерві. Якщо користувач спробує призначити зайнятому агрегату інше завдання, програма сповістить його про те, що ця техніка вже виконує іншу задачу, уникнувши, таким чином, конфліктів у плануванні.

Створення задач на технологічні операції як функція доступна не в кожній програмі для цифрового землеробства. До тих, що її підтримують, належать потужні платформи, як-от JD Operation Center, PLM та AFS [3]. Ця функція надає можливість повного або напівавтономного виконання технологічних операцій, включаючи диференційований обробіток ґрунту, внесення добрив, пестицидів чи висів. Користь цієї можливості полягає в суттєвій економії задіяних ресурсів та збільшенні продуктивності техніки за рахунок мінімізації впливу людського фактору під час виконання польових робіт.

Можливість відстеження параметрів та місцезнаходження техніки є однією з найкорисніших функцій. Виробники агротехніки можуть бачити необхідні дані та аналізувати робочий процес для його подальшої оптимізації, завчасно попереджати власників про ймовірні несправності або наближення терміну технічного обслуговування (ТО), а також здійснювати дистанційне вирішення проблем з технікою та інше. Для власника або головного інженера господарства ці функції є не менш цінними. Наприклад, вони дозволяють покра-

щити логістичну складову під час збору врожаю: маючи дані про ступінь заповненості бункера комбайна та точне місцезнаходження вантажних автомобілів, що перевозять зерно, можна ефективно координувати їхню роботу. Ця функція, як і попередня, зазвичай доступна лише у програмах великих компаній-виробників сільськогосподарської техніки, що є однією з їхніх ключових конкурентних переваг.

На відміну від попередніх двох, можливість розрахунку витрат належить до базових функцій програм для цифрового землеробства. Це зумовлено відносною простотою її реалізації, тоді як її користь при плануванні бюджету господарства, розрахунку витрат і прогнозуванні надходжень важко переоцінити. Таким чином, аграрії можуть доволі легко прорахувати мінімальну ціну реалізації продукції, за якої виробництво не буде збитковим, або ж швидко визначити найбільш затратні статті під час вирощування тієї чи іншої культури.

Для початку доцільно розглянути, що саме являє собою телематика.

Телематика – це технологія, яка забезпечує передачу даних та інформації на значні відстані. Ця система активно використовується в багатьох сучасних сферах, і агробізнес не є винятком. У сільському господарстві телематичні рішення застосовуються з метою зниження собівартості кінцевої продукції. Це досягається за рахунок підвищення загальної продуктивності машин, зменшення витрат на їхнє технічне обслуговування, а також більш раціонального та економного використання ресурсів (наприклад, пального, добрив, ЗЗР) і тому подібне [14].

Більшість актуальних «аграрних» телематичних систем закономірно належать великим світовим корпораціям, які спеціалізуються на виробництві сільськогосподарської техніки. До них відносяться John Deere (з системою JD Operations Center), Claas (зі своїм рішенням Claas Telematics), а також CNH (що пропонує AFS та PLM Connect). Однак існують також програмні комплекси, розробники яких не є виробниками машин: це, наприклад, Cropwise, SMS, вітчизняна Skok Agro та інші. Далі деякі з цих систем будуть розглянуті більш детально.

John Deere Operations Center. Ця телематична система забезпечує виконання наступного комплексу функцій:

- Контроль технічного стану машин та їхнє місцезнаходження (див. Рис. 2.2). Це дає можливість власнику чи головному інженеру господарства в режимі реального часу відстежувати розташування та маршрут пересування техніки, а також її ключові технічні показники (рівень пального в баку, температура охолоджувальної рідини, можливі системні помилки тощо). Крім того, ці дані доступні для офіційного дилера, який у разі виникнення несправності може дистанційно надати рекомендації щодо її усунення або, наприклад, нагадати про необхідність проведення найближчого технічного обслуговування [2].



Рис. 2.2. Відображення місцезнаходження техніки господарства в програмі JD Link.

- Моніторинг процесу виконання роботи машинами, включаючи параметри роботи (час простою агрегату, фактична швидкість руху, ширина перекриттів при обробці, обсяг виконаної роботи та інше).
- Автоматичне виконання робіт агрегатом завдяки використанню підсистеми AutoTrac. Це дозволяє механізатору виконувати лише розвороти техніки під час роботи, або ж лише спостерігати за процесом, контролюючи його виконання.

- Створення карт полів та відображення проведених операцій. У програмному комплексі JD Operations Center користувачі можуть як створювати, так і завантажувати карти полів свого господарства. Під час проведення робіт колір поля автоматично змінюватиметься, позначаючи вид останньої виконаної операції. Якщо ж якась операція була розпочата, але не завершена, це також буде чітко відображено у програмі.
- Створення карт завдань на проведення робіт (див. Рис. 2.3). Застосування цього програмного забезпечення дає змогу створювати деталізовані задачі на виконання польових робіт, причому доступна велика кількість параметрів для точного регулювання процесу виконання операцій.

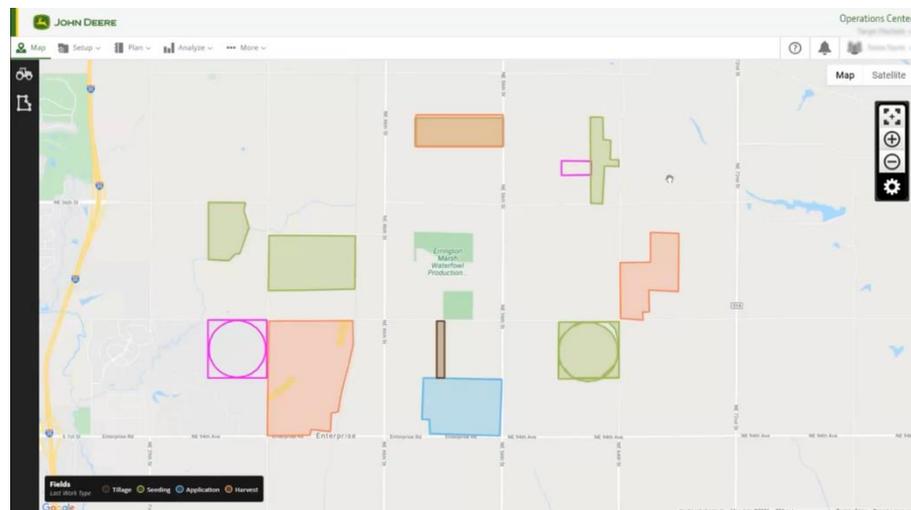


Рис. 2.3. Вигляд меню налаштування планування робіт у програмі JD Operations Centre.

- Бездротова передача даних з комп'ютера або іншого мобільного пристрою на монітор агрегату і, відповідно, у зворотному напрямку. Це функціонал дозволяє значно заощадити час на підготовку до виконання операцій, водночас значно спрощуючи сам процес.
- Перегляд архіву даних за попередні роки. Ця можливість дає змогу проводити ґрунтовний аналіз зібраної інформації для формування обґрунтованих висновків та подальшого планування та проведення тих чи інших робіт у майбутніх сезонах.

Крім того, JD Operations Center повністю підтримує стандарти ISOBUS, що робить можливим використання у ній не лише техніки, виробленої цим брендом, а й агрегатів інших виробників [2].

### Advanced Farming System (AFS)

AFS є телематичною системою, розробленою корпорацією Case IH. Вона є досить простою та інтуїтивно зрозумілою у використанні, хоча її інтерфейс має більш класичний вигляд у порівнянні з попередньо розглянутим рішенням (див. Рис. 2.4.).

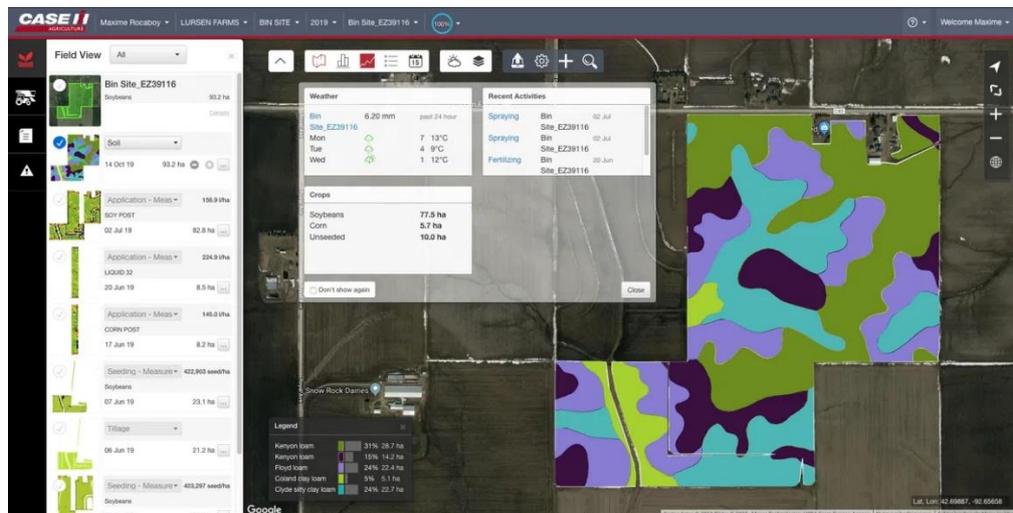


Рис. 2.4. Загальний вигляд інтерфейсу системи AFS.

Також, на відміну від JD Operations Center, ця програма встановлюється на персональний комп'ютер (веб-версія відсутня), і для початку роботи необхідне придбання спеціального ключа для входу в систему.

Значною перевагою AFS є наявність можливості ведення грошового обліку діяльності господарства. Для реалізації цього функціоналу при використанні посівних, паливно-мастильних матеріалів, добрив, хімікатів або інших ресурсів вноситься їхня вартість (Рис. 2.5). Далі, при плануванні операції та виборі норми витрати, система автоматично розраховує загальні фінансові витрати на ці ресурси. За аналогічним принципом вираховуються і доходи. Це

дає змогу точно прораховувати маржинальність вирощуваних культур і ефективно використовувати ці дані при плануванні посівної кампанії на наступний рік.

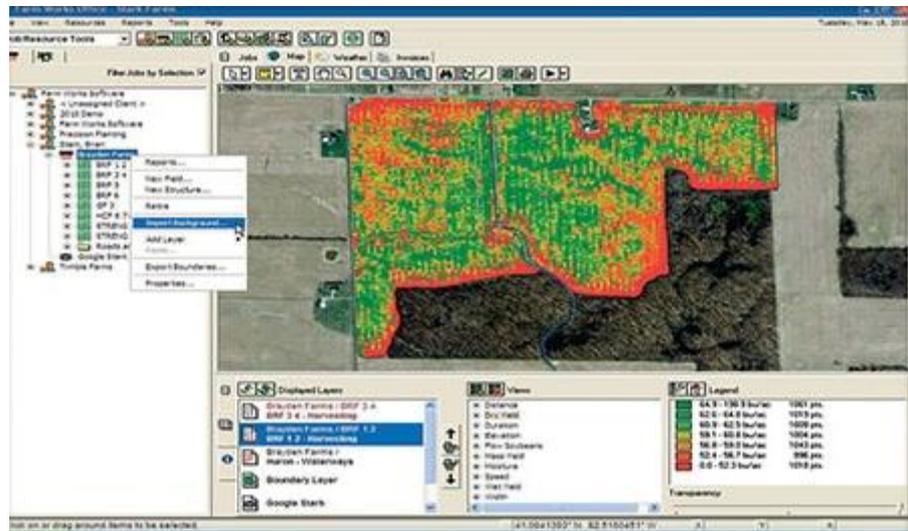


Рис. 2.5. Внесення даних про витратні матеріали у системі AFS.

Як і в JD Operations Center, в AFS вносяться повні дані про техніку господарства (причому можуть бути агрегати різних виробників), межі та карти полів, а також інформація про робітників, задіяних у процесі, та інше.

Для впровадження телематичних функцій у свої продукти Case IH користується обладнанням та послугами компанії Trimble. Ця фірма постачає монітори, комунікаційні антени, приймачі, кабелі та супутнє обладнання. Недоліком цього рішення є те, що для контролю різних параметрів потрібне використання різних моніторів. До того ж, деякі показники (зазвичай загального характеру, як-от кількість обертів колінчастого валу двигуна чи швидкість руху агрегату) можуть дублюватися на кожному з них, що негативно впливає на загальну інформативну спроможність робочого місця оператора.

Claas Telematics. Телематична система від німецької компанії Claas більш акцентована на покращення логістики господарства, скорочення часу простоїв техніки та збільшення її продуктивності.

Спочатку цю систему розробляли з метою підвищення ефективності роботи комбайнів під час збору врожаю за рахунок мінімізації часу очікування

на розвантаження бункера. Згодом вона отримала все більше додаткових функцій, які доступні зараз. Їхній набір регулюється ліцензією, яку необхідно оформити перед початком використання цього програмного забезпечення [1].

Загальний вигляд телематичної системи (Рис. 2.6). Базові можливості надає ліцензія Telematics basic, яка відкриває доступ до:

- Створення та огляду парку господарства (в тому числі через мобільний додаток);
- Отримання поточної інформації про місцезнаходження та переміщення техніки, її основні показники, а також етап виконання робіт;
- Перегляду поля на карті;
- Можливості дистанційної діагностики техніки офіційним дилером;
- Доступу до всіх хронологічних даних.

Наступною є версія Telematics advanced, яка додатково дозволяє:

- Створення звітів для детального аналізу використання техніки протягом робочого дня;
- Проведення оптимізації робочих процесів;
- Перегляд аварійних, сервісних та службових повідомлень;
- Огляд робочих завдань та їх деталізація.



Рис. 2.6. Інтерфейс у системі Claas Telematics.

Підписка Telematics professional є необхідною для:

- Оцінки продуктивності техніки та налаштування параметрів її роботи;
- Проведення прямих порівнянь та різноманітних видів аналізу;
- Отримання звітів кампанії по кожному типу машин.

Кожна наступна версія Claas Telematics включає в себе функціонал попередньої, тому відповідно, ціна на них зростає разом із можливостями.

**Cropwise.** Телематична система Cropwise від компанії Syngenta, як і деякі інші, має більш вузьконаправлену спеціалізацію, а саме – на агрономічний напрямок. Таким чином, вона надає такі функції, як [3]:

- Відображення рівня індексу вегетації рослин (NDVI) на полі;
- Зберігання даних про стан ґрунтів (вологість, вміст макро- та мікроелементів, температура та інше);
- Прогнозування врожаю та визначення причин його можливих втрат;
- Планування сівозмін;
- Зберігання та обробка даних, отриманих з безпілотних літальних апаратів, супутникових систем, метеостанцій та різноманітних датчиків.

Щодо телематичних функцій, вони є поширеними і в інших подібних системах, включаючи можливості:

- Складання погодинних планів на проведення робіт для кожної окремої машини;
- Перегляд показників виконання робіт та сповіщення про порушення режимів їхнього проведення (якщо було задано допустимі значення показників) у режимі реального часу;
- Зберігання даних про виконану роботу;
- Налаштування датчиків для збору інформації окремо один від одного, що сприяє отриманню більш точних даних.

Як видно з можливостей цієї системи, для більш ефективного впровадження цифрового землеробства її доцільно використовувати у комбінації з іншими, раніше розглянутими програмами.

Постійний моніторинг виробничої ситуації в режимі реального часу дозволяє підвищити коефіцієнт використання техніки протягом робочої зміни. У

результаті, один з ключових показників машиновикористання – продуктивність МТА – набуває більших значень, ніж при застосуванні традиційних підходів до землеробства. У таблиці 2.1 наведено порівняльні значення ефективності використання техніки з технологіями цифрового землеробства та без.

Таблиця 2.1

Орієнтовні значення коефіцієнта ширини захвату  $k$ 

Технологічна операція яка виконується	Значення коефіцієнту $k$	
	Цифрове землеробство	Традиційне землеробство
Збирання врожаю	0,99	0,96
Культивація ґрунту	0,99	0,95

Уся інформація, зібрана бортовими комп'ютерами техніки, надходить на центральний сервер, звідки вона контролюється та обробляється відповідним різноманітним обладнанням.

Skok Agro. Система Skok Agro має найвужчу спеціалізацію з усіх раніше згаданих рішень, оскільки вона реалізована виключно у веб-версії і слугує для отримання, зберігання та відображення даних про твердість ґрунтів. Ці дані збираються за допомогою пенетрометра виробництва цієї ж фірми – Skok Agro S600.

Даний пенетрометр дає можливість вимірювати твердість ґрунту на глибині до 60 см, фіксуючи значення через кожен сантиметр глибини. Після завершення замірів, інформація з приладу відправляється на сервер компанії через вбудовану GSM-антену. Зібрані дані включають точне географічне місцезнаходження точки виміру та значення тиску, з яким стрижень пенетрометра проходив крізь ґрунт [4].

Надалі ця інформація в системі Skok Agro конвертується у карти твердості ґрунтів (Рис. 2.7). Вони можуть відображати значення твердості для всього поля на цікавлячій нас глибині (у межах вимірів) або ж надавати деталізовані дані для окремої точки, де проводився дослід. При перегляді такої точки мо-

жна побачити графік залежності твердості ґрунту від глибини. Це надає можливість проаналізувати правильність попередніх проведених на полі операцій та обґрунтовано планувати наступні.

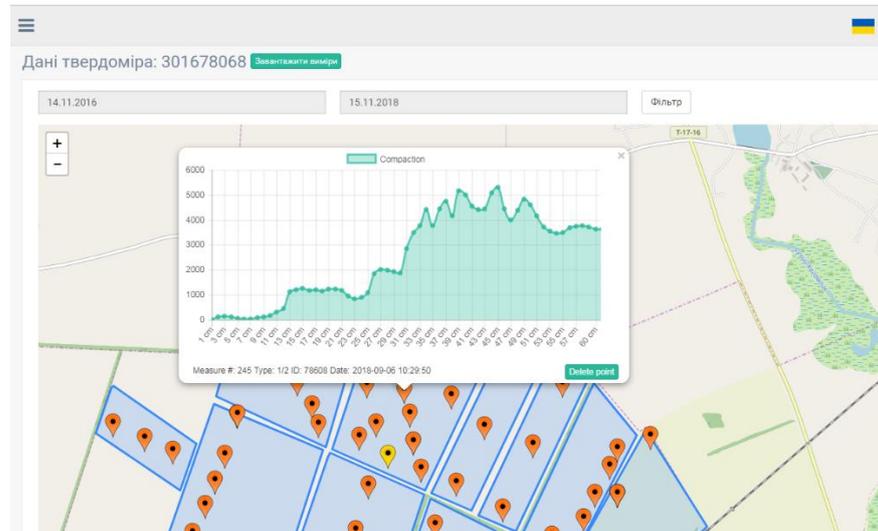


Рис. 2.7. Карти твердості ґрунтів у Skok Agro

Всі зібрані дані доступні для експорту з програмного сайту у форматі Shape, який легко зчитується більшістю інших систем цифрового землеробства, що дозволяє використовувати їх у подальшій роботі.

### Висновки по розділу

У цьому розділі було детально розглянуто ключові функції програмного забезпечення та обладнання, які застосовуються у цифровому землеробстві. Зокрема, йшлося про збір різноманітних даних щодо стану полів і техніки господарства, можливості планування робіт та створення детальних задач на їхнє виконання, а також розрахунок економічних показників агропідприємства.

Великі корпорації, які є виробниками сільськогосподарської техніки, пропонують власні комплексні телематичні системи (JD Operations Center, AFS), які охоплюють більшість необхідних функцій для повноцінного ведення цифрового землеробства. Водночас, існують і більш вузькопрофільні програми (Cropwise, Skok Agro), які пропонують певні види послуг на вищому рівні спеціалізації.

## РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

### 3.1. Програма досліджень

У рамках проведення комплексного дослідження умов вирощування сільськогосподарських культур було застосовано сучасні інструменти точного цифрового землеробства, що забезпечують інтегроване поєднання геопросторової інформації, супутникової аналітики та агротехнологічних даних.

Первинним етапом дослідження стало формування цифрових контурів усіх експериментальних ділянок у вебсервісі Agroprofile (Рис. 3.1). Окрім демонстраційного прикладу поля «Чорнозем 1», представленого на супутниковому зображенні, було створено цифрові моделі ще двох виробничих полів, які безпосередньо залучалися до експерименту. Перше з них було засіяне озимою пшеницею, друге – озимим ячменем, а третє – соняшником, що забезпечило можливість порівняльного аналізу трьох різних культур у різних ґрунтово-кліматичних умовах протягом одного вегетаційного періоду.

Формування точних топографічних меж кожного поля дозволило прив'язати всі наступні аналітичні операції до реальних географічних координат та усунути похибки, пов'язані з просторовою невизначеністю. Саме створення цифрових контурів є ключовою передумовою коректного зонального аналізу, оскільки така прив'язка забезпечує структуроване накладання даних щодо типів ґрунтів, стану рослинності, супутникових індексів, мікрокліматичних змін та оперативних агротехнологічних заходів. У результаті було створено повністю інтегровану цифрову модель трьох полів, що забезпечила основу для подальшого аналізу їхнього фактичного стану та визначення просторових закономірностей росту кожної культури.

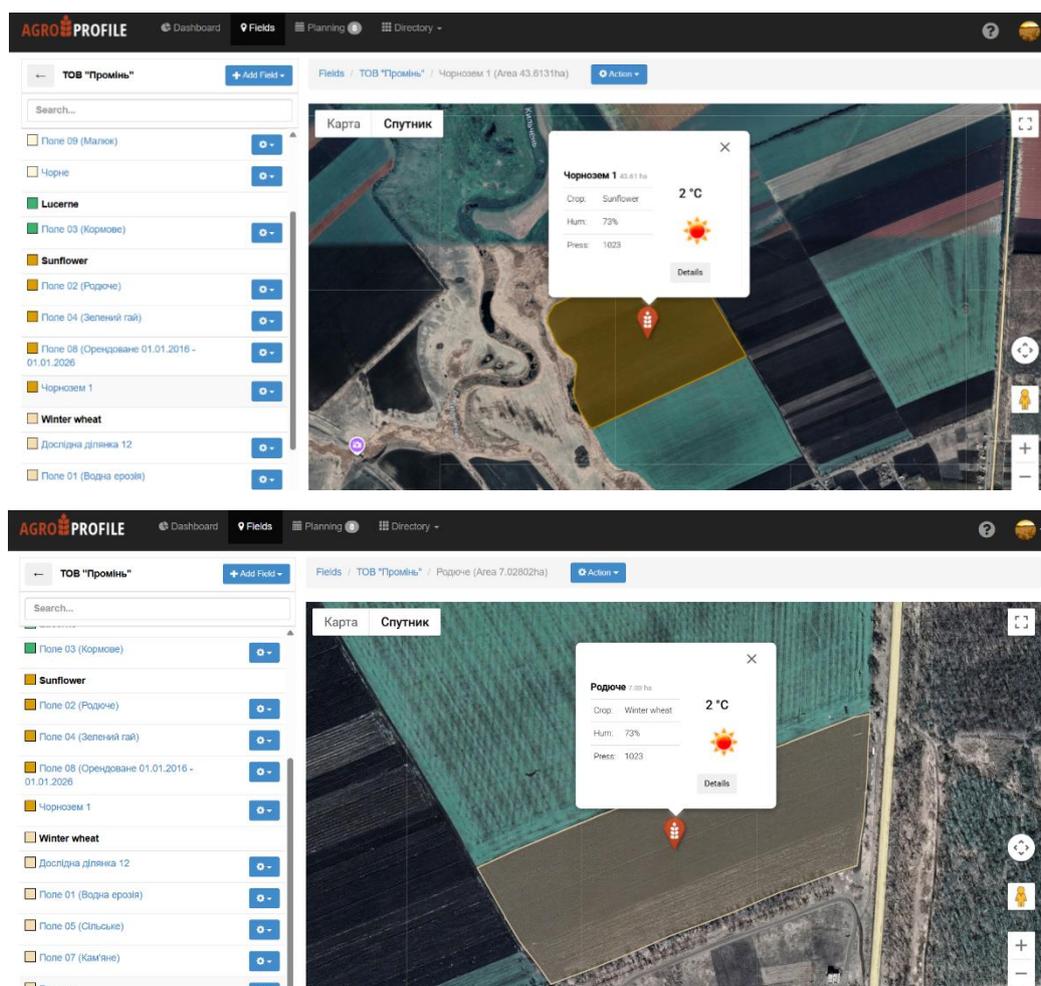


Рис.3.1 Зображення створених карт полів в середовищі Agroprofile

Наступним кроком дослідження було застосування сервісу OneSoil для супутникового моніторингу стану рослинного покриву на полі «Чорнозем 1» (Рис.3.2). Особлива увага була приділена аналізу індексу NDVI, що відображає інтенсивність фотосинтетичної активності та стан вегетації. На супутниковому зображенні, датованому 6 липня 2025 року, спостерігається контрастність рослинної маси по всій площі поля: одні ділянки характеризуються підвищеним значенням NDVI (переважно червоні та жовті сегменти), що свідчить про інтенсивний ріст вегетативної маси; інші ж демонструють знижені показники (зони зеленого та синього кольору), що може бути наслідком недостатнього живлення, вологи або локальних ґрунтових обмежень. Просторова не-

однорідність рослинності є типовим індикатором різних агротехнічних потреб, а її детальний аналіз дає підстави для диференційованого підходу до управління полем.

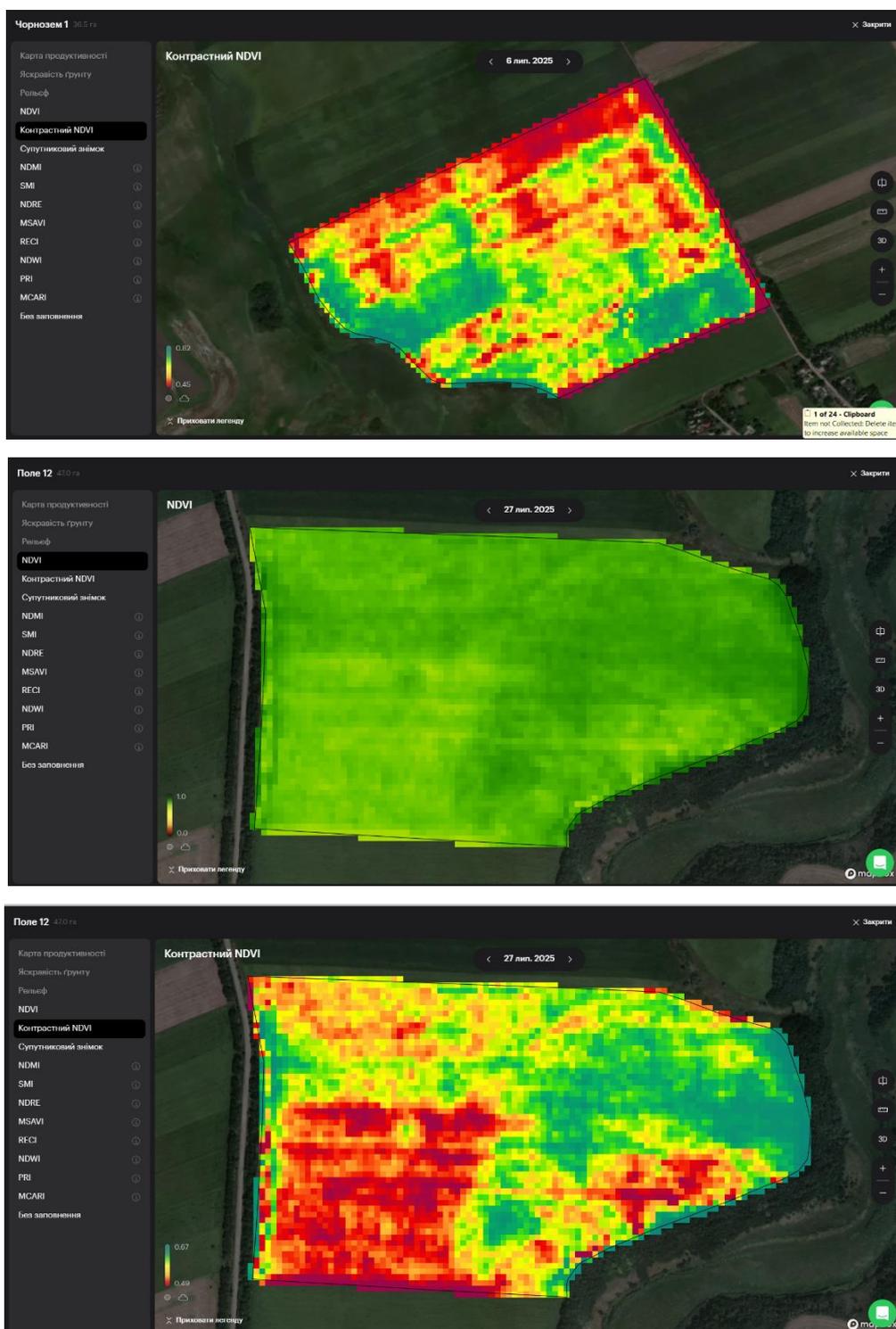


Рис. 3.2. Аналіз показників індексу зеленої маси у середовищі One Soil

Виявлені відмінності у щільності та інтенсивності росту рослинної маси дозволяють обґрунтувати доцільність застосування технологій диференційованого внесення добрив та засобів захисту рослин. Зокрема, ділянки з підвищеною біомасою потребуватимуть дещо більшого об'єму азотних підживлень типу КАС, оскільки інтенсивна вегетація пов'язана з підвищеним споживанням елементів живлення. Натомість зони з ослабленою рослинністю вимагатимуть зменшених норм внесення або ж попереднього встановлення причин відставання у рості (нестача вологи, ущільнення ґрунту тощо). Аналогічний підхід стосується і внесення засобів захисту від шкідників: висока густина вегетативної маси створює сприятливі умови для локальних осередків ураження, тому такі зони можуть потребувати підвищених доз препаратів. Таким чином, супутникові дані слугують не лише для фіксації стану посівів, а й для формування підґрунтя для економічно обґрунтованих і екологічно ефективних агротехнічних рішень.

Додатковим елементом дослідження стала оцінка кліматичних факторів, що впливали на розвиток культури упродовж вегетаційного періоду (Рис. 3.3). Згідно з даними OneSoil, за сезон накопичені ефективні температури сягнули +3036 °С, а сумарний обсяг опадів становив 363 мм. Графічна динаміка свідчить про те, що найбільш активне зростання температур відбувалося у період із травня по серпень, що відповідає фазам активної вегетації та інтенсивного наростання зеленої маси. На цьому етапі культура отримала найбільший тепловий ресурс, який є критичним для формування продуктивності. Натомість розподіл опадів протягом року був нерівномірним: помітне перевищення приросту фіксується у весняні місяці, тоді як у літній період відзначалася більш стримана динаміка.

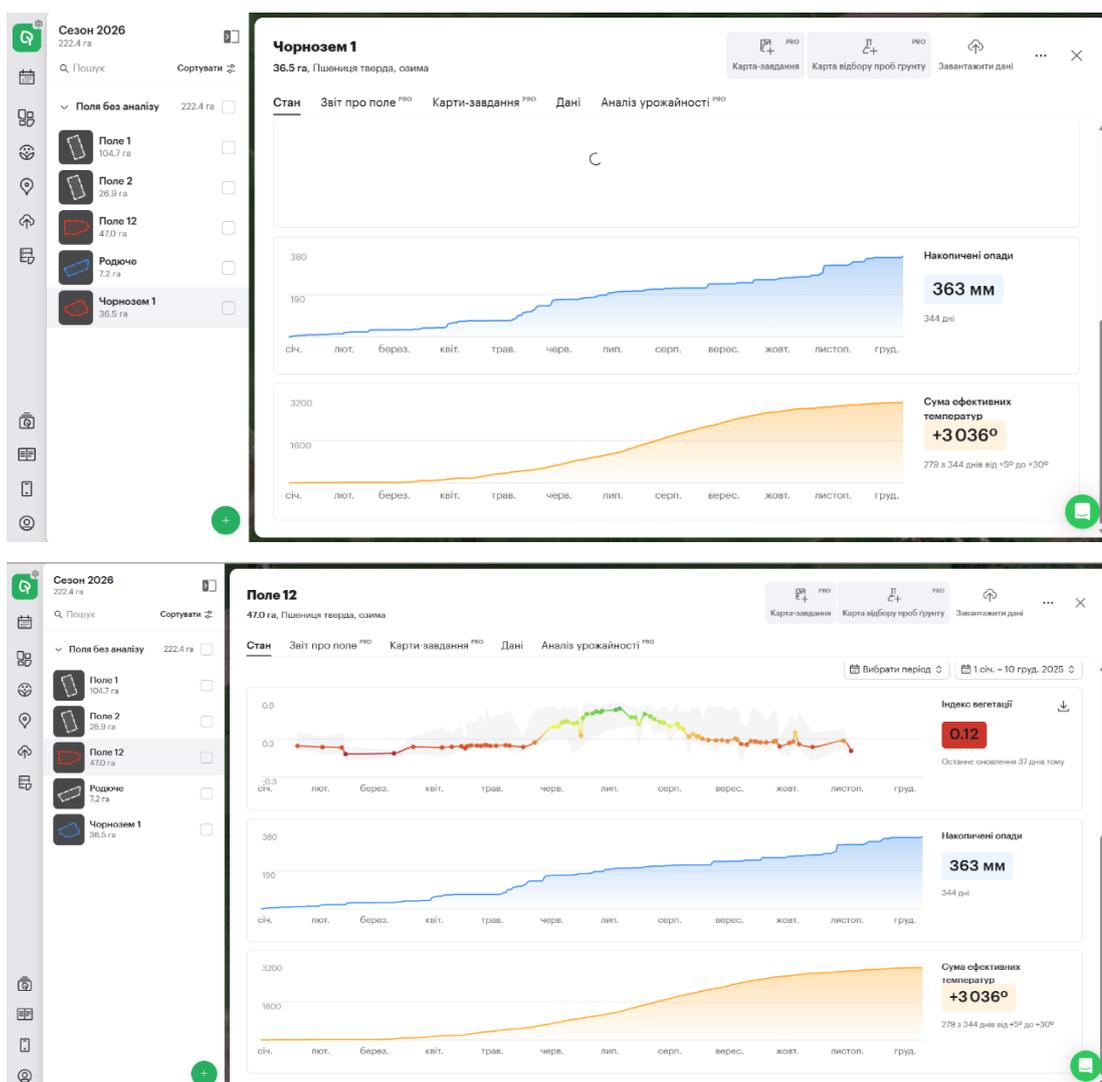


Рис. 3.3. Показники кліматичних змін на розвиток рослин в середовищі OneSoil

Така ситуація могла потенційно спричинити частковий дефіцит вологи на етапі максимального росту біомаси, що також могло проявитися у зниженні NDVI на окремих ділянках поля. Отже, інтеграція температурних та опадових показників дає змогу більш точно зіставити кліматичний вплив із фактичним станом рослин на супутникових знімках.

У підсумку, поєднання інструментів просторово-цифрового землеробства — від картографування полів у Agroprofile до детального аналізу вегетації та кліматичних факторів у OneSoil — створило цілісну наукову основу для оцінювання фактичного стану посівів та обґрунтування технологічних рішень.

### 3.2. Методика проведення досліджень диференційного внесення добрив та засобів захисту рослин

У рамках комплексного дослідження ефективності технологій точного землеробства було здійснено порівняльний аналіз двох підходів до внесення мінеральних добрив та хімічних засобів захисту рослин: постійної норми внесення та диференційного внесення, ґрунтованого на просторовій неоднорідності ґрунтового-рослинного покриву. Для цього були використані три дослідні поля, відмінні за культурою вирощування та агрофізичними характеристиками:

- Поле 1 — «Чорнозем 1» (озима пшениця)
- Поле 2 — «Поле 12» (озимий ячмінь)
- Поле 3 — поле із вирощуванням соняшнику

Побудова таких цифрових контурів є критично важливою передумовою для подальшого просторового аналізу, оскільки забезпечує можливість виконання зональної діагностики стану ґрунтів і посівів, визначення потенціалу врожайності та оптимізації використання ресурсів.

Для кожного поля виконувалося створення зон продуктивності за даними:

- супутникових індексів NDVI/NDRE за 3 роки;
- рельєфу та мікрорельєфу;
- попередніх врожаїв.

На основі зони класифікувалися на 3 рівні продуктивності:

- Зона А (висока продуктивність)
- Зона В (середня продуктивність)
- Зона С (низька продуктивність)

Для кожної зони визначалась оптимальна норма внесення NPK та корегована норма ЗЗР, що враховувала:

$$N_i = N_0 * K_3 \quad (3.1)$$

$N_i$  — норма внесення у зоні і;

$N_0$  — базова рекомендована норма;

$K_z$ — коефіцієнт корекції (0.75; 1.00; 1.25).

Дані показників норм внесення наведено ц таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Значення показників норм внесення залежно від ділянки поля

Зона	Коефіцієнт	Базова норма НРК (кг/га)	Диференційна норма (кг/га)
А	1.25	120	150
В	1.00	120	120
С	0.75	120	90

За умовою беремо площу дослідного поля  $A = 36,5$  га (поле «Чорнозем 1»). Для інших полів, числа легко масштабуються пропорційно.

Для диференційного підходу поле поділено на три класи по NDVI/біомасі (із супутникового аналізу): High (висока біомаса), Medium (середня), Low (низька). Приймаємо розподіл, який відповідає візуальному вигляду карт: High = 30%, Medium = 40%, Low = 30% від площі поля.

- $S_{\text{High}} = 0.30 \cdot 36.5 = 10.95$  га.
- $S_{\text{Medium}} = 0.40 \cdot 36.5 = 14.60$  га.
- $S_{\text{Low}} = 0.30 \cdot 36.5 = 10.95$  га.

Рекомендована базова норма азоту для соняшнику  $N = 80$  кг N/га.

Диференційні корекції:

- High: +20% →  $N_H = 1.20 \cdot 80 = 96$  кг N/га.
- Medium: 100% →  $N_M = 80$  кг N/га.
- Low: -30% →  $N_L = 0.70 \cdot 80 = 56$  кг N/га.

Рідке добриво — КАС (KAS) з вмістом N = 32% (KAS-32); густина КАС приймаємо  $\rho = 1,32$  кг/л (типове значення для розчину).

Формула перетворення: маса КАС (кг/га) =  $N_{\text{га}} / 0.32$ ; об'єм (л/га) = маса (кг/га) /  $\rho$ .

Розрахунок — добриво (КАС, КАС-32)

Норма КАС на 1 га у кожній зоні

High (96 кг N/га):

$$\text{маса КАС}_H = 96 / 0.32 = 300,00 \text{ кг КАС/га.} \quad (3.2)$$

$$\text{об'єм КАС}_H = 300,00 / 1,32 = 227,27 \text{ л/га.}$$

Medium (80 кг N/га):

$$\text{маса КАС}_M = 80 / 0.32 = 250,00 \text{ кг КАС/га.} \quad (3.3)$$

$$\text{об'єм КАС}_M = 250,00 / 1,32 = 189,39 \text{ л/га.}$$

Low (56 кг N/га):

$$\text{маса КАС}_L = 56 / 0.32 = 175,00 \text{ кг КАС/га.} \quad (3.4)$$

$$\text{об'єм КАС}_L = 175 / 1,32 = 132,58 \text{ л/га.}$$

Загальна потреба по полю (за зонами)

High (10,95 га):

$$\text{Маса total}_H = 300,00 \cdot 10,95 = 3\,285,00 \text{ кг.} \quad (3.5)$$

$$\text{об'єм total}_H = 227,27 \cdot 10,95 = 2\,488,60 \text{ л.}$$

Medium (14,60 га):

$$\text{Маса total}_M = 250,00 \cdot 14,60 = 3\,650,00 \text{ кг.} \quad (3.6)$$

$$\text{об'єм total}_M = 189,39 \cdot 14,60 = 2\,765,99 \text{ л.}$$

Low (10,95 га):

$$\text{Маса total}_L = 175,00 \cdot 10,95 = 1\,916,25 \text{ кг.} \quad (3.7)$$

$$\text{об'єм total}_L = 132,58 \cdot 10,95 = 1\,451,98 \text{ л.}$$

3) Суми по полю (36,5 га)

$$\text{Маса КАС}_{\text{total}} = 3\,285,00 + 3\,650,00 + 1\,916,25 = 8\,851,25 \text{ кг КАС.} \quad (3.8)$$

$$\text{об'єм КАС}_{\text{total}} = 2\,488,60 + 2\,765,99 + 1\,451,98 = 6\,706,57 \text{ л КАС.}$$

Отже, для реалізації диференційованого підживлення по карті на полі А=36,5 га потрібно = 6,71 тис. літрів КАС-32 (= 8,85 тис. кг маси).

Для проведення диференційованого підживлення посівів була визначена потреба у рідкому азотному добриві КАС-32 окремо для кожної з виділених зон продуктивності. Оскільки КАС-32 містить 32% азоту, усі норми підживлення переводилися у фактичну масу та об'єм добрива, необхідні для забезпе-

чення відповідної кількості діючої речовини на 1 гектар. У зоні з високим рівнем вегетаційного розвитку запланована норма становила 96 кг N/га. Відповідно маса КАС, необхідна для внесення такої кількості азоту, дорівнює 300 кг/га, що після перерахунку через густину добрива (1,32 кг/л) відповідає об'єму 227,27 л/га. Для зони середньої продуктивності, де рекомендована норма становила 80 кг N/га, маса КАС склала 250 кг/га, що відповідає 189,39 л/га. У зоні низької забезпеченості норма становила 56 кг N/га, що у перерахунку на добриво становить 175 кг/га або 132,58 л/га.

Після визначення гектарних норм було розраховано загальну потребу в добриві з урахуванням площі кожної зони. У зоні High площею 10,95 га сумарна маса КАС становила 3,285 т, що відповідає 2 488,60 л розчину. У зоні Medium площею 14,60 га потреба склала 3,65 т або 2 765,99 л. У зоні Low площею 10,95 га необхідна маса добрива становила 1,916 т, що у перерахунку на об'єм дає 1 451,98 л.

У підсумку, для поля загальною площею 36,5 га загальна маса рідкого добрива КАС-32, необхідна для виконання диференційованого підживлення відповідно до карти-завдання, становить 8,851 т. У перерахунку на об'єм це дорівнює 6 706,57 л. Відповідно, для практичної реалізації технології диференційованого внесення необхідно забезпечити орієнтовно 6,7 тис. літрів КАС-32, що еквівалентно 8,85 т добрива у масовому вираженні.

Агрегат для внесення добрив - самохідний обприскувач John Deere M4040 - обладнаний штангою шириною 30,5 м та потужним насосом з пропускною здатністю 356 л/хв. Такі параметри забезпечують стабільну роботу як у режимі постійної подачі, так і у технологіях точного землеробства, де необхідне оперативне змінювання норми внесення. Система автоматичного контролю норми дозволяє працювати за прескрипшн-картами у форматах .shp або .isoXML, забезпечуючи точну відповідність подачі добрива до картографічних даних. Просторове положення машини визначається за допомогою GPS-навігації з RTK-корекцією, що дає змогу з високою точністю перемикатися між

зонами різної норми внесення та уникати перекриттів. Операція внесення здійснюється у фазі передбаченого підживлення культури одним робочим проходом по всій ділянці.

Загальний обсяг добрив, необхідний для виконання робіт, становить близько 6 707 л. З огляду на те, що місткість штатного бака John Deere M4040 дорівнює 4 000 л, операцію неможливо виконати за одну заправку. Машина потребуватиме повного наповнення резервуара перед початком робіт і додаткової часткової заправки приблизно на 2,7 тис. л. Тому перед виїздом у поле необхідно організувати логістичне забезпечення - підвезення добрив автоцистерною або їхню наявність на краю поля для оперативного дозаправлення.

З огляду на конструктивні можливості машини робоча швидкість становить 30 км/год, що при ширині захвату 30,5 м забезпечує теоретичну польову продуктивність близько 91,5 га/год. Проте у реальних умовах, з урахуванням розворотів на краях поля, часу стабілізації тиску та частих змін норми відповідно до карти-завдання, продуктивність становить приблизно 64-68 га/год. Для обробки площі 36,5 га достатньо близько 0,55–0,60 години чистого часу. Додаткові втрати, пов'язані із заправкою та короткими технологічними зупинками, незначно впливають на загальну тривалість, тож уся операція вкладається у межі однієї короткої зміни.

Диференційоване внесення ЗЗР (гербіциди, інсектициди — практика і розрахунок кількостей). Базова норма гербіциду (робочий розчин): 1,5 л/га (концентрація препарату).

Базова норма інсектициду: 0,5 л/га.

Диференційні коефіцієнти: High +25% (підвищений ризик/щільність), Medium 100%, Low –25%.

Гербіцид (літри препарату)

High:  $1,5 \cdot 1,25 = 1,875$  л/га  $\rightarrow$  для 10,95 га =  $1,875 \cdot 10,95 = 20,53$  л. (3.9)

Medium:  $1,5 \cdot 1,00 = 1,5$  л/га  $\rightarrow$  для 14,60 га = 21,90 л.

Low:  $1,5 \cdot 0,75 = 1,125$  л/га  $\rightarrow$  для 10,95 га = 12,32 л.

$V = 20,53 + 21,90 + 12,32 = 54,75$  л препарату. (3.10)

Інсектицид (літри препарату)

$$\text{High: } 0,5 \cdot 1,25 = 0,625 \text{ л/га} \rightarrow 0,625 \cdot 10,95 = 6,84 \text{ л.} \quad (3.11)$$

$$\text{Medium: } 0,5 \cdot 1,00 = 0,5 \text{ л/га} \rightarrow 0,5 \cdot 14,60 = 7,30 \text{ л.}$$

$$\text{Low: } 0,5 \cdot 0,75 = 0,375 \text{ л/га} \rightarrow 0,375 \cdot 10,95 = 4,11 \text{ л.}$$

$$V = 6,84 + 7,30 + 4,11 = 18,25 \text{ л препарату.} \quad (3.12)$$

Для приготування робочого розчину розрахунок робиться з урахуванням норми внесення робочого об'єму (літрів води/га).

### 3.3. Аналіз отриманих результатів

Загальні дані проведення розрахунків внесення диференційованим способом наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Отримані значення по розрахункам за диференційним внесенням добрив та засобів хімічного захисту

Зона	Площа, га	Норма N, кг/га	Маса KAS, кг/га	Об'єм KAS, л/га	Загальна маса KAS, кг	Загальний об'єм KAS, л
<i>High</i>	10,95	96	300	227,27	3 285,00	2 488,60
<i>Medium</i>	14,6	80	250	189,39	3 650,00	2 765,99
<i>Low</i>	10,95	56	175	132,58	1 916,25	1 451,98
<b>Всього диференційовано</b>	36,5	—	—	—	8 851,25	6 706,57
<b>Без диференційного внесення</b>	36,5	80	250	189,39	9 125,00	6 911,00
Зона	Площа, га	Гербицид, л/га		Гербицид, л всього	Інсектицид, л/га	Інсектицид, л всього
<i>High</i>	10,95	1,875		20,53	0,625	6,84
<i>Medium</i>	14,6	1,5		21,9	0,5	7,3
<i>Low</i>	10,95	1,125		12,32	0,375	4,11
<b>Всього диференційовано</b>	36,5	—		54,75	—	18,25
<b>Без диференційного внесення</b>	36,5	1,5		54,75	0,5	18,25

Для візуального відображення були створені просторові графіки з порівнянням витрат за диференційним внесенням та постійним. На (Рис.3.4) наведено діаграму внесення добрив. На рисунку (3.5) наведено діаграму внесення засобів хімічного захисту.

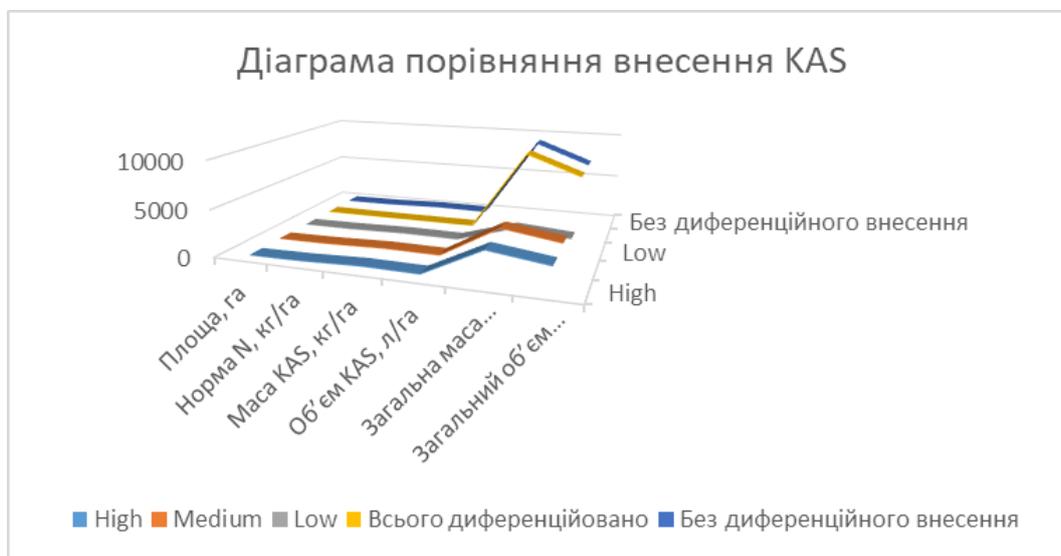


Рис. 3.4. Діаграма внесення добрив

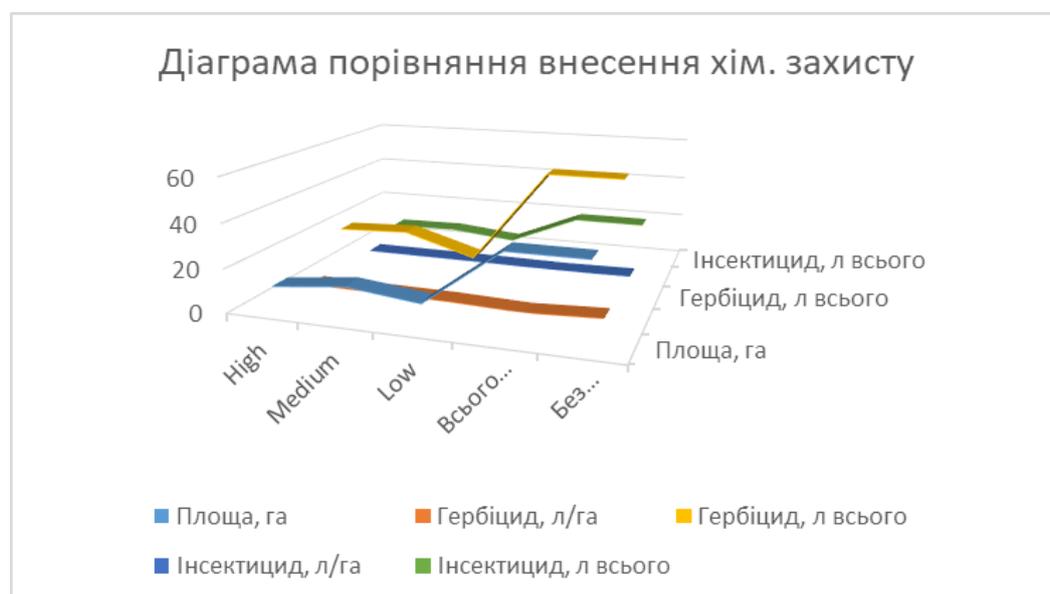


Рис. 3.5. Діаграма внесення засобів хімічного захисту

Логістичні та організаційні рекомендації для внесення:

1. **Підготовка прескрипшн-карти** - експортуються райони High/Medium/Low як шейп-шари (.shp) або ISOXML з OneSoil (або іншим ГІС) і збережіть атрибути «норма\_KAS» і «норма\_гербіцид» для кожного полігону.

2. **Контролер норми** - налаштовується на John Deere M4040 систему variable rate (Rate Controller) з картами. Перевіряється сумісність файлів і координатна система (WGS84 / UTM тощо).

3. **Навігація** - для мінімізації перекриттів бажано використовувати RTK-GPS (точність 2–3 см) — це дає максимальну економію та зниження перестановок при цифровому внесенні.

4. **Заправки та резерв** - необхідно купувати КАС із запасом 5–10% від розрахованого об'єму (щоб мати страхову заправку та врахувати втрати при переливі). Для наших розрахунків запас 10% = 671 л додатково.

5. **Безпека** - транспортування КАС та ЗЗР відповідно до правил безпеки, маркування, СІЗ для операторів, та контроль залишків у баках після внесення.

6. **Облік і звітність** - фіксація GPS-трека кожного проходу, журнал заправок, залишки за зонами - все зберігати для аналізу рентабельності.

### **Висновки по розділу**

У запропонованій прескрипшн-стратегії для поля 36,5 га (на основі NDVI-зони) розподілили азотне підживлення КАС-32 на три рівні: 96 / 80 / 56 кг N/га (High/Medium/Low), що відповідає КАС:  $\approx 227,27 / 189,39 / 132,58$  л/га. Сумарна потреба по полю становить  $\approx 6\,706,6$  л КАС ( $\approx 8\,851,3$  кг). Диференційований підхід для гербіцидів і інсектицидів за прийнятими коефіцієнтами дає потреби  $\approx 54,8$  л гербіциду і 18,3 л інсектициду на все поле при вказаних базових нормах. Для практичної реалізації потрібно експортувати прескрипшн-шари з NDVI-аналізу в контролер норм на John Deere M4040, організувати логістику заправок і запланувати контрольні заміри твердості ґрунту та вегетації після внесення.

## **4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДВЗИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1. Головне питання з охорони праці**

Виробничі системи в сільському господарстві відзначаються своєю специфікою і зазвичай характеризуються великою кількістю випадкових (стохастичних) взаємозв'язків із зовнішнім середовищем та біологічними об'єктами, впливом некерованих природно-кліматичних факторів та іншими чинниками [22]. У зв'язку з цим кількість потенційно небезпечних факторів у процесі виробництва є значною. Тому вирощування, збирання та первинна переробка сільськогосподарської продукції мають здійснюватися за умов, що гарантують безпеку праці, відповідно до Конституції України, а також правил зберігання, транспортування та використання пестицидів у агровиробництві та інших нормативних документів.

Охорона праці у виробництві, зокрема в аграрному секторі, розглядається як комплекс законодавчих норм, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження здоров'я та працездатності працівників [22].

Закон “Про охорону праці” покладає на власників підприємств обов'язок забезпечувати безпечні та здорові умови праці. Організацію охорони праці слід розглядати з урахуванням специфіки конкретного виробництва. Всі заходи у цій сфері тісно пов'язані з організацією роботи, економічними аспектами, технічною культурою та естетикою. Тобто при впровадженні норм охорони праці керівник повинен адаптувати законодавчі вимоги під особливості свого підприємства, враховуючи його специфіку, розташування, чисельність персоналу, наявні ресурси та обладнання.

## **4.2. Аналіз та запобігання шкідливих факторів при виконанні диференційованого внесення рідких добрив КАС**

Виконання робіт із диференційованого внесення рідких азотно-калійних добрив (КАС) передбачає безпосередню взаємодію працівників із хімічними речовинами, технікою та агротехнічними системами. Під час таких операцій на персонал можуть впливати різні шкідливі фактори, серед яких хімічні, механічні, фізичні та психологічні навантаження.

До хімічних факторів належать контакти з розчинами КАС, які при неправильному використанні або випадкових витоках можуть спричинити подразнення шкіри, слизових оболонок та органів дихання. Особливо небезпечним є вдихання аерозолів або потрапляння добрив у очі. Тому обов'язковим є застосування засобів індивідуального захисту (рукавички, окуляри, респіратори) та суворе дотримання технологічних інструкцій щодо роботи з добривами [22].

Механічні та фізичні фактори пов'язані з роботою техніки: тракторами та обприскувачами, а також із підйомом і перенесенням тари з добривами. Працівники можуть зазнавати ризику травмування від рухомих частин машин, падіння або проколювання гострими предметами. Крім того, вплив температурних коливань, підвищеної вологості або тривалого перебування на відкритому повітрі під сонцем також відноситься до фізичних факторів, що можуть погіршувати працездатність.

Особливу увагу слід приділити організаційним аспектам роботи. Перевтома, монотонність і недостатня кваліфікація персоналу підвищують ризик помилок та нещасних випадків. Важливими є регулярні інструктажі, контроль за виконанням техніки безпеки, своєчасне технічне обслуговування машин та підтримання чистоти робочих зон.

Таким чином, безпечне проведення диференційованого внесення КАС вимагає комплексного підходу: поєднання використання засобів індивідуаль-

ного захисту, правильного проектування робочих процесів і контролю за станом техніки та умов праці. Тільки системне дотримання цих заходів забезпечує збереження здоров'я працівників та ефективність виробничого процесу.

### **4.3. Організація роботи з гербіцидами та пестицидами в безпечних умовах**

Робота з хімічними засобами захисту рослин, такими як гербіциди та пестициди, потребує чіткого дотримання правил безпеки та технологічних процедур. Основним принципом є мінімізація контакту людини з токсичними речовинами. Для цього всі операції повинні виконуватися в засобах індивідуального захисту: захисний костюм, рукавички, респіратор або маска, окуляри та чоботи.

Перед початком роботи обов'язково перевіряють справність обладнання (обприскувачів, насосів, шлангів), правильність дозування препаратів і герметичність тари з хімікатами. Робоче місце має бути чистим, без сторонніх предметів, а всі хімікати — правильно підписані та розташовані, щоб запобігти випадковим розливам.

При безпосередньому внесенні препаратів слід дотримуватися встановленої технології: рухатися по полю так, щоб уникати повернення на вже оброблену ділянку, контролювати напрямок вітру, щоб аерозолі не потрапляли на тіло, обличчя або в органи дихання. Під час роботи забороняється їсти, пити або курити.

Після завершення операцій необхідно ретельно очищати обладнання, знімати та промивати захисний одяг, мити руки та обличчя. Всі залишки хімікатів повинні утилізуватися відповідно до нормативних вимог. Регулярно проводяться інструктажі персоналу, оцінка стану здоров'я працівників і контроль дотримання правил безпеки [22].

Безпечна робота з гербіцидами та пестицидами базується на поєднанні правильного технічного обладнання, засобів захисту, організаційних заходів

та технологічної дисципліни, що дозволяє мінімізувати ризики для здоров'я і забезпечити ефективність агротехнічних робіт.

**Висновки по розділу.** У розділі розглянуто основні аспекти охорони праці та безпеки в сільському господарстві. Встановлено, що робота з рідкими добривами КАС, гербіцидами та пестицидами супроводжується хімічними, механічними, фізичними та організаційними ризиками для працівників. Безпечне виконання таких операцій забезпечується використанням засобів індивідуального захисту, суворим дотриманням технологічних процедур, правильним плануванням робочих процесів та контролем технічного стану обладнання. Комплексний підхід до охорони праці дозволяє мінімізувати ризики для здоров'я працівників і підвищити ефективність агротехнічних робіт.

## 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ

### 5.1. Суть економічного ефекту

Для проведення економічної оцінки технологій необхідно визначити вихідні параметри, що впливають на витрати та кінцеві показники ефективності. У таблиці наведено основні планові дані щодо урожайності, собівартості ресурсів та технологічних норм для подальших розрахунків. У таблиці 5.1 наведені головні дані для розрахунку.

Таблиця 5.1

#### Вихідні дані для розрахунків

Показник	Значення
Площа	36,5 га
Базова врожайність (середня)	2,35 т/га
Ціна реалізації	24 000 грн/т
Норма N для зон (High/Medium/Low)	96 / 80 / 56 кг/га
КАС-32: вміст N = 32%, густина $\rho = 1,32$ кг/л	—
Норми гербіцидів (л/га)	High 1,875, Medium 1,5, Low 1,125
Норми інсектицидів (л/га)	High 0,625, Medium 0,5, Low 0,375
Ціна КАС	39 грн/кг
Ціна насіння	2 200 грн/га
Ціна пального	60 грн/кг
Витрата пального (середня)	61,1 кг/га (можемо брати як інтенсивну)
Оплата праці	80 грн/год
Пестициди	4 100 грн/га

## 5.2. Економічний розрахунок операції по диференційному внесенню добрив та хімічного захисту

Для оцінки впливу диференційованого внесення добрив були визначені норми та обсяги використання КАС-32, пестицидів та інших ресурсів у межах зон продуктивності. Таблиця містить розподіл витрат за зонами High, Medium і Low, а також сумарні значення по полю. У таблицях 5.2 та 5.3 наведено дані економічного використання внесення добрив та гербіцидів.

Таблиця 5.2

### Економічна ефективність внесення добрив

Зона	Площа, га	Маса КАС, кг/га	Вартість КАС, грн/га	Загальна вартість, грн
High	10,95	300	$300 \cdot 39 = 11\ 700$	$10,95 \cdot 11\ 700 \approx 128\ 115$
Medium	14,6	250	$250 \cdot 39 = 9\ 750$	$14,60 \cdot 9\ 750 \approx 142\ 350$
Low	10,95	175	$175 \cdot 39 = 6\ 825$	$10,95 \cdot 6\ 825 \approx 74\ 744$
Разом	36,5	—	—	345 209

Для забезпечення оптимального рівня захисту посівів від бур'янів, шкідників і хвороб було визначено норми внесення гербіцидів та інсектицидів відповідно до зональної продуктивності поля. У таблиці наведено розрахунок кількості засобів хімічного захисту рослин для кожної зони, а також узагальнені показники, що дозволяють оцінити потребу препаративних форм при диференційованому внесенні.

Таблиця 5.3

Гербіциди (ціна 4 100 грн/га):

Зона	Площа, га	Норма, л/га	Приведена до вартості пропорційно	Вартість, грн
High	10,95	1,875	$1,875/1,5 \cdot 4\ 100 \approx 5\ 125$	$10,95 \cdot 5\ 125 \approx 56\ 144$
Medium	14,6	1,5	$1,5/1,5 \cdot 4\ 100 = 4\ 100$	$14,6 \cdot 4\ 100 \approx 59\ 860$
Low	10,95	1,125	$1,125/1,5 \cdot 4\ 100 \approx 3\ 075$	$10,95 \cdot 3\ 075 \approx 33\ 641$
Разом	36,5	—	—	149 645

Таблиця 5.4

Інсектициди (ціна 4 100 грн/га):

Зона	Площа, га	Норма, л/га	Вартість, грн
High	10,95	0,625	$0,625/0,5 \cdot 4\ 100 \approx 5\ 125$
Medium	14,6	0,5	4 100
Low	10,95	0,375	$0,375/0,5 \cdot 4\ 100 \approx 3\ 075$
Разом	36,5	—	149 645

**Вартість інших ресурсів (як у інтенсивній технології)**

- Насіння: 2 200 грн/га  $\rightarrow 36,5 \cdot 2\ 200 \approx 80\ 300$  грн
- Паливо: 61,1 кг/га  $\cdot 60$  грн/кг  $\rightarrow 3\ 666$  грн/га  $\rightarrow 36,5 \cdot 3\ 666 \approx 133\ 809$  грн
- Оплата праці, інші витрати: як у інтенсивній (для спрощення)

З метою наочної демонстрації економічних переваг обох варіантів було проведено пряме порівняння їх показників. Таблиця відображає відмінності у ресурсних витратах, собівартості, прибутковості та рентабельності за двома технологіями.

Таблиця 5.5

Таблиця економічної доцільності використання диференційованого  
внесення

Показник	Диференційне внесення	Інтенсивна (для порівняння)
Площа, га	36,5	36,5
Урожайність, т/га	2,35	2,35
Валовий збір, т	85,78	85,78
Виручка, грн	2 058 720	2 058 720
Витрати всього, грн	866 309	947 331
Собівартість продукції, грн/т	10 109	11 047
Прибуток, грн	1 192 411	1 111 389
Рівень рентабельності, %	137,6	117,3

### Висновки по розділу

Застосування диференційованого внесення КАС-32 на полі площею 36,5 га дозволяє знизити загальні витрати з 947 331 грн (при класичній інтенсивній технології) до 866 309 грн, зменшити собівартість продукції з 11 047 грн/т до 10 109 грн/т та підвищити рівень рентабельності з 117,3% до 137,6%, забезпечуючи економію добрив та підвищення прибутку з 1 111 389 грн до 1 192 411 грн; ці результати свідчать про економічну доцільність впровадження диференційованого підживлення у практиці точного землеробства.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У роботі проведено комплексне дослідження можливостей та ефективності впровадження технологій точного землеробства в умовах сучасного аграрного виробництва, що поєднують інструменти цифрового картографування, супутникового моніторингу та диференційованого управління агротехнологічними операціями. Аналіз сучасних підходів показав, що використання геоінформаційних систем, супутникових індексів вегетації (NDVI, NDRE) і прескрипшн-карт дозволяє перейти від усереднених норм внесення ресурсів до просторово обґрунтованих рішень, спрямованих на підвищення точності, економічності та екологічності землеробства.

У межах експериментальної частини було сформовано цифрові контури трьох виробничих полів із різними культурами (озима пшениця, озимий ячмінь, соняшник) у середовищі Agroprofile та виконано супутниковий аналіз стану посівів і кліматичних факторів у сервісі OneSoil. Для дослідного поля площею 36,5 га на основі багаторічних індексів NDVI/NDRE, рельєфу та попередньої продуктивності виділено три зони продуктивності: High — 30% площі (10,95 га), Medium — 40% (14,60 га) та Low — 30% (10,95 га), що підтвердило суттєву просторову неоднорідність розвитку рослин.

На основі зонування розроблено та обґрунтовано методику диференційованого внесення мінеральних добрив і засобів захисту рослин. Для азотного підживлення КАС-32 прийнято норми 96 / 80 / 56 кг N/га відповідно для зон High, Medium та Low, що відповідає витратам 227,27 / 189,39 / 132,58 л/га. Загальна потреба КАС-32 при диференційованому внесенні становила 6 706,57 л, тоді як за постійної норми — 6 911,00 л, що забезпечило економію 204,4 л або 273,8 кг добрива ( $\approx 3,0\%$ ). Для засобів хімічного захисту рослин сумарна потреба по полю склала 54,75 л гербіциду та 18,25 л інсектициду із зональним коригуванням норм залежно від щільності вегетації.

Практична імплементація технології здійснювалась самохідним обприскувачем John Deere M4040 із шириною захвату 30,5 м і баком 4 000 л, обладнаним системою variable rate та GPS-навігацією з RTK-корекцією. Фактична продуктивність агрегату становила 64–68 га/год, що дозволило виконати обробку поля площею 36,5 га за 0,55–0,60 год чистого часу з однією повною та однією частковою заправкою. Аналіз кліматичних умов показав, що за вегетаційний період сума ефективних температур склала +3 036 °С, а кількість опадів — 363 мм, що додатково пояснює просторову неоднорідність розвитку посівів і підтверджує доцільність диференційованого підходу.

Економічне обґрунтування показало, що застосування диференційного внесення забезпечує істотні фінансові переваги порівняно з класичною інтенсивною технологією. За однакової врожайності 2,35 т/га та валового збору 85,78 т виручка в обох випадках становила 2 058 720 грн, проте загальні витрати при диференційному внесенні зменшилися з 947 331 грн до 866 309 грн. Собівартість продукції знизилась з 11 047 грн/т до 10 109 грн/т, прибуток зріс з 1 111 389 грн до 1 192 411 грн, а рівень рентабельності підвищився з 117,3% до 137,6%. Отримані результати переконливо доводять, що впровадження технологій точного землеробства та диференційованого внесення ресурсів є економічно доцільним, технологічно обґрунтованим і перспективним напрямом розвитку сучасного аграрного виробництва.

## Бібліографічний список

1. CLAAS TELEMATICS – Вступ [Електронне джерело] – Режим доступу: <https://content-academy.claas.com/WBT/telematics/ua/wbt-00/#bedienungsanleitung>
2. Go Operations Center [Електронне джерело] – Режим доступу: <https://www.deere.ua/uk/campaigns/ag-turf/operations-center/> .
3. Operations/ Cropwise [Електронне джерело] – Режим доступу: <https://ua.cropwise.com/operations#tab25>
4. Skok Agro офіційний сайт [Електронне джерело] – Режим доступу: <https://skokagro.com/index.php?lang=uk> .
5. Антонова, Г. В. "Основні аспекти бездротових сенсорних вузлів для цифрового землеробства." Кібернетика та комп'ютерні технології 2 (2024): 74-86.
6. Бабай, Роман Борисович. "Підвищення показників машиновикористання методами цифрового землеробства." (2023).
7. Богашко, О. Л. "Підвищення продуктивності агробізнесу на основі діджиталізації та цифрової трансформації." (2024).
8. Бурдяк, М. І., and І. В. Томашук. "Загальні аспекти застосування цифрових технологій у діяльності аграрних підприємств." Управління змінами та інновації 7 (2023): 12-18.
9. Войтюк Д. Г., Дубровін В. О., Іщенко Т. Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник/ за ред. Войтюка Д. Г. – Київ: Вища освіта, 2004 – 544 с.
10. Данилюк, Володимир, and Олена Луговська. АГРОБІЗНЕС В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ. Diss. Кропивницький: ЦРоЛ, 2024.
11. Деркач, Олексій Дмитрович, Дмитро Олександрович Макаренко, and Василь Іванович Мельниченко. "Інтегрування web та мобільних застосунків при використанні цифрового пенетрометра S600." (2023).
12. Є.М. Михайліченко, О.Д. Деркач, І.А. Воловик. Digital Farming. Навчальний посібник. – Дніпро. Журфонд, 2023. - 103 с.

13. Земляк, А. В. "ПРОБЛЕМАТИКА РОЗВИТКУ ЦИФРОВОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА В КОНТЕКСТІ АГРАРНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ." Укладачі (2024): 53.
14. Ільченко В. Ю., Нагірний Ю. П., Джолос П. А. та ін. *Машиновикористання в землеробстві: Навчальний посібник/ За ред. Ільченка В. Ю. та Нагірного Ю. П.* – Київ: Урожай, 1996 – 384 с.
15. Інструкція з експлуатації твердоміра ґрунту Skok Agro S600 – Україна, 2019 – 10 с.
16. КАСІМ, А., & КАСІМ, М. (2025). *ОНТОЛОГІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БАЗИ ЗНАНЬ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ГІС ЦИФРОВОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА.*
17. Кобець А.С., Ільченко В.Ю., Бутенко В.Г. та ін. *Дипломне проектування з машиновикористання в рослинництві: Навчальний посібник / За ред. А.С. Кобця.* – Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2007. – 288 с.
18. Кобець, Анатолій Степанович, Є. М. Михайліченко, Андрій Миколайович Пугач, Олексій Дмитрович Деркач, Дмитро Олександрович Макаренко, and О. О. Сумятіна. "Системи GIS та основи технологій цифрового землеробства." (2021).
19. Лекція 2. Критерії ефективності управління системами машин у рослинництві [Електронне джерело] – Режим доступу: <https://elearn.nubip.edu.ua/mod/book/view.php?id=507336&chapterid=187091> .
20. *Павліський В.М. Проектування технологічних систем рослинництва: навч. посіб. / В. М. Павліський, Ю. П. Нагірний, І. І. Мельник – Тернопіль : Збруч, 2003 р.*
21. Пліско, Ірина, and Карина Куцова. "Цифровізація в аграрному виробництві як складова точного землеробства." *РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ* (2022): 86.
22. Романов, В. О., et al. "БЕЗДРОТОВІ СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ ДЛЯ ЦИФРОВОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА, ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я." *Cybernetics & Systems Analysis/Kibernetiki i Sistemnyj Analiz* 6 (2023).
23. Юрчук, Наталія Петрівна, and Світлана Сергіївна Кіпоренко. "Особливості використання цифрових технологій в агробізнесі." (2022).

## **ДОДАТКИ**

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

## **Ефективність використання техніки застосуванням методів цифрового землеробства**

Демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГАІ-24 за

спеціальністю 208 «Агроінженерія»

Сінішин Сергій Миколайович

**Керівник:** к.т.н., доцент Деркач Олексій Дмитрович

### **Огляд мети роботи**

**Метою даної роботи є дослідження та обґрунтування шляхів підвищення ефективності використання сільськогосподарської техніки в умовах сучасного аграрного виробництва за рахунок впровадження методів цифрового (точного) землеробства.**

**У процесі виконання роботи передбачено використання геоінформаційних систем, супутникових технологій моніторингу посівів, телематичних систем управління технікою та технологій диференційованого внесення матеріальних ресурсів.**

**Основна увага зосереджена на підвищенні продуктивності машинно-тракторних агрегатів, зниженні витрат добрив, засобів хімічного захисту та пального, а також на поліпшенні економічних показників виробництва шляхом просторово обґрунтованого управління агротехнологічними операціями.**

**Результати дослідження спрямовані на оцінку практичної та економічної доцільності застосування цифрового землеробства і можуть бути використані у виробничій діяльності аграрних підприємств.**

## Шляхи підвищення показників використання техніки

### • Використання телематичних систем

Забезпечує дистанційний моніторинг техніки, контроль режимів роботи, автоматичне водіння та зменшення простоїв, що підвищує продуктивність і точність виконання операцій.

### • Залучення автономних платформ і БПЛА

Дозволяє виконувати роботи без участі оператора та оперативної отримувати дані про стан посівів, локалізувати проблемні зони й скорочувати час агрономічного аналізу.

### • Зменшення негативного впливу техніки на ґрунт

Реалізується за рахунок застосування здвоєних коліс, шин низького тиску та гусеничних рушіїв, що знижує питомий тиск і підвищує екологічність виробництва.

### • Точне (диференційоване) виконання операцій

Передбачає змінні норми обробітку, висіву, внесення добрив і ЗЗР на основі цифрових карт і сенсорів, що забезпечує економію ресурсів та зростання ефективності використання машин.



Рис. 1 Використання дронів у сільському господарстві

## Базові та розширені можливості програмного забезпечення для агробізнесу



Рис. 2 Програмне середовище JD Link



Рис. 3 Загальний вигляд інтерфейсу системи AFS

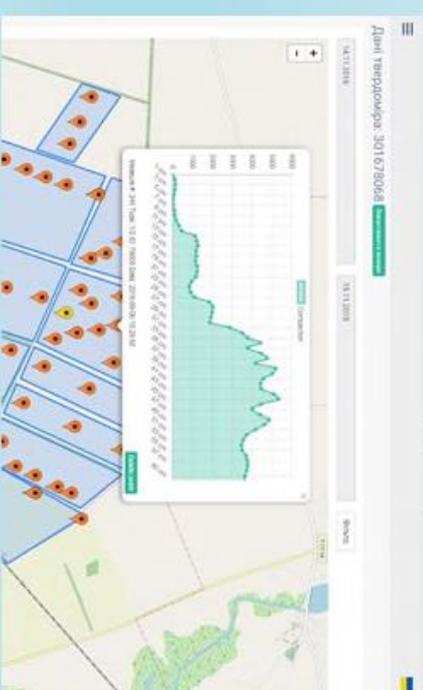


Рис. 4 Карти твердості ґрунтів у Skok Agro

## Дослідна частина

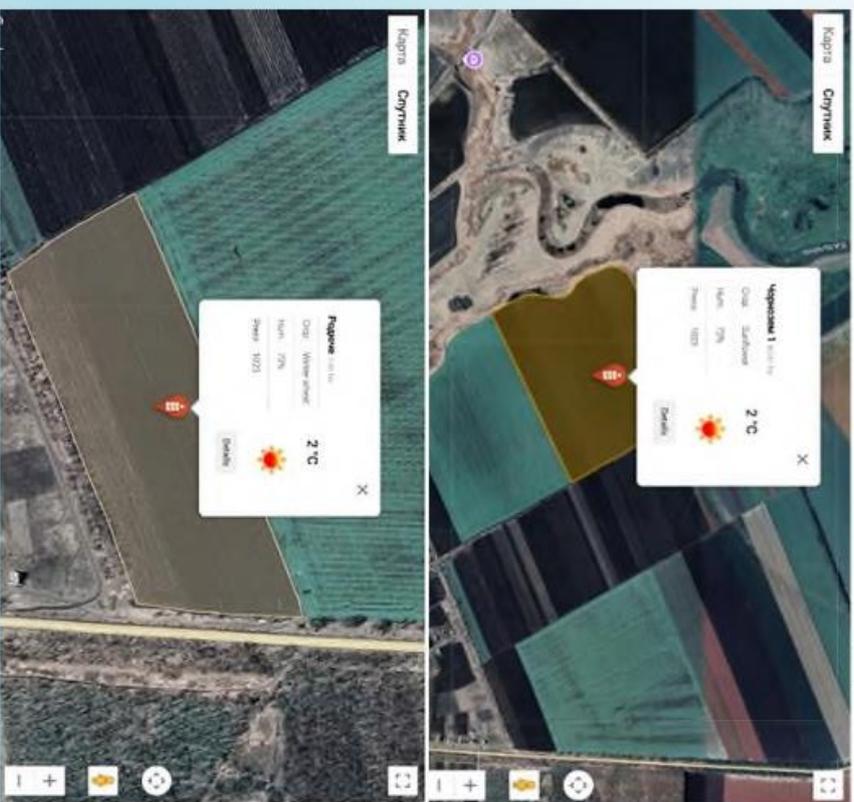


Рис. 5. Створення цифрового відображення полів у середовищі Агропрофіль

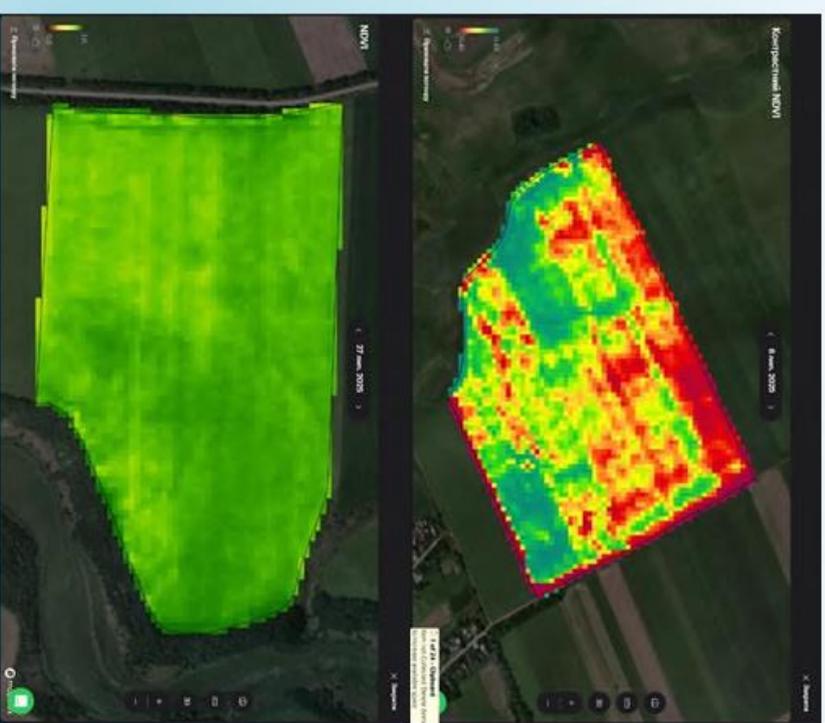


Рис. 6. Огляд супутникових знімків у середовищі One Soil 3 фільтрами NDVI на огляд вегетативної маси у періоди підживлення та застосування хімічного захисту

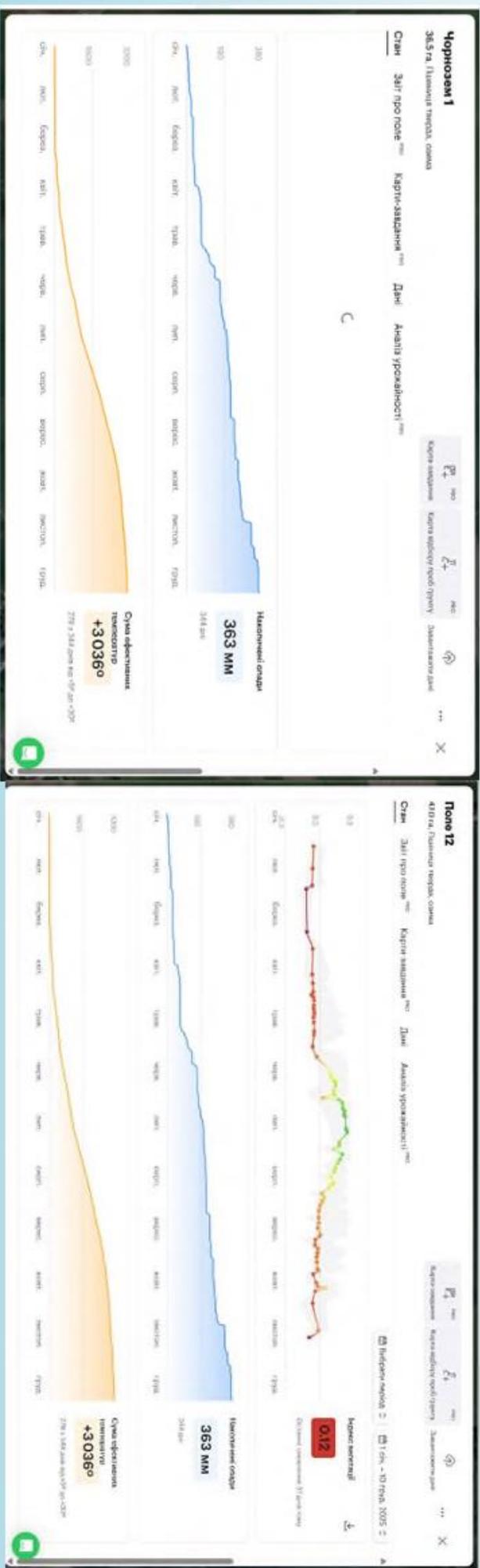


Рис. 7. Історія вегетативного розвитку культур, накопичених корисних температур та опадів

## Результати розрахунку диференційного внесення добрив та засобів захисту рослин

Зона	Площа, га	Норма N, кг/га	Маса KAS, кг/га	Об'єм KAS, л/га	Загальна маса KAS, кг	Загальний об'єм KAS, л
<i>High</i>	10,95	96	300	227,27	3 285,00	2 488,60
<i>Medium</i>	14,6	80	250	189,39	3 650,00	2 765,99
<i>Low</i>	10,95	56	175	132,58	1 916,25	1 451,98
Всього диференційовано	36,5	—	—	—	8 851,25	6 706,57
Без диференційованого внесення	36,5	80	250	189,39	9 125,00	6 911,00
<b>Зона</b>	<b>Площа, га</b>	<b>Гербіцид, л/га</b>	<b>Гербіцид, л всього</b>	<b>Інсектицид, л всього</b>	<b>Інсектицид, л всього</b>	<b>Інсектицид, л всього</b>
<i>High</i>	10,95	1,875	20,53	0,625	6,84	6,84
<i>Medium</i>	14,6	1,5	21,9	0,5	7,3	7,3
<i>Low</i>	10,95	1,125	12,32	0,375	4,11	4,11
Всього диференційовано	36,5	—	54,75	—	18,25	18,25
Без диференційованого внесення	36,5	1,5	54,75	0,5	18,25	18,25

Таблиця 1. Отримані значення по розрахункам за диференційним внесенням добрив та засобів хімічного захисту

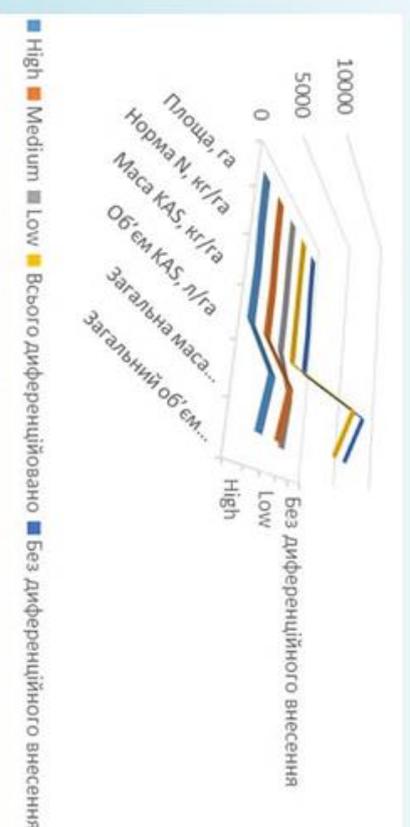


Рис. 8. Діаграма внесення добрив

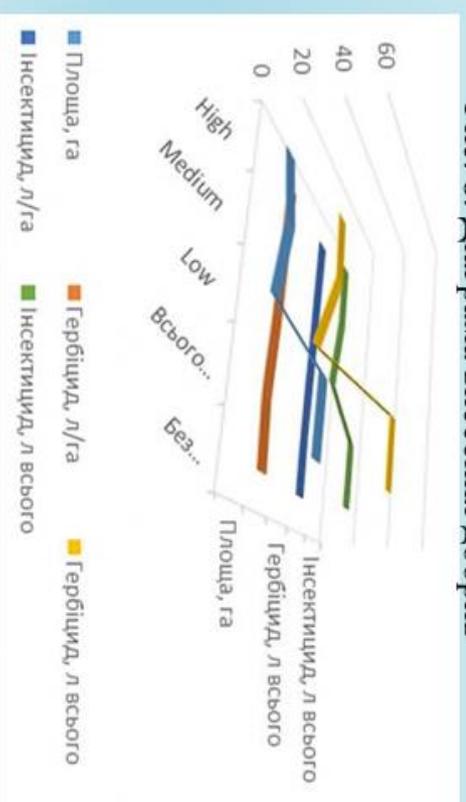


Рис. 9. Діаграма внесення засобів хімічного захисту

## Виконання операцій

1. **Підготовка прескрипшн-карти** - експортуються райони High/Medium/Low як шейп-шари (.shp) або ISOXML з OneSoil (або іншим ГІС) і збережіть атрибуту «норма\_KAS» і «норма\_гербицид» для кожного полігону.
2. **Контролер норми** - налаштовується на John Deere M4040 систему variable rate (Rate Controller) з картами. Перевіряється сумісність файлів і координатна система (WGS84 / UTM тощо).
3. **Навігація** - для мінімізації перекриттів бажано використовувати RTK-GPS (точність 2–3 см) — це дає максимальну економію та зниження перестановок при цифровому внесенні.
4. **Заправки та резерв** - необхідно купувати KAS із запасом 5–10% від розрахованого об'єму (щоб мати страхову заправку та врахувати втрати при переливі). Для наших розрахунків запас 10% = 671 л додатково.
5. **Безпека** - транспортування KAS та ЗЗР відповідно до правил безпеки, маркування, СІЗ для операторів, та контроль залишків у баках після внесення.
6. **Облік і звітність** - фіксація GPS-трека кожного проходу, журнали заправок, залишки за зонами - все зберігати для аналізу рентабельності.



Рис. 10. Самохідний обприскувач для виконання розрахованих операцій John Deere M4040

### Економічна доцільність запропонованого методу

Таблиця 3. Економічна ефективність внесення добрив

Зона	Площа, га	Маса КАС, кг/га	Вартість КАС, грн/га	Загальна вартість, грн
High	10,95	300	300·39 = 11 700	10,95·11 700 ≈ 128 115
Medium	14,6	250	250·39 = 9 750	14,60·9 750 ≈ 142 350
Low	10,95	175	175·39 = 6 825	10,95·6 825 ≈ 74 744
Разом	36,5	—	—	345 209

Таблиця 4. Економічна ефективність внесення гербіцидів

Зона	Площа, га	Норма, л/га	Приведена до вартості пропорційна	Вартість, грн
High	10,95	1,875	1,875/1,5·4 100 ≈ 5 125	10,95·5 125 ≈ 56 144
Medium	14,6	1,5	1,5/1,5·4 100 = 4 100	14,6·4 100 ≈ 59 860
Low	10,95	1,125	1,125/1,5·4 100 ≈ 3 075	10,95·3 075 ≈ 33 641
Разом	36,5	—	—	149 645

Таблиця 5. Економічної доцільності використання диференційованого внесення

Показник	Диференційне внесення	Інтенсивна (для порівняння)
Площа, га	36,5	36,5
Валовий збір, т	85,78	85,78
Витрати всього, грн	866 309	947 331
Собівартість продукції, грн/т	10 109	11 047
Прибуток, грн	1 192 411	1 111 389
Рівень рентабельності, %	137,6	117,3

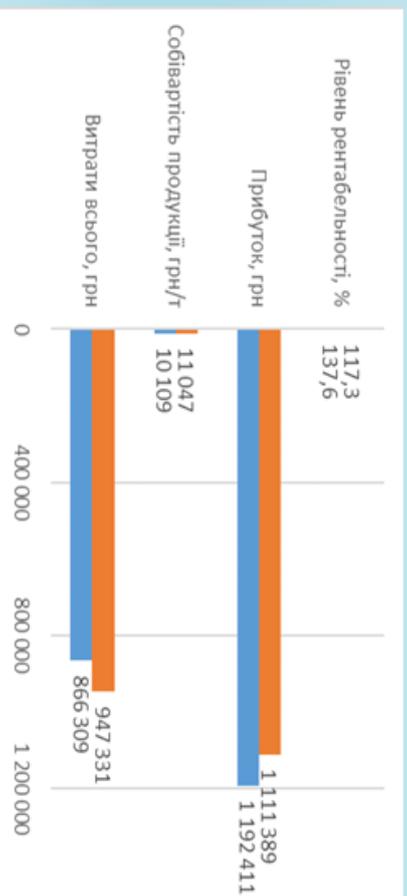


Рис. 11. Діаграма економічної ефективності

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У роботі проведено комплексне дослідження можливостей та ефективності впровадження технологій точного землеробства в умовах сучасного аграрного виробництва, що поєднують інструменти цифрового картографування, супутникового моніторингу та диференційованого управління агротехнологічними операціями. Аналіз сучасних підходів показав, що використання геоінформаційних систем, супутникових індексів вегетації (NDVI, NDRE) і прескрипшнкарт дозволяє перейти від усереднених норм внесення ресурсів до просторово обґрунтованих рішень, спрямованих на підвищення точності, економічності та екологічності землеробства.

У межах експериментальної частини було сформовано цифрові контури трьох виробничих полів із різними культурами (озима пшениця, озимий ячмінь, соняшник) у середовищі AgroGraph та виконано супутниковий аналіз стану посівів і кліматичних факторів у сервісі OneSoil. Для дослідного поля площею 36,5 га на основі багаторічних індексів NDVI/NDRE, рельєфу та по-передньої продуктивності виділено три зони продуктивності: High — 30% площі (10,95 га), Medium — 40% (14,60 га) та Low — 30% (10,95 га), що підтвердило суттєву просторову неоднорідність розвитку рослин.

На основі зонування розроблено та обґрунтовано методику диференційного внесення мінеральних добрив і засобів захисту рослин. Для азотного підживлення KAS-32 прийнято норми 96 / 80 / 56 кг N/га відповідно для зон High, Medium та Low, що відповідає витратам 227,27 / 189,39 / 132,58 л/га. Загальна потреба KAS-32 при диференційованому внесенні становила 6 706,57 л, тоді як за постійної норми — 6 911,00 л, що забезпечило економію 204,4 л або 273,8 кг добрива ( $\approx 3,0\%$ ). Для засобів хімічного захисту рослин сумарна потреба по полю складала 54,75 л гербіциду та 18,25 л інсектициду із зональним коригуванням норм залежно від щільності вегетації.

Практична імплементація технології здійснювалась самохідним обприскувачем John Deere M4040 із шириною захвату 30,5 м і баком 4 000 л, обладнаним системою variable rate та GPS-навігацією з RTK-корекцією. Фактична продуктивність агрегату становила 64–68 га/год, що дозволило виконати обробку поля площею 36,5 га за 0,55–0,60 год чистого часу з однією повною та однією частковою заправкою. Економічне обґрунтування показало, що застосування диференційного внесення забезпечує істотні фінансові переваги порівняно з класичною інтенсивною технологією. За однакової врожайності 2,35 т/га та валового збору 85,78 т виручка в обох випадках становила 2 058 720 грн, проте загальні ви-трати при диференційному внесенні зменшилися з 947 331 грн до 866 309 грн. Собівартість продукції знизилась з 11 047 грн/т до 10 109 грн/т, прибуток зріс з 1 111 389 грн до 1 192 411 грн, а рівень рентабельності підвищився з 117,3% до 137,6%.

Дякую за увагу!