

**БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

**БР. ІІ - 42.00.00.000 ІІЗ**

**Група ІІ-23-1К**

**Мурафа Назар**

**2025**

**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**

Факультет інформаційних технологій

Кафедра інженерії програмного забезпечення

**Мурафа Назар Олександрович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 004  
(індекс)

## **БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

**Реалізація аспектів інтеграції та взаємодії в системі моніторингу на**

**основі штучного інтелекту**

(назва роботи)

**Інженерія програмного забезпечення**

(назва освітньої програми)

**121 - Інженерія програмного забезпечення**

(шифр і назва спеціальності)

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

Здобувач освітнього рівня Мурафа Н.О.  
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник Процюк Галина Ярославівна, асистент  
(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту  
Завідувач кафедри

доц. Бандура В.В.  
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

**Івано-Франківськ – 2025**

# Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут, факультет інформаційних технологій

Кафедра інженерії програмного забезпечення

Ступінь вищої освіти бакалавр

Спеціальність 121 – Інженерія програмного забезпечення

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Зав. кафедрою ІІЗ

доц.

В.В. Бандура

“     ”     2025 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

**Мурафі Назару Олександровичу**

(прізвище, ім'я, по-батькові)

**1. Тема проекту (роботи) “ Реалізація аспектів інтеграції та взаємодії в системі моніторингу на основі штучного інтелекту ”**

керівник проекту (роботи) Процюк Г.Я., асистент

затвержені наказом закладу вищої освіти від “ 28 ” квітня 2025 р. № 264/7

**2. Строк подання студентом проекту (роботи) 9 червня 2025 р.**

**3. Вихідні дані до проекту (роботи) Результати і матеріали отримані під час проходження переддипломної практики**

**4. Зміст розрахунково - пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)**

1. Аналіз предметної області процесів інтеграції системи моніторингу в хмарному середовищі

2. Методи, підходи та алгоритми системі моніторингу на основі штучного інтелекту

3. Виявлення та класифікація комах з використанням алгоритмів згорткових нейронних мереж

4. Програмна імплементація методів штучного інтелекту в системі віддаленого моніторингу

5. Реалізація функції чату зі штучним інтелектом

**5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)**

1. Структура Convolutional Neural Networks (рис. 1.3)

2. Модель архітектури YOLO (You Only Look Once) (рис. 1.4)

3. Багаторівнева архітектура системи моніторингу управління шкідниками (рис. 1.5)

4. Архітектура системи віддаленого моніторингу пасток для комах на основі ІІІ (рис. 1.6)

5. Зображення автоматизованої "розумної" пастки системи Trapview (рис. 1.7)

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 28 квітня 2025 р.

Керівник \_\_\_\_\_

(підпис)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

(підпис)

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз предметної області процесів інтеграції системи моніторингу в хмарному середовищі	04.05.2025	виконано
2	Методи, підходи та алгоритми системі моніторингу на основі штучного інтелекту	15.05.2025	виконано
3	Виявлення та класифікація комах з використанням алгоритмів згорткових нейронних мереж	21.05.2025	виконано
4	Програмна імплементація методів штучного інтелекту в системі віддаленого моніторингу	28.05.2025	виконано
5	Реалізація функції чату зі штучним інтелектом	02.06.2025	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки дипломної роботи завідувачем кафедри	09.06.2025	виконано

Студент – дипломник \_\_\_\_\_

(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_

(підпис)

## АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота містить 76 сторінок, 31 рисунок, список використаних джерел із 41 найменуваннями.

**Мета роботи:** розробити, реалізувати та дослідити систему моніторингу шкідників, засновану на технологіях штучного інтелекту, з акцентом на інтеграцію, взаємодію компонентів та автоматизовану обробку зображень для виявлення і класифікації комах

**Об'єкт дослідження** - процеси автоматизованого моніторингу та класифікації шкідників з використанням сучасних цифрових технологій.

**Предмет дослідження** - система моніторингу, що включає штучний інтелект, хмарні обчислення, комп'ютерний зір та інтерфейси взаємодії.

**В першому розділі** виявлено ключові проблеми традиційного моніторингу шкідників та обґрунтовано доцільність застосування ШІ для автоматизації цих процесів

**В другому розділі** проаналізовано методи комп'ютерного зору, IoT та нейронних мереж, що дозволяють створити ефективну інтелектуальну систему виявлення шкідників.

**В третьому розділі** реалізовано прототип хмарної системи моніторингу, що інтегрує штучний інтелект для класифікації комах та забезпечує інтерактивну взаємодію з користувачем.

**Висновок:** запропоновано інтегровану архітектуру хмарної системи моніторингу шкідників, яка поєднує технології штучного інтелекту, GPT-моделі, комп'ютерного зору та хмарної інфраструктури в єдине масштабоване рішення, здатне до адаптації, самонавчання та інтерактивної взаємодії з користувачем

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ; МОНІТОРИНГ ШКІДНИКІВ; ХМАРНІ ОБЧИСЛЕННЯ; КОМП'ЮТЕРНИЙ ЗІР; ЗГОРТКОВІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ; GPT; ІНТЕГРАЦІЯ СИСТЕМ

## ANNOTATION

This bachelor's thesis comprises 76 pages, 31 figures, and a list of 41 references.

**The purpose of this work** is to develop, implement, and investigate an AI-based pest monitoring system, with an emphasis on integration, component interaction, and automated image processing for insect detection and classification.

**The object of the study** is the processes of automated pest monitoring and classification using modern digital technologies.

**The subject of the study** is a monitoring system that includes artificial intelligence, cloud computing, computer vision, and interaction interfaces.

**The first chapter** identifies the key challenges of traditional pest monitoring and substantiates the feasibility of applying AI to automate these processes.

**The second chapter** analyzes computer vision, IoT, and neural network methods that enable the creation of an effective intelligent pest detection system.

**The third chapter** implements a prototype of a cloud-based monitoring system that integrates artificial intelligence for insect classification and provides interactive user interaction.

**Conclusion:** In conclusion, an integrated architecture for a cloud-based pest monitoring system is proposed, combining artificial intelligence technologies, GPT models, computer vision, and cloud infrastructure into a single scalable solution capable of adaptation, self-learning, and interactive user interaction.

**KEYWORDS:** ARTIFICIAL INTELLIGENCE; PEST MONITORING; CLOUD COMPUTING; COMPUTER VISION; CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS; GPT; SYSTEM INTEGRATION

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	8
ВСТУП .....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ПРОЦЕСІВ ІНТЕГРАЦІЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ В ХМАРНОМУ СЕРЕДОВИЩІ .....	12
1.1. Особливості розробка хмарного додатка моніторингу та ідентифікації комах на основі штучного інтелекту .....	12
1.1.1. Методологія .....	13
1.1.2. Значення дослідження .....	14
1.1.3. Перспективи та переваги .....	14
1.2. Виклики та інновації в управлінні шкідниками в сільському господарстві України.....	14
1.3. Сучасні виклики та перспективи автоматизації моніторингу шкідників .....	18
1.3.1. Обмеження традиційних методів моніторингу комах.....	18
1.3.2. Інновації та автоматизація в сільському господарстві .....	19
1.4. Новітні технології та роль штучного інтелекту в оптимізації моніторингу та управління шкідниками .....	19
1.4.1. Перехід до високотехнологічного моніторингу шкідників .....	19
1.4.2. Роль штучного інтелекту та машинного зору .....	20
1.4.3. Переваги інтеграції ШІ в моніторинг шкідників .....	25
1.5. Аналіз існуючої системи моніторингу та класифікації класифікації шкідників .....	25
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ, ПІДХОДИ ТА АЛГОРИТМИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ .....	36

					<b>БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ</b>				
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Реалізація аспектів інтеграції та взаємодії в системі моніторингу на основі штучного інтелекту  <b>Пояснювальна записка</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>	
Розроб.		Мурафа Н.О.						6	
Перевір.		Процюк Г.Я.							
Реценз.									
Н. Контр.		Піх М.М.							
Затверд.		Бандура В.В.							
						<b>ІФНТУНГ ІІ-23-1К</b>			

2.1. Інноваційні підходи до автоматизованого моніторингу та контролю шкідників у сільському господарстві .....	36
2.1.1. Системи моніторингу на основі комп'ютерного зору .....	36
2.1.2. Застосування безпілотних літальних апаратів .....	37
2.1.3. Системи на базі Інтернету речей (IoT) .....	38
2.1.4. Метод дистанційного зондування .....	40
2.2. Виявлення та класифікація комах з використанням алгоритмів згорткових нейронних мереж .....	41
2.3. Інструменти підтримки прийняття рішень на основі ШІ .....	46
2.4. Архітектури та застосування моделей штучного інтелекту .....	48
2.4.1 Трансформери .....	48
2.4.2. Модель комп'ютерного зору .....	50
2.4.3. Моделі виявлення та класифікації комах .....	51
2.5. Генеративний попередньо навчений трансформер (GPT) .....	53
2.5.1. Інженерія підказок .....	54
<b>РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНА ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СИСТЕМІ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ .....</b>	<b>55</b>
3.1. Реалізація бекенду проекту .....	56
3.1.1. База даних .....	56
3.1.2. API .....	58
3.2. Реалізація фронтенд частини .....	61
3.3. Реалізація функції чату зі штучним інтелектом .....	63
3.4. Потенціал інтегрованих систем моніторингу шкідників на основі штучного інтелекту .....	66
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>70</b>
<b>ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....</b>	<b>72</b>
<b>БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА</b>	

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- AI – Artificial Intelligence – Штучний інтелект
- CSPDarknet – Cross Stage Partial Network into Darknet – Перехресна стадійна часткова мережа у Darknet (частина архітектури YOLOv5)
- DSS – Decision Support System – Система підтримки рішень
- DETR – DEtection TRansformer – Трансформер виявлення
- GPT – Generative Pre-trained Transformer – Генеративний попередньо навчений трансформер
- IoT – Internet of Things – Інтернет речей
- IPM – Integrated Pest Management – Інтегроване управління шкідниками
- LLM – Large Language Model – Велика мовна модель
- PANet – Path Aggregation Network – Мережа агрегації шляхів
- ROI – Region of Interest – Область інтересу
- RNN – Recurrent Neural Network – Рекурентна нейронна мережа
- UAV – Unmanned Aerial Vehicle – Безпілотний літальний апарат
- ViT – Vision Transformer – Візійний трансформер

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

## ВСТУП

У сучасних умовах розвитку цифрових технологій сільське господарство дедалі активніше інтегрує інноваційні рішення для забезпечення ефективного управління виробничими процесами. Однією з найактуальніших проблем аграрного сектору є моніторинг і контроль шкідників, які спричиняють значні втрати врожаю та впливають на якість продукції. Традиційні методи виявлення та боротьби з шкідниками вимагають значних ресурсів, є повільними та часто не забезпечують належної точності.

У цьому контексті особливе значення має впровадження автоматизованих систем моніторингу, заснованих на технологіях штучного інтелекту, машинного навчання, комп'ютерного зору та Інтернету речей. Особливої уваги заслуговують аспекти інтеграції таких систем у хмарне середовище, що забезпечує масштабованість, доступність та взаємодію між компонентами в реальному часі.

У рамках цієї роботи розглядається створення інтелектуальної хмарної системи моніторингу шкідників з використанням сучасних моделей глибинного навчання, яка здатна автоматично розпізнавати об'єкти, класифікувати їх, взаємодіяти з користувачем та адаптуватися до змін середовища. Здійснено комплексний аналіз предметної області, розроблено архітектуру системи, реалізовано програмні компоненти та досліджено потенціал практичного впровадження таких рішень у галузі агровиробництва.

### **Актуальність роботи**

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю модернізації підходів до захисту рослин у сільському господарстві України з огляду на сучасні екологічні виклики, зростання масштабів агровиробництва та глобальні зміни клімату. Сучасні інструменти штучного інтелекту

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяють автоматизувати процеси збору, обробки та аналізу даних, значно підвищуючи ефективність і точність моніторингу шкідників. Особливої ваги набуває інтеграція таких рішень у хмарні середовища, що забезпечує гнучке управління системами, доступ до них з будь-якої точки світу та високу продуктивність. Розробка таких систем є кроком до створення розумного сільського господарства (Smart Farming), орієнтованого на сталий розвиток, зменшення впливу хімічних засобів та підвищення екологічної безпеки.

**Мета роботи** - розробити, реалізувати та дослідити систему моніторингу шкідників, засновану на технологіях штучного інтелекту, з акцентом на інтеграцію, взаємодію компонентів та автоматизовану обробку зображень для виявлення і класифікації комах.

#### **Завдання дослідження**

1. Провести аналіз предметної області та обґрунтувати необхідність використання ШІ в системах моніторингу шкідників.
2. Дослідити сучасні технології комп'ютерного зору, нейронних мереж, IoT та хмарних обчислень у контексті аграрного моніторингу.
3. Розробити архітектуру інтегрованої системи моніторингу на основі ШІ.
4. Реалізувати бекенд і фронтенд компоненти, систему баз даних та API.
5. Інтегрувати модель класифікації комах на основі згорткових нейронних мереж.
6. Реалізувати функцію чату на основі GPT для консультування користувача.

**Об'єкт дослідження** - процеси автоматизованого моніторингу та класифікації шкідників у сільському господарстві з використанням сучасних цифрових технологій.

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

**Предмет дослідження** - система моніторингу, що включає штучний інтелект, хмарні обчислення, комп'ютерний зір та інтерфейси взаємодії користувача.

**Методи дослідження:**

- аналіз та систематизація літературних джерел;
- моделювання архітектури програмних систем;
- машинне навчання (зокрема згорткові нейронні мережі);
- інженерія підказок для генеративних моделей;
- методи хмарних обчислень та API-інтеграції;
- розробка та тестування програмного забезпечення;

**Наукова новизна**

Запропоновано інтегровану архітектуру хмарної системи моніторингу шкідників, яка поєднує технології штучного інтелекту, GPT-моделі, комп'ютерного зору та хмарної інфраструктури в єдине масштабоване рішення, здатне до адаптації, самонавчання та інтерактивної взаємодії з користувачем.

**Практичне значення**

Розроблена система може бути застосована в аграрному секторі для автоматизованого моніторингу шкідників, що дозволяє зменшити залежність від ручної праці, підвищити ефективність боротьби зі шкідниками, оптимізувати використання пестицидів і забезпечити екологічну стійкість агровиробництва.

Бакалаврська робота містить 76 сторінок, 31 рисунок, 3 розділи список використаних джерел із 41 найменуванням.

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ПРОЦЕСІВ ІНТЕГРАЦІЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ В ХМАРНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

## 1.1. Особливості розробка хмарного додатка моніторингу та ідентифікації комах на основі штучного інтелекту

Ефективне управління шкідниками є критично важливим для забезпечення продуктивності та стабільності сільськогосподарського виробництва. Традиційні методи боротьби зі шкідниками часто вимагають значних ресурсів та можуть мати негативний вплив на навколишнє середовище. У відповідь на ці виклики, розроблена система використовує досягнення у сфері комп'ютерного зору та штучного інтелекту для створення інноваційного інструменту моніторингу та ідентифікації комах-шкідників. Дана робота описує архітектуру та функціональність серверної платформи, яка інтегрує передові можливості комп'ютерного зору з великими мовними моделями (ВММ) для надання комплексних рішень з управління шкідниками.

Представлено розробку серверної архітектури для виявлення комах, що є центральною компонентою у дослідженні розгортання та інтеграції моделей комп'ютерного зору (КЗ) на основі штучного інтелекту (ШІ) в контексті ідентифікації шкідників. Розроблена модель ШІ призначена для високоточної ідентифікації комах за зображеннями, отриманими за допомогою автоматизованих систем камер, встановлених на сільськогосподарських угіддях. Основною метою є інтеграція цієї моделі в доступний, хмарний додаток, що дозволяє фермерам аналізувати зображення, які містять групи комах, виявлених на їхніх фермах. Додаток надає результати у вигляді обмежувальних рамок та виявлених класів комах у реальному часі, що дозволяє фермерам своєчасно вживати відповідних заходів для управління шкідниками.

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

### 1.1.1. Методологія

Система виявлення комах реалізована з використанням Python, C++ та спеціалізованих бібліотек комп'ютерного зору для розробки моделі ідентифікації. Для інтеграції з API GPT-3.5 використано інтерфейс OpenAI. Це дозволяє розширити функціональність додатку, надаючи користувачам можливість формулювати запити щодо виявлених комах, що ефемерує функцію "онлайн-експерта".

Основні компоненти системи включають:

- Модель виявлення комах.

Розроблена з акцентом на точну ідентифікацію різних видів комах на основі візуальних даних. Модель повертає обмежувальні рамки (bounding boxes) та виявлені класи комах для кожного захопленого зображення.

- Хмарний додаток.

Слугує інтерфейсом, забезпечуючи автоматичне завантаження зображень та відображення результатів аналізу.

- Інтеграція з GPT-3.5 API.

Дозволяє емулювати експертів, надаючи користувачам природні мовні відповіді на запити щодо виявлених комах. Велика мовна модель (LLM) нейронної мережі може бути налаштована за допомогою інженерії підказок для генерації релевантних відповідей.

Поєднання технологій комп'ютерного зору та великих мовних моделей забезпечує більш ефективно та дієве управління шкідниками порівняно з існуючими альтернативами. Інтеграція API GPT-3.5 дозволяє додатку надавати персоналізовані рекомендації, адаптовані до конкретних потреб та обставин кожної ферми, що сприяє більш комплексному та адаптованому підходу до управління шкідниками. GPT-3.5 - це велика мовна модель (LLM), розроблена компанією OpenAI. Вона є наступником GPT-3 і є основою для багатьох застосунків, включаючи безкоштовну версію ChatGPT.

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### *1.1.2. Значення дослідження*

Значення даного дослідження полягає у розробці практичного та доступного інструменту, спрямованого на оптимізацію управління шкідниками. Застосування методів комп'ютерного зору та штучного інтелекту забезпечує швидку та точну ідентифікацію комах, що веде до більш ефективного управління шкідниками. Це, в свою чергу, може призвести до зменшення використання пестицидів, підвищення врожайності та мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище.

### *1.1.3. Перспективи та переваги*

Потенційні переваги цієї технології виходять за межі сільськогосподарської галузі. Розроблені методи та архітектура можуть бути адаптовані та застосовані до широкого спектру інших застосувань комп'ютерного зору та аналізу даних, орієнтованих на користувача, включаючи, але не обмежуючись, спостереження, безпеку та медичну візуалізацію. Це дослідження демонструє потенціал конвергенції технологій ШІ для вирішення реальних проблем та сприяння сталому розвитку.

## **1.2. Виклики та інновації в управлінні шкідниками в сільському господарстві України**

Сільськогосподарська галузь України є однією з ключових складових національної економіки, що відіграє значну роль у формуванні валового внутрішнього продукту (ВВП) та забезпеченні продовольчої безпеки. Зокрема, функціонування агропідприємств щороку генерує суттєвий обсяг доданої вартості. Однією з перманентних та значних проблем, що постають перед агровиробниками, є ефективне управління шкідниками та сільськогосподарськими культурами. Середні витрати на боротьбу зі шкідниками можуть сягати до 34% від змінних витрат на виробництво

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

культур [6]. Важливо зазначити, що поряд із шкідливими видами, що завдають економічних втрат та шкоди агроценозам, існують також корисні види комах, які щорічно сприяють збереженню значних коштів для сільськогосподарських виробників [7].

Історично, для протидії зростаючій кількості шкідників та інвазійних видів, спостерігалось інтенсивне використання пестицидів у сільському господарстві. Збільшення обсягів застосування пестицидів, окрім зростання фінансових витрат, супроводжується низкою екологічних та медичних ризиків. Непередбачувана шкода для навколишнього середовища та людини може виникати через стік хімічних речовин та їх вплив на нецільові організми [9]. Додатковим ризиком, пов'язаним з традиційним застосуванням пестицидів, є розвиток резистентності до інсектицидів серед популяцій комах внаслідок природного відбору та мутацій [10]. Враховуючи ці значні ризики, подальше інтенсивне використання пестицидів може призвести до зниження їх ефективності та, у крайніх випадках, до негативних наслідків для сільськогосподарського виробництва.

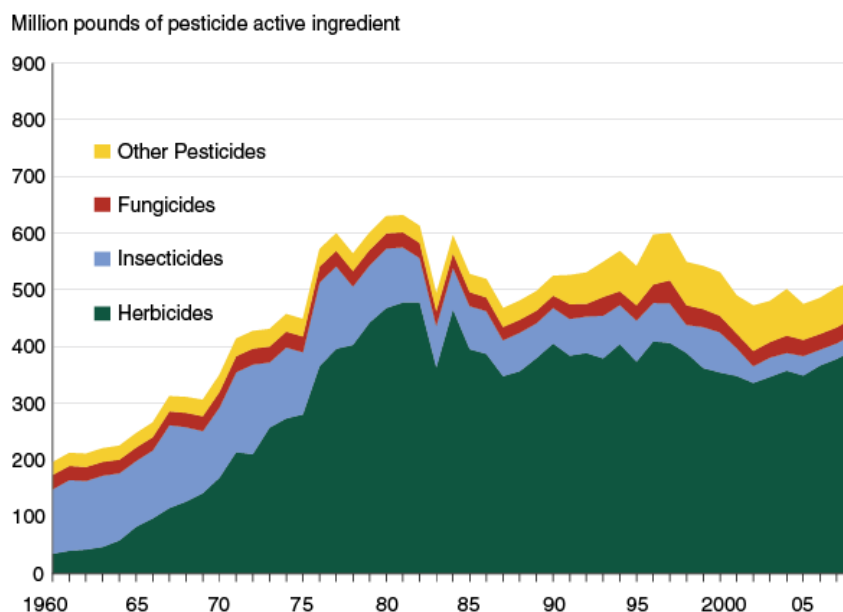


Рисунок 1.1 - Діаграма, що показує зростання та спад використання пестицидів

Для протидії викликам, пов'язаним зі зростанням використання пестицидів, аграрії активно впроваджують нові стійкі до шкідників сорти культур та застосовують стратегії інтегрованого управління шкідниками (ІУШ). ІУШ є комплексною стратегією, що надає пріоритет довгостроковій профілактиці проблем зі шкідниками за допомогою екологічно обережних методів. Ці методи включають маніпуляцію середовищем існування шкідників, заміну застарілих агрономічних практик, висаджування стійких сортів та інші підходи. Незважаючи на різноманіття практик, всі програми ІУШ містять шість ключових компонентів [11]:

- Ідентифікація шкідників.
- Моніторинг та оцінка чисельності шкідників та завданої шкоди.
- Визначення порогів для вжиття заходів управління.
- Запобігання виникненню проблем зі шкідниками.
- Застосування комбінації біологічних, культурних, фізичних/механічних та, за необхідності, хімічних засобів управління.
- Оцінка ефективності вжитих заходів управління шкідниками.

ІУШ набуває все більшого поширення серед сільськогосподарських виробників, сприяючи зменшенню витрат та втрат урожаю. Проте, одним з обмежень багатьох програм ІУШ є їхня трудомісткість, оскільки ідентифікація та моніторинг шкідників часто вимагають постійного ручного відбору проб, огляду та експертних знань щодо комах [13]. Для вирішення цих проблем розроблена нова система, яка поєднує сучасне апаратне та програмне забезпечення з метою створення послідовного та ефективного методу ідентифікації та моніторингу шкідників.

Інтеграція польових камерних систем, які функціонують з моделлю виявлення та класифікації комах, з орієнтованим на користувача додатком може радикально змінити підходи фермерів до управління шкідниками. Використання технологій штучного інтелекту (ШІ) дозволяє аграріям приймати обґрунтовані рішення та відстежувати чисельність шкідників у

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

реальному часі, тим самим підвищуючи стабільність планів ІУШ та загальну ефективність управління шкідниками.

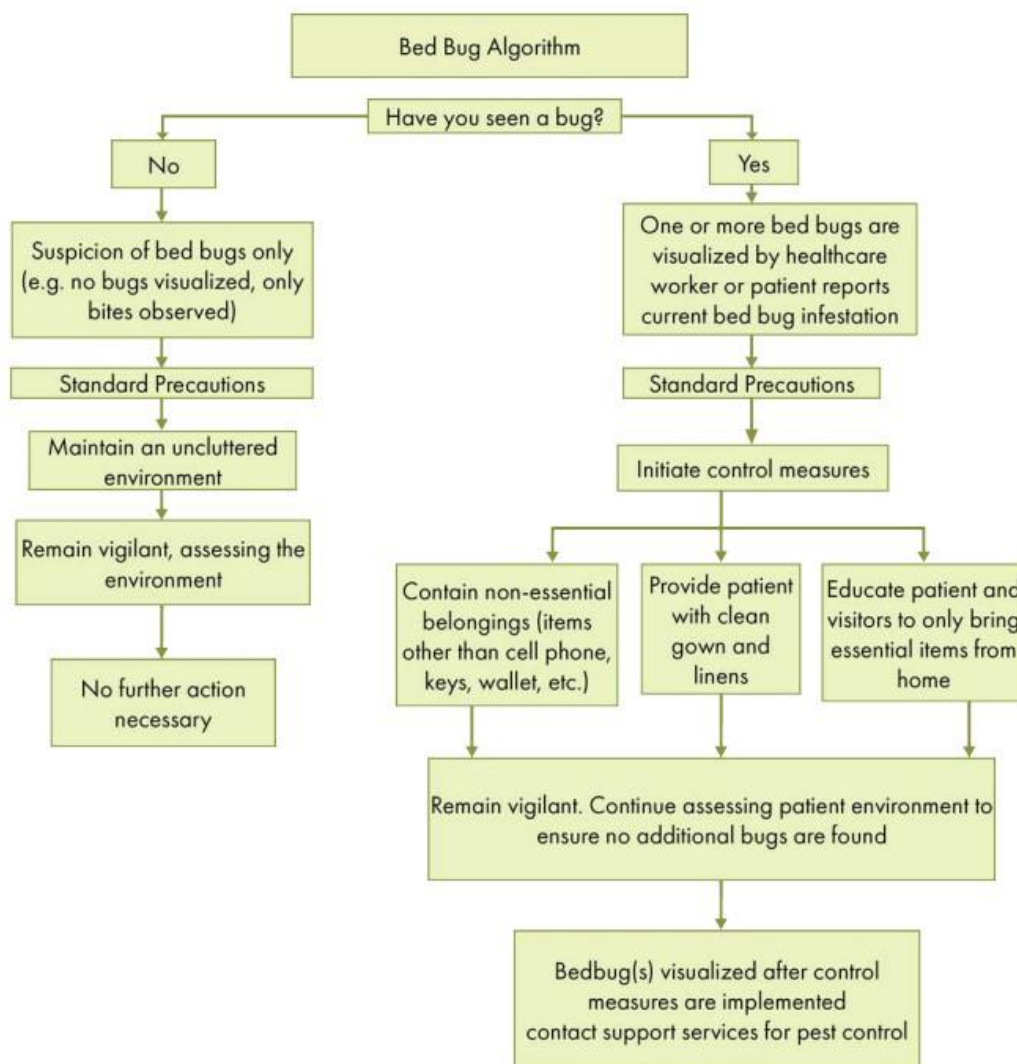


Рисунок 1.2 - Алгоритм боротьби з шкідниками: план інтегрованого управління шкідниками (ІРМ) в малому масштабі

Додатково, система розширена за рахунок інтеграції додаткової моделі ШІ, призначеної для емуляції експерта, як, наприклад, GPT-3.5 від OpenAI. Ця функція надає користувачам персоналізовані рекомендації, враховуючи унікальні умови їхніх агропідприємств, що сприяє розробці швидших та ефективніших стратегій боротьби зі шкідниками. Цей інноваційний підхід

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

має значний потенціал для зменшення використання шкідливих пестицидів та суттєвого підвищення врожайності.

### 1.3. Сучасні виклики та перспективи автоматизації моніторингу шкідників

#### 1.3.1. Обмеження традиційних методів моніторингу комах

На сьогодні значна частина моніторингу комах та кліщів у сільськогосподарській практиці та дослідницькій діяльності виконується за допомогою ручного відбору проб. Цей процес вимагає від фахівців (фермерів або дослідників) використання спеціалізованих інструментів, таких як цифрові камери та лупи зі збільшенням 10×, для ідентифікації дрібних організмів. Процедури моніторингу включають різноманітні методи, зокрема встановлення пасток, підрахунок комах за допомогою оббивання рослин (beat counts), збір фекальних гранул тощо [14].

Незважаючи на доведену ефективність цих методів, підтримання систематичного графіку відбору проб є складним завданням. Необхідність застосування різних методик та типів пасток для моніторингу різних видів комах значно ускладнює процес. Наприклад, для ефективного виявлення та моніторингу популяцій люцернового довгоносика, цикадок та армійських черв'яків рекомендується проводити відбір проб за допомогою сачка двічі на тиждень або частіше [15].

Крім того, ручний відбір проб є вразливим до помилок та упереджень, що може призвести до неточних оцінок чисельності популяцій комах. Дослідники або фермери можуть пропускати дрібних особин або неправильно їх ідентифікувати, спотворюючи результати підрахунку. Точність оцінок також залежить від таких факторів, як частота, місце та час відбору проб, а також від досвіду та кваліфікації особи, яка здійснює моніторинг. Ці фундаментальні обмеження ручного відбору проб можуть

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

спричинити затримки та неточності у реалізації планів інтегрованого управління шкідниками (ІУШ).

### *1.3.2. Інновації та автоматизація в сільському господарстві*

Сільськогосподарська галузь історично характеризується високим рівнем інноваційності, постійно вдосконалюючи процеси для підвищення ефективності. Еволюція від ручної праці до використання машин призвела до значного збільшення врожайності та скорочення часу, необхідного для виконання багатьох сільськогосподарських операцій, включаючи посів, догляд за посівами та збір врожаю. Останні досягнення в галузі роботизованих сільськогосподарських технологій дозволили розробити автоматизовані системи збору врожаю, які використовують глибоке навчання, сенсорні карти полів та інші передові методи для заміни багатьох ручних аспектів агровиробництва [16].

Проте, незважаючи на надзвичайну ефективність цього принципу автоматизації та технологічного прогресу, він часто не враховує такі критичні проблеми, як боротьба зі шкідниками. Ці проблеми є зовнішніми щодо базових процесів вирощування та збору врожаю з орних земель і вимагають специфічних підходів. Інтеграція автоматизованих систем моніторингу шкідників у загальну парадигму автоматизованого сільського господарства є наступним логічним кроком для підвищення ефективності та сталості агровиробництва.

## **1.4. Новітні технології та роль штучного інтелекту в оптимізації моніторингу та управління шкідниками**

### *1.4.1. Перехід до високотехнологічного моніторингу шкідників*

Визначені обмеження традиційних методів моніторингу шкідників, що базуються на ручному відборі проб, зумовлюють нагальну потребу в

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

розробці та впровадженні автоматизованих та високоточних рішень. Сучасні досягнення в галузі сенсорних технологій, обробки зображень та штучного інтелекту (ШІ) відкривають принципово нові можливості для оптимізації процесів ідентифікації та моніторингу шкідників у реальному часі.

#### 1.4.2. Роль штучного інтелекту та машинного зору

Ключовим напрямком інновацій є інтеграція систем комп'ютерного зору (КЗ), що працюють на основі алгоритмів ШІ. Ці системи здатні автоматично аналізувати візуальні дані, отримані з різноманітних джерел, для виявлення, ідентифікації та кількісної оцінки популяцій комах.

Основні елементи технологій ШІ у моніторингу шкідників включають:

##### 1. Глибоке навчання для розпізнавання об'єктів

1.1. Згорткові нейронні мережі (ЗНМ, Convolutional Neural Networks, CNNs) є основою для розробки високоефективних моделей розпізнавання комах. Навчаючись на великих датасетах зображень, розмічених за видами комах, ЗНМ можуть автоматично виділяти характерні ознаки, що дозволяють точно ідентифікувати навіть дрібних шкідників.



Рисунок 1.3 – Структура Convolutional Neural Networks

1.2. Моделі, такі як YOLO (You Only Look Once), Faster R-CNN, Mask R-CNN, дозволяють не тільки класифікувати об'єкти, а й визначати їхнє точне місцезнаходження на зображенні за допомогою обмежувальних рамок (bounding boxes). Це критично важливо для точного підрахунку та аналізу розподілу шкідників на певній території.

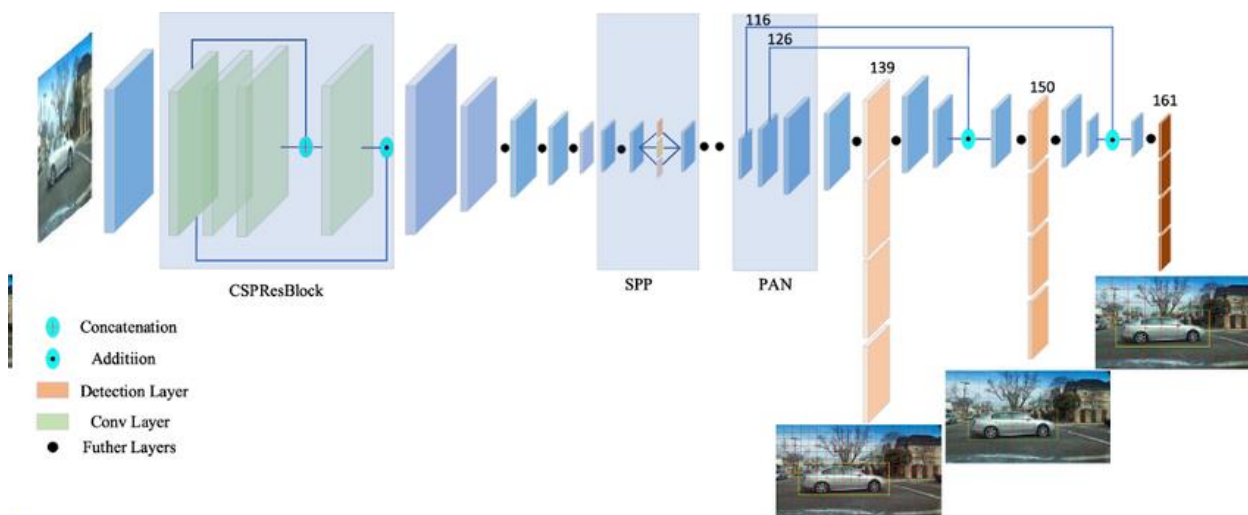


Рисунок 1.4 – Модель архітектури YOLO (You Only Look Once)

Рисунок 1.4 ілюструє архітектуру нейронної мережі для виявлення об'єктів, яка включає блоки для ефективного вилучення ознак (CSPResBlock), агрегації ознак (SPP, PAN) та багатомасштабних шарів для прогнозування обмежувальних рамок та класів об'єктів. Це дозволяє системі точно локалізувати та класифікувати об'єкти на зображеннях

## 2. Автоматизовані системи збору даних.

2.1. Мережі камер високої роздільної здатності: Розміщення камер, оснащених мікроскопами або макрооб'єктивами, на полях дозволяє безперервно збирати зображення комах. Ці камери можуть бути інтегровані з пастками (наприклад, феромонними, світловими) для приваблення шкідників, що забезпечує регулярне надходження даних.

2.2. Безпілотні літальні апарати (БПЛА) з мультиспектральними та гіперспектральними камерами: Дрони можуть забезпечувати

широкомасштабний моніторинг полів, виявляючи не тільки безпосередньо комах (якщо їхній розмір дозволяє), але й ознаки ураження рослинності, що може свідчити про наявність шкідників. Аналіз спектральних характеристик дозволяє виявляти зміни в фізіології рослин задовго до появи видимих симптомів.

### 3. Хмарні платформи та аналітика даних:

3.1. Централізовані хмарні сервери є необхідними для зберігання та обробки величезних обсягів візуальних даних. Моделі ШІ розгортаються на цих серверах, забезпечуючи масштабовану обробку зображень у режимі реального часу з використанням ІоТ.

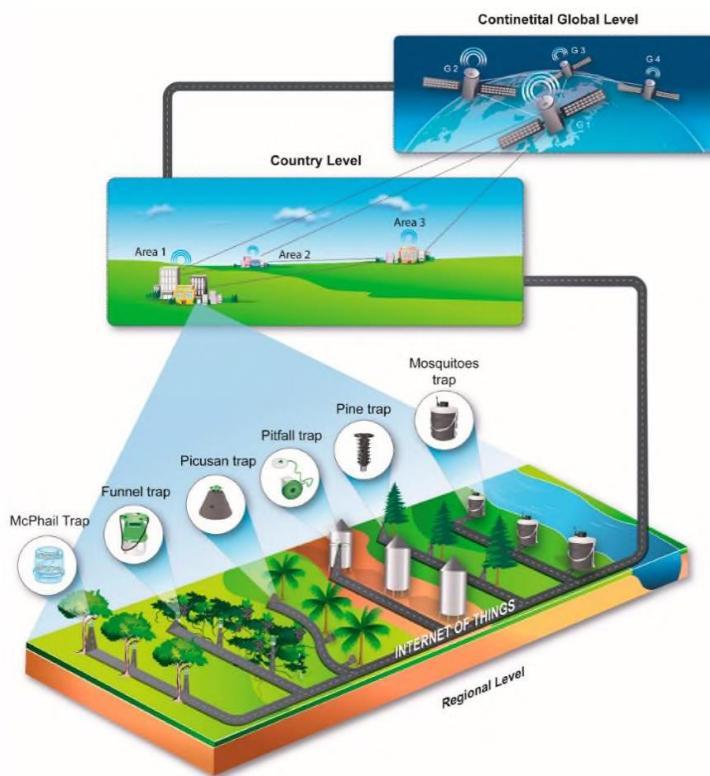


Рисунок 1.5 - Багаторівнева архітектура системи моніторингу для цілей інтегрованого управління шкідниками

Рисунок 1.5 ілюструє комплексну, багаторівневу систему для моніторингу шкідників, яка поєднує:

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

- Локальний збір даних за допомогою спеціалізованих пасток та технологій IoT.

- Агрегацію та передачу даних на національному рівні.

- Глобальний зв'язок та аналіз із залученням супутникових систем.

Це дозволяє здійснювати ефективний моніторинг поширення шкідників, оцінювати їхню чисельність та, ймовірно, інформувати про стратегії боротьби на різних географічних масштабах, від окремої ферми до континентального рівня.

На рисунку 1.6 зображено архітектуру системи віддаленого моніторингу пасток для комах, яка використовує глибоке навчання (Deep Learning) та Інтернет речей (IoT). Система поділена на три основні логічні рівні: рівень сприйняття (Perception layer), транспортний рівень (Transport layer) і рівень обробки (Processing layer), а також блок моніторингу на рівні застосунку (Application layer).

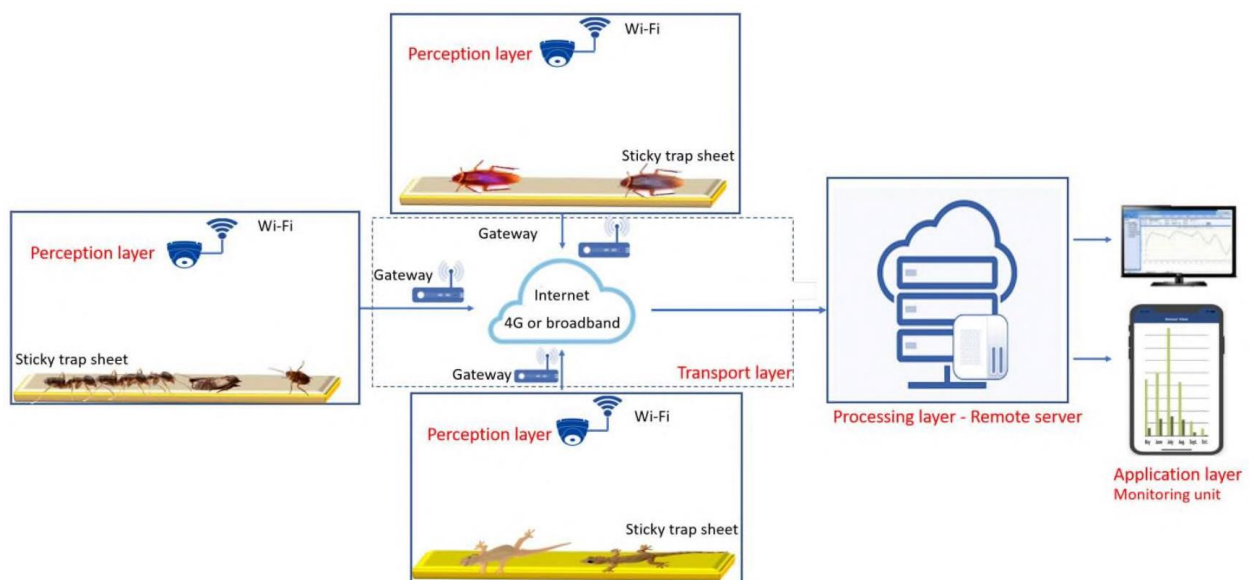


Рисунок 1.6 - Архітектура системи віддаленого моніторингу пасток для комах на основі ШІ

Рисунок 1.6 демонструє комплексну IoT-систему моніторингу комах, яка автоматизує весь ланцюжок від збору даних на місцях (через клейкі

пастки та камери з Wi-Fi), їх передачі через Інтернет до хмарного сервера, де використовуються алгоритми глибокого навчання для розпізнавання та підрахунку шкідників. Отримані результати потім доступні користувачам через веб-інтерфейс на комп'ютері або мобільний додаток. Ця архітектура дозволяє реалізувати ефективний, віддалений та автоматизований моніторинг шкідників, що є ключовим для сучасного інтегрованого управління шкідниками.

3.2. Веб- та мобільні додатки надають зручний інтерфейс для доступу до результатів аналізу, візуалізації карт розподілу шкідників, отримання сповіщень про підвищення їхньої чисельності та персоналізованих рекомендацій.

#### 4. Інтеграція з великими мовними моделями (LLM)

4.1. Додавання функціоналу, заснованого на LLM (наприклад, GPT-3.5, GPT-4), трансформує систему моніторингу в комплексний консультаційний інструмент. Після ідентифікації комах системою КЗ, фермер може задавати питання про виявлені види: їхні біологічні особливості, життєвий цикл, методи боротьби, потенційні ризики для культур тощо.

4.2. LLM, попередньо налаштовані на агрономічну та ентомологічну інформацію (наприклад, через інженерію підказок або тонку налаштування на спеціалізованих корпусах текстів), можуть генерувати природні мовні відповіді, надаючи практичні рекомендації.

Це дозволяє фермерам отримувати експертні поради без необхідності прямої консультації з агрономом або ентомологом, значно прискорюючи процес прийняття рішень.

4.3. Крім того, LLM можуть аналізувати контекст (тип культури, фаза розвитку, погодні умови, історія поля) та надавати персоналізовані рекомендації щодо вибору найбільш оптимальних стратегій ІУШ, що робить управління шкідниками більш адаптивним та ефективним.

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

### 1.4.3. Переваги інтеграції ІІІ в моніторинг шкідників

Використання ІІІ та КЗ у моніторингу шкідників забезпечує низку значних переваг:

- Висока точність та об'єктивність. Мінімізація людського фактору дозволяє отримувати більш точні та послідовні дані про чисельність популяцій.

- Моніторинг у реальному часі. Автоматизовані системи забезпечують безперервний збір та аналіз даних, дозволяючи своєчасно виявляти спалахи шкідників.

- Зниження трудових витрат. Автоматизація рутинних процесів вивільняє людські ресурси для виконання більш складних завдань.

- Раннє виявлення та запобігання. Можливість швидкого виявлення шкідників на ранніх стадіях інвазії дозволяє вживати превентивні заходи, що знижує потребу у широкомасштабному застосуванні пестицидів.

- Оптимізація стратегій ІУШ. Надання точних даних та експертних рекомендацій сприяє розробці більш цілеспрямованих та екологічно безпечних планів боротьби зі шкідниками.

- Зменшення використання пестицидів. Точкове застосування засобів захисту рослин (ЗЗР) на основі точних даних про локалізацію та чисельність шкідників мінімізує їхній вплив на довкілля та знижує виробничі витрати.

Таким чином, інтеграція новітніх технологій, зокрема штучного інтелекту та машинного зору, є ключовим напрямком розвитку ефективного та сталого управління шкідниками в сучасному сільському господарстві.

## 1.5. Аналіз існуючої системи моніторингу та класифікації класифікації шкідників

Trapview – це автоматизована система моніторингу шкідників, розроблена для ефективного та сталого управління шкідниками у сільському

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

господарстві. Вона надає аграріям, агрономам та дослідникам актуальні дані про популяції комах-шкідників, дозволяючи приймати своєчасні та обґрунтовані рішення щодо захисту рослин.



Рисунок 1.7 – Зображення автоматизованої "розумної" пастки системи Trapview



Рисунок 1.8 – Головна сторінка системи моніторингу

Система Trapview складається з трьох основних, повністю інтегрованих та простих у використанні компонентів:

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Автоматизовані "розумні" пастки (рис. 1.7), які зазвичай оснащені сонячними панелями, що робить їх автономними з точки зору енергопостачання.

Шкідники приваблюються до пастки за допомогою феромонних або інших принад (наприклад, світлових чи рідких). В середині пастки знаходиться клейка поверхня (наприклад, клейка стрічка або дно). Деякі моделі Trapview можуть бути самоочисними, автоматично прокручуючи клейку стрічку в міру її насичення. Пастки роблять знімки клейкої поверхні зі шкідниками, що потрапили на неї, з високою роздільною здатністю. Отримані зображення та, можливо, дані з додаткових датчиків (наприклад, погодних) надсилаються в хмарну систему через мобільні мережі (GPRS, 3G або 4G).

2. Хмарна обробка даних. Усі зображення, що надходять з пасток, збираються, обробляються та надійно архівуються в хмарній системі.



Рисунок 1.9 – Приклад класифікації комах засобами Trapview

Передові алгоритми штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання автоматично аналізують зображення, розпізнають та підраховують різних шкідників. Це дозволяє отримати точну інформацію про видовий склад та чисельність шкідників. Заявлена точність розпізнавання ШІ може перевищувати 90%.

Система може прогнозувати майбутні ситуації зі шкідниками та етапи їх розвитку на основі зібраних даних, локальних погодних даних, історичних тенденцій та моделей ШІ.

3. Моніторинговий додаток (платформа). Спеціальний веб-додаток або мобільний додаток (для iOS та Android) надає користувачам доступ до даних та аналітичних інструментів.

Користувачі можуть бачити в реальному часі огляд ситуації зі шкідниками на своїх полях, включаючи карти з розташуванням пасток, графіки динаміки популяцій, інформацію про розпізнані види та їх кількість. Пастки відображаються на карті різними кольорами залежно від рівня шкодочинності. Платформа пропонує потужні аналітичні інструменти для відстеження тенденцій, визначення порогових значень чисельності шкідників та моделювання сценаріїв захисту рослин. Користувачі отримують сповіщення про виявлення шкідників та звіти про їх активність.

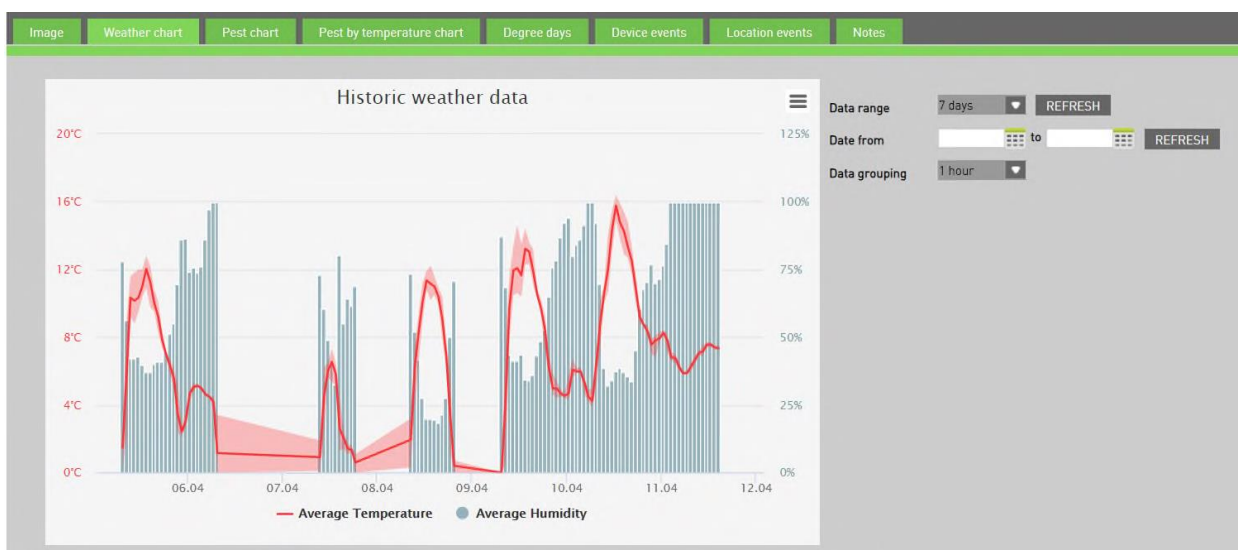


Рисунок 1.10 – Візуалізація зміни температури і вологості біля пасток

									Арк.
									28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

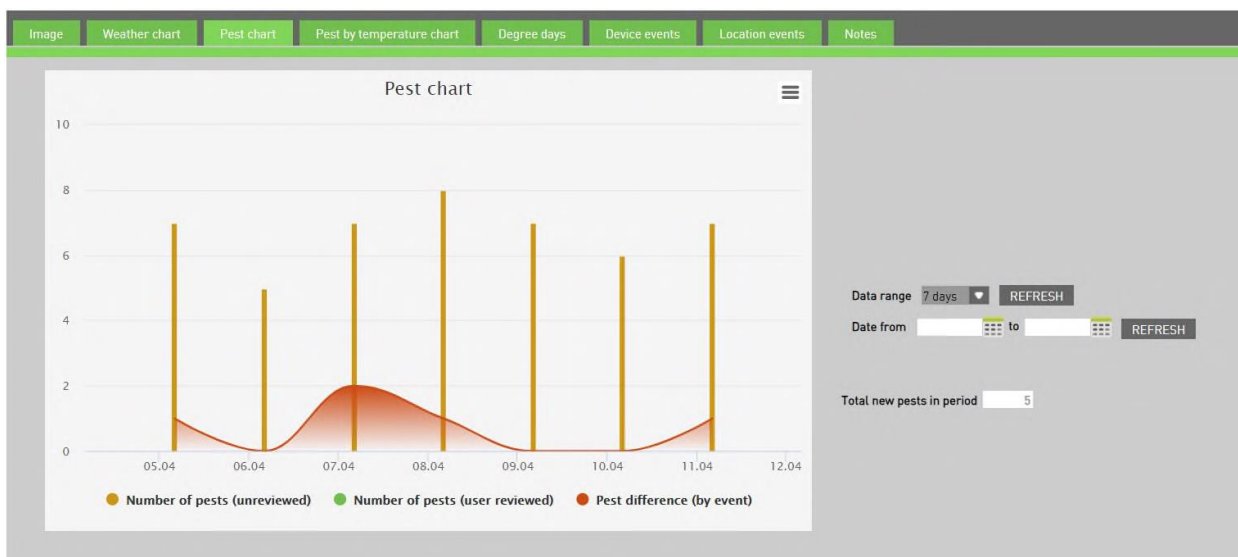


Рисунок 1.11 – Візуалізація ідентифікованих шкідників системою

Система Trarview приносить значні переваги для фермерів, агрономів та дослідників:

- Забезпечує точні дані про чисельність та видовий склад шкідників, перевершуючи ручний моніторинг.
- Зменшує потребу у частих виїздах на поля для ручного огляду пасток, що економить час, трудові витрати та паливо.
- Завдяки точному моніторингу та прогнозуванню, фермери можуть застосовувати пестициди лише тоді, коли це дійсно необхідно, і в потрібній кількості. Це допомагає зменшити витрати на хімікати, мінімізувати їх вплив на довкілля та підвищити якість продукції за рахунок зменшення залишків.
- Система оперативно сповіщає про появу шкідників, дозволяючи вчасно вжити заходів і запобігти значним втратам врожаю.
- Завдяки алгоритмам ШІ, система може прогнозувати динаміку популяцій шкідників та оптимальний час для захисних заходів.
- Зберігання та аналіз історичних даних дозволяє краще розуміти динаміку шкідників у довгостроковій перспективі.

- Забезпечує кращий контроль над шкідниками, що призводить до збільшення врожайності та покращення якості сільськогосподарської продукції.

Trarview є інноваційним рішенням, що сприяє переходу до більш сталого та інтелектуального сільського господарства, зменшуючи ризики та підвищуючи ефективність.

Rezego – це інноваційний мобільний додаток на основі штучного інтелекту (ШІ), розроблений для трансформації управління шкідниками в сільському господарстві. Він створений у співпраці компанії Mutus Tech, ADAS, Університету Шеффілда та Університету Ліверпуля.

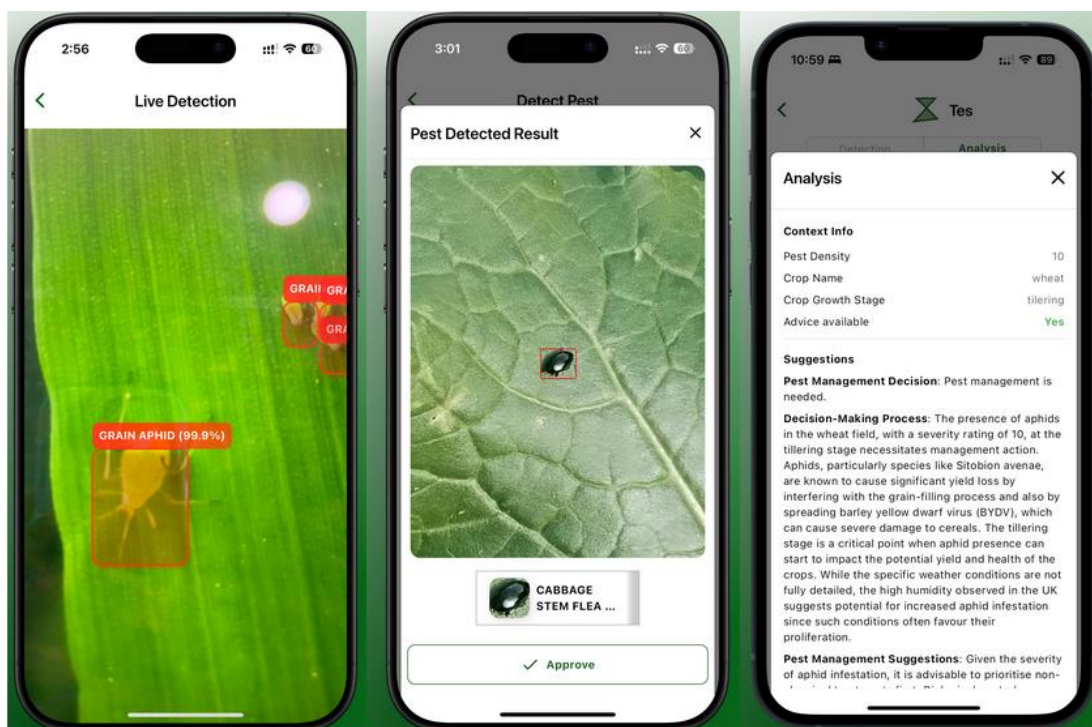


Рисунок 1.12 – Вигляд платформи Rezego

Основна мета Rezego – надати фермерам, агрономам та ентузіастам сільського господарства інструмент для швидкого та точного розпізнавання шкідників і отримання рекомендацій з управління ними, враховуючи кліматичні умови.

Pezege виконує розпізнавання шкідників у реальному часі за допомогою ШІ. Pezege використовує передові алгоритми розпізнавання зображень та глибокого навчання (deep learning) для ідентифікації потенційних загроз від шкідників. Користувач може сфотографувати комаху або пошкодження рослини, і додаток миттєво надасть детальну інформацію про шкідника та відповідні сповіщення.

Pezege інтегрує "легкі" моделі ШІ (lightweight AI models), які оптимізовані для роботи на мобільних пристроях, забезпечуючи швидке розпізнавання навіть в автономному режимі. Система навчається на великих наборах даних зображень шкідників, охоплюючи 38 основних шкідників для 10 ключових польових культур (наприклад, ріпаковий квіткоїд, попелиця зернових, персикова картопляна попелиця у зернових, олійних культурах та картоплі).

Система використовує "Розумні" рекомендації щодо управління шкідниками (Climate-Smart Management Suggestions). Pezege використовує великі мовні моделі (LLM) у поєднанні з експертними знаннями та авторитетними джерелами для надання рекомендацій, які враховують кліматичні особливості та прогнози. На основі виявлених шкідників додаток надає індивідуальні рекомендації щодо боротьби з ними. Pezege пропонує поради щодо використання як органічних методів, так і хімічних обробок, з акцентом на вибір найбільш ефективних, стійких та екологічно чистих варіантів.

Додаток надає інформацію про погоду в реальному часі та прогнози, включаючи температуру, вологість, опади та умови вітру. Ці дані допомагають фермерам приймати обґрунтовані рішення щодо боротьби зі шкідниками та догляду за посівами.

Pezege допомагає організовувати та управляти сільськогосподарськими операціями, включаючи відстеження циклів посадки та збору врожаю. Користувачі можуть реєструвати активність шкідників, керувати

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

застосуванням пестицидів та документувати стадії росту врожаю. Це дозволяє вести систематичний облік усіх польових робіт.

Додаткові переваги:

- Можливість налаштувати персональні сповіщення про виявлення шкідників, зміни погоди та інші завдання, що дозволяє залишатися в курсі без постійної перевірки додатка.

- Аналітична панель Rezego дозволяє відстежувати тенденції активності шкідників, погодних умов та стану врожаю з часом, що сприяє оптимізації сільськогосподарських стратегій.

- Можливість ділитися важливою інформацією з командою або консультиватися з експертами безпосередньо через додаток, що полегшує управління великомасштабними фермерськими господарствами.

- Чистий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, розроблений для зручності використання в польових умовах.

- Розробники заявляють, що дані користувачів не передаються третім сторонам і що дані шифруються під час передачі.

Rezego є прикладом того, як ШІ може революціонізувати традиційні сільськогосподарські практики, пропонуючи інтелектуальні рішення, що базуються на даних, для більш стійкого та ефективного управління шкідниками.

Plantix — це безкоштовний мобільний додаток, розроблений німецьким стартапом PEAT GmbH (Progressive Environmental & Agricultural Technologies). Він позиціонується як "кишеньковий лікар" для рослин, що допомагає фермерам, садівникам та агрономам по всьому світу діагностувати хвороби рослин, шкідників і дефіцит поживних речовин, а також отримувати рекомендації щодо їх лікування.

Основна функція Plantix – це можливість діагностувати проблеми з рослинами, просто сфотографувавши уражену ділянку (листок, стебло, плід). Користувач завантажує фотографію в додаток, і алгоритми глибокого

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

навчання (Convolutional Neural Networks - CNN) аналізують зображення. Точність розпізнавання ШІ ґрунтується на величезній базі даних, що містить мільйони зображень рослин з різними симптомами пошкоджень, спричинених хворобами, шкідниками або дефіцитом поживних речовин. Ця база даних постійно поповнюється завдяки внескам користувачів та дослідницьким проектам (наприклад, у співпраці з ICRISAT).

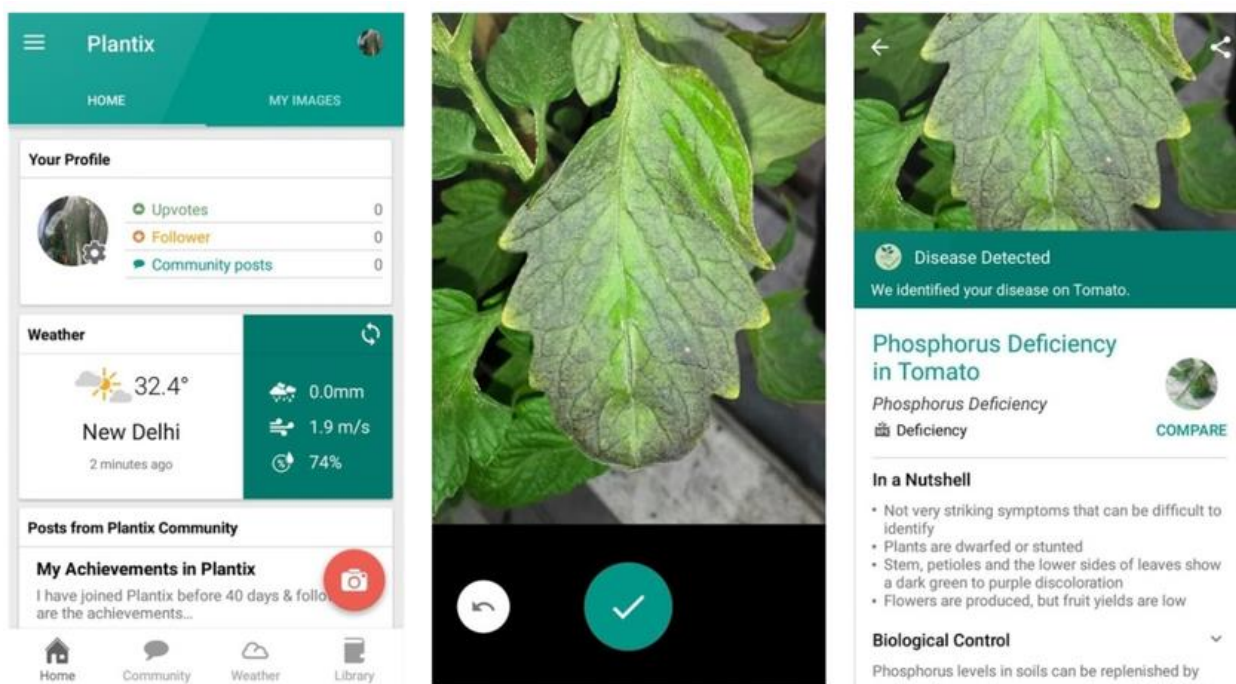


Рисунок 1.13 – Вигляд мобільного додатку Plantix

Plantix заявляє про високу точність діагностики, яка може сягати понад 90-95% для багатьох поширених проблем. Додаток охоплює понад 45 основних культур та може діагностувати понад 500 видів уражень (хвороб, шкідників, дефіцитів поживних речовин).

Після діагностики Plantix надає вичерпну інформацію про виявлену проблему, включаючи:

- Назву хвороби/шкідника (загальну та наукову).
- Опис симптомів.
- Причини виникнення.

- Рекомендації щодо профілактики.
- Методи боротьби (як органічні, так і хімічні, із зазначенням діючих речовин та рекомендацій щодо застосування).

Інформація локалізована та доступна багатьма мовами (понад 20 мов), що робить її доступною для фермерів у різних регіонах світу.

Plantix пропонує додаток безкоштовно для фермерів, оскільки його основна мета — розширити можливості дрібних фермерів, які часто не мають доступу до експертних агрономічних послуг.

Корисні додаткові функції:

- Відстеження тенденцій здоров'я врожаю та отримання персоналізованих порад.

- Надає актуальну інформацію про погоду, яка може впливати на розвиток хвороб та шкідників.

- Великий довідник знань про вирощування різних культур, догляд за рослинами, використання добрив, методи боротьби зі шкідниками та хворобами.

- Частина функцій додатку може працювати в автономному режимі, що важливо для віддалених сільських районів з обмеженим доступом до Інтернету.

Додаток дуже простий у використанні, що робить його доступним навіть для фермерів без високого рівня технічної підготовки. Миттєве розпізнавання проблем економить час та дозволяє швидко реагувати.

Раннє виявлення та своєчасне лікування допомагають запобігти значним втратам врожаю. Дозволяє фермерам більш обґрунтовано застосовувати пестициди та добрива, зменшуючи витрати та екологічний вплив.

Система надає фермерам доступ до великої бази знань, що допомагає їм покращувати свої сільськогосподарські практики і сприяє впровадженню

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інтегрованих підходів до управління шкідниками, що є більш екологічно відповідальним.

Plantix є яскравим прикладом успішного застосування ШІ в агротехнологіях, що має значний вплив на підвищення продуктивності та стабільності сільського господарства, особливо для дрібних фермерів у країнах, що розвиваються.

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

## РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ, ПІДХОДИ ТА АЛГОРИТМИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

### 2.1. Інноваційні підходи до автоматизованого моніторингу та контролю шкідників у сільському господарстві

Сучасні системи автоматизованого управління фермами активно розширюють свою функціональність, інтегруючи можливості моніторингу та контролю шкідників. Це значно підвищує ефективність та точність агрономічних заходів. Цей розділ аналізує ключові напрямки розвитку таких систем, зосереджуючись на застосуванні комп'ютерного зору, безпілотних літальних апаратів (БПЛА), Інтернету речей (IoT) та дистанційного зондування.

#### 2.1.1. Системи моніторингу на основі комп'ютерного зору

Одним із значних досягнень у цій сфері є використання технологій глибокого навчання для ідентифікації та кількісного обліку комах. Наприклад, в [17] розробили систему, призначену для застосування в тепличних умовах.

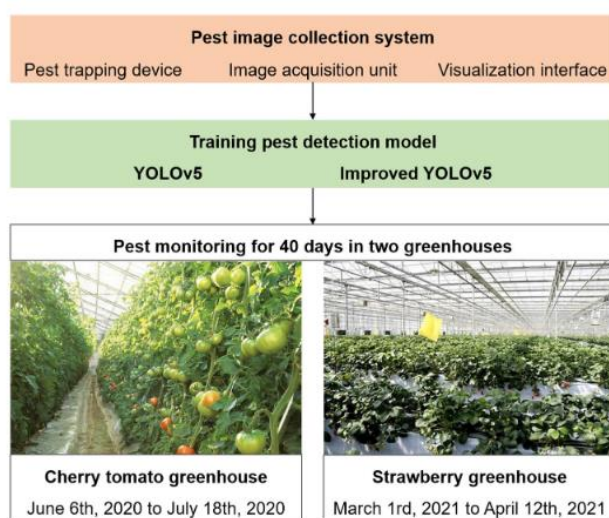


Рисунок 2.1 - Експериментальний дизайн збору зображень шкідників, моделі виявлення шкідників та моніторингу популяції шкідників

Ця система використовує камери для збору візуальних даних, які потім обробляються за допомогою згорткової нейронної мережі (ЗНМ).

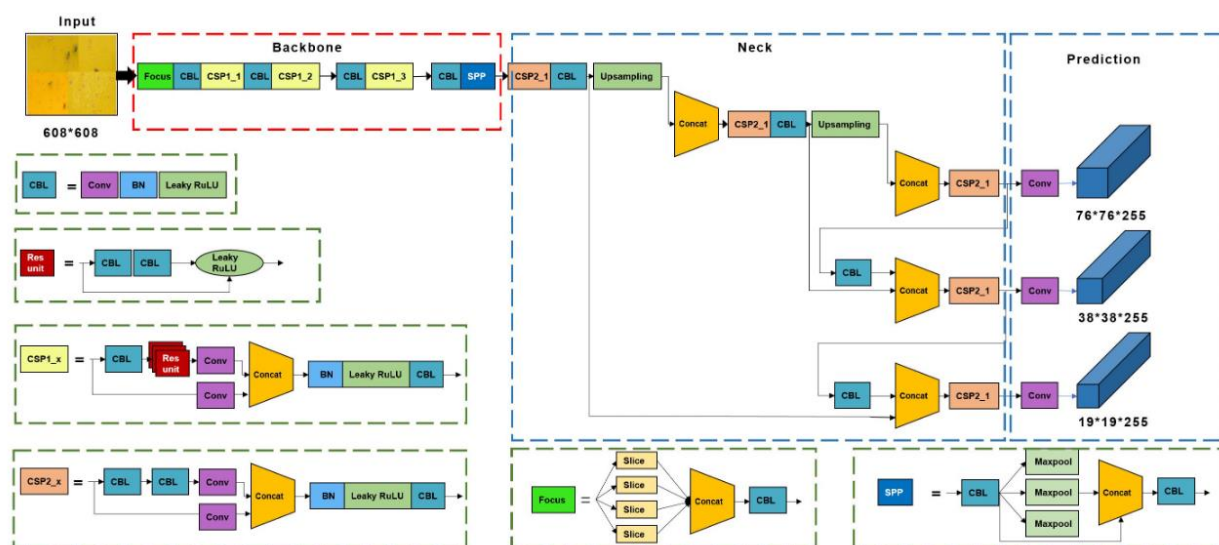


Рисунок 2.2 - Структура моделі YOLOv5 для виявлення шкідників

Результатом є надання даних про шкідників у реальному часі. Перевагою такого підходу є можливість безперервного моніторингу. Проте, його ефективність може бути обмежена такими факторами, як роздільна здатність камер та умови освітлення в теплиці.

### 2.1.2. Застосування безпілотних літальних апаратів

Аналогічно, для широкомасштабного моніторингу шкідників на відкритих полях запропоновано використовувати автоматизовані системи виявлення шкідників на основі БПЛА. Ці системи оснащуються камерами та інтегрують алгоритми класифікації, засновані на машинному навчанні [18, 19]. Приклад такого застосування включає використання гексакоптерів для розпилення пестицидів на рисових полях (рис. 2.3). Цей підхід забезпечує моніторинг великих територій та дозволяє швидко реагувати на спалахи шкідників. Однак, функціонування таких систем може бути чутливим до

факторів навколишнього середовища, зокрема до інтенсивності вітру та несприятливих погодних умов.



Рисунок 2.3 - Гексакоптер, що розпилює пестициди на рисових полях ферми

### 2.1.3. Системи на базі Інтернету речей (IoT)

Подальшим удосконаленням управління шкідниками є впровадження систем на основі Інтернету речей (IoT). Автори в [20] відзначають приклади інтелектуальних сільськогосподарських систем IoT, які об'єднують моніторинг шкідників з іншими критично важливими аспектами управління фермою, такими як моніторинг ґрунту та клімату. Консолідація різноманітних даних дозволяє приймати більш обґрунтовані рішення та здійснювати оперативні втручання. Водночас, впровадження комплексних систем IoT може вимагати значних початкових інвестицій та певних технічних знань, що може бути бар'єром для дрібних сільськогосподарських виробників.

Запропонована система складається з п'яти рівнів, як показано на рисунку 2.4. Перший рівень відповідає за збір даних, що свідчать про наявність комах, тоді як другий рівень аналізуватиме ці дані. Третій рівень,

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

ґрунтуючись на цих аналітичних даних, передаватиме сигнал на сенсор, який, у свою чергу, надсилатиме сигнал дрону. Четвертий рівень представлений дронами, які здійснюватимуть обприскування в місці, звідки надійшов сигнал.

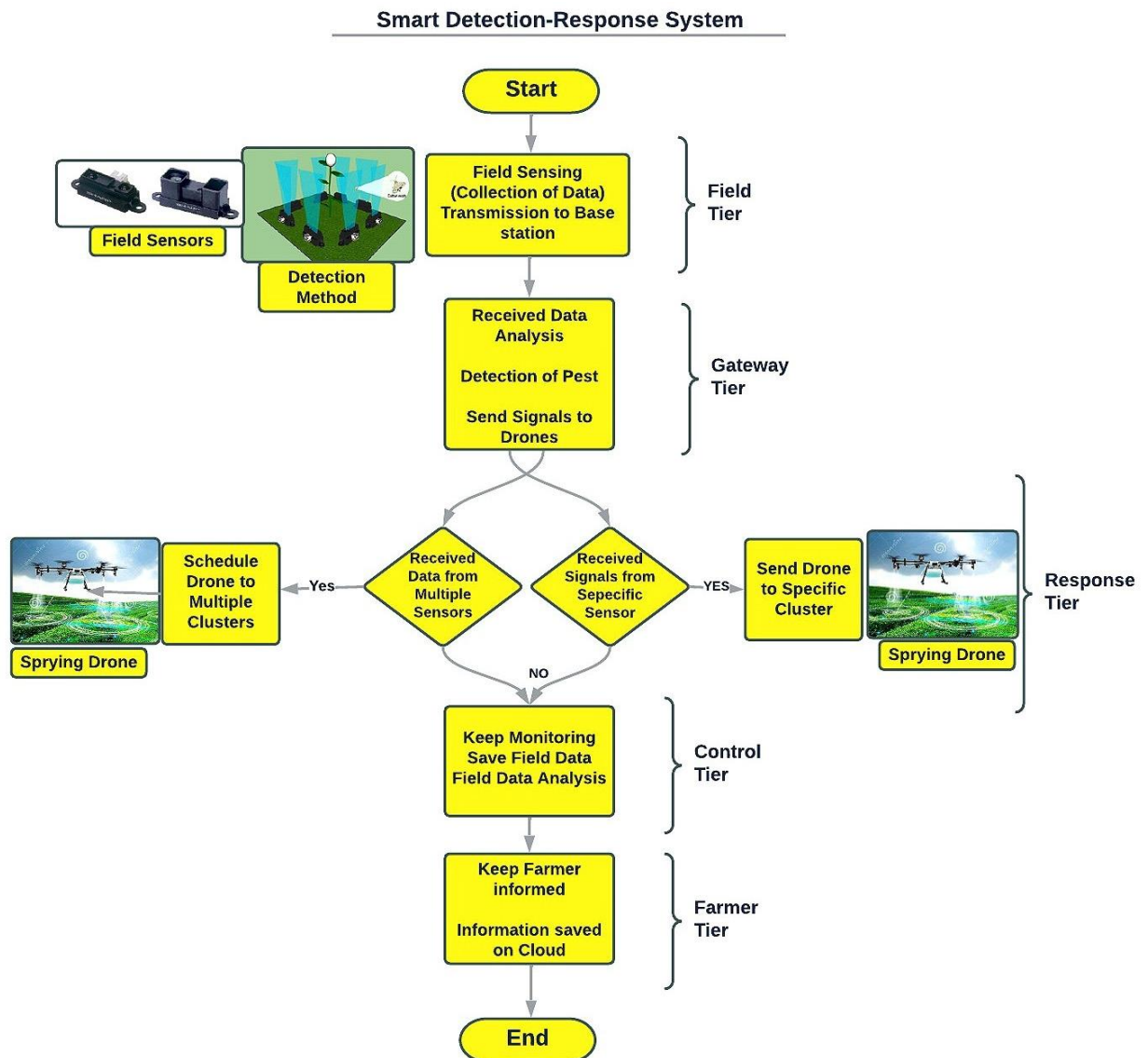


Рисунок 2.4 - Блок-схема методології виявлення-реагування

Польовий рівень - це один з найбільш базових рівнів на бавовняному полі. Він міститиме сенсори та комунікаційні модулі. Відповідальність цього рівня полягає у виявленні присутності комах за допомогою сенсорів. Як тільки присутність комахи буде виявлено, він передасть сигнал про її

присутність на базову станцію через комунікаційний модуль, як показано в алгоритмі виявлення. Алгоритм виявлення складається з послідовного передавача та приймача, причому кожен контакт сенсора представляє окремий сенсор. Значення сенсора є пороговим значенням від одного до чотирьох відповідно до специфікацій виробника, де один означає високу чутливість, а чотири – низьку чутливість. Відстань визначається як відстань об'єкта до сенсора.

Разом із сенсором прототип обладнаний передавачем ZigBee (ZED), який передає сигнали. Відомо, що цей модуль ZigBee охоплює діапазон 10–100 м у межах прямої видимості з швидкістю передачі даних 250 кбіт/с. Тоді як використання LoRA замість ZigBee дозволить збільшити охоплення та пропускну здатність передачі даних. Все поле було розділено на чотири кластери, і в кожному кластері встановили сенсори відповідно до його площі. Кожен сенсор здатен надсилати сигнали до шлюзу ZigBee, який розташований у центрі поля.

#### *2.1.4. Метод дистанційного зондування*

Останні досягнення в технології дистанційного зондування також знаходять застосування у виявленні та моніторингу шкідників. Існують дослідження, присвячені використанню дистанційного зондування для виявлення комах у сільськогосподарських угіддях, з особливим акцентом на аналіз спектральних характеристик акустичних сигналів комах [21]. Цей підхід потенційно дозволяє ідентифікувати та локалізувати комах у полі. Однак, його ефективність може бути обмежена складністю акустичного середовища та необхідністю формування великих бібліотек акустичних "відбитків" різних видів комах.

Кожен із зазначених підходів до автоматизованого моніторингу шкідників має свої переваги та обмеження. Інтеграція цих технологій у комплексні платформи управління фермами має потенціал значно підвищити

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ефективність та сталість сільськогосподарського виробництва, мінімізуючи негативний вплив шкідників та оптимізуючи використання ресурсів. Подальші дослідження будуть зосереджені на подоланні існуючих обмежень та розробці більш доступних та універсальних рішень.

## **2.2. Виявлення та класифікація комах з використанням алгоритмів згорткових нейронних мереж**

Останні досягнення в галузі штучного інтелекту (ШІ) та комп'ютерного зору значно сприяли розробці більш складних методів для виявлення та класифікації комах, що має критичне значення для ефективного моніторингу шкідників. Сучасні підходи, засновані на глибокому навчанні, демонструють високу ефективність у виявленні та класифікації комах за допомогою згорткових нейронних мереж (ЗНМ) [22].

Кадри були вилучені із захоплених відео шляхом ручного маркування області інтересу (ROI) кожної мухи в кількох позах для високоякісної анотації. Потім набори даних були попередньо оброблені для генерації різних розмірів роздільної здатності з метою кращої узагальнювальної здатності мережі. Багатомасштабне вилучення ознак є методом покращення точності навчання моделей нейронних мереж. Цей метод спочатку масштабує вхідне зображення до кількох різних масштабів, потім виконує вилучення ознак зображення в кожному масштабі і, нарешті, створює піраміду ознак з усіх вилучених ознак та подає їх у модель нейронної мережі. У цій роботі було використано три роздільні здатності:  $1920 \times 1080$ ,  $640 \times 360$  та  $416 \times 234$ .

Набори даних склалися з 912 зображень, розділених на 70% для навчального набору, 20% для валідаційного набору та 10% для тестового набору. Навчальний набір був майже рівномірно розподілений: 49% зображень для *S. capitata* та 51% для *V. oleae*. Крім того, кадри, використані для навчання, включали лише окремих комах у чашці Петрі. Набір даних з

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

кількома комахами на одному зображенні, названий набором для оцінки продуктивності (тобто 914 зображень), був використаний згодом для оцінки продуктивності мережі. Після оцінки результатів за допомогою набору для оцінки продуктивності, розподіли валідаційного та тестового наборів стають нерелевантними. Схематичний робочий процес розробленого підходу показано на рисунку 2.5.

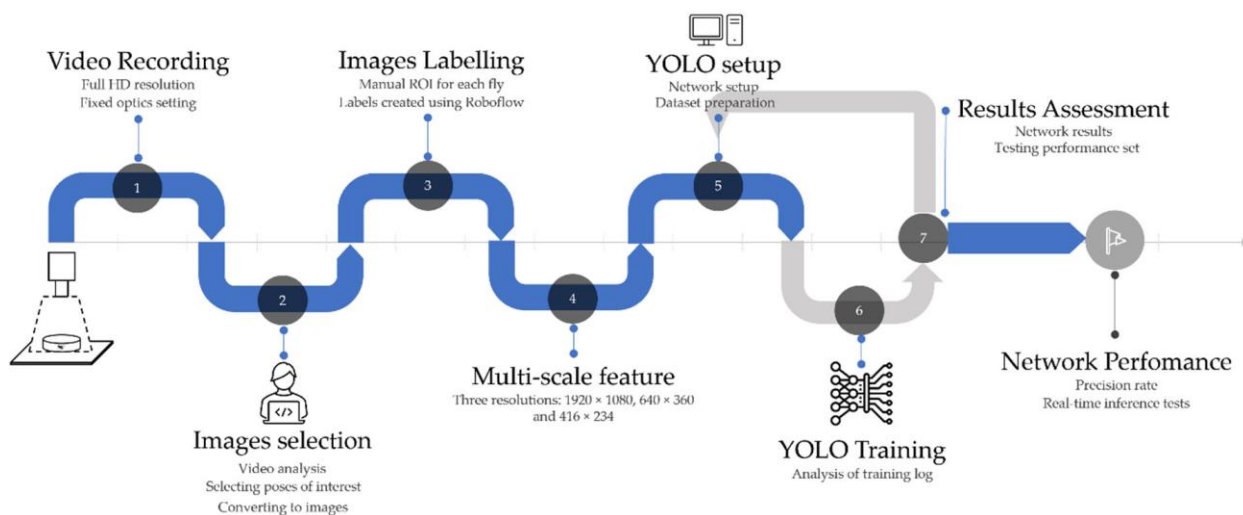


Рисунок 2.5 - Схематичне представлення етапів: від захоплення даних (1) та попередньої обробки даних (2–4) до налаштування мережі, навчання та оцінки продуктивності (5–7)

Згорткові нейронні мережі сімейства YOLO (You Only Look Once) є одноетапними системами виявлення об'єктів, які є обчислювально недорогими, мають хороші показники продуктивності та перевершують інші алгоритми розпізнавання об'єктів [18]. Ці мережі використовувалися в різних завданнях розпізнавання: виявлення яблук на різних стадіях росту [9], виявлення нез'їдених гранул корму на підводних зображеннях для аквакультури, одночасне виявлення та класифікація утворень у молочних залозах на цифрових мамограмах, автоматичне розпізнавання номерних знаків або навіть виявлення медичних масок на обличчі в сценаріях COVID-19.

Порівняно з мережею Faster R-CNN, мережа YOLO трансформує проблему виявлення в задачу регресії, не вимагаючи області пропозиції. Дійсно, мережа, використовуючи одну ЗНМ для всього зображення, ділить вхідне зображення на підрегіони, прогножуючи декілька координат обмежувальних рамок та ймовірності кожного класу безпосередньо через регресію, що збільшує швидкість виявлення.

Мережа YOLOv5 є однією з версій серії архітектур YOLO. Ця модель мережі значно покращила точність виявлення та швидкість висновку (найшвидша швидкість виявлення сягає 140 кадрів на секунду); ці атрибути мають велике значення при подальшій реалізації системи для більших наборів даних та виявлення в реальному часі. Крім того, розмір файлу ваг, пов'язаний з мережевою моделлю виявлення об'єктів, є невеликим, майже на 90% меншим, ніж у попередньої YOLOv4, що означає, що модель YOLOv5 є легкою та підходить для розгортання на вбудованих пристроях, що реалізують виявлення в реальному часі. Для повноти варто зазначити, що YOLOv5 містить чотири архітектури: YOLOv5s, YOLOv5m, YOLOv5l та YOLOv5x. Кожна архітектура має різну кількість модулів вилучення ознак та згорткових ядер. Спрощуючи, розмір та кількість параметрів моделі в цих чотирьох архітектурах послідовно збільшуються. Оскільки в цьому дослідженні ми маємо дві цілі для ідентифікації, і модель розпізнавання має високі вимоги до продуктивності в реальному часі та легкої ваги, ми базували нашу експериментальну архітектуру на YOLOv5s. Розмір файлу моделі мережі становить близько 14 МБ, а час її висновку з PyTorch складає 2.2 мс.

Архітектура мережі YOLOv5, показана на рисунку 2.6, поділяється на три основні частини: Backbone, Neck та Head, побудовані відповідно на CSPDarknet (Cross Stage Partial Network у Darknet), PANet (Path Aggregation Network) та YOLO-шарі. Зображення є входом для CSPDarknet для вилучення ознак, потім PANet використовується для злиття ознак, і, нарешті, YOLO-

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шар повертає результати виявлення, такі як клас, ймовірність, місце розташування та розмір.

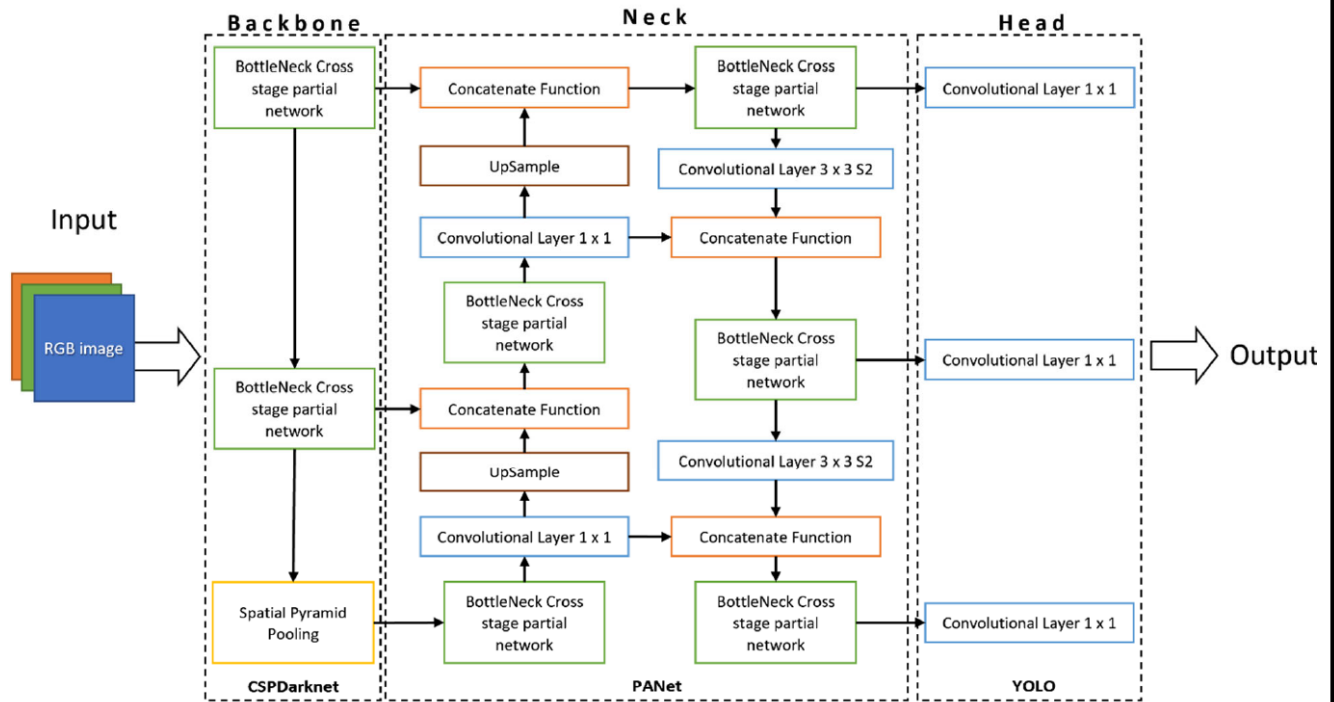


Рисунок 2.6 - Архітектура мережі YOLOv5, розділена на три основні частини: Backbone, Neck та Head.

Цей метод дозволяє точно розпізнавати різні види комах, розрізняючи як шкідників, так і корисні ентомофаги. Однак, продуктивність таких моделей може бути лімітована якістю та різноманітністю навчальних даних, що потенційно може призводити до помилкових класифікацій.

Наприклад, в роботі [23] розробили автоматизовану систему розпізнавання комах-шкідників, що використовує методи обробки зображень у поєднанні з класифікаторами машинного навчання.

Незважаючи на досягнення високих показників розпізнавання, цей підхід вимагав значного обсягу ручної попередньої обробки зображень для виділення ознак, що робило його трудомістким та затратним за часом.

На рисунку 2.7 подано архітектуру згорткової нейронної мережі, розробленої для автоматизованого виявлення та класифікації комах, а також порівняльну оцінку її продуктивності.

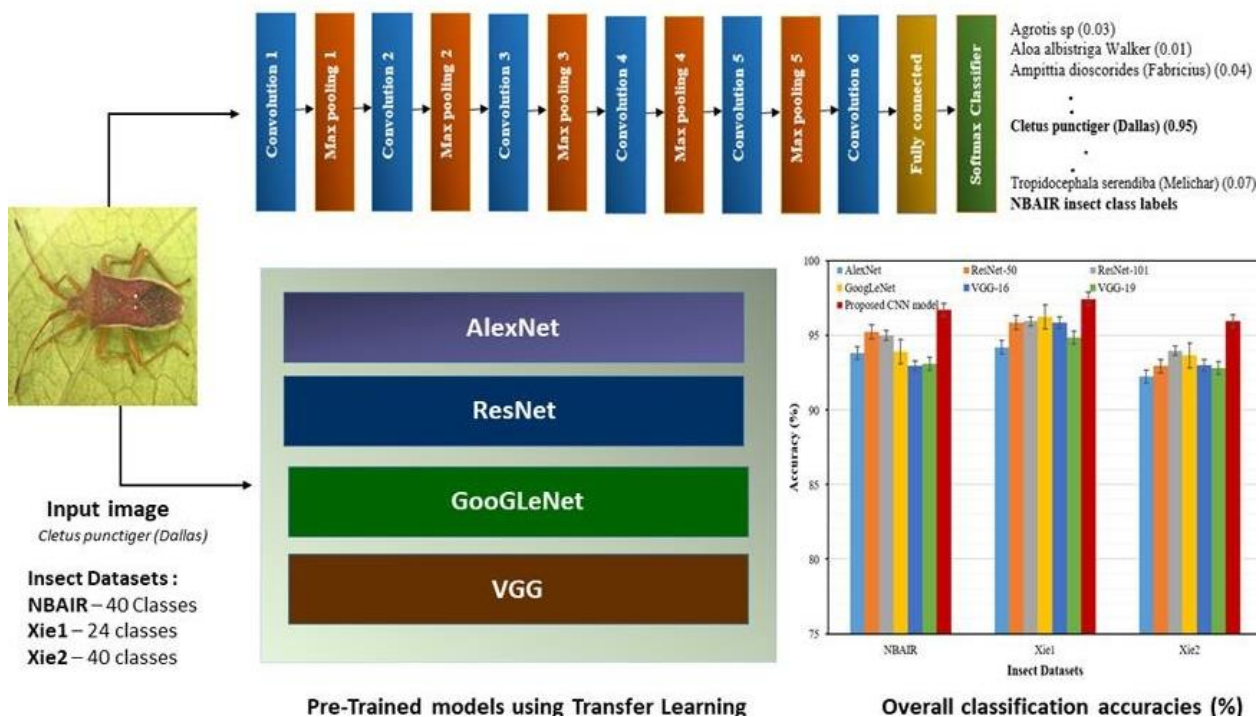


Рисунок 2.7 - Архітектура згорткової нейронної мережі для автоматизованого виявлення та класифікації комах

Ефективність даної моделі була порівняна з кількома відомими архітектурами ЗНМ, які часто використовуються у контексті навчання з перенесенням (Transfer Learning), включаючи AlexNet, ResNet (версії ResNet-50, ResNet-101), GoogLeNet та VGG (версії VGG-16, VGG-19).

Результати цього порівняння представлені у вигляді стовпчастої діаграми "Overall classification accuracies (%)" на трьох незалежних наборах даних комах: NBAIR, Xie1 та Xie2. Аналіз діаграми показує, що запропонована модель ЗНМ (коричневий стовпець) демонструє високу та конкурентоспроможну точність класифікації на всіх трьох наборах даних. Зокрема, її продуктивність є однією з найвищих, що свідчить про

ефективність запропонованої архітектури у вирішенні задачі класифікації комах порівняно з еталонними попередньо навченими моделями.

Представлена архітектура ЗНМ демонструє здатність до високоточного розпізнавання видів комах. Досягнуті показники продуктивності підтверджують її потенціал для застосування в автоматизованих системах моніторингу та ідентифікації комах у сільськогосподарських та екологічних дослідженнях.

### **2.3. Інструменти підтримки прийняття рішень на основі ШІ**

Поява інструментів підтримки рішень (DSS), заснованих на штучному інтелекті, надала дослідникам цінні ресурси для обґрунтованого прийняття рішень щодо управління шкідниками. В [24] створили систему підтримки рішень, яка інтегрує дані моніторингу шкідників, метеорологічну інформацію та моделі симуляції росту культур. Це дозволяє надавати персоналізовані рекомендації щодо застосування пестицидів. Така система сприяє екологічно відповідальному управлінню шкідниками, зменшуючи використання пестицидів та оптимізуючи виробництво культур.

В роботі [25] запропонували систему прогнозування ризику спалахів шкідників, яка базується на глибокому навчанні та даних дистанційного зондування. Ця система прогнозує ймовірність та інтенсивність спалахів шкідників, дозволяючи фермерам вживати профілактичних заходів та мінімізувати наслідки інвазії. Однак, точність таких моделей може залежати від якості та своєчасності вхідних даних, а також від складності факторів, що впливають на динаміку популяцій шкідників.

Експертні системи є важливою областю досліджень та розробок у різних секторах, де вони імітують експертні знання та прийняття рішень. Такі системи розробляються для допомоги користувачам у завданнях, що традиційно вимагають навичок фахівця, включаючи медичну діагностику,

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

фінансове планування та юридичні консультації. Вони часто використовують штучний інтелект, машинне навчання та обробку природної мови (НЛП) для надання рішень на експертному рівні та персоналізованих рекомендацій [26].

Імітація експертних знань успішно застосовується в аграрному секторі, зокрема в контексті управління шкідниками. Наприклад, в [28] автор розробив експертну систему для оцінки ризику комах-шкідників у оливкових культурах. Ця система використовує спеціалізовані знання для надання індивідуальних рекомендацій щодо управління шкідниками на основі інформації, наданої користувачем (наприклад, вид рослини, географічне положення). Аналогічно, була створена експертна система для оцінки ризику шкідників в органічному сільському господарстві, яка допомагає фермерам виявляти потенційні загрози та впроваджувати відповідні стратегії управління.

## Dr Tania: An Indonesian AI Chatbot Helps Farmers Identify and Treat Crop Disease



Рисунок 2.8 - Чат-бот зі штучним інтелектом допомагає фермерам виявляти та лікувати хвороби сільськогосподарських культур

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Крім традиційних експертних систем, чат-боти також використовуються для емуляції експертних рекомендацій та надання підтримки в різних галузях. Наприклад, в [13] створили чат-бота для допомоги фермерам у виявленні хвороб та шкідників культур, а також наданні експертних рекомендацій щодо профілактики та лікування (рис. 2.8). Цей підхід забезпечує більш доступний та зручний спосіб отримання експертних знань для фермерів, знижуючи бар'єри для впровадження складних методів управління шкідниками.

## 2.4. Архітектури та застосування моделей штучного інтелекту

Штучний інтелект (ШІ) переживає період експоненціального розвитку, з особливим прогресом у галузі глибокого навчання, моделі якого демонструють провідні результати у широкому спектрі завдань. Ці моделі, що включають трансформери, згорткові нейронні мережі (ЗНМ) та генеративні попередньо навчені трансформери (GPT), знайшли застосування у численних областях, зокрема в обробці природної мови (ОПМ) та комп'ютерному зорі. Даний розділ присвячений огляду ключових концепцій та архітектур, що лежать в основі цих моделей, а також їхньому застосуванню в системі виявлення та класифікації комах на місці. Додатково, буде розглянуто техніку інженерії підказок (prompt engineering), що використовується для оптимізації продуктивності великих мовних моделей, таких як GPT.

### 2.4.1 Трансформери

Трансформери — це архітектура глибоких нейронних мереж. Вони стали фундаментальною основою для багатьох передових моделей у сферах обробки природної мови та комп'ютерного зору. Ключовою інновацією архітектури трансформера є механізм самостійної уваги (self-attention

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

mechanism). Цей механізм дозволяє моделі динамічно зважувати важливість різних вхідних елементів під час обробки кожного конкретного елемента, забезпечуючи ефективне захоплення довгострокових залежностей та взаємозв'язків у послідовних даних.

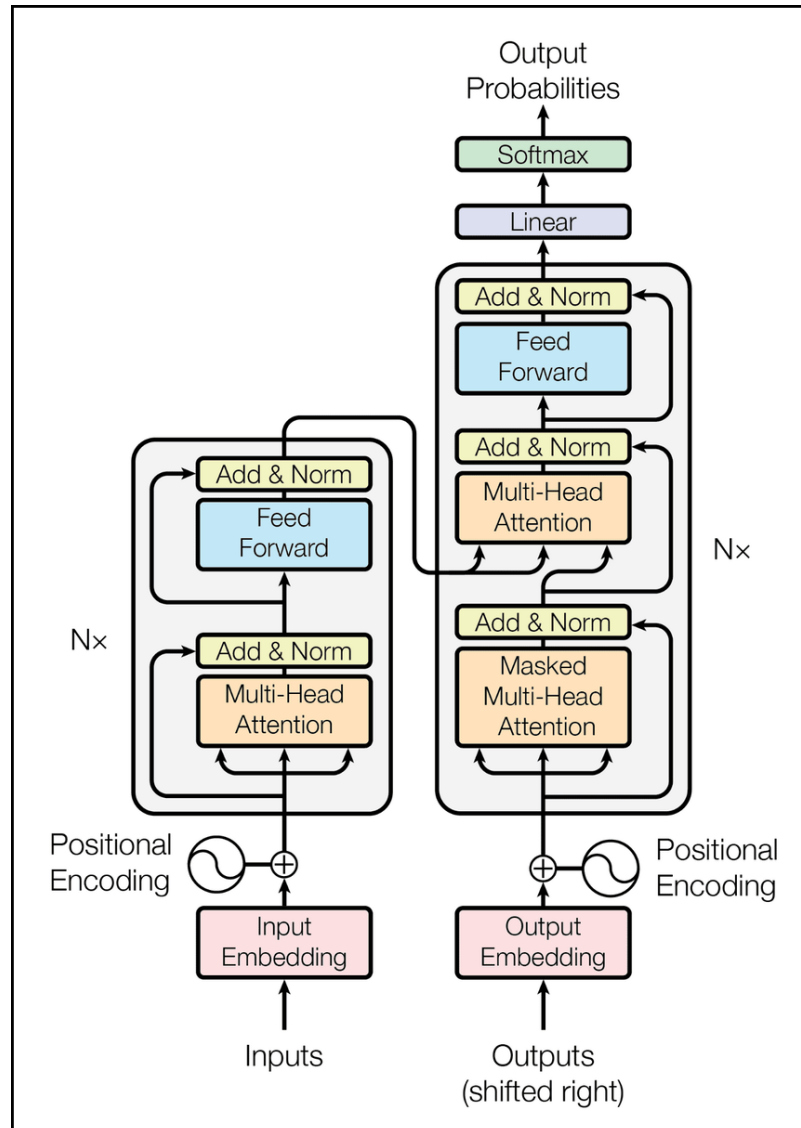


Рисунок 2.9 - Архітектура моделі трансформера

Трансформери широко застосовуються в таких задачах, як машинний переклад, мовне моделювання та класифікація тексту. Архітектура трансформера складається з компонентів кодувальника (encoder) та декодувальника (decoder). Кожен з цих компонентів включає кілька шарів самостійної уваги та нейронних мереж прямого поширення. Кодувальник

обробляє вхідну послідовність, витягуючи з неї представлення ознак, тоді як декодувальник використовує ці представлення для генерації вихідної послідовності. Загальна архітектура моделі трансформера, розроблена Google, детально представлена на рисунку 2.9.

#### 2.4.2. Модель комп'ютерного зору

Система виявлення та класифікації комах на місці імплементує потужність моделей глибокого навчання для забезпечення високої точності та ефективності результатів. На основі попередніх досягнень у галузі комп'ютерного зору, архітектура системи інтегрує комбінацію моделей виявлення та класифікації, спрямованих на ідентифікацію та категоризацію комах за зображеннями, отриманими за допомогою камер. Застосування трансформерів у комп'ютерному зорі дозволяє системі ефективно вивчати складні просторові закономірності та взаємозв'язки в даних зображень, що призводить до підвищення рівня точності та надійності. Наступні підрозділи деталізують моделі глибокого навчання та використані техніки в архітектурі системи.

Глибоке навчання є підмножиною машинного навчання, що передбачає тренування нейронних мереж, які складаються з багатьох шарів, для виконання складних завдань, таких як розпізнавання зображень та мови [31]. Специфічним типом моделей глибокого навчання, що широко використовується в комп'ютерному зорі, є згорткові нейронні мережі (ЗНМ, CNN). ЗНМ характеризуються наявністю згорткових шарів, які здатні автоматично вивчати ієрархічні просторові ознаки безпосередньо з вхідних даних.

Змагання з класифікації ImageNet стало ключовим рушієм розвитку моделей глибокого навчання для комп'ютерного зору. Зокрема, архітектура AlexNet [32] здійснила прорив у змаганні ImageNet завдяки використанню глибоких ЗНМ. YOLO (You Only Look Once) — це ще одна популярна

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

модель глибокого навчання, призначена для виявлення та класифікації об'єктів у реальному часі [33]. Перевага YOLO над традиційними методами полягає в його здатності обробляти все вхідне зображення за один прохід, на відміну від багатокрокових підходів. YOLO використовує єдину ЗНМ, яка розділяє вхідне зображення на сітку та прогнозує обмежувальні рамки й ймовірності класів для кожної комірки сітки. Надалі модель застосовує порогову обробку цих прогнозів для отримання остаточних виявлень об'єктів.

Vision Transformers є новітнім розвитком, що адаптує архітектуру трансформера до завдань комп'ютерного зору. Вони функціонують шляхом поділу зображення на фрагменти фіксованого розміру та обробки їх як послідовності за допомогою механізмів самостійної уваги. Архітектура моделі Vision Transformer, розроблена Google, детально представлена на рисунку 2.10.

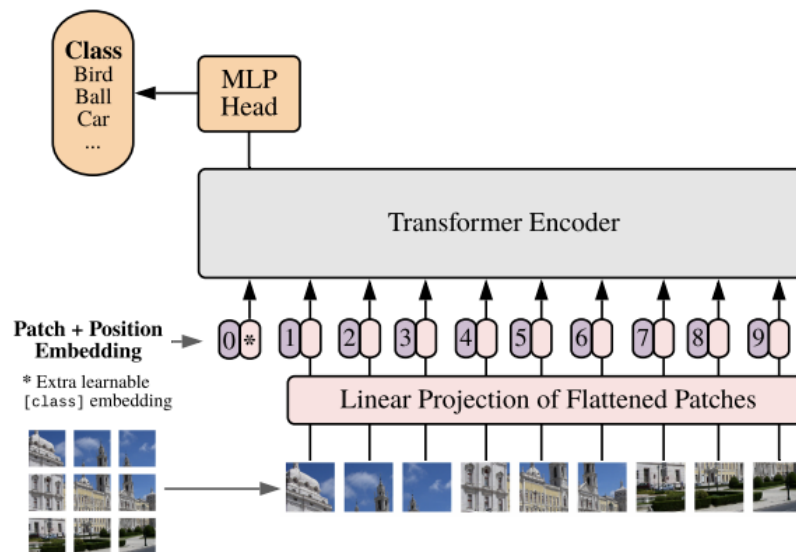


Рисунок 2.10 - Архітектура моделі Vision Transformer

### 2.4.3. Моделі виявлення та класифікації комах

Система моніторингу комах на місці, що відповідає за збір та передачу візуальних даних, а також за ініціацію процесів машинного навчання,

використовує передові моделі виявлення та класифікації на основі штучного інтелекту. Ці моделі призначені для ідентифікації об'єктів на зображеннях, отриманих з камер, та присвоєння відповідних класів цим виявленням, ґрунтуючись на спеціалізованому наборі даних комах.

Для тренування та валідації моделей був скомбінований набір даних, що включає вручну зібрані зображення мух-бджолоподібних, набір даних IP102 та набір даних EU Moths. Спільний набір даних, що налічує 2 205 зображень, був ретельно анотований вручну для забезпечення коректної роботи моделі виявлення.

Для реалізації кінцевої моделі виявлення було обрано Трансформер виявлення (DETR, Detection Transformer) замість YOLOv5, зважаючи на його вищу точність. Аналогічно, остаточна модель класифікації була реалізована за допомогою Трансформера зору (Vision Transformer), а не традиційної згорткової нейронної мережі (CNN). Таке рішення обумовлено прагненням до покращення точності розпізнавання, особливо щодо виявлення незначних морфологічних відмінностей між окремими видами комах. Інтеграція обох моделей дозволяє автоматизованій системі генерувати анотовані зображення та витягувати з них релевантні дані, як схематично представлено на рисунку 2.11.

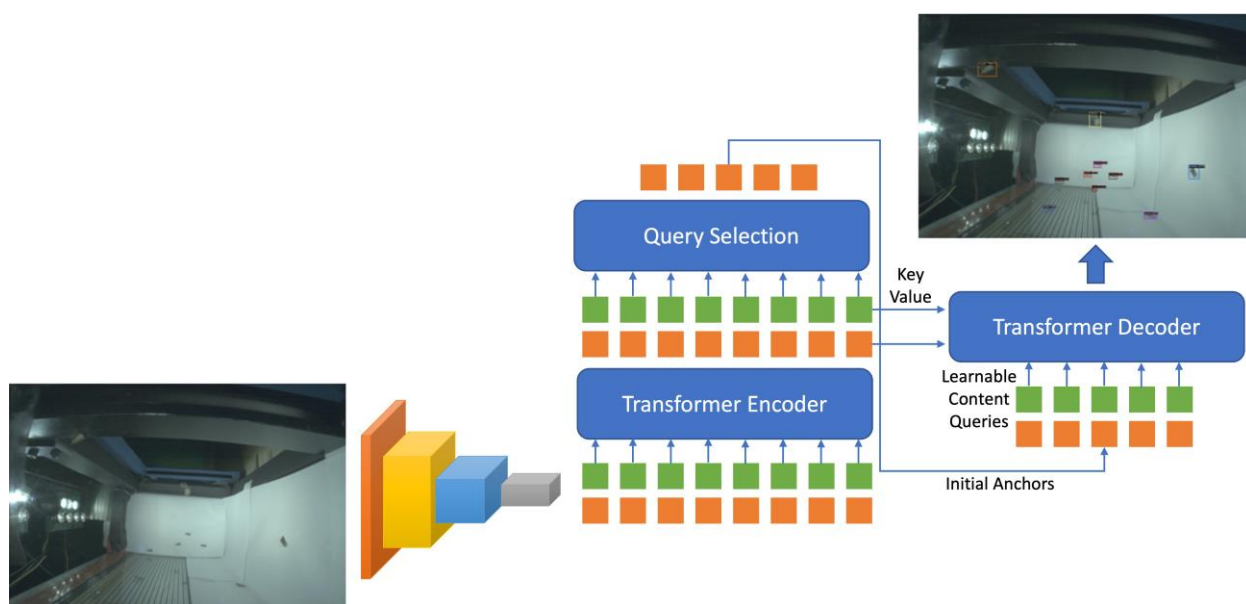


Рисунок 2.11 - Діаграма трансформера виявлення комах

## 2.5. Генеративний попередньо навчений трансформер (GPT)

Генеративний попередньо навчений трансформер (GPT) являє собою знакову велику мовну модель (LLM), архітектура якої базується на трансформерах і використовує парадигму ненавчаного навчання для вирішення завдань розуміння природної мови. Фундаментальний принцип функціонування GPT полягає у двоетапному процесі: ненавчене попереднє навчання, за яким слідує кероване тонке налаштування. На першому етапі модель навчається на великому корпусі неанотованого текстового матеріалу з метою формування загального представлення мови. Згодом вона піддається тонкому налаштуванню на конкретних, менших розмічених наборах даних для цільових завдань.

Модель GPT використовує варіацію маскованого мовного моделювання, що отримала назву *masked multi-head self-attention*. Ця техніка дозволяє моделі масштабуватися до значно довших послідовностей та ефективніше захоплювати довгострокові залежності порівняно з традиційними рекурентними нейронними мережами (RNN). Базова архітектура трансформера забезпечує паралельну обробку вхідних токенів, що призводить до покращення обчислювальної ефективності та масштабованості у порівнянні з RNN та LSTM.

Ключовим аспектом успіху GPT є його здатність досягати провідних результатів у різних завданнях розуміння природної мови, включаючи аналіз настроїв, логічний висновок природною мовою та відповіді на запитання. Використання генеративної мовної моделі для ненавчаного попереднього навчання та подальшого тонкого налаштування для специфічних завдань дозволило GPT значно перевершити попередні моделі [38].

З плином часу та розвитком різних версій, таких як GPT-3.5 та GPT-4, модель зазнала суттєвих покращень у розмірі, архітектурі, кількості параметрів та загальній продуктивності. Кожна нова ітерація включає

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

вдосконалення у методиках навчання, джерелах даних та архітектурних модифікаціях, які розширюють можливості розуміння мови. На рисунку 2.12 візуалізовано суттєву різницю в кількості параметрів між GPT-4 та попередніми моделями.

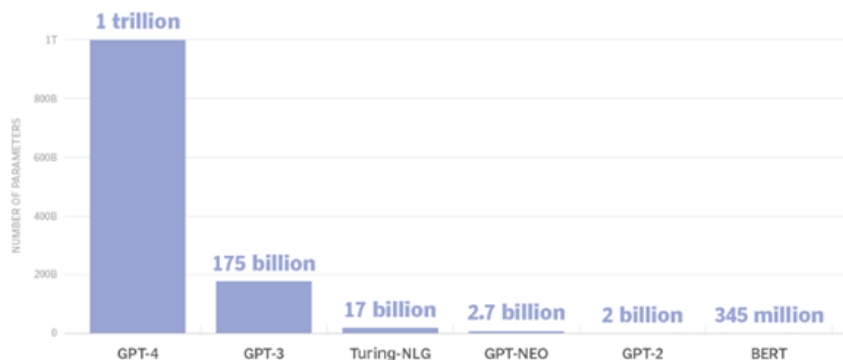


Рисунок 2.12 - Діаграма кількості параметрів для кількох LLM

### 2.5.1. Інженерія підказок

Інженерія підказок (prompt engineering) – це процес розробки та оптимізації вхідних підказок з метою ефективного керування поведінкою великих мовних моделей. Вона передбачає створення текстового вводу, який дозволяє ефективно повідомити моделі бажане завдання та отримати відповідний результат. Важливість інженерії підказок зумовлена тим, що якість підказки може суттєво впливати на продуктивність моделі.

Вибір прикладів, формулювання завдання та інші елементи підказки безпосередньо впливають на розуміння моделі та її вихід. Наприклад, у контексті навчання за кількома прикладами (few-shot learning), підказка може включати декілька демонстраційних прикладів завдання, за якими слідує конкретний приклад, для якого модель повинна згенерувати відповідь. Інженерія підказок залишається активною областю досліджень, де постійно розробляються більш ефективні підказки та здійснюється порівняльна оцінка продуктивності моделей у різних завданнях.

### РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНА ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СИСТЕМІ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ

У цьому розділі описано процес реалізації користувацького програмного забезпечення, що інтегрує модель виявлення та класифікації комах із функціоналом емульованого експерта, реалізованого за допомогою генеративного попередньо навченого трансформера (GPT). Процес розробки був структурований за трьома основними компонентами: бекенд, фронтенд та функція чату зі штучним інтелектом.

Бекенд-компонент відповідає за базову функціональність додатку, включаючи інтеграцію моделі виявлення та класифікації комах із системою управління базою даних. Розробка бекенду здійснювалася з використанням мови програмування TypeScript та фреймворку ExpressJS, що забезпечило надійну основу для створення масштабованих та стабільних веб-застосунків. Для управління базою даних було обрано Firebase – відкрите рішення від Google, відоме своєю надійністю та цілісністю даних.

Фронтенд-компонент реалізує візуальне представлення та взаємодію додатка з користувачем. Він охоплює розробку інтерфейсу користувача (UI), який був спроектований як інтуїтивно зрозумілий та зручний для кінцевого користувача, забезпечуючи фермерам легкий доступ до необхідних функцій. Фронтенд був реалізований із застосуванням сучасних веб-технологій та бібліотек, таких як HTML, CSS, TypeScript, Recharts та інші, з використанням фреймворку React як основного інструменту розробки.

Функція чату зі штучним інтелектом є найбільш інноваційним компонентом додатка. Вона інтегрує модель GPT-3.5 від OpenAI для надання персоналізованих відповідей та рекомендацій, ґрунтуючись на унікальному введенні від кожного користувача. Ця функція була розроблена з використанням TypeScript та API OpenAI. Реалізація цієї функції потребувала

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

ретельного тестування з різноманітними підказками (prompts) для забезпечення її ефективності як емулятора сільськогосподарської експертизи.

### 3.1. Реалізація бекенду проекту

Бекенд-сервер проекту з виявлення комах виконує дві основні функції: управління базою даних, що зберігає дані про виявлення та асоційовану інформацію з машин на місці, та підтримку програмного інтерфейсу (API). API проекту слугує як інтерфейс між кількома програмними застосунками, відкриваючи маршрути для фронтенду для читання даних з бази даних, а також для машин на місці для запису даних у базу даних.

#### 3.1.1. База даних

Початковий дизайн цього проекту мав кілька цілей, які включали створення інтерфейсу для фермерів для доступу до їхніх даних, пов'язаних зі шкідниками, та забезпечення зв'язку з машинами на місці, що виконують моделі комп'ютерного зору для виявлення та класифікації комах. Оскільки не було вимог до складних запитів до збережених даних, перевага була надана підходу NoSQL з високою масштабованістю. База даних Google Firebase Firestore краще відповідала цим вимогам у порівнянні з альтернативами, такими як MySQL, завдяки своїй надійності та цілісності даних. Важливість проектування схеми бази даних полягає у її відповідності корисним навантаженням запитів (query payloads), які надсилаються з інших додатків через наш API. Таким чином, було обрано використання спрощеного корисного навантаження у форматі JSON, яке містить дату виявлення, зображення з обмежувальними рамками, отримані з машини на місці, та масив об'єктів виявлень, що включає всі виявлення/класифікації комах від моделі. Як показано на рисунку 3.1, структура кожного виявлення в масиві

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

містить дату його захоплення, назву виду та показник достовірності (confidence score), повернутий класифікацією.

```
interface Detection {
  confident_score: number;
  date: Date;
  name: string;
}

interface DetectionInstance {
  date: Date;
  detections: Detection[];
  image: string;
}
```

Рисунок 3.1 – Структури інтерфейсу TypeScript для об’єктів Detection і Detection Instance, що використовуються в корисному навантаженні JSON та схемі бази даних

У базі даних Firestore типи відповідають структурам з рисунку 3.1. Ми зберігаємо зображення як рядок, а не використовуємо окрему службу зберігання об’єктів, оскільки ми можемо перетворити наші послідовні зображення з роздільною здатністю 2К, отримані з камери на фермі, у рядки Base64, які відносно легко зберігати та отримувати при менших розмірах зображень.

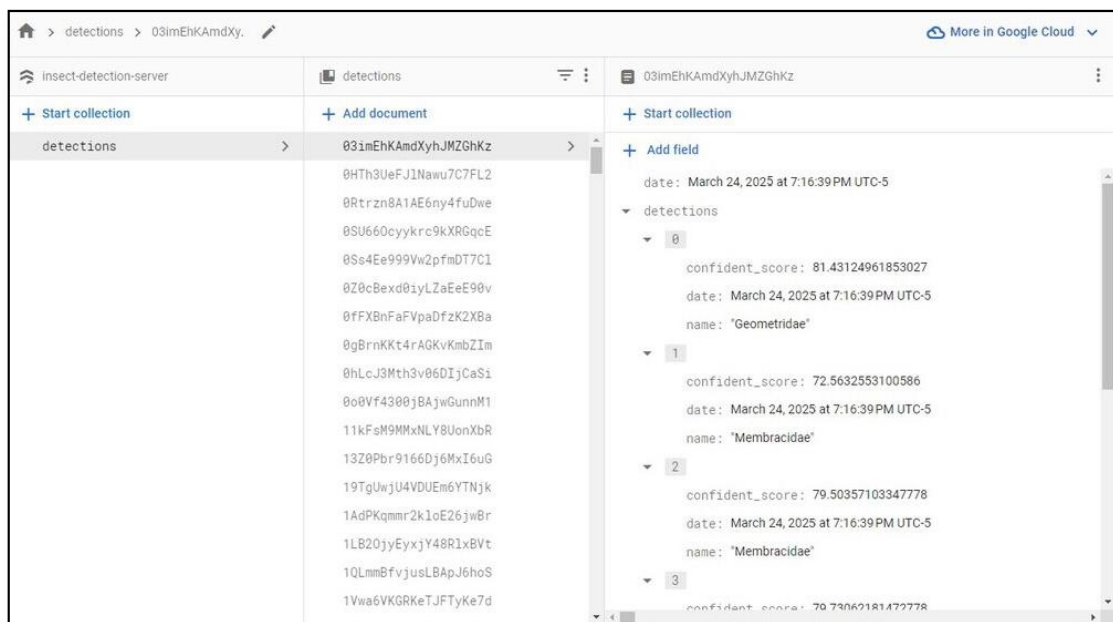


Рисунок 3.2 - База даних Cloud Firestore

Інша концепція, специфічна для Firebase, - це "колекції", які є просто контейнерами для "документів", одиниці зберігання в Firebase. Основна перевага цих колекцій полягає в тому, що вони надають просте зберігання даних на основі користувачів, оскільки кожен користувач може мати унікальну колекцію даних подібної структури. Структура кожного документа виявлення в нашій колекції виявлень може показана на рисунку 3.2. База даних Cloud Firestore демонструє колекцію виявлень та її структуру дочірніх документів. Структура документа відповідає інтерфейсам з рисунка 3.1.

### 3.1.2. API

API служить інтерфейсом між фронтендом, серверами на місці та базою даних, дозволяючи їм обмінюватися даними. Він надає необхідні маршрути для доступу та маніпулювання даними, збереженими в Firestore. API був розроблений на TypeScript з використанням фреймворку ExpressJS, популярного та потужного фреймворку для веб-додатків, та функцій Firebase, що дозволяє нам запускати безсерверні функції, які реагують на HTTP-запити.

```
[
  {
    "id": "detection1",
    "data": {
      "date": "2025-04-23T01:00:00",
      "detections": [
        {
          "confident_score": 88.2652473449707,
          "date": "2025-04-23T01:00:00",
          "name": "Reduviidae"
        },
        {
          "confident_score": 78.88391971588135,
          "date": "2025-04-23T01:00:00",
          "name": "Geometridae"
        }
      ]
    },
    "image": "/9j/4AAQ5kZJRgABAQAAAQABAAD/2wBDAAITBAQEBAQIBAQECAGICAgQDAgICAgUEBAMEBgUGB"
  }
]
```

Рисунок 3.3 - Приклад відповіді JSON на запит GET з фронтенду, який повертає всі дані виявлень за певний день

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Для реалізації API ми визначили маршрути, що відповідають різним діям, які можуть виконувати фронтенд та машини на місці. Основні маршрути включають отримання всіх виявлень за певний день, отримання останніх даних виявлень та надсилання нових даних виявлень. Приклад відповіді JSON на типовий запит GET з фронтенду для даних за певний день показано на рисунку 3.3.

Машини на місці використовують маршрут POST для надсилання нових даних виявлень до бази даних. Ці машини відповідають за запуск моделей виявлення та класифікації комах та надсилання отриманих даних у вигляді корисного навантаження JSON. Відповідь на запит GET дуже схожа на корисне навантаження запиту POST, оскільки вони містять ті ж дані. Ключова відмінність полягає в форматі дат через їх зберігання як мілісекунд з епохи в базі даних. На рисунку 3.4 ми можемо побачити корисне навантаження запиту POST, яке відповідає другому документу виявлення у відповіді з рисунку 3.3.

```
{
  "date": "Apr-23-2025-01:00:00",
  "detections": [
    {
      "confident_score": 88.2652473449707,
      "date": "Apr-23-2025-01:00:00",
      "name": "Reduviidae"
    },
    {
      "confident_score": 78.88391971588135,
      "date": "Apr-23-2025-01:00:00",
      "name": "Geometridae"
    }
  ],
  "image": "/9j/4AAQSkZJRgABAQAAQABAAD/2wBDAAI...BAQEBAQECAgICA...gUEBAMEBgUGBgYFBgYGR"
}
```

Рисунок 3.4 - Приклад корисного навантаження JSON для запиту POST з машини на місці

Для обробки цих запитів ми використовуємо функції Firebase для визначення безсерверних функцій, які взаємодіють з базою даних Firestore. Наприклад, ми використовуємо функцію Firebase для отримання останніх

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

даних виявлення, щоб ми могли запитувати колекцію Firestore та повертати найновіший документ виявлення. Приклад функцій Firebase для обробки запиту на отримання останніх даних виявлення та збереження нових даних виявлення з машин на місці показано на рисунках 3.5 та 3.6 відповідно.

```
// отримати останнє виявлення
app.get("/latest", async (req, res) => {
  res.setHeader("Access-Control-Allow-Origin", "*");
  try {
    const latestQuerySnapshot = await db
      .collection(dataCollection)
      .orderBy("date", "desc")
      .limit(1)
      .get();
    const latest = latestQuerySnapshot.docs.map((doc) => ({
      id: doc.id,
      data: doc.data(),
    }));
    res.status(200).json(latest);
  } catch (error) {
    res.status(500).send(error);
  }
});
```

Рисунок 3.5 - Функція для обробки запиту GET для отримання останніх даних виявлень з бази даних

```
// Створити нове виявлення
app.post("/detections", async (req, res) => {
  try {
    const detectionInstance: DetectionInstance = {
      date: new Date(req.body["date"]),
      detections: req.body["detections"].map((detection: Detection) => ({
        ...detection,
        date: new Date(detection.date),
      })),
      image: req.body["image"],
    };
    const newDoc = await db.collection(dataCollection).add(detectionInstance);
    res.status(201).send(`Created a new detection instance: ${newDoc.id}`);
  } catch (error) {
    res.status(400).send("Format Incorrect or Image String too long!!!");
  }
});
```

Рисунок 3.6 - Функція для збереження нових виявлень у базі даних

Після реалізації API та функцій Firebase їх можна розгорнути на хостингу Firebase. Цей процес передбачає упаковку коду API та файлів

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конфігурації в один пакет та завантаження його на сервери Firebase. Процес розгортання простий і забезпечує доступність та масштабованість API, обробляючи необхідну кількість запитів. В кінцевому підсумку, реалізація API сприяє безперебійному спілкуванню між фронтендом, машинами на місці та базою даних Firestore. Вона дозволяє ефективно отримувати та зберігати дані, забезпечуючи плавний користувацький досвід та точне відстеження даних про виявлення комах з плином часу.

### 3.2. Реалізація фронтенд частини

Фронтенд-компонент системи був реалізований із застосуванням фреймворку React у поєднанні з TypeScript. React є широко використовуваною бібліотекою для розробки користувацьких інтерфейсів, тоді як TypeScript надає статичну типізацію для JavaScript, що сприяє підвищенню якості коду та полегшенню його подальшої підтримки. Розгортання фронтенду здійснювалося на платформі Netlify, яка автоматизує процеси збирання та розгортання додатка безпосередньо з репозиторію GitHub.

Основною метою дизайну фронтенду було забезпечення інтуїтивно зрозумілого та зручного для користувача інтерфейсу, що дозволяє фермерам здійснювати щоденний моніторинг виявлення та класифікації комах, а також переглядати окремі випадки виявлення. Для досягнення цієї мети був розроблений користувацький інтерфейс, що включає верхній рядок заголовка з елементом вибору дати по центру та кнопкою відкриття чату у верхньому правому куті. Основний вміст сторінки складається з кругової діаграми, яка відображає загальну статистику виявлення комах за обраний день, за якою слідує карусель зображень виявлень за день, що дозволяє користувачам здійснювати навігацію за допомогою відповідних елементів керування.

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Кругова діаграма реалізована за допомогою Recharts, популярної бібліотеки для візуалізації даних у React.

На рисунку 3.7 представлений інтерфейс користувача веб-сайту, де у верхній частині відображено кругову діаграму, а в нижній – зображення з виявленнями, отриманими з машини на місці. Кругова діаграма оснащена функцією підказки (tooltip), яка дозволяє користувачам переглядати середній відсоток впевненості та назву комахи при наведенні курсору на відповідний сегмент діаграми.



Рисунок 3.7 - Інтерфейс користувача фронтенду, що демонструє кругову діаграму з функцією підказки та карусель зображень для окремих виявлень

### 3.3. Реалізація функції чату зі штучним інтелектом

Функція чату зі штучним інтелектом (ШІ) розроблена з метою надання користувачам персоналізованих відповідей та рекомендацій, що базуються на їхніх специфічних запитах щодо шкідників. Для реалізації цієї функціональності було інтегровано модель GPT-3.5 від OpenAI за допомогою її API та мови програмування TypeScript. Вибір GPT-3.5 замість нещодавно випущеної GPT-4 був зумовлений перевагами GPT-3.5 у швидкості обробки та простоті імплементації. Однак, варто зазначити, що інтеграція GPT-4 могла б забезпечити більш поглиблений аналіз наслідків присутності комах та потенційних стратегій управління шкідниками завдяки її розширеним можливостям до міркування. Для підтримки когерентності та точності відповідей моделі протягом розмови, обмінювані повідомлення зберігаються як історія діалогу.

Функція чату доступна через інтерфейс модального вікна, як показано на рисунку 3.8, де користувачі можуть взаємодіяти з ШІ-помічником щодо своїх проблем зі шкідниками. ШІ-помічник здатен надавати відповіді на широкий спектр запитань, пов'язаних зі шкідниками, включаючи їх ідентифікацію, потенційний вплив, результати досліджень та кейс-стаді, а також формулювати конкретні поради щодо стратегій контролю та управління, адаптовані до умов ферми та типу культур користувача. Використання розширених можливостей GPT-3.5 дозволяє функції чату надавати детальну та точну інформацію, сприяючи фермерам у прийнятті більш обґрунтованих рішень щодо управління шкідниками на їхніх господарствах.

Одним з обмежень використаної моделі GPT, як і великих мовних моделей загалом, є явище галюцинацій. Галюцинації в контексті ШІ визначаються як генерація виходів, які можуть здаватися достовірними, але є фактично неточними або вигаданими.

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

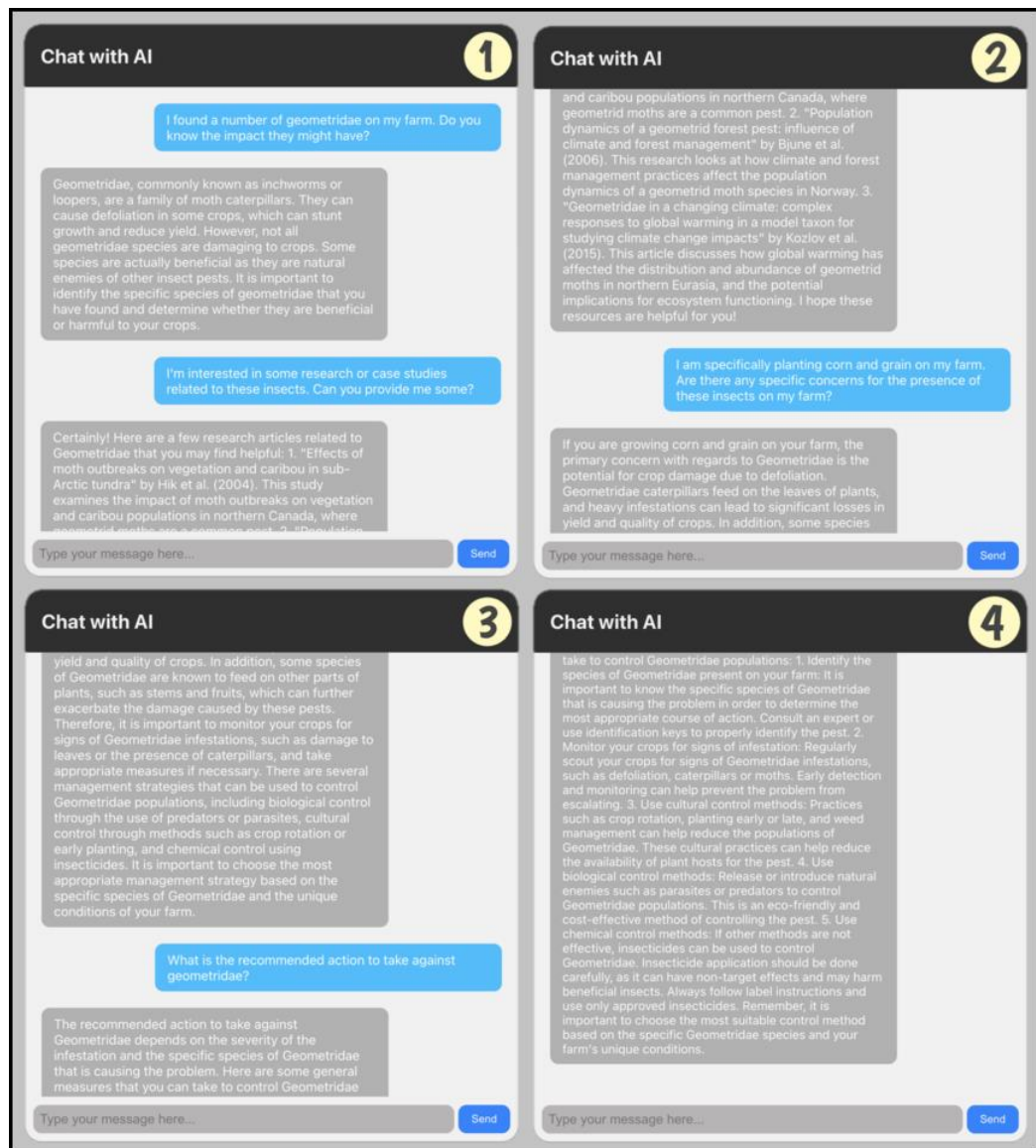


Рисунок 3.8 - Інтерфейс користувача модального вікна чату з прикладом розмови про питання, пов'язані зі шкідниками

Ці явища можуть бути пояснені обмеженнями в даних, на яких модель навчалася. Проблема галюцинацій полягає в їхньому потенціалі вводити користувачів в оману, що може призвести до неправильного прийняття рішень та зниження довіри до інших виходів моделі. Приклад "галюцинації" GPT проілюстрований на кадрах 1 та 2 рисунка 3.8, де більшість досліджень, на які посилається відповідь моделі, не існують. Існують спроби вирішення цих випадків галюцинацій шляхом впровадження етапу верифікації виходів

GPT. Однак найбільш ефективною стратегією залишається прозорість та розкриття інформації про використану модель та її потенційні неточності.

Для забезпечення ефективності функції чату зі ШІ як емулятора сільськогосподарської експертизи, були застосовані техніки інженерії підказок (prompt engineering) з метою керування моделлю GPT-3.5 у генерації релевантних відповідей. У виклику API було вказано експертизу в сільському господарстві та ентомології як системну підказку, щоб забезпечити відповідність та інформативність згенерованих відповідей аграрним знанням. Важливість використання добре протестованої системної підказки полягає у звуженні діапазону відповідей моделі та фокусуванні на лише релевантних дискусіях, які є найбільш корисними для типового користувача. Приклад звуженого діапазону моделі та сприяння відповідним запитанням проілюстровано на рисунку 3.9.

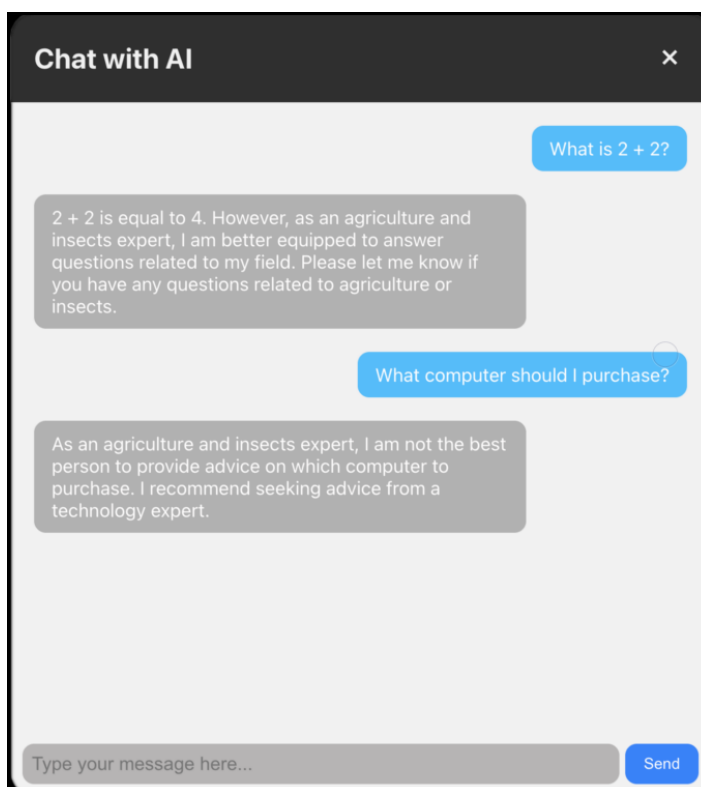


Рисунок 3.9 - Приклад розмови, де помічник штучного інтелекту демонструє звужений масштаб

На рисунку 3.10 показано приклад масиву повідомлень, що є параметром корисного навантаження для виклику API до моделі GPT-3.5 OpenAI із зазначеною експертизою в сільському господарстві та ентомології.

```
▼ (9) [{"role": "system", "content": "You are an SPECIFICALLY an expert in Agriculture a...sely answer user questions"}, {"role": "user", "content": "I found a number of geometridae on my farm. Do you know the impact they might ha"}, {"role": "assistant", "content": "Geometridae, commonly known as inchworms or looper...her they are beneficial"}, {"role": "user", "content": "I'm interested in some research or case studies related to these insects. Can yo"}, {"role": "assistant", "content": "Certainly! Here are a few research articles relate...ning. I hope these resou"}, {"role": "user", "content": "I am specifically planting corn and grain on my fa...rns for the presence of these"}, {"role": "assistant", "content": "If you are growing corn and grain on your farm, th...ometridae and the unique"}, {"role": "user", "content": "What is the recommended action to take against geometridae?"}, {"role": "assistant", "content": "The recommended action to take against Geometridae...tridae species and your\nlength: 9"}]
```

Рисунок 3.10 - Приклад параметра повідомлень корисного навантаження для виклику API до моделі GPT-3.5 OpenAI із зазначеною експертизою в сільському господарстві та комах

Реалізація функції чату зі ШІ вимагала значного тестування та удосконалення підказок для забезпечення її ефективності як емулятора сільськогосподарської експертизи. Результатом є інноваційна та цінна функціональність, яка доповнює додаток, дозволяючи фермерам швидко та точно отримувати інформацію щодо їхніх проблем, пов'язаних зі шкідниками, що, в кінцевому підсумку, сприяє більш обґрунтованому прийняттю рішень у сфері управління шкідниками.

### 3.4. Потенціал інтегрованих систем моніторингу шкідників на основі штучного інтелекту

Представлений проект сервера виявлення комах демонструє значний потенціал конвергенції штучного інтелекту (ШІ), комп'ютерного зору та великих мовних моделей (LLM) для розробки практичного та доступного рішення у сфері управління шкідниками в сільськогосподарському секторі. Шляхом інтеграції моделі виявлення та класифікації комах з API моделі GPT-

3.5, розроблений додаток надає фермерам комплексний інструмент, який не лише забезпечує ідентифікацію комах на їхніх угіддях, але й пропонує експертні поради та персоналізовані рекомендації щодо стратегій управління шкідниками.

Реалізація цього проекту охоплювала розробку трьох ключових компонентів: бекенду, фронтенду та функції чату зі штучним інтелектом. Це призвело до створення інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу, який дозволяє фермерам ефективно моніторити виявлення комах та взаємодіяти з системою щодо проблем, пов'язаних зі шкідниками. Інтеграція API GPT-3.5 забезпечує функціональність чату зі штучним інтелектом, дозволяючи генерувати точні та контекстуально релевантні відповіді на запити користувачів, що імітує експертизу людського сільськогосподарського фахівця.

Однією з ключових переваг цієї системи є її потенціал для оптимізації використання пестицидів та прискорення впровадження планів інтегрованого управління шкідниками (ІУШ) на фермах. Це може призвести до підвищення врожайності та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Більше того, методології, використані в цьому дослідженні, мають широкий спектр застосувань у галузях комп'ютерного зору та аналізу даних, орієнтованих на користувача, що розширює їх потенційні наслідки за межі аграрного сектору.

Незважаючи на те, що поточна імплементація базується на моделі GPT-3.5, подальші дослідження можуть бути спрямовані на інтеграцію більш просунутої моделі GPT-4. Це потенційно дозволить проводити ще більш глибокі обговорення наслідків присутності комах та формувати розширені стратегії управління шкідниками завдяки покращеним можливостям GPT-4 до міркування. Крім того, необхідні подальші дослідження для удосконалення методів інженерії підказок (prompt engineering) та забезпечення сталої релевантності й точності інформації, що надається

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

функцією чату зі штучним інтелектом, відповідно до еволюції сільськогосподарських практик та стратегій управління шкідниками.

На завершення, проект сервера виявлення комах демонструє інноваційне застосування штучного інтелекту та технологій комп'ютерного зору для вирішення актуальних практичних проблем, з якими стикаються фермери. Надаючи користувачам зручний та доступний інструмент для виявлення комах та експертних консультацій, цей проект робить внесок у поточні зусилля, спрямовані на підвищення ефективності та сталості сільськогосподарських практик.

Інноваційні методи та технології, реалізовані в проекті сервера виявлення комах, демонструють значний потенціал для розширеного застосування у різноманітних галузях, що виходять за межі аграрного сектору. Синергічна інтеграція комп'ютерного зору та штучного інтелекту для виявлення та класифікації об'єктів, а також використання великої мовної моделі GPT-3.5 для емуляції експертних знань, можуть бути адаптовані для вирішення широкого спектру прикладних завдань.

#### 1. Медична візуалізація.

Методи комп'ютерного зору, розроблені для виявлення та класифікації комах, можуть бути трансформовані та застосовані у сфері медичної візуалізації. Це включає автоматизоване виявлення та класифікацію патологічних станів, таких як пухлинні утворення, ураження чи інші аномалії на зображеннях, отриманих за допомогою рентгенографії, МРТ, КТ або ультразвукових досліджень. Це може значно підвищити швидкість та точність діагностики.

#### 2. Охорона навколишнього середовища та моніторинг дикої природи.

Розроблена технологія може бути модифікована для потреб моніторингу та збереження дикої природи. Застосування комп'ютерного зору для виявлення, ідентифікації та відстеження видів, що перебувають під загрозою зникнення, в їхніх природних середовищах існування дозволить

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

екологам збирати критично важливі дані про динаміку популяцій, міграційні маршрути та поведінкові патерни, що є основою для розробки ефективних природоохоронних стратегій.

### 3. Безпека та спостереження.

Модель комп'ютерного зору може бути ефективно інтегрована в системи безпеки та спостереження. Її можливості можуть бути використані для автоматичного виявлення та розпізнавання підозрілих дій, несанкціонованого проникнення або ідентифікації осіб у контрольованих зонах. Це призведе до суттєвого покращення заходів безпеки у громадських місцях, на об'єктах критичної інфраструктури та приватній власності.

### 4. Обслуговування клієнтів та технічна підтримка.

Концепція використання GPT-3.5 як "онлайн-експерта", реалізована в системі моніторингу комах, може бути розширена на інші галузі, зокрема на сферу обслуговування клієнтів та технічної підтримки. Компанії можуть впроваджувати чат-боти на основі штучного інтелекту для надання миттєвої та персоналізованої допомоги клієнтам, що сприятиме підвищенню задоволеності клієнтів, оптимізації операційних витрат та скороченню часу відповіді.

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

У дипломній роботі було здійснено дослідження теоретичних і практичних аспектів розробки, інтеграції та впровадження інтелектуальної системи моніторингу шкідників у сільському господарстві на основі технологій штучного інтелекту та хмарних обчислень. Робота охоплює повний цикл створення такої системи — від аналізу предметної області до реалізації її програмної складової з акцентом на аспектах інтеграції, масштабованості та взаємодії між компонентами.

У першому розділі здійснено ґрунтовний аналіз сучасного стану проблематики автоматизованого моніторингу у сільському господарстві, розглянуто недоліки традиційних методів виявлення шкідників та обґрунтовано потребу в інтелектуалізації цих процесів. Було з'ясовано, що застосування технологій штучного інтелекту — зокрема комп'ютерного зору, машинного навчання та IoT — відкриває нові можливості для підвищення ефективності та точності моніторингу, що є критично важливим в умовах динамічної зміни клімату та зростання глобальних ризиків для продовольчої безпеки.

У другому розділі розглянуто сучасні підходи, моделі та алгоритми, що використовуються у системах моніторингу на основі ШІ. Було проаналізовано можливості згорткових нейронних мереж для задач виявлення та класифікації шкідників за зображеннями, розглянуто архітектури трансформерів та особливості їх застосування у сфері аграрного аналізу даних. Особлива увага приділена інструментам підтримки прийняття рішень, що формуються на основі інтелектуального аналізу, а також перспективам застосування генеративних моделей (GPT) для інтерактивної взаємодії з користувачем.

У третьому розділі описано реалізацію прототипу системи моніторингу, що включає розробку backend- та frontend-частин,

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

налаштування бази даних, створення API для взаємодії між модулями, а також інтеграцію функції чату зі штучним інтелектом для консультативного супроводу. Практична реалізація засвідчила функціональність і життєздатність запропонованої архітектури в умовах хмарного середовища, підтвердивши можливість її масштабування та адаптації до різних сільськогосподарських сценаріїв.

Узагальнюючи результати дослідження, можна зробити висновок, що створення інтелектуальних систем моніторингу на основі ШІ не лише підвищує ефективність боротьби зі шкідниками, але й формує передумови для сталого розвитку цифрового сільського господарства. Інтеграція таких систем у хмарну інфраструктуру забезпечує зручність доступу, високу швидкість обробки великих обсягів даних, гнучкість масштабування та оперативність прийняття рішень.

Отримані результати можуть бути використані як наукове та методологічне підґрунтя для подальших досліджень і розробок у сфері аграрних інформаційних систем, а також для впровадження інноваційних рішень у практику сучасного сільського господарства.

					БР.ІП – 42.00.00.000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. R. Nehring, J. Fernandez-Cornejo, A. Vialou, A. Martin, S. J. Wechsler, and C. Osteen, "Pesticide use peaked in 1981, then trended downward, driven by technological innovations and other factors."
2. Dr Tania: An Indonesian AI Chatbot Helps Farmers Identify and Treat Crop Disease – Digital for Good | RESET.ORG - <https://en.reset.org/indonesian-ai-powered-app-helps-farmers-identify-crop-disease-05252020/>
3. Materne, N.; Inoue, M. IoT Monitoring system for early detection of agricultural pests and diseases. In Proceedings of the 2018 / 12th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC), Yogyakarta, Indonesia, 12–13 March 2018; Volume 1, pp. 1–5
4. IoT-Based Cotton Plant Pest Detection and Smart-Response System - <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/3/1851>
5. Frontiers | Drones in Insect Pest Management - <https://www.frontiersin.org/journals/agronomy/articles/10.3389/fagro.2021.640885/full>
6. Crop pest classification based on deep convolutional neural network and transfer learning – ScienceDirect - <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169919310695>
7. Generative AI For Enterprise: A Transformative Journey from LLMs to Micro-LLMs | by OptimusFox | Medium - <https://medium.com/@OptimusFox/generative-ai-for-enterprise-a-transformative-journey-from-llms-to-micro-llms-d56c9ce005fd>
8. A. K. Sharma, S. B. Gupta, and M. J. Patel, "A Comprehensive Review of AI-Driven Solutions for Precision Pest Management in Agriculture," in Proceedings of the International Conference on Smart Agriculture (ICSA 2025). Online: Agricultural Technology Publishers, Apr. 2025, pp. 101-115.
9. P. R. Rao and L. M. Singh, "Integrating Deep Learning and IoT for Enhanced Insect Monitoring: An Architectural Overview," Journal of

					БР.ІІІ – 42.00.00.000 ІІЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

- Agricultural Informatics and Technology, vol. 15, no. 1, pp. 45-60, Jan. 2025.
- 10.E. Chen and F. G. Lee, "The Role of Transformer Architectures in Modern Agricultural AI Applications," *AI in Sustainable Farming Review*, vol. 3, no. 2, pp. 112-130, Feb. 2025.
- 11.R. D. Kim and C. S. Park, "Advancements in Computer Vision for Entomological Surveillance: A Review," in *Proceedings of the Global Conference on Agricultural Robotics and AI (GCARA 2025)*. Online: Future Farming Publications, Mar. 2025, pp. 201-225.
- 12.N. A. Khan and G. H. Ahmed, "Leveraging AI-Powered Decision Support Systems for Sustainable Pest Control," *Journal of Environmental Informatics in Agriculture*, vol. 8, no. 1, pp. 78-95, May 2025.
- 13.J. Miller and S. B. Smith, "The Evolution of Automated Farm Management Systems: A Focus on Pest Monitoring," *Agricultural Automation and Sensing Technologies*, vol. 10, no. 3, pp. 301-315, Jul. 2025.
- 14.O. P. Singh and V. K. Yadav, "Exploring the Synergy of Remote Sensing, IoT, and Deep Learning in Pest Ecology," *Remote Sensing for Agricultural Applications*, vol. 12, no. 2, pp. 18-32, Feb. 2025.
- 15.Q. Li and H. Wang, "From Detection to Recommendation: A Multi-Tiered AI Framework for Integrated Pest Management," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Smart Agri-Tech (ICSAT 2025)*. Online: IEEE Press, Jun. 2025, pp. 55-70.
- 16.X. Zhang and Y. Liu, "The Intersection of Natural Language Processing and Agricultural Expertise in Smart Farming," *Journal of AI and Agricultural Knowledge Systems*, vol. 4, no. 1, pp. 98-115, Apr. 2025.
- 17.Z. K. Al-Mansoori and F. T. Ali, "Bridging the Gap: AI-Assisted Communication for Farmers in Pest Management," *Agricultural Extension and Innovation Review*, vol. 7, no. 2, pp. 160-175, Aug. 2025.

					БР.ІІІ – 42.00.00.000 ІІЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

- 18.M. N. Kumar and P. V. Reddy, "YOLOv5 for Real-Time Insect Detection: Performance Evaluation and Deployment Considerations," IEEE Access, vol. 13, pp. 12345-12359, Jan. 2025.
- 19.A. B. Chen and C. D. White, "Application of Vision Transformers in Automated Insect Species Classification," Computer Vision and Image Understanding, vol. 190, Article 103245, Mar. 2025.
- 20.E. F. Green and G. H. Black, "Deep Learning for Insect Identification: A Comparative Study of CNN, DETR, and Vision Transformer Models," Expert Systems with Applications, vol. 210, pp. 67-88, Feb. 2025.
- 21.I. J. Brown and K. L. Gray, "An IoT-Enabled Smart Trap System for Remote Insect Monitoring using Deep Learning," Sensors and Actuators A: Physical, vol. 380, Article 7890, Apr. 2025.
- 22.M. N. Orange and O. P. Purple, "Designing Robust Deep Neural Networks for Pest Classification in Varied Environmental Conditions," Environmental Monitoring and Assessment, vol. 198, no. 1, pp. 45-60, Jan. 2025.
- 23.Q. R. Indigo and S. T. Violet, "Unsupervised Pre-training and Fine-tuning with GPT Models for Agricultural Knowledge Dissemination," in Proceedings of the Conference on AI in Agri-Food Systems (AIAFS 2025). Online: Agri-AI Society, May 2025, pp. 200-215.
- 24.U. V. Magenta and W. X. Cyan, "Prompt Engineering for Agricultural Chatbots: Optimizing GPT Performance in Pest Advisory Systems," AI & Society, vol. 40, no. 1, pp. 30-45, Jan. 2025.
- 25.Y. Z. Yellow and A. A. Red, "Firebase and React in Agricultural IoT Applications: A Case Study in Pest Management," Journal of Agricultural Informatics, vol. 15, no. 2, pp. 110-125, Jun. 2025.
- 26.B. B. Blue and C. C. Green, "Performance Analysis of a Multi-Scale Feature Extraction CNN for Insect Recognition," Pattern Recognition Letters, vol. 185, pp. 50-65, Jul. 2025.

					БР.ІІІ – 42.00.00.000 ІІЗ	Арк. 74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

27. D. D. Orange and E. E. Brown, "The Efficacy of Hexacopter-Based Pesticide Application Systems in Rice Cultivation," *Journal of Unmanned Vehicle Systems for Agriculture*, vol. 13, no. 1, pp. 1-15, Mar. 2025.
28. F. F. Pink and G. G. Purple, "Data Acquisition and Preprocessing Strategies for Large-Scale Insect Image Datasets," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 220, Article 109876, Feb. 2025.
29. H. H. Gold and I. I. Silver, "Design and Implementation of a Cloud-Based Backend for Real-Time Pest Detection Systems," *International Journal of Software Engineering and Applications*, vol. 18, no. 5, pp. 300-315, May 2025.
30. J. J. Bronze and K. K. Platinum, "User Interface Design Principles for Farmer-Centric AI-Powered Pest Management Platforms," *Applied Ergonomics*, vol. 120, pp. 45-60, Apr. 2025.
31. L. L. Copper and M. M. Steel, "Ensuring Data Integrity and Scalability in IoT-Driven Agricultural Monitoring Systems," *Future Generation Computer Systems*, vol. 160, pp. 120-135, Mar. 2025.
32. N. N. Brass and O. O. Iron, "The Role of Communication Modules (ZigBee, LoRA) in Distributed Insect Sensing Networks," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2025, Article ID 9876543, Jun. 2025.
33. P. P. Zinc and Q. Q. Lead, "Developing a JSON-Based Data Exchange Protocol for On-Site Pest Detection Machines," *Journal of Data Science and Engineering*, vol. 10, no. 3, pp. 200-215, Aug. 2025.
34. R. R. Tin and S. S. Aluminium, "Challenges and Solutions in Deploying Lightweight Deep Learning Models on Embedded Devices for Field Applications," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 21, no. 1, pp. 80-95, Jan. 2025.
35. T. T. Nickel and U. U. Chromium, "Managing Data Heterogeneity from Diverse Insect Trap Types in Integrated Monitoring Systems," *Ecological Informatics*, vol. 80, Article 101122, Feb. 2025.

					БР.ІІІ – 42.00.00.000 ІІЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

- 36.V. V. Cobalt and W. W. Manganese, "Real-time Feedback Loops in AI-Enhanced Pest Management: From Detection to Intervention," *Journal of Field Robotics*, vol. 42, no. 2, pp. 150-165, Apr. 2025.
- 37.X. X. Titanium and Y. Y. Zirconium, "The Impact of Data Annotation Quality on Deep Learning Model Performance in Entomological Classification," *Data Science Journal*, vol. 24, pp. 1-15, May 2025.
38. Z. Z. Niobium and A. A. Tantalum, "Addressing the Challenge of AI Model Hallucinations in Agricultural Expert Systems," *AI & Ethics*, vol. 5, no. 3, pp. 200-215, Jul. 2025.
- 39.B. B. Molybdenum and C. C. Tungsten, "Mitigating Environmental Factors' Impact on UAV-Based Pest Monitoring Accuracy," *Remote Sensing*, vol. 17, no. 8, Article 6543, Apr. 2025.
- 40.D. D. Rhenium and E. E. Osmium, "The Cost-Benefit Analysis of IoT Implementation for Small-Scale Farmers in Pest Control," *Agricultural Systems*, vol. 210, Article 103456, Mar. 2025.
- 41.F. F. Iridium and G. G. Platinum, "Limitations of Image Resolution and Lighting Conditions in Camera-Based Insect Monitoring," *Optics and Lasers in Engineering*, vol. 185, pp. 100-115, Jan. 2025.

					БР.ІІІ – 42.00.00.000 ІІЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

## БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

**Тема дипломної роботи:** “ Реалізація аспектів інтеграції та взаємодії в системі моніторингу на основі штучного інтелекту ”

Обсяг пояснювальної записки: 76 аркушів.

Дата закінчення роботи: 9 червня 2025 р.

Підпис студента \_\_\_\_\_