

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Сумський державний університет**  
Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра електроніки, загальної та прикладної фізики

«До захисту допущено»

Завідувачка кафедри

\_\_\_\_\_ Лариса ОДНОДВОРЕЦЬ

\_\_\_\_\_ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**на здобуття освітнього ступеня «магістр»**

за спеціальністю 171 «Електроніка»

освітньо-професійної програми «Електронні інформаційні системи»

на тему «Системи сенсорної електроніки для керування сільсько-господарською технікою»

Здобувача групи ЕП.м-32 Бугая Владислава Євгенійовича

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

\_\_\_\_\_ Владислав БУГАЙ

Керівник к.ф.-м.н, ст. викл. Олександр ПИЛИПЕНКО \_\_\_\_\_

**Суми – 2024**

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра електроніки, загальної та прикладної фізики  
Спеціальність 171 «Електроніка», освітньо-професійна програма  
«Електронні інформаційні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедри

\_\_\_\_\_ Лариса ОДНОДВОРЕЦЬ

«04» листопада 2024 р.

**ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

**Бугая Владислава Євгенійовича**

1. Тема роботи «Системи сенсорної електроніки для керування сільсько-господарською технікою»

затверджена наказом СумДУ від «01» листопада 2024 р., № 1130-VI

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи: 11 грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи (актуальність, мета):

**Актуальність:** необхідність впровадження нових підходів до управління сільськогосподарською технікою, які дають змогу збирати, обробляти та аналізувати дані для оптимізації сільськогосподарського виробництва.

**Мета:** розробка та вдосконалення сенсорно-електронних систем для керування сільськогосподарською технікою, що сприятимуть підвищенню ефективності сільськогосподарського виробництва.

4. Зміст текстової частини роботи (перелік питань, які необхідно розробити):

1) Дослідити використання різних типів сенсорів в сільському господарстві.

2) Визначити важливість використання та технології обробки даних систем сенсорної електроніки для сільського господарства.

3) Дослідити практичне використання сенсорних систем на конкретних прикладах.

5. Перелік графічного матеріалу для презентації:

Слайд №1, 2 – Актуальність і мета роботи.

Слайди №3-5 – Сенсори для моніторингу.

Слайди №6,7 – Сенсорна електроніка в сільському господарстві.

Слайд №8,9 – Система автоматичного керування John Deere AutoTrac.

Слайди №10,11 – Візуальна навігація John Deere AutoTrac Vision.

Слайди №12,13 – Автоматичне визначення врожайності John Deere Active Yield.

Слайди №14-16 – Цифрові платформи для управління фермерським господарством Stopwise Operations

Слайд №17 – Висновки.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пор.	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка про стан виконання роботи
1	Теоретичний огляд систем віддаленого моніторингу навколишнього середовища	04.11.2024 р.	Виконано
2	Проведення експерименту, моделювання, розрахунків, обробка результатів	11.11.2024 р.	Виконано
3	Розробка схем приладу	18.11.2024 р.	Виконано
4	Симуляція роботи системи	25.11.2024 р.	Виконано
5	Підготовка тексту магістерської роботи	01.12.2024 р.	Виконано
6	Підготовка презентації до захисту кваліфікаційної роботи	07.12.2024 р.	Виконано
7	Попередній захист роботи	12.12.2024 р., 10 <sup>05</sup> (онлайн)	Виконано
8	Захист кваліфікаційної роботи	17.12.2024 р., 11 <sup>40</sup>	

6. Дата видачі індивідуального завдання: 01.11.2024 р.

Здобувач

\_\_\_\_\_

Владислав БУГАЙ

Керівник

\_\_\_\_\_

Олександр ПИЛИПЕНКО

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота викладена на 34 сторінках, зокрема, містить 13 рисунків, 4 таблиці, список використаних джерел складається з 12 найменувань.

### **Актуальність теми:**

Важливість цієї теми зумовлена необхідністю впровадження нових підходів до управління сільськогосподарською технікою, які дають змогу збирати, обробляти та аналізувати дані для оптимізації сільськогосподарського виробництва. У цьому контексті дослідження в галузі сенсорної електроніки набувають все більшого значення, оскільки вони відкривають нові можливості для точного землеробства, дозволяючи приймати обґрунтовані рішення на основі отриманих даних.

**Мета кваліфікаційної роботи магістра** полягає у розробці та вдосконаленні сенсорно-електронних систем для керування сільськогосподарською технікою, що сприятимуть підвищенню ефективності сільськогосподарського виробництва.

Під час виконання роботи використовували методи літературного аналізу, експериментальних досліджень, а також сучасні методи матеріалознавства.

У результаті проведених наукових досліджень встановлено, що сенсорні технології підвищують ефективність сільського господарства: сенсори моніторять ґрунт, рослини й тварин, забезпечуючи точні дані. Системи з мікроконтролерами, бездротовою передачею та алгоритмами автоматизації оптимізують управління і врожайність.

**Ключові слова:** сенсори, системи, сільське господарство, датчик, електроні.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД СЕНСОРІВ ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ .....	8
1.1 Сенсори для моніторингу стану ґрунту .....	8
1.2 Сенсори для контролю рослин .....	14
1.3 Сенсори для моніторингу стану тварин.....	18
РОЗДІЛ 2 ЗАСТОСУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ СИСТЕМ СЕНСОРНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ ДЛЯ КЕРУВАННЯ СІЛЬСЬКО-ГОСПОДАРСЬКОЮ ТЕХНІКОЮ ... .....	20
2.1 Важливість використання сенсорної електроніки в сільському господарстві .	20
2.2 Технології збору та обробки даних .....	21
2.2.1 Використання мікроконтролерів і ПЛІС .....	21
2.2.2 Бездротові технології передачі даних.....	22
2.2.3 Алгоритми обробки даних та прийняття рішень.....	23
2.3 Практичне використання сенсорних систем у сільському господарстві .....	23
2.3.1 Система автоматичного керування .....	24
2.3.2 Візуальна навігація .....	25
2.3.3 Автоматичне визначення врожайності .....	27
2.3.4 Цифрові платформи для управління фермерським господарством.....	28
ВИСНОВКИ.....	31
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	32

## ВСТУП

Сільське господарство є одним з найважливіших секторів економіки, що безпосередньо впливає на забезпечення країни продовольством. Сучасні виклики, такі як зміна клімату, зростання населення та виснаження природних ресурсів, вимагають використання нових технологій для підвищення продуктивності сільського господарства. У цьому контексті сенсорна електроніка стає невід'ємною частиною автоматизації сільськогосподарських процесів, що дозволяє знизити витрати і підвищити якість продукції.

Важливість цієї теми зумовлена необхідністю впровадження нових підходів до управління сільськогосподарською технікою, які дають змогу збирати, обробляти та аналізувати дані для оптимізації сільськогосподарського виробництва. У цьому контексті дослідження в галузі сенсорної електроніки набувають все більшого значення, оскільки вони відкривають нові можливості для точного землеробства, дозволяючи приймати обґрунтовані рішення на основі отриманих даних.

Об'єктом дослідження є системи сенсорної електроніки, що використовуються для моніторингу та керування сільськогосподарською технікою. Об'єктом дослідження є методи та технології, що дозволяють інтегрувати датчики в системи керування сільськогосподарською технікою.

Метою роботи є аналіз та вдосконалення сенсорно-електронних систем для керування сільськогосподарською технікою, що сприятимуть підвищенню ефективності сільськогосподарського виробництва. Для досягнення поставленої мети передбачається вирішення наступних завдань

1. Аналіз існуючих сенсорних електронних систем в сільському господарстві.
2. Визначення основних типів датчиків, що використовуються для моніторингу сільськогосподарських процесів.
3. Аналіз існуючих систем сенсорної електроніки для сільськогосподарської техніки.

Методи дослідження включають аналіз наукової літератури, експериментальні дослідження, моделювання процесів, обробку та аналіз сенсорних даних.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розробці нових підходів до інтеграції сенсорної електроніки в сільськогосподарські процеси, що дозволяє істотно поліпшити управління сільськогосподарською технікою і знизити виробничі витрати.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що вони можуть бути використані при розробці сучасних систем автоматизації в сільському господарстві, що сприятиме підвищенню ефективності сільськогосподарського виробництва.

## РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД СЕНСОРІВ ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Сучасне сільське господарство все більше інтегрує новітні технології для підвищення продуктивності та забезпечення сталості сільськогосподарського виробництва. Ключовим елементом цієї інтеграції є сенсорні системи, які дозволяють здійснювати точний моніторинг і контроль різних сільськогосподарських параметрів. Вони надають актуальну інформацію про стан ґрунту, погодні умови, здоров'я рослин і тварин та допомагають виявити потенційні загрози у вигляді шкідників, хвороб і погіршення якості врожаю.

### 1.1 Сенсори для моніторингу стану ґрунту

Вологоміри – це спеціалізовані датчики, які вимірюють рівень вологи в ґрунті і є важливим компонентом ефективного зрошення. Моніторинг вологості ґрунту дозволяє більш точно планувати полив і запобігає недостатньому або надмірному зрошенню.

Існує кілька основних типів вологомірів для сільсько-господарських застосувань [1]:

**1. Ємнісні вологоміри.** Цей тип сенсора визначає вологість ґрунту, вимірюючи його ємність, яка залежить від вмісту води. Ємнісні сенсори працюють за принципом зміни електричної ємності ґрунту при зміні рівня вологості. Формула для визначення ємності виглядає так:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot A}{d}$$

де  $C$  – ємність,

$\varepsilon$  – діелектрична проникність ґрунту,

$A$  – площа електродів,

$d$  – відстань між електродами.



Soil Moisture Sensor v1.2 (рис. 1.1) – один з найпоширеніших ємнісних вологомірів, який широко використовується в сільському господарстві для моніторингу вологості ґрунту. В основі роботи датчика лежить принцип вимірювання ємності між двома електродами, яка залежить від рівня вологості. Завдяки високій діелектричній проникності води, зі збільшенням рівня вологості в ґрунті, електрична ємність між електродами також збільшується. Це значення зчитується датчиком і перетворюється в аналоговий вихідний сигнал, який пропорційно відображає вологість ґрунту. Аналоговий вихід датчика зазвичай коливається в діапазоні 0-3,3 В або 0-5 В і сумісний з мікроконтролерами, такими як Arduino і Raspberry Pi. [2]



Рисунок 1.1 – Ємнісний вологомір Soil Moisture Sensor v1.2 [2]

**2. Термічні вологоміри.** Термічні вологоміри вимірюють вологість ґрунту шляхом оцінки теплопровідності. Такі вологоміри мають нагрівальний елемент і термочутливий датчик (зазвичай термістор), який вимірює температуру поруч з нагрівальним елементом після його короткочасного нагрівання.

Теплопровідність ґрунту залежить від його вологості, а зміни температури пов'язані зі зміною вологості. Беручи до уваги основні параметри, рівняння теплопровідності має наступний вигляд:

$$q = -k \cdot \frac{dT}{dx}$$

де  $q$  – тепловий потік (Вт/м<sup>2</sup>),

$k$  – коефіцієнт теплопровідності ґрунту (В/(м\*°С)),

$\frac{dT}{dx}$  – Температурний градієнт (°C/м) уздовж напрямку теплопередачі.

Вологі ґрунти мають вищу теплопровідність, ніж сухі, що дозволяє теплу легше передаватися, що призводить до меншого температурного градієнту. Теплові вологоміри працюють наступним чином:

- Нагрівальні елементи швидко нагрівають навколишній ґрунт.
- Термочутливий датчик (наприклад, термістор) вимірює зміну температури.
- Оскільки вологий ґрунт швидше розсіює тепло і має менший температурний градієнт, виміряний температурний градієнт використовується для визначення рівня вологості.

На основі теплового потоку та температурного градієнта можна оцінити вміст вологи за формулою:

$$\theta = a \cdot \Delta T + b$$

де  $\theta$  – об'ємна вологість ґрунту (м<sup>3</sup> води / м<sup>3</sup> ґрунту),

$\Delta T$  – різниця температур до та після нагріву

$a$  та  $b$  – експериментально визначені константи для конкретного типу ґрунту.

Sensirion SHT85 (рис. 1.2) – це сучасний термічний вологомір, який використовується для вимірювання вологості та температури ґрунту. Він використовує термістор для точного вимірювання температури і оснащений інфрачервоним нагрівальним елементом, який викликає локальне підвищення температури. Після нагрівання датчик швидко вимірює різницю температур в залежності від рівня вологості ґрунту. [3]



Рисунок 1.2 – Термічний вологомір Sensirion SHT85 [3]

**3. Електричні резистивні вологоміри.** Резистивні вологоміри – це датчики, які вимірюють вологість ґрунту на основі зміни електричного опору між електродами, зануреними в ґрунт.

Резистивні вологоміри складаються з двох електродів, розміщених у ґрунті. Коли електроди підключені до джерела струму, між ними протікає струм. Зміна опору  $R$  між електродами вимірюється за наступною формулою:

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A}$$

де  $R$  – опір,

$\rho$  – питомий опір ґрунту,

$L$  – відстань між електродами,

$A$  – площа електродів.

Davis 6440 Soil Moisture Senso (рис. 1.3) є прикладом резистивного вологоміра, який використовує пару електродів для вимірювання змін опору в ґрунті. Коли вологість ґрунту збільшується, опір зменшується, і датчик передає це на контролер для подальшої обробки та аналізу. Датчик може бути легко інтегрований в автоматизовану систему зрошення, що дозволяє фермерам автоматично отримувати інформацію про рівень вологості ґрунту і контролювати зрошення в режимі реального часу. [4]



Рисунок 1.3 – Резистивний вологомір Davis 6440 Soil Moisture Senso [4]

Температура ґрунту є важливим параметром, що впливає на різні аспекти росту рослин, включаючи проростання насіння, розвиток коренів і загальний ріст.

Температура ґрунту змінюється залежно від пори року, погодних умов та глибини залягання ґрунту. [5]

Ґрунтові термометри працюють за різними принципами, найпоширенішими з яких є наступні:

**1. Терморезистивні сенсори (RTD)** – один з найточніших способів вимірювання температури ґрунту. Ці датчики працюють на основі зміни електричного опору матеріалу, зазвичай виготовленого з платини, міді або нікелю. Опір термістора змінюється пропорційно до температури і забезпечує точне вимірювання температурних значень. [5]

Температура визначається за формулою:

$$T = \frac{R - R_0}{\alpha \cdot R_0}$$

де  $T$  – температура,

$R$  – опір сенсора при температурі  $T$ ,

$R_0$  – опір сенсора при  $0^\circ\text{C}$ ,

$\alpha$  – температурний коефіцієнт.

Одним із поширених терморезистивних сенсорів є RT100 (рис. 1.4), який виготовлений з платини і має опір  $100 \Omega$  при  $0^\circ\text{C}$ . Він широко використовується в промисловості та сільському господарстві для вимірювання температури ґрунту. [6]



Рисунок 1.4 – Терморезистивний сенсор RT100

**2. Інфрачервоні термометри.** Він використовує принцип, що всі об'єкти, які мають температуру, випромінюють інфрачервоне (ІЧ) випромінювання.

Інфрачервоні термометри особливо корисні для агрономів і дослідників, які займаються моніторингом стану ґрунту, оскільки вони можуть швидко і точно вимірювати температуру. [5]

Температура ґрунту визначається за формулою:

$$T = \left( \frac{I}{\epsilon \cdot \sigma} \right)^{\frac{1}{4}} - 273.15$$

де  $T$  – температура в Кельвінах,

$I$  – інтенсивність випромінювання, яку виміряє термометр,

$\epsilon$  – емісійна здатність матеріалу, що вимірюється,

$\sigma$  – стала Стефана-Больцмана, яка становить приблизно  $5.67 \times 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>)

Прикладом інфрачервоного термометра, що використовується в сільському господарстві, є FLIR TG165. Цей термометр дозволяє вимірювати температуру поверхні ґрунту безконтактним методом, а його датчики особливо корисні для польових робіт через швидкий час відгуку. Термометр забезпечує точність вимірювання до  $\pm 1,5$  °С, що дозволяє зберігати дані для подальшого аналізу. [7]



Рисунок 1.5 – Інфрачервоний термометр FLIR TG165 [7]

Електрохімічні сенсори є важливими пристроями для вимірювання концентрації різних хімічних речовин у рідинах і газах. Вони працюють на основі електрохімічних реакцій, що відбуваються на поверхні електрода, і надають інформацію про концентрацію аналізованої речовини. [8]

Електрохімічні сенсори зазвичай класифікують за типом аналізованої речовини, зокрема:

1. Гальваностати – використовуються для вимірювання потенціалу та струму в розчині. Вони надають точні дані про концентрацію іонів у рідині.

2. Потенціометри – вимірюють концентрацію речовини за зміною її потенціалу. Цей тип датчиків часто використовують для вимірювання рН води та інших рідин.

Концентрація аналізованої речовини вимірюється за формулою:

$$C = \frac{I}{k \cdot (E - E_0)}$$

де  $C$  – концентрація аналізованої речовини,

$I$  – струм, що проходить через сенсор,

$k$  – константа сенсора,

$E$  – електричний потенціал,

$E_0$  – потенціал, що відповідає нульовій концентрації.

Прикладами електрохімічних сенсорів є рН-метри (рис. 1.7), які широко використовуються для вимірювання кислотності та лужності рідин. У сільському господарстві вони необхідні для моніторингу рН ґрунту, який є важливим для росту рослин.[9]



Рисунок 1.7 - РН-метр для ґрунту Ezodo MP-103S [9]

## 1.2 Сенсори для контролю рослин

Оптичні сенсори є важливим інструментом для оцінки здоров'я рослин, оскільки вони використовують методи аналізу відбиття світла від рослинної

тканини. Однією з основних властивостей, яку вимірюють ці сенсори, є концентрація хлорофілу в рослині. Вони також можуть оцінювати фотосинтетичну активність рослин, вимірюючи інтенсивність відбитого світла в інфрачервоному спектрі. Важливим показником у цій оцінці є нормалізований індекс рослинного покриву (NDVI).

Формула розрахунку NDVI виглядає наступним чином:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

де *NIR* – інтенсивність відбиття інфрачервоного світла,

*Red* – інтенсивність відбиття червоного світла.

Використовуючи цю формулу, можемо визначити, наскільки ефективно рослини проводять фотосинтез, і виявити можливі проблеми на ранніх стадіях.

Прикладами оптичних датчиків, що використовуються в сільському господарстві, є спектрометри, такі як ASD FieldSpec (рис. 1.8(a)), які вимірюють відбиття світла в широкому спектрі (350-2500 нм). Іншим прикладом є оптичний фітосанітарний датчик, такий як GreenSeeker(рис. 1.8(б)), який вимірює відношення інфрачервоного світла до інфрачервоного світла, що може допомогти виявити проблеми з рослинами.



Рисунок 1.8 – Оптичні сенсори ASD FieldSpec (а) та GreenSeeker(б)

Фотосинтетичні датчики спеціалізуються на вимірюванні обміну вуглекислого газу, важливого аспекту фотосинтезу. Наприклад, газоаналізатори, такі як LI-6400 (рис. 1.9), можуть точно вимірювати рівень CO<sub>2</sub> до і після його проходження через листя рослин. Це дає можливість оцінити ефективність процесу фотосинтезу і дозволяє фермерам приймати рішення про стан рослини на основі отриманих даних.



Рисунок 1.9 – Газоаналізатор LI-6400

Крім того, світло є важливим аспектом фотосинтезу. Датчики світла вимірюють умови освітлення, які впливають на фотосинтетичну активність рослин. Для точної оцінки фотосинтезу рослинам необхідно знати, скільки світла до них потрапляє, оскільки це безпосередньо впливає на їхню здатність виробляти енергію.

Інтегруючи ці датчики в автоматизовані системи управління, фермери можуть регулювати умови вирощування, такі як зрошення та внесення добрив, на основі даних про фотосинтетичну активність.

Камери з високою роздільною здатністю стали невід'ємною частиною сучасних сільськогосподарських операцій, оскільки вони можуть надавати детальні зображення рослин і виявляти проблеми, невидимі неозброєним оком. Використання таких камер особливо корисне для фермерів, оскільки вони допомагають контролювати стан рослин на всіх стадіях розвитку.

Найпоширенішим типом камер високої роздільної здатності є мультиспектральна камера, наприклад, MicaSense RedEdge (рис. 1.10). Ці пристрої можуть знімати зображення в декількох спектрах одночасно, що дозволяє на ранніх стадіях виявляти хвороби рослин, стрес і дефіцит поживних речовин. Мультиспектральні камери особливо корисні для аналізу стану рослинності, оскільки вони можуть оцінити співвідношення червоного та інфрачервоного світла, яке використовується для розрахунку індексу рослинного покриття (NDVI).





Рисунок 1.10 – Камера MicaSense RedEdge

Ще одним важливим типом камер є гіперспектральна камера, яка надає ще більш детальну інформацію про рослини. Гіперспектральні камери можуть вимірювати відбиття світла в сотнях різних спектрів, що дозволяє детально аналізувати фізіологічний стан рослин і виявляти ряд проблем, таких як грибкова інфекція, пошкодження і дефіцит поживних речовин.

Поєднання камер високої роздільної здатності та сучасного програмного забезпечення для обробки зображень є потужним інструментом для автоматизації процесу моніторингу посівів. Завдяки цим технологіям фермери можуть швидше отримувати дані про стан своїх посівів і якнайшвидше вживати необхідних заходів.

### 1.3 Сенсори для моніторингу стану тварин

Радіочастотна ідентифікація (RFID) – це технологія, яка використовує радіохвилі для безконтактної ідентифікації об'єктів. У сільському господарстві RFID-мітки використовуються для відстеження переміщення тварин, а також для реєстрації їхньої продуктивності та стану здоров'я. Кожна мітка має унікальний ідентифікаційний номер і може точно відстежувати дані про конкретну тварину, такі як щеплення, історія хвороби та інформація про продуктивність.

Наприклад, RFID-мітки типу DAS (Digital Animal Solutions) (рис. 1.11) використовуються для ідентифікації великої рогатої худоби. Ці мітки містять чіпи, які можуть зчитувати дані на відстані до двох-трьох метрів, що дозволяє фермерам легко відстежувати переміщення тварин у своєму стаді та дізнаватися про їхній стан.



Рисунок 1.11 - RFID-мітки типу DAS

Використання технології RFID у тваринництві автоматизує ідентифікацію тварин, скорочує час, необхідний для обробки інформації, і знижує ймовірність помилок; системи RFID можуть бути інтегровані з програмним забезпеченням для управління фермою, що дозволяє аналізувати дані і приймати рішення на основі отриманої інформації. [10]

Датчики, які контролюють стан здоров'я тварин, є важливими інструментами, що надають точні дані про фізіологічні параметри тварин. Ці датчики можуть вимірювати різні параметри, такі як температура тіла, частота серцевих скорочень, рівень активності та поведінку.

Температурні датчики використовуються для виявлення підвищеної температури, що може свідчити про інфекцію або запальні процеси. Наприклад,

термометри DART можуть вимірювати температуру тіла великої рогатої худоби безконтактно, таким чином зменшуючи стрес для тварини під час вимірювання.

Датчики частоти серцевих скорочень, такі як пульсоксиметри, використовуються для моніторингу здоров'я серцево-судинної системи.

Датчики активності, такі як акселерометри, контролюють фізичну активність тварини. Ці датчики можуть бути інтегровані в натільні пристрої, такі як нашійники або браслети, які фіксують рухи тварини в режимі реального часу. Наприклад, FitBark використовує технологію акселерометрів для аналізу фізичної активності собак, допомагаючи виявляти зміни в поведінці, які можуть свідчити про проблеми зі здоров'ям.

Системи моніторингу на основі Інтернету речей інтегрують дані з різних датчиків і передають їх на мобільні пристрої або комп'ютери через Wi-Fi або Bluetooth. Наприклад, такі платформи, як Allflex, пропонують рішення для моніторингу здоров'я тварин, які поєднують дані про температуру, серцебиття та поведінку для комплексної оцінки стану здоров'я тварин. [10]

## РОЗДІЛ 2 ЗАСТОСУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ СИСТЕМ СЕНСОРНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ ДЛЯ КЕРУВАННЯ СІЛЬСЬКО-ГОСПОДАРСЬКОЮ ТЕХНІКОЮ

### 2.1 Важливість використання сенсорної електроніки в сільському господарстві

Сенсорна електроніка відіграє ключову роль у трансформації сучасного сільського господарства і сприяє підвищенню ефективності, продуктивності та сталості сільськогосподарського виробництва. Розвиток технологій, що дозволяють здійснювати моніторинг і контроль процесів у режимі реального часу, дозволив агробізнесу швидко реагувати на мінливі умови навколишнього середовища. Це призводить до оптимізації використання ресурсів та економії витрат, що є важливим у конкурентному сільськогосподарському середовищі.

Однією з найбільших переваг використання сенсорних технологій є їхня здатність підвищувати ефективність управління сільськогосподарськими процесами. Агрономи та механізатори можуть отримувати дані про стан ґрунту, погоду та здоров'я рослин в режимі реального часу. Це дозволяє їм приймати обґрунтовані рішення щодо зрошення, внесення добрив та захисту посівів від шкідників і хвороб. Наприклад, датчики вологості можуть точно вимірювати вологість ґрунту, запобігаючи надмірному зрошенню та забезпечуючи оптимальний полив.

Датчики також можуть допомогти ефективно використовувати такі ресурси, як вода, добрива та енергія. Методи точного землеробства на основі сенсорів дозволяють фермерам зменшити витрати на воду та добрива, зберігаючи при цьому достатню врожайність. Дані з датчиків можуть допомогти оптимізувати розподіл води в автоматизованих системах зрошення. Це особливо важливо в умовах зміни клімату та обмежених водних ресурсів. [8]

Використання сенсорної електроніки також позитивно впливає на якість сільськогосподарської продукції. Системи моніторингу здоров'я рослин, такі як

оптичні датчики та камери з високою роздільною здатністю, можуть виявляти хвороби на ранній стадії. Це означає, що можна вжити заходів для викорінення хвороб до того, як вони завдадуть значної шкоди врожаю, тим самим покращуючи загальну якість врожаю і зменшуючи втрати.

Нарешті, сенсорні електронні системи стимулюють інновації в сільському господарстві, створюючи нові можливості для автоматизації та інтеграції технологій. Зростаючий попит на «розумні» рішення для сільського господарства стимулює розвиток нових технологій, таких як дрони для моніторингу полів та автоматизовані системи управління сільськогосподарською технікою.

Тому використання сенсорної електроніки в сільському господарстві має вирішальне значення для підвищення продуктивності, збереження ресурсів, поліпшення якості продукції та адаптації до зміни клімату. Інтеграція сенсорних технологій в процес управління сільськогосподарською технікою відкриває нові горизонти для розвитку аграрного сектору, роблячи його більш стійким і конкурентоспроможним. [8]

## **2.2 Технології збору та обробки даних**

Сенсорні електронні системи в сільському господарстві базуються на інтеграції різних технологій збору та обробки даних, які дозволяють ефективно контролювати та керувати сільськогосподарськими процесами.

### **2.2.1 Використання мікроконтролерів і ПЛІС**

Ключовим компонентом таких систем є використання мікроконтролерів та програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС), які виступають основними елементами для збору даних з датчиків.

Мікроконтролери дозволяють обробляти дані в польових умовах, зменшуючи затримки при передачі інформації та забезпечуючи швидке реагування на зміну умов навколишнього середовища. ПЛІС можуть бути налаштовані для роботи з різними

типами датчиків, такими як вологоміри, термометри та інші пристрої, що контролюють стан ґрунту і рослин ПЛІС можуть бути налаштовані для роботи з різними типами датчиків, такими як вологоміри, термометри та інші пристрої, що контролюють стан ґрунту і рослин. Крім того, ПЛІС забезпечують гнучкість у конфігурації та розширенні системи і можуть бути адаптовані до специфічних вимог сільськогосподарського виробництва. Використання цих технологій гарантує високу продуктивність обробки даних і можливість реалізації складних алгоритмів прийняття рішень. [11]

### **2.2.2 Бездротові технології передачі даних**

Технології бездротової передачі даних, такі як LoRa (Long Range) і Zigbee, відіграють важливу роль у впровадженні дистанційного моніторингу в сільськогосподарських системах, забезпечуючи можливість ефективного збору та передачі інформації з різних датчиків.

LoRa – одна з найсучасніших технологій бездротової передачі даних, що дозволяє здійснювати зв'язок на великі відстані з надзвичайно низьким енергоспоживанням. Це робить LoRa ідеальним рішенням для сільського господарства, де часто необхідно з'єднати датчики, які розташовані досить далеко один від одного, а також головний контролер. Оскільки мережа може бути побудована для покриття великої площі, LoRa може допомогти в моніторингу великих сільськогосподарських територій, таких як поля, сади і ферми. Технологія надає фермерам життєво важливі дані, такі як вологість ґрунту, температура та інші показники, що дозволяє їм приймати обґрунтовані рішення щодо управління ресурсами. [12]

Zigbee забезпечує бездротову передачу даних на короткі відстані, але характеризується простотою налаштування та економією енергії. Використання Zigbee в сільському господарстві дозволяє будувати мережі з невеликою кількістю датчиків і може бути легко інтегроване в існуючі системи управління. Zigbee не пропонує можливості LoRa. Він не може передавати дані на великі відстані, але має

такі переваги, як швидке налаштування, низьке енергоспоживання і можливість об'єднувати в мережу велику кількість пристроїв, які можуть збирати дані з різних джерел і передавати їх на центральну платформу для подальшої обробки.

Поєднання LoRa і Zigbee в сільськогосподарських системах дозволяє ефективно збирати дані з великої кількості датчиків і забезпечує моніторинг в режимі реального часу. Це дозволяє агровиробникам швидко реагувати на мінливі умови навколишнього середовища та оптимізувати процеси управління.

### **2.2.3 Алгоритми обробки даних та прийняття рішень**

Дані з датчиків обробляються за допомогою алгоритмів, які аналізують інформацію та генерують рекомендації для фермерів. Ці алгоритми включають прості статистичні методи, а також більш просунуті підходи, такі як машинне навчання. Машинне навчання можна використовувати для прогнозування змін в умовах вирощування, виявлення закономірностей у даних та автоматизації процесів управління.

Такі дані, як вологість і температура ґрунту, можуть бути проаналізовані для визначення оптимальних графіків поливу і внесення добрив. Завдяки інтеграції мікроконтролерів, ПЛС, технологій бездротової передачі даних і потужних алгоритмів обробки даних, системи сенсорної електроніки забезпечують ефективний моніторинг і управління сільськогосподарською діяльністю.

## **2.3 Практичне використання сенсорних систем у сільському господарстві**

Сучасне сільське господарство активно впроваджує сенсорні технології для підвищення ефективності, продуктивності та стійкості виробництва. Використання сенсорних систем дозволяє автоматизувати процеси, оптимізувати використання ресурсів і знижувати вплив людського фактора. Розглянемо декілька прикладів впровадження таких систем у різних аспектах аграрної діяльності.

### 2.3.1 Система автоматичного керування

Система автоматичного керування є важливою складовою сучасного сільського господарства, сприяючи автоматизації численних процесів та підвищенню ефективності роботи на полях. Однією з таких систем є AutoTrac від компанії John Deere, яка використовує GPS-навігацію (рис. 2.1) для точного слідування заданими лініями на полі. Це дозволяє техніці автоматично коригувати свій рух, знижуючи кількість помилок, пов'язаних з людським фактором, і забезпечуючи ефективне використання площі поля. Система може бути інтегрована з різними типами сільськогосподарської техніки, від тракторів до комбайнів, і забезпечує точність руху в межах кількох сантиметрів залежно від обраного рівня GPS-сигналу.



Рисунок 2.1 – GPS-навігація AutoTrac

Оператор задає маршрут на полі за допомогою дисплея, після чого система автоматично бере на себе управління технікою, що дозволяє уникати перекриттів і пропусків, що, в свою чергу, знижує витрати на паливе, добрива та насіння. Також завдяки автоматизації значно зменшується навантаження на оператора, що особливо важливо під час тривалих робочих змін. Одним із ключових аспектів є збереження рівномірності обробки полів, що сприяє більш стабільному росту культур і покращує якість врожаю.

Переваги та недоліки використання даної системи автоматичного керування представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Переваги та недоліки John Deere AutoTrac



Переваги	Недоліки
Підвищення продуктивності за рахунок економії часу завдяки автоматизації	Високі початкові витрати на обладнання та підписки на точний GPS
Зниження витрат на паливе, добрива та насіння	Точність залежить від якості сигналу, що може бути проблемою в складних умовах
Автоматизація знижує навантаження на людину	Потрібні спеціальні навички для ефективного використання системи

### 2.3.2 Візуальна навігація

Сучасні досягнення в галузі сільськогосподарських технологій значно змінили підходи до землеробства, забезпечуючи фермерам можливість підвищувати врожайність і ефективність своєї діяльності. Одним із яскравих прикладів інновацій у цій сфері є система John Deere AutoTrac Vision (рис. 2.2), яка впроваджує автоматизовану візуальну навігацію для точного обробітку полів.



Рисунок 2.2 – Облаштування та навігація в системі John Deere AutoTrac Vision

Основним принципом роботи AutoTrac Vision є алгоритми обробки зображень, які дозволяють розпізнавати навіть молоді рослини. Це особливо важливо на початкових стадіях росту культур, коли точність навігації відіграє вирішальну роль. Завдяки цьому технологія дозволяє значно зменшити витрати ресурсів, оптимізуючи

використання палива, добрив і води, а також знижуючи ризики пошкодження рослин.

Система AutoTrac Vision широко використовується для роботи з рядковими культурами, такими як кукурудза, соя та цукровий буряк. Вона особливо ефективна на полях нерівної або складної форми, де традиційне керування може бути менш точним. Унікальність цієї технології полягає у можливості підтримувати точний курс без постійного втручання оператора, що значно зменшує його втому і підвищує продуктивність праці.

Незважаючи на численні переваги, впровадження систем візуальної навігації має і певні обмеження (табл. 2.1).

Таблиця 2.2 – Переваги та недоліки AutoTrac Vision

Переваги	Недоліки
Економія ресурсів (пального, добрив, часу)	Висока вартість впровадження та обслуговування
Підвищення продуктивності завдяки автоматизації.	Залежність від якості роботи камер і алгоритмів
Зменшення ризиків пошкодження врожаю.	Необхідність навчання операторів для роботи з системою
Зниження втоми оператора, покращення умов праці	Можливі складнощі з роботою на полях із нерівною структурою рослинності
Точність роботи навіть на високих швидкостях	Залежність від стабільності електронного обладнання

Система AutoTrac Vision є яскравим прикладом сучасних технологій, які допомагають аграріям досягати нових рівнів ефективності. Її впровадження є важливим кроком у розвитку точного землеробства, що дозволяє значно підвищити продуктивність сільськогосподарських підприємств із мінімальними витратами.

### 2.3.3 Автоматичне визначення врожайності

Система Active Yield від компанії John Deere є інноваційним рішенням для автоматичного визначення врожайності під час збору врожаю. Ця технологія дозволяє точно вимірювати кількість зібраного зерна в реальному часі, що є важливим для ефективного управління аграрними процесами. Система працює за допомогою вагових датчиків, які встановлені в бункері комбайна. Під час заповнення бункера датчики вимірюють вагу зерна, а система автоматично коригує показники врожайності, щоб забезпечити точні дані без необхідності ручного калібрування. Це значно знижує витрати часу і зусиль оператора, дозволяючи йому зосередитися на інших важливих аспектах збору врожаю.

Дані оновлюються в реальному часі та відображаються на моніторі в кабіні комбайна, що дозволяє фермеру своєчасно реагувати на зміни врожайності. Автоматичне калібрування без потреби зупинки комбайна дозволяє зекономити час і підвищити продуктивність роботи. Система також забезпечує точні вимірювання врожайності без впливу людського фактора, що дозволяє отримати достовірні дані для прийняття рішень у реальному часі. Крім того, з точними даними про врожайність фермери можуть оптимізувати процеси обробітку ґрунту, внесення добрив та використання інших ресурсів, що сприяє зниженню витрат і підвищенню ефективності.

Переваги та недоліки використання даної системи наведені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Переваги та недоліки John Deere Active Yield

Переваги	Недоліки
Автоматизація калібрування, що економить час	Висока вартість, що може бути непосильною для малих господарств
Підвищена точність вимірювань без людського фактора	Залежність від моделей комбайнів John Deere
Оптимізація використання ресурсів, що знижує витрати	Необхідність навчання операторів для ефективного використання
Економія часу завдяки безперервному калібруванню	Зниження точності в несприятливих погодних умовах (висока вологість, пил)

В загальному, система Active Yield є потужним інструментом для автоматичного визначення врожайності, який дозволяє фермерам покращити ефективність збору врожаю, оптимізувати використання ресурсів і зменшити вплив людського фактора. Вона відкриває нові можливості для точного землеробства, забезпечуючи підвищення продуктивності та прийняття рішень на основі даних. Незважаючи на високу вартість та деякі технічні обмеження, ця технологія є важливим елементом сучасного сільського господарства.

#### 2.3.4 Цифрові платформи для управління фермерським господарством

Цифрові платформи для управління фермерськими господарствами стали важливим елементом сучасного сільського господарства, дозволяючи аграріям ефективно управляти всіма етапами виробництва, від підготовки ґрунту до збору врожаю. Інтегровані технології, що використовуються в таких платформах, дають можливість фермерам зібрати та проаналізувати велику кількість даних, що дозволяє ухвалювати обґрунтовані рішення, знижувати витрати та підвищувати врожайність.

Серед таких платформ можна виділити Cropwise Operations, яка об'єднує різноманітні інструменти для моніторингу стану полів, прогнозування врожайності, управління ресурсами, а також для прийняття стратегічних рішень.

Завдяки супутниковим знімкам, даним з дронів та аналізу великих даних (рис. 2.3), платформи дозволяють аграріям постійно контролювати стан культур, виявляти стресові ділянки на полях і точно прогнозувати врожайність, що дає змогу зменшити витрати на обробіток ґрунту та забезпечити ефективне управління ресурсами. Прогнозування погоди та аналіз її впливу на ріст рослин дозволяє фермеру коригувати свої плани і вчасно реагувати на несприятливі погодні умови. Цифрові платформи також допомагають оптимізувати використання добрив, пестицидів та води, що знижує витрати і покращує екологічну стійкість господарств.

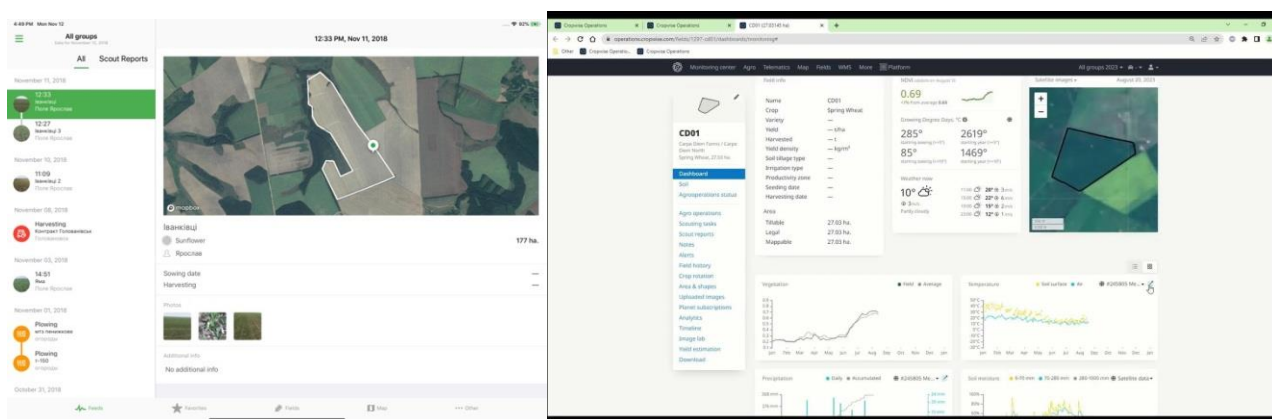


Рисунок 2.3 – Приклад зібрання знімків та статистики

Технології картографії і зонування дозволяють створювати детальні карти полів, на яких враховуються різні характеристики, такі як тип ґрунту та рівень врожайності, що дає змогу ефективно розподіляти ресурси по різних ділянках поля. Крім того, платформи мають потужні аналітичні інструменти для оцінки ефективності використання ресурсів, що допомагає фермерам приймати обґрунтовані стратегічні рішення, оптимізуючи роботу і збільшуючи продуктивність.

Використання даної платформи має свої переваги та недоліки, які представлені у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Переваги та недоліки Cropwise Operations

Переваги	Недоліки
Точне використання добрив, пестицидів та води знижує витрати на ресурси без шкоди для врожайності	Вартість платформи, підписки та необхідного обладнання може бути високою, що є бар'єром для малих фермерських господарств
Завдяки оптимізації всіх етапів агровиробництва можна значно збільшити врожайність та якість продукції	Точність прогнозів і аналітики залежить від якості зібраних даних, і будь-які неточності можуть призвести до помилкових рішень
Платформи надають актуальну інформацію, що дозволяє оперативно реагувати на зміни умов на полі та погодні коливання	Для ефективного використання платформ фермерам потрібно пройти навчання, що може бути додатковим навантаженням
Оптимізоване використання хімікатів зменшує забруднення ґрунту і води, що сприяє збереженню екології	Для роботи платформи необхідне стабільне підключення до Інтернету, що може бути проблемою в районах з поганим покриттям
Платформи допомагають краще планувати роботи, уникати ризиків і коригувати плани в залежності від зміни погодних умов або ринкових коливань	

Цифрові платформи для управління господарствами дозволяють впроваджувати концепцію точного землеробства, підвищуючи рівень технологічності і ефективності в аграрній сфері. Вони значно знижують витрати, підвищують врожайність і допомагають зберегти навколишнє середовище завдяки оптимізації ресурсів. Хоча впровадження таких технологій може вимагати значних фінансових вкладень і додаткових зусиль, їх потенціал для підвищення стійкості та продуктивності сільського господарства надзвичайно великий.

## ВИСНОВКИ

1. Показано, що впровадження сенсорних технологій у сільське господарство суттєво підвищує ефективність виробництва. Сенсори дозволяють точно моніторити стан ґрунту, рослин і тварин, що сприяє оптимальному використанню ресурсів, зокрема води, добрив і пестицидів.

2. Продемонстровано результати, які показують ефективність використання технологій збору й обробки даних на основі мікроконтролерів і ПЛІС. Ці технології дозволяють інтегрувати різноманітні датчики та забезпечують швидку обробку даних в реальному часі, що сприяє підвищенню точності і швидкості прийняття управлінських рішень.

3. Установлено, що бездротові технології, такі як LoRa і Zigbee, є ключовими компонентами для забезпечення дистанційного моніторингу в сільському господарстві. Вони забезпечують надійну передачу даних на великі відстані з мінімальним споживанням енергії, сприяючи зниженню витрат на обслуговування системи.

4. Доведено, що використання алгоритмів обробки даних, включаючи машинне навчання, дозволяє автоматизувати процеси управління сільськогосподарськими системами. Це відкриває можливості для оптимізації графіків зрошення, внесення добрив та інших операцій на основі прогнозів і аналізу отриманих даних.

5. Показано, що впровадження цифрових платформ для управління фермерськими господарствами дозволяє аграріям приймати обґрунтовані стратегічні рішення. Такі платформи об'єднують супутникові дані, аналіз великих даних і прогнозування, сприяючи точному землеробству та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Черлінка В. Вологість Ґрунту: Методи та Інструменти Визначення. EOS Data Analytics. URL: <https://eos.com/uk/blog/volohist-gruntu/>.
2. Купити ємнісний датчик вологості ґрунту V1.2. Diy Shop. URL: <https://diyshop.com.ua/ua/emkostnyj-datchik-vlazhnosti-pochvy>.
3. SHT85. РКС Компоненти - РАДІОМАГ. URL: [https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/sht85\\_152190.html](https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/sht85_152190.html).
4. Davis 6440 – Soil Moisture Sensor. Davis Europe. URL: <https://www.davis-europe.nl/product/davis-6440-soil-moisture-sensor/>.
5. Черлінка В. Температура ґрунту і її значення для росту і розвитку рослин. EOS Data Analytics. URL: <https://eos.com/uk/blog/temperatura-gruntu/>.
6. Датчик температури PT100, -30...200 С, 3 м. Electrokom. URL: <https://electrokom.kiev.ua/ru/product/datchik-temperature-pt100>.
7. FLIR TG165-X (80x60) Тепловізор для енергоаудиту. Hantek вимірювальні прилади та обладнання. URL: <https://hantek.com.ua/flirtg165-x>.
8. Датчики стану ґрунту, застосування датчиків в сільському господарстві. Пропозиція. URL: <https://propozitsiya.com/ua/vykorystannya-datchyktiv-stanu-gruntu-v-silskomu-gospodarstvi>.
9. PH-метр EZODO MP-103S з гострим електродом PS44 та термодатчиком. KING. URL: [https://king-tools.com.ua/ua/catalog/ph\\_metri/rn\\_metr\\_ezodo\\_mp\\_103s\\_s\\_ostrym\\_elektrodom\\_ps44\\_i\\_termodatchikom/](https://king-tools.com.ua/ua/catalog/ph_metri/rn_metr_ezodo_mp_103s_s_ostrym_elektrodom_ps44_i_termodatchikom/).
10. Капущак А. С. Система моніторингу стану домашніх тварин. Київ, 2020. 75 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/a10cde4c-e39b-4ff8-97de-aa9da626ac4a/content>.
11. Серіков А., Пугач К. Порівняльний аналіз застосування пліс і мікроконтролерів в системах радіолокації. Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті : тези доп. 27-го Міжнар. молодіж. форуму. Харків, 2023. URL:



<https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/0e722ae5-b24d-4d1c-93e6-8108233eb2c2/content>.

12. Порівняння LoRa й інших бездротових технологій. Jooby. URL: <https://jooby.eu/uk/blog/porivnyannya-lora-j-inshih-bezdrotovih-tehnologij/>.