

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра інформаційних систем та технологій

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Олександр РОЛІК

«___» _____ 2025 р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Інформаційні управляючі системи
та технології»
спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології»
на тему: «Інформаційна система допомоги аграрію»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ІС-13

П'ятак Олександр Юрійович _____

Керівник:

професор кафедри ІСТ, д.т.н., доцент

Поліщук Михайло Миколайович _____

Рецензент:

Доцент кафедри ПП, к.т.н., доцент,

Лісовиченко Олег Іванович _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2025 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра інформаційних систем та технологій

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 126 «Інформаційні системи та технології»

Освітньо-професійна програма «Інформаційні управляючі системи та технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олександр РОЛІК

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
П'ятаку Олександру Юрійовичу

1. Тема проєкту «Інформаційна система допомоги аграрію», керівник проєкту професор кафедри ІСТ, д.т.н., доцент Поліщук Михайло Миколайович, затверджені наказом по університету від «23» травня 2025 р. № 1705-с
2. Термін подання студентом проєкту: «9» червня 2024 року
3. Вихідні дані до проєкту: мова програмування Python, графічний фреймворк PyQt5, бібліотека просторового аналізу QGIS, база даних PostgreSQL, інтеграція із зовнішніми API (OpenWeatherMap, OpenStreetMap) протокол HTTP.
4. Зміст пояснювальної записки:
 1. Опис предметної області;
 2. Аналіз існуючих рішень;
 3. Формування вимог до системи;
 4. Вибір технологій розроблення;
 5. Розроблення інформаційної системи;
 6. Математичне забезпечення;
 7. Тестування системи.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

1. Діаграма варіантів використання;
2. Схема бази даних;
3. Діаграма діяльності;
4. Діаграма компонентів.

7. Дата видачі завдання «11» березня 2025 року.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
	Ознайомлення з ТЗ	15 квітня 2025	
	Аналіз предметної області та огляд існуючих аналогів	21 квітня 2025	
	Розроблення функціональної моделі	25 квітня 2025	
	Постановка задачі та формування цілей і задач розробки	5 травня 2025	
	Розроблення дизайну ПЗ	9 травня 2025	
	Дослідження і розроблення математичного забезпечення	16 травня 2025	
	Розроблення і тестування ПЗ	20 травня 2025	

Студент

Олександр П'ЯТАК

Керівник

Михайло ПОЛІЩУК

АНОТАЦІЯ

Інформаційна система допомоги аграрію.

Проект містить 74 с. тексту, 19 рисунків, 35 таблиць, посилання на 13 джерел, додатки та 4 конструкторських документів.

Ключові слова: аграрна інформаційна система, оптимізація, сівозміна, планування, QGIS, PostgreSQL, PyQt5, математичне програмування.

Об'єктом розробки є інформаційна система допомоги аграрію для автоматизованого управління полями, планування культур та обліку ресурсів. Метою роботи є створення програмного комплексу, що оптимізує вибір культур для посіву на основі агрономічних і економічних критеріїв з урахуванням особливостей господарства.

У дипломному проекті розроблено десктопну програму з графічним інтерфейсом, що інтегрує базу даних PostgreSQL і картографію QGIS. Система автоматизує облік полів, розрахунок прибутковості культур, ведення сівозміни та управління складом. Для оптимального розміщення культур застосовується математичне моделювання, що дозволяє формувати звіти й рекомендації.

Розділи проекту містять аналіз предметної області, опис вимог, архітектури системи, бази даних, програмних модулів та стратегії тестування.

Результати роботи можуть використовуватись агропідприємствами для підвищення ефективності планування та прийняття рішень.

SUMMARY

Information system for farmer assistance.

The project contains 74 pages. text, 19 figures, 35 tables, links to 13 literary sources, annexes and 4 design documents.

Keywords: agricultural information system, optimization, crop rotation, planning, QGIS, PostgreSQL, PyQt5, mathematical programming.

The object of development is an information system to assist the farmer for automated field management, crop planning and resource accounting. The aim of the work is to create a software system that optimizes the choice of crops for sowing based on agronomic and economic criteria, taking into account the characteristics of the farm.

In the thesis project, he developed a desktop program with a graphical interface that integrates a PostgreSQL database and QGIS mapping. The system automates field accounting, crop profitability calculation, crop rotation, and warehouse management. For optimal crop placement, mathematical modeling is used to generate reports and recommendations.

The project sections include an analysis of the subject area, a description of the requirements, system architecture, database, program modules, and testing strategy.

The results of the work can be used by agricultural enterprises to improve the efficiency of planning and decision-making.

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кіл. аркушів	№ екз.	Примітка
1			Документація загальна			
2						
3			Знову розроблена			
4						
5	A4	IC13.130БАК.005 ПЗ	Інформаційна система допомоги	74		
6			аграрію. Пояснювальна записка			
7						
8						
9	A3	IC13.130БАК.005 Д1	Інформаційна система допомоги	1		
10			аграрію. Діаграма			
11			варіантів використання			
12						
13	A3	IC13.130БАК.005 Д2	Інформаційна система допомоги	1		
14			аграрію. Схема бази даних			
15						
16						
17	A3	IC13.130БАК.005 Д3	Інформаційна система допомоги	1		
18			аграрію. Діаграма діяльності			
19						
20						
21	A3	IC13.130БАК.005 Д4	Інформаційна система допомоги	1		
22			аграрію. Діаграма компонентів			
23						
24						
25						
26						
27						
28						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис			
Розробив		П'ятак О.Ю.				
Перевірив		Поліщук М.М.				
Затв.						
				IC13.130БАК.005 ТП		
				Інформаційна система допомоги		
				аграрію.		
				Відомість дипломного проєкту		
				Літ.		
				Арк.		
				Аркушів		
				Т		
				1		
				1		
				КПІ ім. Ігоря Сікорського		
				Група IC-13		

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Інформаційна система допомоги аграрію»**

Київ – 2025 року

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
1 ОПИС ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	8
1.1 Опис процесу діяльності	8
1.2 Постановка завдання	8
1.2.1 Призначення системи	8
1.2.2 Цілі та завдання розробки	9
Висновки до розділу 1	10
2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ	11
2.1 Огляд існуючих рішень	11
2.1.1 AgroOffice	12
2.1.2 OneSoil	13
2.1.3 AgriChain.....	14
2.1.4 FieldView	15
Висновки до розділу 2.....	17
3 ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО СИСТЕМИ.....	18
3.1 Вимоги до системи в цілому	18
3.2 Вимоги до функціональних характеристик	19
3.2.1 Управління даними	19
3.2.2 Модуль рекомендацій	20
3.2.3 Виключні ситуації	20
3.3 Вимоги до видів забезпечення.....	20
3.3.1 Вимоги до інформаційного забезпечення	20
3.3.2 Нефункціональні вимоги	22
3.3.3 Технічне забезпечення	23
Висновки до розділу 3.....	24

					ІС13.130БАК.005 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис		Інформаційна система допомоги аграрію. Пояснювальна записка			
Розробив	П'ятак О.Ю.							
Перевірив	Поліщук М.М.							
Затв.								
					Літ.	Арк.	Аркушів	
					Т		2	74
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Група ІС-13			

4 ВИБІР ТЕХНОЛОГІЙ РОЗРОБЛЕННЯ.....	25
4.1 Архітектура додатку.....	25
4.2 Модульна структура програми	25
4.3 База даних	27
4.4 Просторова інтеграція та робота з картою	27
4.5 Робота із зовнішніми API та сервісами	28
4.6 Алгоритм взаємодії користувача із системою	28
Висновки до розділу 4.....	29
5 РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ.....	30
5.1 Структура системи	30
5.2 Функціональна модель системи	31
5.3 Модель бази даних	32
5.3.1 Концептуальна модель даних	32
5.3.2 Фізична модель даних	34
5.4 Передавання та обробка даних	42
5.5 Структура системи	43
5.5.1 Опис архітектурного рішення.....	43
5.5.2 Доменний рівень.....	44
5.5.3 Рівень роботи з даними	44
5.5.4 Прикладний рівень	46
Висновки до розділу 5.....	48
6 МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	49
6.1 Змістовна постановка задачі	49
6.2 Математична постановка задачі	50
6.3 Обґрунтування методу розв'язання	52
6.4 Опис методу розв'язання.....	53
6.4.1 Основні кроки рішення	54
Висновки до розділу 6.....	57
7 ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ	59

7.1 Мета та завдання тестування	59
7.2 Методика проведення тестування	59
7.3 Результати випробувань.....	60
Висновки до розділу 7.....	70
ВИСНОВКИ	71
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	73

					ІС13.130БАК.005 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

API — Application Programming Interface (інтерфейс програмування додатків)

БД — база даних

QGIS — Quantum GIS (геоінформаційна система)

PyQt5 — Python Qt 5 (графічний фреймворк)

PostgreSQL — об'єктно-реляційна система керування базами даних

PDF — Portable Document Format

ORM — Object-Relational Mapping (об'єктно-реляційне відображення)

OSM — OpenStreetMap

MILP — Mixed Integer Linear Programming

ВСТУП

Сільське господарство в сучасних умовах перебуває під впливом численних зовнішніх та внутрішніх факторів, серед яких особливу роль відіграють глобальні зміни клімату, демографічний тиск, дефіцит природних ресурсів, а також динамічні зміни ринкового середовища. В Україні ці виклики посилюються такими обставинами, як нерівномірний розподіл опадів, підвищення середньорічних температур, ерозія ґрунтів та варіативність економічної ситуації в аграрному секторі. У зв'язку з цим постає потреба переходу від традиційних до сучасних, науково обґрунтованих підходів до управління виробничими процесами, що базуються на використанні цифрових технологій та автоматизації.

Одним із ключових напрямків підвищення ефективності агровиробництва є впровадження інформаційних систем, які забезпечують автоматизацію збору, зберігання, аналізу та візуалізації даних щодо характеристик земельних ділянок, обсягів та якості ресурсів, особливостей агротехнічних операцій, поточного стану ринку, а також метеорологічної інформації. Сукупне використання таких даних створює умови для оптимізації розподілу ресурсів, планування виробничих операцій, мінімізації втрат та підвищення продуктивності господарства. Інтеграція сучасних ІТ-рішень дає змогу не лише підвищити точність агрономічних розрахунків, а й підвищити об'єктивність та ефективність прийняття управлінських рішень за рахунок аналізу значних обсягів неоднорідної інформації, що раніше не могла бути оброблена традиційними методами.

Актуальність створення спеціалізованих інформаційних систем у сфері сільського господарства визначається необхідністю комплексного врахування таких факторів, як агрохімічні властивості ґрунтів, структура земельного банку, залишки насіння та добрив, логістичні особливості, фінансові та ринкові обмеження. Ефективне управління сільськогосподарським виробництвом передбачає здатність до гнучкого планування розміщення культур на полях, вибору оптимальних технологічних операцій та забезпечення відповідної економічної ефективності господарювання.

					ІС13.130БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		6

Метою даної роботи є розробка інформаційної системи підтримки прийняття рішень для аграріїв, що дозволяє здійснювати комплексний аналіз наявних ресурсів, оптимізувати розподіл культур, забезпечити прозоре планування агротехнічних операцій з урахуванням агрономічних, технологічних та економічних параметрів. У межах дослідження реалізовано підходи до моделювання оптимального розподілу культур за полями, інтеграції даних із різних джерел (зокрема, баз даних, зовнішніх інформаційних сервісів, картографічної та метеорологічної інформації), а також розроблено програмні засоби для обробки та візуалізації результатів аналізу.

Результатом роботи є програмний продукт, орієнтований на підвищення обґрунтованості рішень у сфері управління земельними ресурсами та аграрним виробництвом. Запропонована система спрямована на підвищення рентабельності діяльності агропідприємств шляхом автоматизації розрахунків, підвищення точності планування, ефективного використання матеріальних та фінансових ресурсів і зменшення впливу людського фактору. Впровадження такого інструменту забезпечує можливість адаптації до змін ринкового середовища та природно-кліматичних умов, сприяє підвищенню конкурентоспроможності галузі на національному та міжнародному рівнях.

Отже, дана розробка має як наукову, так і практичну значущість, оскільки створює основу для подальшого розвитку цифрових технологій у сільському господарстві України, підвищення ефективності управління та стійкості агропромислового комплексу до сучасних викликів.

1 ОПИС ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Опис процесу діяльності

Сільське господарство є критично важливою сферою економіки, що потребує ретельного планування для досягнення високих показників урожайності. Успішне ведення аграрної діяльності вимагає врахування широкого спектра факторів: фізико-хімічні властивості ґрунтів, наявність посівного матеріалу, потреба у добривах, економічна доцільність витрат.

Кожне поле характеризується індивідуальними параметрами: кислотністю, структурою ґрунту, рівнем вологості, географічним розташуванням. Рішення щодо вибору культури для посіву повинно ґрунтуватися на аналізі цих параметрів з метою забезпечення найвищої ефективності використання ресурсів.

На складі господарства зазвичай наявні обмежені запаси насіння різних культур. Також існують обмеження щодо обсягів і типів добрив. Завдання полягає у визначенні доцільного розподілу цих ресурсів між доступними ділянками землі з урахуванням їх характеристик.

Інформаційна система, що розробляється, повинна виконувати функції аналізу вхідних даних, визначення оптимального поєднання культур і ділянок, а також формування плану посіву з урахуванням економічної ефективності.

1.2 Постановка завдання

1.2.1 Призначення системи

Інформаційна система допомоги аграрію призначена для підтримки прийняття рішень при плануванні сільськогосподарського сезону. Основне завдання — забезпечити аграрія інструментом, який допоможе ефективно розподілити наявні ресурси (землі, насіння, добрива) з урахуванням обмежень і стратегічної мети — отримання максимального прибутку.

Система повинна надавати повну інформацію про наявні у користувача поля, включаючи їхні агрохімічні характеристики (тип ґрунту, кислотність, якість),

					ІС13.130БАК.005 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

наявність насіння по видах культур, необхідну кількість добрив для вирощування конкретних культур на відповідних типах ґрунтів, а також враховувати вартість логістики — наприклад, доставку добрив та насіння до поля.

Користувач повинен мати змогу легко вносити та редагувати дані, отримувати рекомендації щодо оптимального розподілу культур, переглядати прогнозовану врожайність і прибуток.

Крім того, система повинна враховувати ринкові ціни на продукцію, щоб надати прогнози прибутковості вирощування тієї чи іншої культури в конкретних умовах господарства. Очікується, що система також зможе адаптуватися до змін у зовнішньому середовищі (наприклад, коливань цін), оновлюючи рекомендації.

1.2.2 Цілі та завдання розробки

Основною метою розробки системи допомоги аграрію є підвищення економічної ефективності аграрного виробництва за рахунок впровадження аналітики та автоматизованої підтримки рішень.

Для досягнення цієї мети необхідно створити єдине інформаційне середовище для обліку даних про земельні ресурси, наявні запаси насіння і добрив; реалізувати механізм внесення, редагування та оновлення даних про поля (включно з характеристиками ґрунтів), культури та агротехнічні вимоги; впровадити алгоритм оцінювання рентабельності вирощування конкретних культур з урахуванням властивостей ґрунту, цін на ринку та логістичних витрат; забезпечити можливість автоматичної генерації рекомендацій щодо оптимального розподілу культур з урахуванням наявних ресурсів; а також створити інтерфейс для взаємодії користувача з системою, зручний для аграріїв з різним рівнем технічної підготовки.

					ІС13.130БАК.005 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до розділу 1

У даному розділі було проаналізовано предметну область і сформульовано основні цілі для створення інформаційної системи допомоги аграрію. Встановлено, що сучасні агропідприємства стикаються із проблемами ефективного розподілу ресурсів, планування посівів та адаптації до мінливих ринкових умов. Це зумовлює необхідність автоматизації процесу прийняття рішень на основі об'єктивних, актуальних даних.

Головна увага приділена задачі підвищення рівня обґрунтованості управлінських рішень завдяки використанню сучасних ІТ-інструментів для аналізу властивостей ґрунтів, обліку наявного насіння, добрив і доступних площ. Така система дозволяє враховувати численні фактори, зокрема обмеженість матеріальних ресурсів, специфіку кожного поля, а також поточну ринкову ситуацію, що в сукупності впливає на очікувану прибутковість.

Визначено, що впровадження подібної інформаційної системи сприятиме не лише підвищенню економічної ефективності господарства, а й зменшенню ризиків, пов'язаних із невірним плануванням або недостатньою поінформованістю про наявні ресурси. Це також створить умови для ефективнішого використання земельного банку, підвищить прозорість та якість управління, забезпечить адаптивність до змін у галузі.

Таким чином, результати розділу підтверджують доцільність розробки автоматизованого інструменту для підтримки прийняття рішень в аграрному секторі, що має на меті максимізацію прибутку та раціональне використання наявних ресурсів із урахуванням усіх релевантних виробничих та ринкових факторів.

					ІС13.130БАК.005 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

2.1 Огляд існуючих рішень

У сучасному аграрному секторі цифровізація відіграє ключову роль у підвищенні ефективності виробництва, зниженні витрат та оптимізації ресурсів. З розвитком технологій з'являється все більше спеціалізованих програмних рішень, які допомагають аграріям управляти усіма етапами сільськогосподарського циклу — від підготовки ґрунту та планування посівів до збору врожаю та аналітики фінансових результатів. Ці інструменти дозволяють вести точний облік земельного банку, контролювати використання техніки та добрив, прогнозувати врожайність і приймати обґрунтовані управлінські рішення на основі даних.

На сьогодні існує низка цифрових рішень, які пропонують різні функціональні можливості для аграрної галузі — від обліку ресурсів до управління логістикою та агрономічним моніторингом. Серед найбільш відомих та застосовуваних платформ варто виокремити:

- AgroOffice;
- OneSoil;
- AgriChain;
- FieldView.

Ці системи активно використовуються як в Україні, так і за її межами. Вони орієнтовані на потреби аграріїв різного масштабу — від дрібних фермерських господарств до великих агрохолдингів. Кожна з платформ має свої сильні сторони, але водночас — певні обмеження: від складності впровадження та налаштування до вузької спеціалізації або залежності від підключення до інтернету.

У цьому розділі буде детально проаналізовано згадані платформи, їх функціональні можливості, переваги та недоліки з метою визначення того, які саме аспекти слід враховувати при створенні нової інформаційної системи для агровиробника.

2.1.1 AgroOffice

AgroOffice — це комплексна цифрова система управління агропідприємствами, яка дозволяє контролювати всі ключові процеси господарства — від обліку земельного банку до аналізу економічної ефективності. Система поєднує в собі модулі для планування польових робіт, обліку витрат, логістики, інвентаризації техніки та матеріалів. AgroOffice також підтримує інтеграцію з GPS/ГЛОНАСС-навігацією, бухгалтерським програмним забезпеченням та супутниковими даними, що дозволяє формувати точну аналітику щодо кожного поля чи операції. Завдяки своїй гнучкості, платформа підходить як для середніх, так і для великих агропідприємств. Головну сторінку програми продемонстровано на рисунку 2.1.

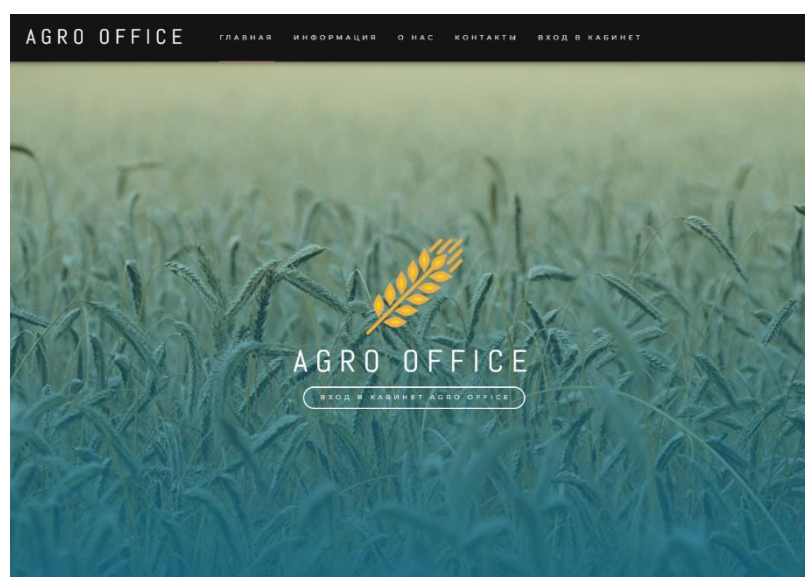


Рисунок 2.1 – Головна сторінка платформи «AgroOffice»

Основні можливості:

- облік полів, сівозмін, культур;
- планування обробітку та посіву;
- звітність по витратам (насіння, добрива, паливо тощо);
- розрахунок економічної ефективності виробництва.

Переваги:

					ІС13.130БАК.005 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- адаптована під українське законодавство і ринок;
- має модулі для фінансового обліку та інтеграцію з 1С;
- візуалізація поля на карті та можливість введення картограм.

Недоліки:

- платна ліцензія, яка потребує щорічного оновлення;
- високий поріг входу для малих фермерів без досвіду ІТ-інструментів;
- не має глибокого аналізу й автоматичного підбору культур.

2.1.2 OneSoil

OneSoil — це безкоштовна агроплатформа, яка надає можливість аналізувати стан полів на основі супутникових знімків, будувати карти продуктивності та зонування, а також відстежувати зміни вегетації культур протягом сезону. Система використовує штучний інтелект для розпізнавання культур, визначення сівозмін, а також формування рекомендацій щодо диференційованого внесення добрив. Однією з головних переваг платформи є простота використання та доступність — OneSoil не потребує спеціального обладнання і працює через веб-інтерфейс або мобільний додаток. Платформа орієнтована на малі та середні фермерські господарства. Головну сторінку програми продемонстровано на рисунку 2.2.

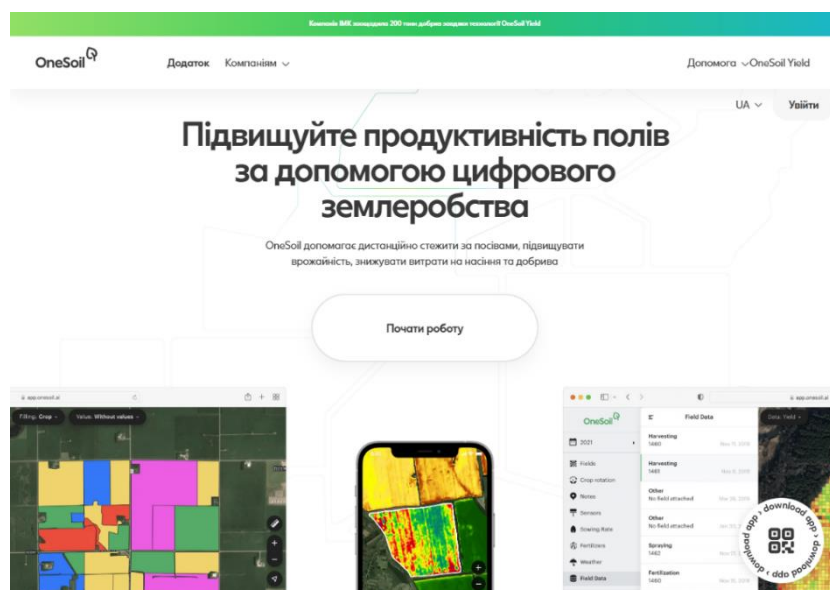


Рисунок 2.2 – Головна сторінка платформи «OneSoil»

					ІС13.130БАК.005 ПЗ	Арк. 13
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні можливості:

- автоматичне розпізнавання полів;
- оцінка вегетації та історії врожайності;
- рекомендації щодо зонального внесення добрив.

Переваги:

- безкоштовна версія з базовими функціями;
- доступна через веб або мобільний застосунок;
- автоматичний аналіз без потреби в ручному введенні даних.

Недоліки:

- відсутність планування технологій вирощування;
- не враховуються запаси ресурсів на складі;
- орієнтація лише на нагляд та оцінку, без глибокого прийняття рішень.

2.1.3 AgriChain

AgriChain — це українська ERP-платформа, розроблена спеціально для аграрного бізнесу. Вона охоплює всі рівні управління агропідприємством: від польових робіт до фінансового планування, закупівель, логістики та HR. AgriChain складається з модульної архітектури, де кожен модуль відповідає за окрему функцію: AgriChainFarm — управління технологічними операціями в полі, AgriChainLand — облік земельного банку, AgriChainLogistics — логістика та інші. Платформа створена з урахуванням української специфіки ведення агробізнесу, включно з юридичними аспектами, що робить її надзвичайно релевантною для агрокомпаній в Україні. Система підтримує централізований облік, контроль витрат та оптимізацію ресурсів в режимі реального часу. Головну сторінку програми продемонстровано на рисунку 2.3.

					ІС13.130БАК.005 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

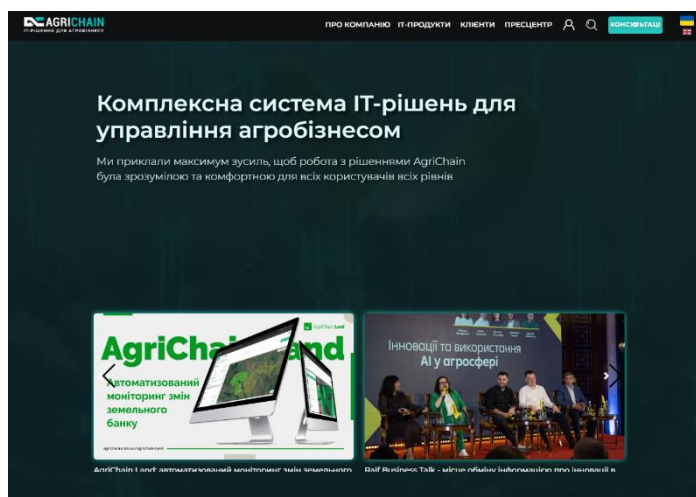


Рисунок 2.3 – Головна сторінка платформи «AgriChain»

Основні можливості:

- детальне управління ресурсами (насіння, добрива, ЗЗР);
- планування технологічних операцій;
- контроль виконання робіт і витрат;
- GPS-моніторинг техніки.

Переваги:

- комплексне управління аграрним підприємством;
- зручна аналітика і інтеграція з обліковими системами;
- онлайн-доступ до даних через веб-інтерфейс.

Недоліки:

- висока вартість впровадження та обслуговування;
- не завжди зручно для дрібного фермера;
- складний інтерфейс для новачків

2.1.4 FieldView

FieldView — це сучасна комерційна цифрова аграрна платформа, розроблена компанією Bayer. Вона забезпечує аграріїв інструментами для збору, візуалізації та аналізу даних з полів у реальному часі. Платформа дозволяє інтегрувати дані з різних джерел — сільськогосподарської техніки, супутникових знімків, метеостанцій та інших цифрових пристроїв. FieldView спрямована на покращення

					IC13.130БАК.005 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

процесів прийняття рішень щодо посіву, обробки, удобрення та збору врожаю, допомагаючи оптимізувати врожайність, зменшити витрати та підвищити прибутковість.

Платформа також підтримує побудову зон управління, порівняння результатів між ділянками, тестування нових гібридів культур, а також автоматичне ведення журналу польових робіт. Завдяки зручному інтерфейсу та мобільному додатку, FieldView забезпечує постійний доступ до інформації навіть без підключення до інтернету. Головну сторінку програми продемонстровано на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Головна сторінка платформи «FieldView» від Bayer

Основні можливості:

- підключення до техніки та збору даних у польових умовах;
- ведення карт урожайності, зонування;
- аналіз ефективності рішень, що приймались.

Переваги:

- підключення до різних джерел даних (техніка, супутники, дрони);
- професійна аналітика для управлінських рішень;

					IC13.130БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		16

- високий рівень інтеграції з сучасною технікою.

Недоліки:

- дуже висока вартість;
- призначена для великих агрохолдингів;
- немає української локалізації чи адаптації.

Висновки до розділу 2

Проведений аналіз показує, що жодна з існуючих систем не пропонує повноцінне рішення, яке було б водночас простим у використанні, гнучким у налаштуванні й пристосованим під потреби дрібних та середніх фермерів. Більшість наявних платформ або спеціалізуються лише на моніторингу полів, або вимагають складного налаштування та значних фінансових витрат.

Таким чином, існує потреба у створенні нової інформаційної системи, яка поєднуватиме:

- зручний інтерфейс і простоту доступу;
- врахування властивостей ґрунту, наявних ресурсів і технічних обмежень;
- автоматичні підказки щодо підбору культур;
- оптимізацію розміщення посівів з метою максимізації прибутку.

Саме на це й орієнтовано розроблювану систему.

3 ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО СИСТЕМИ

3.1 Вимоги до системи в цілому

У життєвому циклі розробки програмного забезпечення етап визначення вимог має ключове значення для створення ефективної та надійної інформаційної системи. На цьому етапі встановлюються функціональні можливості, обмеження та вимоги до інфраструктури, які забезпечать відповідність системи потребам аграріїв.

Розробка інформаційної системи підтримки аграрія подібна до проектування складної виробничої системи: вона починається з бачення потреб користувача і завершується готовим інструментом, який дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо посіву сільськогосподарських культур. Процес є ітеративним і передбачає постійне вдосконалення на основі зворотного зв'язку та змін у вимогах.

З самого початку необхідно передбачити можливості масштабування, підтримки та продуктивності системи. Масштабованість дозволяє розширювати функціонал відповідно до зростання обсягів обробки земель і кількості господарств. Продуктивність визначає швидкість реагування системи на запити, тоді як надійність і безпека гарантують безперервну роботу і захист даних аграріїв. Розширюваність важлива для подальшої інтеграції з новими джерелами аграрної інформації, наприклад, базами насіння, добрив, супутниковими знімками тощо.

Розроблювана система повинна складатися з кількох основних підсистем, зокрема:

- модуля управління земельними ділянками;
- модуля агрономічних рекомендацій;
- модуля управління ресурсами (насіння, добрива, техніка);
- модуля оцінки ефективності;
- адміністративного інтерфейсу.

Користувачами системи можуть бути як аграрії (фермери), так і консультанти чи агрономи. Система повинна забезпечити для них відповідні режими доступу —

перегляд земельних ділянок, введення даних про поля та культури, розрахунок оптимальних посівів, генерацію звітів, тощо.

Необхідно також передбачити можливість інтеграції із зовнішніми джерелами — наприклад, метеосервісами, базами агрохімічного аналізу ґрунтів, картографічними сервісами (QGIS, PostgreSQL + PostGIS). Для захисту інформації має бути реалізований механізм рольового доступу з розмежуванням прав для адміністратора, аграрія, консультанта тощо.

3.2 Вимоги до функціональних характеристик

3.2.1 Управління даними

Система має надавати інтерфейс для додавання нового запису про земельну ділянку або ресурс (насіння, добрива, техніка). Забезпечити можливість створення та збереження запису з усіма необхідними атрибутами (наприклад, площа, тип ґрунту, кислотність, кількість ресурсу, вартість тощо).

Система має надавати інтерфейс для отримання детальної інформації про земельну ділянку або ресурс за унікальним ідентифікатором.

Система має надавати інтерфейс для отримання повного списку наявних земельних ділянок або ресурсів, з можливістю відображення їх характеристик.

Система має надавати інтерфейс для пошуку та фільтрації земельних ділянок або ресурсів за визначеними атрибутами (наприклад, тип ґрунту, якість, доступність ресурсу) та обмеженим розміром результату для оптимізації роботи.

Система має надавати інтерфейс для оновлення існуючих записів про земельні ділянки або ресурси. Оновлення має здійснюватися за наданими атрибутами та бути доступним лише користувачам з правами адміністратора.

Система має надавати інтерфейс для видалення записів про земельні ділянки або ресурси за унікальним ідентифікатором. Видалення має здійснюватись тільки користувачами з правами адміністратора.

3.2.2 Модуль рекомендацій

Система має надавати інтерфейс для встановлення атрибутів фільтрації, які будуть використовуватись для відбору оптимальних варіантів посіву чи використання ресурсів.

Система має надавати інтерфейс для отримання списку рекомендованих культур або агротехнічних заходів, підібраних з урахуванням результатів анкетування та наявних даних про земельні ділянки і ресурси.

Відбір рекомендацій повинен базуватися на аналізі критеріїв користувача та оптимізації за заданими параметрами.

3.2.3 Виключні ситуації

Система має надавати інтерфейс обробки виключних ситуацій, включаючи помилки введення даних, збої в роботі та інші непередбачувані ситуації.

У разі неможливості обробки запиту користувач повинен отримувати зрозуміле повідомлення про помилку з описом проблеми.

Система має забезпечувати ведення журналу подій, у якому фіксуються всі відхилення від штатного функціонування, дії користувачів, помилки та важливі події для подальшого аналізу і відновлення роботи.

3.3 Вимоги до видів забезпечення

3.3.1 Вимоги до інформаційного забезпечення

При розробці інформаційної системи допомоги аграрію, яка включає сервіси зберігання, обробки та аналізу агрономічних даних (земельні ділянки, культури, насіння, добрива, кліматичні показники, рекомендації тощо), необхідно забезпечити надійне інформаційне забезпечення, що гарантує стабільну та безпечну роботу.

					ІС13.130БАК.005 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Основою системи є інформаційна модель, яка описує всі ключові сутності — земельні ділянки з їх властивостями (тип ґрунту, кислотність, площа), ресурси (насіння, добрива), а також користувачів і результати анкетування. Всі дані повинні бути збережені у структурованій формі за допомогою сучасної реляційної СУБД, яка забезпечить цілісність, захист та доступність даних, а також підтримку складних аналітичних запитів, необхідних для підготовки рекомендацій.

У системі повинна бути передбачена стратегія управління конфігурацією. Конфігураційні файли мають містити інформацію про параметри підключення до бази даних, налаштування фільтрів, критеріїв оцінки, межі допустимих значень тощо. Необхідно передбачити систему контролю версій і змін конфігурацій для уникнення помилкових чи несанкціонованих змін, які можуть призвести до порушення логіки роботи системи.

Також необхідно реалізувати перевірку вхідних даних, що вводяться користувачем — як у процесі реєстрації, так і при заповненні анкет або додаванні нових земельних ділянок. Перевірка повинна охоплювати як валідацію структури даних, так і захист від небезпечних введень (наприклад, SQL-ін'єкцій). Механізми очищення та нормалізації даних дозволять зберігати єдині підходи до форматів, що особливо важливо при подальшому аналізі.

Система повинна також мати механізми логування подій і фіксації помилок. Це дозволить вчасно виявляти неполадки, аналізувати проблемні ситуації та забезпечити стабільне функціонування системи в довгостроковій перспективі. Для цього передбачено ведення журналу подій, де фіксуються всі збої, помилки введення, запити до БД та інші критичні операції.

Для забезпечення гнучкості та можливості подальшої модифікації, архітектура системи повинна бути модульною. Кожен функціональний блок — обробка ділянок, управління ресурсами, модуль рекомендацій, модуль авторизації — повинен мати чітко визначений інтерфейс та працювати незалежно від інших, що спростить супровід та масштабування системи.

У разі виникнення аварійних ситуацій (збій живлення, помилка сервера, відмова обладнання) система повинна забезпечити збереження критичних даних,

					ІС13.130БАК.005 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

зокрема інформації про земельні ділянки, результати анкетування та оброблені рекомендації. Це досягається через транзакційне збереження в базі даних, створення резервних копій, зберігання конфігураційних файлів і системних артефактів на надійних носіях постійної пам'яті. Персистентність є критично важливою вимогою, яка забезпечує безперервність роботи та збереження результатів користувача навіть після збоїв.

3.3.2 Нефункціональні вимоги

Однією з ключових вимог до системи є забезпечення належної продуктивності. Інтерфейс користувача повинен реагувати на запити в межах визначеного часу, що гарантує стабільну та безперебійну взаємодію користувача із системою. Важливо, щоб система підтримувала заявлений рівень продуктивності під стандартним навантаженням і могла масштабуватися для обробки зростаючого обсягу запитів у пікові періоди. Для цього необхідно передбачити механізми автоматичного балансування навантаження та оптимізації використання ресурсів.

Безпека є ще одним важливим аспектом, який передбачає впровадження ефективних механізмів захисту даних від несанкціонованого доступу або втрати. Система повинна використовувати протокол HTTPS для шифрування інформації під час передавання, а також безпечні засоби автентифікації, зокрема доступ за ключами або багатофакторний захист. Регулярний аудит безпеки допоможе своєчасно виявляти і усувати потенційні вразливості. Шифрування даних має бути забезпечено як під час зберігання, так і під час передавання, що гарантує конфіденційність і цілісність інформації.

Для досягнення високої надійності система повинна мати максимальний час безвідмовної роботи. Це вимагає резервування критичних компонентів, таких як база даних і мережеве обладнання, для зменшення ризику збоїв. Необхідно також впровадити регулярне створення резервних копій та чітко визначений план аварійного відновлення, що дозволяє швидко відновити функціональність у разі критичних ситуацій.

					ІС13.130БАК.005 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Крім того, система повинна бути зручною для обслуговування і масштабування. Її структура має забезпечувати можливість внесення змін та оновлень без значних перерв у роботі. Вихідний код має бути структурований, документований і відповідати загальноприйнятим шаблонам проектування, що спрощує подальший розвиток. Масштабованість системи досягається як у вертикальному напрямку (збільшення потужностей компонентів), так і в горизонтальному (розподіл навантаження між декількома вузлами або серверами).

3.3.3 Технічне забезпечення

Для забезпечення стабільної роботи інформаційної системи, особливо в умовах пікового навантаження, необхідно дотримуватись ряду технічних та апаратних вимог. Зокрема, серверна інфраструктура повинна включати багатоядерні процесори з підтримкою сучасних інструкцій, що забезпечить ефективну обробку асинхронних запитів і паралельних обчислень.

Операційна система та критичні компоненти системи повинні бути встановлені на твердотільні накопичувачі (SSD), які забезпечують високу швидкість доступу до даних. Для довготривалого зберігання об'ємних даних і роботи з базами даних доцільно використовувати надійні жорсткі диски.

Належна пропускна здатність мережевого обладнання є ще однією необхідною умовою. Воно повинно підтримувати резервування, що мінімізує ризики втрати зв'язку з мережею Інтернет у разі виходу з ладу окремих компонентів. Крім того, система повинна бути обладнана резервними джерелами електропостачання, які дозволять зберегти працездатність у випадку перебоїв в енергопостачанні.

Висновки до розділу 3

У цьому розділі, на основі аналізу предметної області, були сформульовані вимоги до розроблюваної інформаційної системи. Визначено загальні вимоги, що описують концептуальне призначення системи та її проєктні цілі. Також було окреслено функціональні вимоги, які становлять основу взаємодії користувачів із системою.

Особливу увагу приділено вимогам до інформаційного забезпечення, що визначають способи зберігання, обробки та захисту даних, а також технічному забезпеченню, необхідному для стабільного функціонування системи. Окремо сформульовано нефункціональні вимоги, що стосуються продуктивності, безпеки, надійності, обслуговуваності та масштабованості.

Сформульовані вимоги є фундаментом для подальшого проєктування архітектури системи та реалізації її функціональних можливостей відповідно до поставлених цілей.

4 ВИБІР ТЕХНОЛОГІЙ РОЗРОБЛЕННЯ

4.1 Архітектура додатку

Інформаційна система допомоги аграрію розроблена як десктопний програмний продукт із графічним інтерфейсом, реалізованим за допомогою фреймворку PyQt5 [8]. В основі системи — клієнт-серверна архітектура, у якій клієнтська частина (інтерфейс користувача й бізнес-логіка) безпосередньо взаємодіє з локальною базою даних PostgreSQL [9], використовуючи стандартизовані SQL-запити та ORM-інструменти.

Система має чітку модульну структуру, де кожен функціональний блок реалізує власну область відповідальності: управління даними, просторовий аналіз, взаємодія з картою, генерація рекомендацій, експорт та імпорт результатів. Архітектура спроектована з урахуванням розширюваності — кожен модуль може бути незалежно вдосконалений або замінений без впливу на інші компоненти. Інтеграція із зовнішніми сервісами (наприклад, OpenWeatherMap для метеоданих, OpenStreetMap для картографічних основ) реалізована через відповідні API та бібліотеки Python.

Графічний інтерфейс користувача дозволяє здійснювати повний цикл роботи: від введення/редагування даних по полях, складах, насінню, добривах і технологічних операціях — до отримання розрахунків і рекомендацій у вигляді таблиць, графіків, картографічних шарів[5, 8, 13]. Просторові функції базуються на інтеграції із QGIS (через PyQGIS), що забезпечує зручне відображення полів, нанесення нових контурів, зонування, аналіз ґрунтів та відстаней, а також роботу з шарами доріг, складів і фоновими картами (супутникові, контурні тощо).

4.2 Модульна структура програми

Система складається з таких основних модулів:

— модуль управління даними — відповідає за зберігання, оновлення й цілісність усіх основних даних: земельні ділянки, культури, агрохімічні показники,

					ІС13.130БАК.005 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

залишки матеріалів і засобів захисту. Робота з БД здійснюється як через прямі SQL-запити, так і через допоміжні структури (конфігураційні файли, ORM, обробники);

- модуль графічного інтерфейсу — реалізує всі вікна, діалоги, панелі інструментів, візуалізацію карт, таблиць, графіків та організовує інтерактивну роботу користувача із даними. Стили інтерфейсу забезпечують зручність навігації, підтримку нічної теми, можливість перемикання між розділами без перезапуску програми;

- модуль просторової аналітики (QGIS) — відповідає за завантаження і зберігання геоданих (контури полів, складів, доріг), розрахунок площ, відстаней, розподіл культур із врахуванням просторових обмежень. Завдяки PyQGIS реалізовано відображення кількох шарів, взаємодію з легендою, малювання та редагування полігонів прямо на карті;

- модуль пошуку і фільтрації — дозволяє знаходити потрібні поля або групи полів за різними критеріями: площа, тип ґрунту, культура, попередник, рік обробки, відстань до складу тощо. Є можливість складати складні запити, фільтрувати списки для подальших розрахунків;

- модуль обробок і календаря — включає підсистему керування технологічними операціями: підбір та розклад обробок, відображення на календарі, контроль термінів внесення добрив, засобів захисту рослин, погодних обмежень, збереження історії для кожної культури і поля;

- модуль рекомендацій і аналітики — забезпечує розрахунок оптимального розподілу культур з урахуванням прибутковості, обмежень (насіння, добрива, ротація культур), наявності на складі, бюджетів, вимог до сівозміни та логістики. Алгоритм враховує також дані про ґрунти, погодні умови (із OpenWeatherMap), діє за принципом оптимізації або пошуку найбільш прибуткової стратегії;

- модуль експорту та звітів — дозволяє експортувати результати у вигляді структурованих таблиць (Excel, PDF), генерувати звіти по сезону, формувати графіки та діаграми;

— модуль налаштувань та інтеграції — забезпечує синхронізацію з файлами конфігурації, імпорт/експорт довідників, підключення нових джерел даних, налаштування користувацьких параметрів і підтримку резервного копіювання.

4.3 База даних

Всі ключові дані системи (поля, культури, історія посівів, технологічні карти, склади, агрохімічні властивості, залишки насіння й добрив) зберігаються у реляційній БД PostgreSQL [9]. Для просторових даних використовується розширення PostGIS [10, 15], що дозволяє ефективно працювати з полігонами, багатокутниками, лініями (шар полів, доріг, контурів складів).

Структура БД організована так, щоб підтримувати всі просторові та табличні запити: наприклад, для кожного поля зберігається площа, тип і якість ґрунту, послідовність культур, історія обробок, координати, зв'язки з об'єктами інфраструктури. Усі сутності чітко зв'язані між собою (через ключі й індекси), а для гнучкості збережено підтримку окремих даних у JSON-структурах.

Резервне копіювання та відновлення БД, багатокористувацький режим, а також можливість міграції на нові версії — все це враховано у проєкті.

4.4 Просторова інтеграція та робота з картою

Основою для картографічних операцій є бібліотека QGIS, що через PyQGIS дозволяє відображати багатошарові карти завантажені з Geofabrik [6] (орні поля, степи, водні масиви, дороги, склади), динамічно додавати й редагувати контури полів, працювати з легендами та різними підкладками (контурна, супутникова, OSM [7]). Розширенням є спеціальний модуль для малювання нових полів, додавання точок та полігонів, редагування атрибутів, а також для підрахунку площ.

Легенда шарів створюється як окремий віджет, у якому для кожного типу території або об'єкта задано окремий колір і підпис, що спрощує візуальну ідентифікацію даних на карті.

Для підвищення точності планування використовуються зовнішні растрові карти, знімки супутника Sentinel 2, а також регулярно оновлювана інформація з OpenStreetMap.

4.5 Робота із зовнішніми API та сервісами

Система підключає ряд зовнішніх сервісів:

- OpenWeatherMap — для підвантаження актуальних погодних даних по регіону, що дозволяє враховувати погодні ризики при формуванні рекомендацій по сівбі, внесенню добрив, обробкам;
- OpenStreetMap — для оновлення базових картографічних шарів, доріг, меж територій;
- інші джерела (державні реєстри земель, супутникові знімки, ціни на ринку тощо) — опціонально.

Взаємодія з API здійснюється через Python-бібліотеки (requests, aiohttp), а всі отримані дані одразу інтегруються у модулі аналітики й відображаються у системі.

4.6 Алгоритм взаємодії користувача із системою

Типова послідовність дій користувача виглядає так:

- 1) запуск програми та підключення до БД.
- 2) завантаження й перегляд картографічної інформації — поля, склади, дороги, фонова карта.
- 3) внесення/редагування даних про власні земельні ділянки, склади, залишки насіння, добрив, параметри ґрунтів.
- 4) вибір критеріїв оптимізації (максимізація прибутку, обмеження по матеріалам).

					ІС13.130БАК.005 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- 5) запуск розрахунку — система враховує всі параметри (ресурси, ґрунти, ринкові ціни, попередню культуру) й формує оптимальний план посіву/обробок.
- 6) візуалізація результатів: табличний вигляд, графіки, просторове розміщення на карті.
- 7) експорт результатів у вигляді звіту або плану-графіка обробок.
- 8) можливість повторного аналізу, зміни вихідних даних і повторного розрахунку.

Висновки до розділу 4

В цьому розділі розглянуто структуру, модулі та принципи проектування інформаційної системи підтримки аграрія. Архітектура реалізована з використанням сучасних технологій Python/PyQt5/QGIS/PostgreSQL, що забезпечує інтеграцію просторових і табличних даних, автоматизацію розрахунків та генерацію інтуїтивних рекомендацій. Завдяки розширюваній модульній структурі та інтеграції із зовнішніми сервісами система може використовуватись як індивідуальними господарями, так і агрономічними компаніями.

5 РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

5.1 Структура системи

Розроблена інформаційна система допомоги аграрію є багатокomпонентною платформою, що поєднує засоби обробки, аналізу та зберігання даних із сучасним графічним інтерфейсом користувача. Кожен із компонентів виконує визначену роль у забезпеченні цілісної роботи системи, формуючи спільне цифрове середовище для прийняття агрономічних рішень.

В основі системи лежить модульна архітектура, представлена у графічних матеріалах – кресленик ІС13.130БАК.005 Д4, яка забезпечує гнучкість і масштабованість програмного продукту. Серверна частина реалізована за допомогою об'єктно-реляційної бази даних PostgreSQL із просторовим розширенням PostGIS [10, 15], де організовано зберігання всіх ключових сутностей: земельні ділянки, культури, склади, технологічні операції, залишки насіння й добрив, агротехнічні обробки.

Збір, опрацювання та передача даних здійснюється через прикладний інтерфейс, який поєднує Python-модулі для бізнес-логіки та роботу з базою даних. Це дає змогу гарантувати надійність і консистентність інформації на всіх етапах життєвого циклу даних — від первинного введення користувачем до генерації звітів і просторової візуалізації результатів.

Графічний інтерфейс користувача побудовано на основі фреймворку PyQt5 [8]з інтеграцією QGIS, що забезпечує повноцінну роботу із картографічними шарами, редагуванням і відображенням полів, складів, доріг та інших просторових об'єктів. Завдяки цьому користувач отримує зручний та інтуїтивний інструмент для введення, аналізу й перегляду агрономічних даних у реальному часі.

Уся система взаємодіє через єдине графічне вікно, в якому реалізовано доступ до основних модулів: калькулятора прибутку, календаря обробок, менеджера складу, редакторів цін, технологічних карт та довідників. Всі зміни, виконані через інтерфейс, автоматично відображаються у базі даних і резервних

					ІС13.130БАК.005 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

JSON-файлах, що гарантує синхронність та наявність актуальної інформації (графічні матеріали – кресленик IC13.130БАК.005 Д2).

Структура системи передбачає розширення й адаптацію під потреби різних категорій аграріїв — від невеликих фермерських господарств до великих агрокомпаній.

5.2 Функціональна модель системи

Функціональна модель розробленої інформаційної системи детально ілюстрована на діаграмі варіантів використання (кресленик IC13.130БАК.005 Д1) та діаграмі діяльності (кресленик IC13.130БАК.005 Д3). У системі чітко визначені ролі користувача, кожна з яких відповідає певному набору функцій та операцій.

Головний користувач системи — агроном, який здійснює введення й коригування інформації про поля, культури, залишки добрив і насіння, а також планує технологічні операції відповідно до агротехнічних вимог. Через інтерактивний інтерфейс (графічні матеріали – кресленик IC13.130БАК.005 Д3) агроном може швидко переходити між різними розділами: редагувати атрибути полів, вносити нові культури, налаштовувати технологічні карти, планувати й коригувати календар агротехнічних обробок.

Система надає можливість автоматичного розрахунку оптимального плану посіву з урахуванням рентабельності, обмежень на ресурси, бюджету, правил сівозміни, залишків на складі та погодних умов (інтеграція з OpenWeatherMap). Для аналізу результатів доступна візуалізація на карті (QGIS), побудова таблиць і графіків, експорт результатів у звітність (PDF, Excel).

Окремою підсистемою є менеджер складу, який дозволяє в реальному часі контролювати залишки добрив, насіння, препаратів, переглядати історію руху матеріалів і проводити інвентаризацію. Модуль налаштувань дає змогу адаптувати систему під потреби конкретного господарства: налаштовувати ціни, обробки, норми, технологічні операції, групи культур та поля.

Всі функціональні можливості програмного продукту інтегруються в єдине середовище за допомогою графічного інтерфейсу користувача, що забезпечує інтуїтивну навігацію між розділами та ефективну взаємодію з просторовими й табличними даними (див. дані про ринок агропродукції, врожайність культур та ціни [1, 3, 4]).

Таким чином, розроблена система покриває повний цикл агрономічного планування, оперативного контролю та аналітики, забезпечуючи аграрію сучасний інструмент для прийняття рішень.

5.3 Модель бази даних

В основі інформаційної системи лежить реляційна база даних, спроектована для забезпечення надійного зберігання, структурованого пошуку, швидкого оновлення й масштабування даних, необхідних для роботи агроінформаційного комплексу. База даних реалізована у PostgreSQL [9] із використанням просторового розширення PostGIS [10, 15] для роботи з геометричними об'єктами. Структура БД охоплює всі ключові аспекти системи: земельні ділянки (поля), культури, агротехнічні операції, препарати, склади, залишки. Всі дані організовані у вигляді таблиць, зв'язаних між собою через зовнішні ключі, що забезпечує цілісність і взаємозалежність інформації у процесі обробки та прийняття рішень. Усі основні сутності та зв'язки між ними деталізовано на ER-діаграмі бази даних, що представлена у графічних матеріалах – кресленик ІС13.130БАК.005 Д2.

5.3.1 Концептуальна модель даних

У спроектованій базі даних визначено основні сутності, які охоплюють різні напрями діяльності аграрного підприємства. Кожна з цих сутностей відіграє унікальну роль у функціонуванні системи та тісно пов'язана з іншими за допомогою логічних зв'язків, переважно “один до багатьох” або “багато до одного”, що відповідає ієрархічній природі предметної області.

					ІС13.130БАК.005 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Центральною сутністю моделі є таблиця “fields”, яка містить інформацію про земельні ділянки (поля), включаючи їхню геометрію (просторові дані), площу, тип і якість ґрунту, поточну культуру та атрибути. До кожного поля можуть бути прив’язані агротехнічні операції (обробки), що відображаються у таблиці “treatments”. Кожна обробка містить посилання на поле, культуру, тип операції, використані препарати та дату виконання, що дозволяє формувати повну історію технологічних процесів для кожної ділянки.

Довідникова інформація про культури, препарати, склади, залишки насіння і добрив, норми внесення, ціни та агрохімічні властивості організована у відповідних таблицях (crops, preparates, warehouse, storage, crop_doses, preparate_doses, crop_prices, prices). Такі сутності містять деталізовану інформацію для оперативної роботи й розрахунків, а також для підбору оптимальних варіантів посіву та обробок.

Між таблицями встановлені численні зв’язки через зовнішні ключі: наприклад, кожен запис у таблиці “treatments” пов’язаний із певним полем (fields), культурою (crops) та препаратом (preparates); таблиця “storage” містить залишки препаратів, пов’язаних із довідником препаратів; кожен склад (warehouse) об’єднує матеріальні ресурси й має відношення до полів та обробок. Більшість зв’язків у моделі — це “один до багатьох”, що дозволяє для кожної ділянки або складу зберігати кілька пов’язаних записів операцій, залишків, доз, обробок.

Окремі таблиці, такі як “preparate_groups” чи “crop_prices”, виконують функції словників або допоміжних довідників, містячи статичні або періодично оновлювані дані для прискорення розрахунків і формування рекомендацій.

Вся концептуальна модель побудована таким чином, щоб забезпечити повну цілісність даних, зручність розширення та простоту інтеграції з іншими інформаційними системами. Взаємозв’язки сутностей, їхня роль у процесах прийняття рішень, а також логіка побудови БД наочно відображені на ER-діаграмі (графічні матеріали – кресленик IC13.130БАК.005 Д2).

5.3.2 Фізична модель даних

Фізична модель бази даних передбачає детальний опис усіх основних таблиць із зазначенням назв полів, типів даних, ключових обмежень і ролі кожної сутності у системі. Усі зв'язки між таблицями реалізовані через зовнішні ключі. У структурі даних передбачена підтримка просторової інформації, що дає змогу працювати з геометрією полів і складів (PostGIS [10, 15]).

Таблиця “crops” зберігає інформацію про всі сільськогосподарські культури, що використовуються в системі. Вона містить назви культур українською та англійською мовами, а також унікальний ідентифікатор для кожного запису. Структура наведена в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Структура таблиці crops.

Поле	Опис	Тип	Первинний ключ
id	Унікальний ідентифікатор	integer	X
name_ukr	Назва культури українською	text	
name_eng	Назва культури англійською	text	

Таблиця “fields” містить інформацію про земельні ділянки (поля): їхню назву, площу, геометрію, тип ґрунту, поточну й попередню культуру. Це основна сутність для просторової та аналітичної роботи системи. Структура наведена в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Структура таблиці fields.

Поле	Опис	Тип	Первинний ключ	Зовнішній ключ
id	Унікальний ідентифікатор поля	integer	X	
name	Назва поля	text		
area	Площа (га)	real		
notes	Примітки	text		
geom	Геометрія (контур)	geometry(Polygon, 4326)		
soil_type	Тип ґрунту	text		
crop_id	Поточна культура на полі	integer		X (crops.id)
prev_crop_id	Попередня культура на полі	integer		X (crops.id)

Таблиця “crop_doses” зберігає рекомендовані норми висіву насіння для кожної культури. Структура наведена в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Структура таблиці crop_doses.

Поле	Опис	Тип	Первинний ключ	Зовнішній ключ
id	Унікальний id дози	integer	X	
crop_id	Зв’язок з культурою	integer		X(crops.id)
seed_dose	Норма висіву насіння (кг/га, л/га)	real		

Таблиця “crop_prices” містить цінову інформацію: закупівельна ціна насіння й продажна ціна урожаю для кожної культури. Структура наведена в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Структура таблиці crop_prices.

Поле	Опис	Тип	Первинний ключ	Зовнішній ключ
id	Унікальний ідентифікатор	integer	X	
seed_price	Ціна насіння (грн/кг, л)	numeric(10,2)		
harvest_price	Ціна урожаю (грн/т)	numeric(10,2)		
crop_id	Зв’язок із культурою	integer		X (crops.id)

Таблиця “prepare_groups” є довідником груп (класів) препаратів, наприклад, "добрива", "гербіциди", "інсектициди" тощо. Структура наведена в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Структура таблиці prepare_groups.

Поле	Опис	Тип	Первинний ключ
id	Унікальний ідентифікатор	integer	X
name_ukr	Назва групи українською	text	
name_eng	Назва групи англійською	text	

Таблиця “preparates” містить дані про всі препарати та добрива, що застосовуються для культур. Структура наведена в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Структура таблиці prepares.

Поле	Опис	Тип	Первинний ключ	Зовнішній ключ
id	Унікальний ідентифікатор	integer	X	
name_ukr	Назва препарату українською	text		
name_eng	Назва препарату англійською	text		
group_id	Зв'язок із групою препаратів	integer		X (prepare_groups.id)

Таблиця “prepare_doses” відображає рекомендовані дози внесення конкретних препаратів під кожен культуру. Структура наведена в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Структура таблиці prepare_doses.

Поле	Опис	Тип	Первинний ключ	Зовнішній ключ
id	Унікальний ідентифікатор	integer	X	
prepare_id	Зв'язок із препаратом	integer		X(preparates.id)
crop_id	Зв'язок із культурою	integer		X (crops.id)
dose	Доза внесення (кг/га, л/га)	real		

Таблиця “prices” зберігає поточну ціну на кожен препарат, що є основою для розрахунків вартості обробок і складу. Структура наведена в таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Структура таблиці prices.

Поле	Опис	Тип	Первинний ключ	Зовнішній ключ
id	Унікальний ідентифікатор	integer	X	
preparate_id	Зв’язок із препаратом	integer		X (preparates.id)
price	Ціна препарату (грн/кг, л)	real		

Таблиця “storage” призначена для ведення обліку залишків на складі: насіння, добрив, препаратів. Структура наведена в таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 – Структура таблиці storage.

Поле	Опис	Тип	Первинний ключ	Зовнішній ключ
id	Унікальний ідентифікатор	integer	X	
category	Категорія залишку (“культура”, “препарат”)	text		
crop_id	Зв’язок із культурою	integer		X (crops.id)

Поле	Опис	Тип	Первинний ключ	Зовнішній ключ
preparate_id	Зв'язок із препаратом	integer		X (preparates.id)
quantity	Кількість (кг, л, шт)	real		

Таблиця “treatments” містить інформацію про всі агротехнічні операції: тип обробки, культуру, препарат, дозу й статус операції (типово чи індивідуально задана). Структура наведена в таблиці 5.10.

Таблиця 5.10 – Структура таблиці treatments.

Поле	Опис	Тип	Первинний ключ	Зовнішній ключ
id	Унікальний ідентифікатор обробки	integer	X	
crop_id	Культура	integer		X (crops.id)
type	Тип обробки (“посів”, “протруйник” тощо)	text		
preparate_id	Препарат	integer		X (preparates.id)

Поле	Опис	Тип	Первинний ключ	Зовнішній ключ
dose	Доза внесення (кг/га, л/га)	real		
is_default	Ознака “за замовчуванням”	boolean		

Таблиця “warehouse” зберігає дані про склади — назву й геометрію (просторове розташування). Структура наведена в таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 – Структура таблиці warehouse.

Поле	Опис	Тип	Первинний ключ	Зовнішній ключ
id	Унікальний ідентифікатор складу	integer	X	
name	Назва складу	character varying		
geom	Геометрія (точка/полігон)	geometry		

Таблиця “spatial_ref_sys” є службовою і містить довідник систем координат, які використовуються для просторової прив’язки полів і складів у PostGIS. Структура наведена в таблиці 5.12.

Таблиця 5.12 – Структура таблиці spatial_ref_sys.

Поле	Опис	Тип	Первинний ключ
srid	Код системи координат	integer	X

Поле	Опис	Тип	Первинний ключ
auth_name	Назва джерела (“EPSG” тощо)	varchar(256)	
auth_srid	Код у джерелі	integer	
srtext	WKT-опис системи координат	varchar(2048)	
proj4text	Proj4-рядок	varchar(2048)	

У базі даних зовнішні ключі відіграють важливу роль у побудові зв’язків між таблицями та забезпеченні цілісності інформації. Наприклад, у таблиці «fields» присутні поля crop_id і prev_crop_id, які посилаються на таблицю «crops». Це означає, що кожне поле має вказану поточну й попередню культуру, водночас одна культура може бути пов’язана із багатьма різними полями. Схожа логіка застосовується у таблиці «treatments», де поля crop_id та prepare_id з’єднують кожну агротехнічну операцію із відповідною культурою та препаратом. У результаті одна і та ж культура або препарат можуть мати багато різних операцій, але кожна операція однозначно пов’язана з певною культурою й препаратом.

У таблицях «storage» і «prices» зовнішні ключі дозволяють чітко визначати, до якої культури чи препарату належать залишки або ціна, що унеможливорює появу “сирітських” даних.

Для збереження узгодженості в базі встановлені правила щодо видалення записів: якщо, наприклад, видалити культуру з таблиці «crops», пов’язані з нею дані у допоміжних таблицях також видаляються автоматично (каскадно). Це запобігає накопиченню неактуальної або неузгодженої інформації.

З метою оптимізації продуктивності в базі даних налаштовані індекси по основних зовнішніх ключах і полях, що використовуються для пошуку. Завдяки цьому всі операції, пов’язані з пошуком по культурі, препараті, залишках чи обробках, виконуються значно швидше, навіть якщо обсяг даних суттєво зростає.

5.4 Передавання та обробка даних

У розробленій інформаційній системі всі операції з даними здійснюються через єдиний графічний інтерфейс, побудований на PyQt5 [8] з інтеграцією QGIS [5], що дозволяє користувачу працювати з картою, таблицями і довідниками у реальному часі. Передача даних між інтерфейсом користувача, розрахунковими модулями та базою даних виконується системно й оптимізовано для ефективної роботи навіть із великими обсягами інформації.

Коли користувач вводить дані або виконує певні дії в інтерфейсі (наприклад, додає нове поле, оновлює залишки на складі чи запускає розрахунок прибутку), ці дані збираються в структурований вигляд та передаються до відповідних Python-модулів обробки. В системі використовуються об'єкти-обгортки (аналог DTO — Data Transfer Object), які містять тільки необхідну для поточної операції інформацію. Це дозволяє мінімізувати обсяг даних, що передаються між компонентами, й зменшує ризик помилок при обробці.

Після отримання й попередньої перевірки даних, розрахунковий або сервісний модуль (наприклад, algo.py чи profit_calculator.py) виконує бізнес-логіку: аналізує введені значення, перевіряє їх на коректність, визначає подальший порядок дій і готує запити до бази даних або оновлення відповідних конфігураційних файлів. Усі звернення до бази даних організовано через стандартизовані функції, які контролюють відповідність даних структурі таблиць та забезпечують цілісність інформації.

Результати обробки (наприклад, оптимізований план посіву, оновлений список полів або залишків) повертаються у вигляді структурованих об'єктів, які відображаються користувачу у вигляді таблиць, графіків чи позначок на карті. У випадку додавання або оновлення даних зміни зберігаються одночасно в базі даних і конфігураційних файлах, що гарантує відмовостійкість системи і можливість роботи в автономному режимі.

Усі передані дані організовано так, щоб уникати дублювання й передавати лише дійсно необхідну інформацію. Це прискорює обмін даними між модулями,

					ІС13.130БАК.005 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

знижує навантаження на систему і спрощує подальше масштабування або інтеграцію з іншими сервісами (наприклад, підвантаження погодних даних чи зовнішніх картографічних шарів). Такий підхід до організації передачі й обробки даних забезпечує ефективну, швидку й захищену роботу системи для аграрія на всіх рівнях її використання.

5.5 Структура системи

5.5.1 Опис архітектурного рішення

Під час розробки інформаційної системи було обрано модульну структуру, в якій кожен основний компонент працює окремо, але взаємодіє з іншими через чітко визначені інтерфейси. Такий підхід дозволяє легко підтримувати, оновлювати та розширювати функціонал системи. Кожен функціональний блок (розрахункові модулі, модулі аналітики, доступу до даних) реалізований як окремий Python-модуль або клас, що забезпечує гнучкість і дає змогу використовувати розроблені рішення як у десктопній, так і у потенційній веб-реалізації.

Зовнішній рівень представлений графічним інтерфейсом на PyQt5 [8] із глибокою інтеграцією QGIS для відображення та редагування просторових даних. На схемі архітектури (графічні матеріали – кресленик IC13.130БАК.005 Д4) видно чіткий розподіл між рівнями доступу до даних (PostgreSQL, JSON), бізнес-логікою (розрахункові й сервісні модулі) та рівнем користувацької взаємодії (інтерфейс, календар, інформаційна панель).

Обробка запитів користувача організована таким чином, що будь-яка дія ініціюється з інтерфейсу, далі передається у відповідний функціональний модуль, а результати повертаються й відображаються у вікні програми. Подібна структура забезпечує незалежність та взаємозамінність окремих компонентів системи, дозволяючи легко впроваджувати нові функції або замінювати джерела даних без суттєвих змін у коді всього застосунку.

					IC13.130БАК.005 ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

5.5.2 Доменний рівень

Ядром архітектури є набір доменних моделей, що відображають ключові сутності агровиробництва: поля, культури, склади, препарати, технологічні операції. Кожна модель містить атрибути, які безпосередньо відповідають записам у таблицях бази даних та формують предметну область системи. Операції із створення, редагування, пошуку й аналізу цих сутностей реалізовано у вигляді окремих Python-класів (наприклад, Field, Crop, Treatment), які ізольовано від інтерфейсу користувача. Це дозволяє працювати з даними на різних рівнях — незалежно від того, чи це інтерактивна карта, калькулятор прибутку або експорт у звітність. Такий підхід спрощує модифікацію й тестування ядра системи, дозволяє швидко розширювати функціонал без порушення загальної структури.

5.5.3 Рівень роботи з даними

На рівні взаємодії з базою даних та файлами впроваджені окремі модулі, які відповідають за завантаження, збереження й оновлення інформації. Доступ до PostgreSQL [9] (з PostGIS) та конфігураційних файлів організовано через стандартні функції та сервіси, що інкапсулюють логіку підключення, обробки помилок та перевірки цілісності даних. Завдяки цьому бізнес-логіка (аналітичні модулі, розрахунки, планування) не залежить від способу зберігання або джерела даних — можна оперативно мігрувати з локальних файлів на серверну БД чи навпаки, без зміни решти програми.

Усі запити реалізовано із використанням індексів та зовнішніх ключів для підтримки швидкодії й узгодженості даних, а всі сутності у базі мають унікальні ідентифікатори.

У розробленій інформаційній системі для забезпечення доступу до даних та ефективної взаємодії з базою даних реалізовано спеціалізовані функції. Вони дозволяють виконувати основні CRUD-операції (create, read, update, delete), а також виконувати складні вибірки й фільтрацію відповідно до потреб аграрія. Задля

підвищення продуктивності системи всі операції зчитування даних відбуваються за допомогою SQL-запитів, а зміна даних — через інтеграцію з ORM та безпосередньо через API для критично важливих сценаріїв. Усі функції організовані так, щоб мінімізувати навантаження на сервер і гарантувати цілісність та узгодженість даних. Основні функції взаємодії з базою даних наведено в таблиці 5.13.

Таблиця 5.13 – Основні функції взаємодії з базою даних.

Назва функції	Опис призначення	Використані таблиці	Тип операції
get_fields()	Отримання повного списку полів	fields, crops	Read
add_field()	Додавання нового поля	fields	Create
update_field()	Оновлення інформації про поле	fields	Update
delete_field()	Видалення поля	fields	Delete
get_crops()	Отримання довідника культур	crops	Read
get_treatments(field_id)	Отримання переліку обробок для конкретного поля	treatments, crops, prepares	Read
update_treatment()	Оновлення інформації про обробку	treatments	Update
get_storage()	Отримання інформації про залишки на складі	storage, prepares, crops	Read
update_storage()	Оновлення даних про залишки	storage	Update
get_prepares()	Перелік усіх препаратів з групами	prepares, prepare_groups	Read

Продовження таблиці 5.13

Назва функції	Опис призначення	Використані таблиці	Тип операції
get_prices()	Отримання цін на препарати/культури	prices, crop_prices	Read
add_price()	Додавання або оновлення ціни на препарат/культуру	prices, crop_prices	Create/Update
get_calendar(field_id)	Отримання календаря обробок для поля	treatments, calendar_treatments	Read
update_calendar()	Оновлення календаря обробок	calendar_treatments	Update

5.5.4 Прикладний рівень

Прикладний рівень системи охоплює логіку взаємодії користувача з основними модулями програми, обробку запитів та управління відображенням інформації. Кожен функціональний блок системи реалізовано у вигляді окремого класу або модуля, що відповідає за конкретний сегмент бізнес-логіки або користувацького інтерфейсу. Нижче наведено таблицю, яка стисло описує призначення основних модулів програми. Опис основних модулів програми наведено в таблиці 5.14.

Таблиця 5.14 – Опис основних модулів програми

Модуль	Короткий опис призначення
unstable.py	Головний модуль програми. Запускає застосунок, ініціалізує головне вікно, організовує роботу з картою, завантаження шарів, обробку подій користувача.
info_panel.py	Відповідає за відображення детальної інформації про вибране поле чи ділянку, керує інформаційними вікнами.

Модуль	Короткий опис призначення
mouse_actions.py	Реалізує обробку мишачих подій на карті: вибір, виділення, додавання нових полів, взаємодія з шарами.
calendar_treatments.py	Реалізує календар обробок для кожної культури й поля, підсвічування обробок у календарі, взаємодію з даними обробок.
edit_ownership.py	Модуль редагування власності на поля, додавання/видалення ділянок користувача, управління доступом.
algo.py	Містить математичні алгоритми підбору культур і оптимізації прибутку (реалізація моделей та обмежень).
profit_calculator.py	Реалізує розрахунок економічних показників — прибуток, витрати, окупність для кожного поля й культури.
DB_field_loader.py	Реалізує завантаження/оновлення даних із БД, синхронізацію з кеш-структурою та fallback на резервне сховище.
settings_main.py	Відповідає за основне вікно налаштувань, навігацію між вкладками, кастомізацію вигляду налаштувань.
settings_treatments.py	Редактор обробок для кожної культури: налаштування типів обробок, вибір препаратів, зміна норм внесення.
settings_prices.py	Модуль для редагування цін на препарати й культури, групування за категоріями, редагування одиниць виміру.
settings_storage.py	Керує залишками на складі: додавання/видалення запасів, контроль мінімальних залишків, звітність по складах.
settings_crop_prices.py	Окремий модуль для управління цінами на врожай по культурах.
settings_doses.py	Модуль для налаштування норм висіву та доз препаратів для кожної культури.

Висновки до розділу 5

У цьому розділі було розглянуто практичну реалізацію інформаційної системи допомоги аграрію — від побудови її структурної моделі до опису компонентів прикладного програмного забезпечення. Детально проаналізовано архітектуру програми, модульний склад, структуру та організацію бази даних, а також принципи інтеграції із зовнішніми сервісами та просторовою інформацією.

Розроблена система реалізована як десктопний програмний продукт із сучасним графічним інтерфейсом на основі PyQt5 [8] та просторовим модулем QGIS, що дозволило забезпечити інтерактивну роботу з картографічними даними, полями, залишками ресурсів і технологічними операціями.

Особлива увага була приділена організації зберігання та обробки даних: реляційна база даних PostgreSQL [9] із підтримкою просторових даних (PostGIS) дозволяє надійно зберігати всі атрибути полів, культур, обробок, залишків, цін та іншої аналітичної інформації. Розроблені функції обміну даними між інтерфейсом, аналітичними модулями та БД забезпечують синхронність і цілісність інформації, а також дозволяють ефективно працювати з великими обсягами агрономічних даних.

У межах розділу детально описано моделі й структури даних, алгоритми формування рекомендацій та аналітики, механізми інтеграції з зовнішніми API (OpenWeatherMap, OpenStreetMap), а також принципи побудови календаря агротехнічних операцій і підсистеми складу.

Практична реалізація основних модулів, їхнє тестування та інтеграція в єдину систему показали відповідність розробленої платформи основним вимогам до сучасних інформаційних систем у галузі сільського господарства. Розроблена система є масштабованою, адаптивною та зручною у використанні, що дозволяє впроваджувати її як на рівні невеликих господарств, так і для потреб агрохолдингів. Досвід розробки та результати тестування підтвердили правильність обраної архітектури та програмних рішень.

					ІС13.130БАК.005 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

6 МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

6.1 Змістовна постановка задачі

У цьому дипломному проєкті розглядається задача автоматизованого вибору оптимальних сільськогосподарських культур для вирощування на наявних полях з урахуванням економічних, агрономічних і технологічних параметрів. Система призначена для того, щоб допомогти агроному або власнику полів приймати обґрунтовані рішення щодо планування посіву з максимізацією потенційного прибутку, враховуючи особливості кожного поля й індивідуальні обмеження користувача.

Початкові дані для задачі включають множину полів із визначеними характеристиками (площа, тип і якість ґрунту, попередня культура тощо) та перелік культур, придатних до висіву, кожна з яких має власні економічні та агротехнічні параметри. Користувач визначає пріоритети щодо критеріїв вибору культур, серед яких можуть бути: прибутковість, відповідність типу ґрунту, доступність насіння чи препаратів, дотримання сівозміни та інші практичні обмеження.

У межах розробленої системи реалізується оцінка альтернатив на основі індивідуальних ваг критеріїв, які користувач задає відповідно до своїх цілей і потреб. Обрана методика дозволяє агрегувати ці ваги для комплексної оцінки кожної культури, що береться до розгляду для конкретного поля чи всього господарства. На підставі зібраних даних і визначених пріоритетів запускається алгоритм оптимізації, який здійснює ранжування культур і формує персоналізовані рекомендації для користувача. Результатом є список культур із відповідними обґрунтуваннями та показниками ефективності для кожного поля.

Завдання, яке вирішується в цій роботі, спрямоване на автоматизацію і спрощення процесу прийняття рішень у сільськогосподарському виробництві, підвищення економічної ефективності господарювання та адаптацію планування під реальні умови конкретного підприємства чи фермерського господарства.

					ІС13.130БАК.005 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

6.2 Математична постановка задачі

Планування оптимального розподілу культур на полях розглядається як задача вибору такої комбінації культур, яка максимізує сумарний прибуток господарства за певний період, враховуючи обмеження по ресурсах, сівоzmіні, типу ґрунту, доступності насіння й агротехнічним нормам.

Позначимо через n кількість полів, а через m — кількість можливих культур для висіву. Введемо бінарну змінну x_{ij} , що дорівнює 1, якщо на полі i висівається культура j , і 0 — інакше.

Мета оптимізації: Максимізувати сумарний прибуток:

$$\max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} * x_{ij} \quad (6.1)$$

де p_{ij} — очікуваний прибуток від вирощування культури j на полі i , розрахований із урахуванням площі, врожайності, собівартості, цін реалізації, витрат на добрива й препарати.

Обмеження:

1) одна культура на полі:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad (6.2)$$

2) сумісність із ґрунтом:

$$x_{ij} = 0, \text{ якщо ґрунту поля } i \text{ не дозволяє вирощувати культуру } j \quad (6.3)$$

3) обмеження по насінню:

$$\sum_{i=1}^n S_i * x_{ij} \leq Q_j, \quad \forall i \in \{1, \dots, m\} \quad (6.4)$$

де S_i — площа поля i , Q_i — запас насіння культури j .

4) сівозміна (несумісність із попередньою культурою):

$$x_{ij} = 0, \text{ якщо культура } j \text{ несумісна з попередньою культурою на полі } i \quad (6.5)$$

5) бюджет на добрива:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij}^{\text{добрива}} * x_{ij} \leq B \quad (6.6)$$

де $c_{ij}^{\text{добрива}}$ — витрати на добрива для культури j на полі i , B — загальний бюджет на добрива.

Завдання полягає у визначенні підмножини найкращих комбінацій культур для розміщення на полях із множини всіх допустимих альтернатив. Для кожної культури та поля враховуються агрономічні, економічні та технологічні показники, а також відносна важливість критеріїв, встановлена користувачем або експертним шляхом. Оптимізоване рішення представляється у вигляді впорядкованого (ранжованого) набору призначень культур до полів, де найвищі позиції займають ті альтернативи, які максимально відповідають сукупним вимогам та критеріям ефективності. Результатом розв'язання задачі є оптимальний план розподілу культур по полях, що забезпечує досягнення цілей господарства з урахуванням заданих обмежень і пріоритетів.

6.3 Обґрунтування методу розв'язання

Сучасна практика оптимізації аграрних технологій та планування посівних структур передбачає розгляд багатьох альтернатив розміщення культур із урахуванням численних критеріїв: агрономічних, економічних, технологічних, а також різноманітних обмежень господарства. Для таких задач розроблено ряд класичних підходів багатокритеріального прийняття рішень. Серед найпоширеніших варто відзначити такі методи:

Метод аналізу ієрархій (MAI) дозволяє структуровано оцінити вагу кожного критерію за допомогою попарних порівнянь, а потім інтегрувати ці ваги для ранжування альтернатив. Однак MAI не завжди придатний до задач із великою кількістю альтернатив (наприклад, комбінацій культур на багатьох полях), оскільки кількість необхідних порівнянь зростає експоненціально, що ускладнює застосування на практиці та підвищує ризик неузгодженості експертних оцінок.

Методи на кшталт TOPSIS, ELECTRE, VIKOR добре працюють для задач ранжування альтернатив за багатьма критеріями, особливо коли кожна альтернатива може бути незалежно оцінена за всіма параметрами. Однак у задачах планування сівоzmіни ключовою вимогою є врахування складних взаємозв'язків і жорстких обмежень (несумісність культур, обмеження по сівоzmіні, бюджет, обмеження по насінню тощо), що важко формалізувати у цих підходах без суттєвого ускладнення моделі.

Жадібні або евристичні методи дозволяють швидко отримувати рішення навіть для великих задач, проте такі підходи часто не гарантують знаходження глобального оптимуму, особливо за наявності великої кількості строгих обмежень і складної економічної моделі.

Стандартні багатокритеріальні методи (SMART, ELECTRE, VIKOR) частіше використовуються для задач вибору або ранжування об'єктів, коли кожна альтернатива незалежна від інших, а в сільськогосподарському плануванні розподіл культур має комбінаційну природу: вибір для одного поля впливає на

допустимість вибору для інших, а також на відповідність усім ресурсним та технологічним обмеженням.

З огляду на це, для вирішення задачі оптимального розподілу культур у даній роботі обрано метод математичного програмування з використанням бінарних змінних та цілочислової оптимізації. Саме цей підхід дозволяє чітко й однозначно враховувати всі обмеження, сформулювати цільову функцію (максимізація прибутку), задати складні зв'язки між змінними (наприклад, сівозміна, бюджет, логістика) і забезпечити отримання глобально оптимального плану розміщення культур. Застосування математичної моделі в середовищі Python із використанням бібліотек для розв'язання задач цілочислового програмування (наприклад, `scipy.optimize`, `pulp`, `ortools`) дає змогу реалізувати алгоритм, який масштабується під задачі реального господарства.

Вибраний підхід забезпечує прозорість, масштабованість, а також гнучкість у додаванні нових критеріїв чи обмежень — що робить його найбільш придатним для практичного впровадження в сучасних умовах агробізнесу. Тому саме комбінаторний математичний метод оптимізації із суворим врахуванням усіх агротехнічних та економічних умов є найкращим вибором для вирішення даної задачі.

6.4 Опис методу розв'язання

Процес оптимального підбору культур для розміщення на наявних полях є багатокритеріальною задачею, що враховує різноманітні характеристики як полів, так і культур, а також численні агрономічні, економічні та технологічні обмеження. Метою є знайти такий розподіл культур, який забезпечує максимальний сумарний прибуток із урахуванням усіх заданих обмежень.

Розв'язання цієї комплексної задачі у межах розробленої інформаційної системи здійснюється шляхом побудови математичної моделі у вигляді задачі змішаного цілочислового лінійного програмування (MILP). Основними змінними моделі є бінарні змінні x_{ij} , де кожна змінна відображає, чи буде на полі i висіяна

					IC13.130БАК.005 ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

культура j ($x_{ij} = 1$) чи ні ($x_{ij} = 0$). Такий підхід дозволяє формально враховувати всі необхідні вимоги й обмеження, водночас знаходячи оптимальний з економічної точки зору розподіл культур, що забезпечує досягнення максимального прибутку в рамках наявних ресурсів і умов виробництва.

6.4.1 Основні кроки рішення

6.4.1.1 Збір і підготовка вхідних даних

Завантажуються дані полів (ідентифікатор, площа, тип ґрунту, попередня культура) з бази даних, а також властивості культур (ціни, норми внесення насіння і добрив, урожайність). Крім того задаються параметри користувача: вибрані поля, межі площі, бажаний тип ґрунту, ідентифікатор попередньої культури, режим роботи («поточна культура» чи «найприбутковіша культура»), кількість рекомендованих культур, та опції перевірка достатності насіння та препаратів на складі. Якщо жодних фільтрів не задано – використовується весь набір полів.

6.4.1.2 Формування допустимих альтернатив для кожного поля

Для кожного відібраного поля і генерується список можливих культур j , що задовольняють обмеженням попередньої культури (перевірка, що попередня культура не протирічить списку дозволених попередніх культур), а також ресурсним обмеженням: достатній запас насіння культури і достатньо препаратів) та добрив для площі поля. Якщо для певної культури j умови не виконуються, вона виключається з розгляду для цього поля. Таким чином для кожного поля формується множина кандидатних культур.

6.4.1.3 Розрахунок значень для пари поле-культура

Для кожного поля i і кожної можливої культури j обчислюються економічні показники. Урожайність культури з поправкою на ґрунт поля задається як

$$Y_{ij} = Y_j * a_{ij} \quad (6.7)$$

де Y_j – базова врожайність культури j , Y_{ij} - очікувана врожайність культури j на полі i , a_{ij} – поправковий множник за типом ґрунту поля i .

Дохід з гектара обчислюється як:

$$R_{ij} = Y_{ij} * P_j \quad (6.8)$$

де R_{ij} - дохід з гектара для поля i при вирощуванні культури j , P_j – ціна реалізації врожаю культури j .

Загальний дохід з поля i для культури j дорівнює:

$$\text{Загальний прибуток} = R_{ij} * S_i \quad (6.9)$$

де S_i – площа поля.

Сумарні витрати на гектар:

$$C_{ij} = C_{\text{насіння},ij} + C_{\text{добрива},ij} + C_{\text{препарати},ij} + C_{\text{обробки},ij} \quad (6.10)$$

Сумарний прибуток

$$f(i, j) = (Y_{ij} * P_j - C_{ij}) * S_i \quad (6.11)$$

де P_j – ціна реалізації культури, S_i – площа поля.

Таким чином, згідно з логікою функції “calc_profit_for_crop”, прибуток на гектар визначається як різниця між доходом і сумарними витратами, а загальний прибуток для всього поля обчислюється множенням прибутку на гектар на площу поля.

6.4.1.4 Вибір оптимальних культур

У режимі «поточна культура» система здійснює лише аналіз уже вирощуваної культури на кожному полі: для кожного поля розраховується очікуваний дохід, витрати та прибуток на основі наявної культури, й ці показники відображаються у підсумковому звіті для користувача. Якщо ж обрано режим «найприбутковіша культура», система переходить до пошуку такого розподілу культур, який забезпечить максимальний сумарний прибуток для всього господарства. У разі, коли користувач встановив глобальне обмеження на кількість різних культур (параметр max_crops) і аналізується більше одного поля, задача формалізується як задача змішаного цілочислового програмування (MILP).

У цьому випадку для кожної комбінації «поле-культура» вводиться бінарна змінна x_{ij} , яка дорівнює 1, якщо на полі i буде сіятись культура j , і 0 – в іншому випадку. Додатково визначаються змінні u_j , які позначають, чи використовується культура j хоча б на одному з полів. Ставиться задача максимізації сумарного прибутку:

$$\max \sum_{i,j} f(i,j) * x_{ij}, \quad (6.12)$$

при дотриманні обмежень (6.1-6.5).

У тих випадках, коли MILP-оптимізація не застосовується (наприклад, розглядається лише одне поле або немає обмеження на кількість культур), для кожного поля окремо обираються ті культури, які забезпечують найбільший

прибуток. Усі культури ранжуються за розрахованою функцією прибутку $f(i,j)$ і користувачеві пропонуються варіанти з найкращими показниками.

6.4.1.5 Підсумок результатів

На останньому етапі агрегуються загальні показники: сумарна площа полів, загальний дохід, загальні витрати та загальний прибуток по всій селекції культур. Для кожного поля формується запис із ідентифікатором поля, вибраною культурою, площею, типом ґрунту, попередньою культурою, прибутком на гектар, загальним прибутком, статтями витрат і доходом. Результати виводяться у вигляді таблиці або діалогу в інтерфейсі користувача.

Висновки до розділу 6

У цьому розділі здійснено ґрунтовний аналіз і математичне формалізування задачі оптимального планування розподілу сільськогосподарських культур між полями господарства. Детально визначено як змістовну, так і формальну (математичну) постановку задачі, розкрито складну природу оптимізації, що базується на врахуванні великої кількості взаємопов'язаних агрономічних, економічних і технологічних факторів. Підкреслено, що сучасне аграрне виробництво потребує прийняття управлінських рішень на основі моделювання різних сценаріїв, урахування залишків ресурсів, властивостей ґрунту, історії сівозміни, бюджетних лімітів та ринкових умов.

Обґрунтовано доцільність використання математичної моделі у вигляді задачі змішаного цілочислового лінійного програмування (MILP) для автоматизованого вибору оптимального плану розміщення культур. Показано, що цей підхід дозволяє водночас враховувати як лінійні економічні критерії (максимізація прибутку), так і дискретні агротехнічні вимоги — зокрема, забезпечує можливість заборонити несумісні комбінації культур і полів, накладати ресурсні обмеження (по насінню, добривах), бюджетні обмеження та обмеження на

кількість використовуваних культур, а також оперативно вносити зміни в моделі за зміни зовнішніх умов.

В роботі надано докладне пояснення формування цільової функції — максимізації сумарного прибутку з усіх полів, розписано механізми обчислення прибутку як функції врожайності, цін реалізації, вартості насіння, добрив та інших операційних витрат. Наведено ключові обмеження, які гарантують реалістичність отриманих планів та узгодженість із реальною виробничою ситуацією. Особливу увагу приділено опису алгоритму вирішення задачі: від етапу збору і структурування вхідних даних, формування допустимих альтернатив для кожного поля, детального розрахунку економічних показників для кожної комбінації «поле-культура», до етапу побудови та розв’язання оптимізаційної моделі за допомогою сучасних MILP-солверів.

Розглянутий підхід забезпечує універсальність і гнучкість інформаційної системи, дозволяючи адаптувати модель до особливостей конкретного господарства: змінювати структуру полів, асортимент культур, ціни на ресурси, додавати нові типи агрономічних і економічних обмежень. Це створює передумови для ухвалення більш обґрунтованих рішень, спрямованих на підвищення економічної ефективності виробництва та оптимізацію використання ресурсів. Узагальнюючи, розроблене математичне забезпечення є надійною основою для подальшої розробки й впровадження інформаційної системи підтримки агронома у процесі планування сівозміни і стратегічного управління агровиробництвом.

7 ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ

7.1 Мета та завдання тестування

Метою експериментального дослідження є перевірка коректності та ефективності функціонування розробленої інформаційної системи підбору сільськогосподарських культур із використанням математичної моделі оптимізації (MILP) для різних початкових умов і виробничих сценаріїв. Завдання експерименту полягають у тому, щоб на практичних прикладах:

- оцінити, наскільки система забезпечує дотримання агрономічних, економічних та ресурсних обмежень (правила сівозміни, бюджет, запаси насіння і добрив);
- перевірити правильність розрахунків економічних показників (дохід, витрати, прибуток) для різних варіантів планування;
- визначити чутливість системи до зміни основних вхідних параметрів (структура полів, ціни, наявність ресурсів, агротехнічні обмеження);
- підтвердити здатність системи генерувати оптимальний розподіл культур по полях у відповідності до заданих стратегічних та ресурсних обмежень.

7.2 Методика проведення тестування

У цьому розділі наводиться порядок організації та проведення випробувань розробленої інформаційної системи підтримки прийняття рішень для аграрія. Метою тестування є перевірка відповідності програмного забезпечення всім функціональним вимогам, визначеним на етапі проектування. Для кожної основної функції системи (відображення картографічної основи, робота з інформацією про поля, калькулятор прибутку, перегляд погоди, редагування володінь, налаштування тощо) формується окремий тест.

Кожен тест містить:

- опис вихідного стану системи;

					ІС13.130БАК.005 ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- чіткий порядок виконання випробування (послідовність дій користувача);
- очікуваний результат (що саме має з'явитися в інтерфейсі);
- порівняння фактичного результату із очікуваним та фіксацію відповідності.

Під час тестування передбачено виконання як базових, так і розширених сценаріїв для перевірки поведінки системи у різних ситуаціях: зміна даних, введення граничних чи некоректних значень, оновлення та видалення записів. Всі результати тестування документуються для подальшого аналізу та оцінки якості розробленого продукту.

7.3 Результати випробувань

Випробування функціонування відображення картографічної основи та полів. Специфікація випробування наведена в таблиці 7.1. Відповідні кроки та результати випробування ілюстровані на рисунках 7.1 – 7.2.

Таблиця 7.1 – Перевірка відображення картографічної основи

Мета тесту	Перевірка коректного завантаження та відображення базової карти, супутникового шару та контурів полів
Вихідний стан системи	Програма запущена, база даних містить актуальні записи про поля, відкрито головне вікно.
Порядок проведення тесту	Запустити програму → Дочекатися завантаження карти → Переконалися у відображенні полів → Змінити шар.
Очікуваний результат	Відображається карта з усіма полями, шари перемикаються, контури та підписи полів видно коректно.
Стан системи після тесту	Всі об'єкти карти відображаються, карта взаємодіє з користувачем, зміна шарів працює.
Результат тесту	Тест успішний

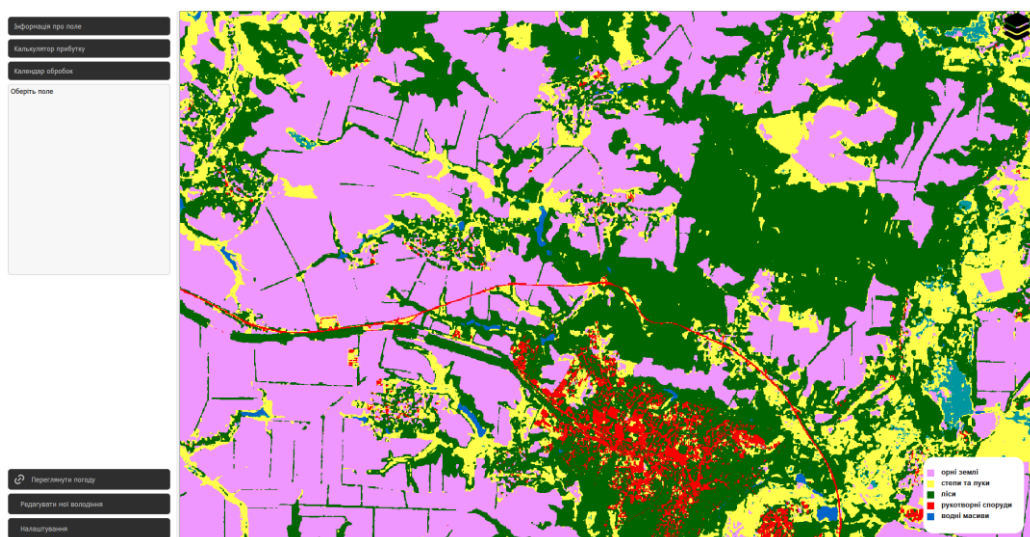


Рисунок 7.1 – Дефолтний головний екран



Рисунок 7.2 – Включений супутниковий шар разом з контурами полів

Випробування функції «Інформація про поле». Специфікація випробування наведена в таблиці 7.2. Етапи тестування та результати видно на рисунках 7.3 – 7.4.

Таблиця 7.2 – Перевірка функції «Інформація про поле»

Мета тесту	Перевірка роботи модуля перегляду детальної інформації про обране поле
Вихідний стан системи	Програма запущена, наявна база полів, головне вікно відкрито

Продовження таблиці 7.2

Порядок проведення тесту	Вибрати поле на карті → Перейти у вкладку «Інформація про поле» → Переглянути загальну інформацію
Очікуваний результат	Всі ключові параметри поля (назва, площа, культура, тип ґрунту, попередня культура) відображаються коректно
Стан системи після тесту	Відображено інформацію по вибраному полю, можна обрати інше поле
Результат тесту	Тест успішний

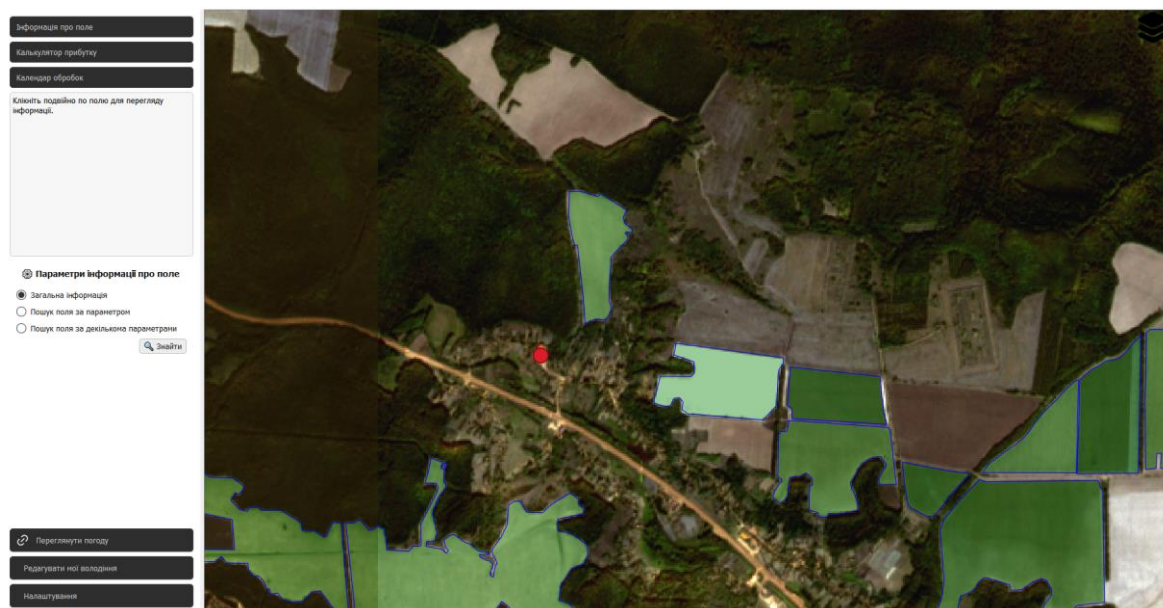


Рисунок 7.3 – Крок вибору поля



Рисунок 7.4 – Відображення інформації вибраного поля

Випробування роботи калькулятора прибутку. Специфікація випробування наведена в таблиці 7.3. Приклади виконання тесту та візуалізація результатів наведені на відповідних рисунках 7.5 – 7.6.

Таблиця 7.3 – Перевірка функції калькулятор прибутку

Мета тесту	Перевірка коректності роботи функції розрахунку прибутку для заданих параметрів
Вихідний стан системи	У базі є записи про поля й культури, калькулятор відкрито
Порядок проведення тесту	Вибрати режим обрахунку → Вибрати кількість полів → Узгодити додаткові параметри → Натиснути кнопку розрахунку
Очікуваний результат	Відображається прогнозований прибуток, розрахунок співпадає з формулами
Стан системи після тесту	Для обраної комбінації поле-культура відображено розрахунок прибутку
Результат тесту	Тест успішний



Рисунок 7.5 – Відображення стартового положення калькулятора прибутку



Рисунок 7.6 – Відображення розрахованої кращої культури для цього поля

Випробування перегляду погодних даних. Специфікація випробування наведена в таблиці 7.4. Результати тестування відображення погодної інформації показані на рисунках 7.7 – 7.8.

Таблиця 7.4 – Перевірка функції перегляду погодних даних

Мета тесту	Перевірка отримання й відображення актуальних погодних даних для обраного регіону
Вихідний стан системи	Програма запущена, інтернет з'єднання активне

Продовження таблиці 7.4

Порядок проведення тесту	Перейти у вкладку «Переглянути погоду» → Обрати сайт → Переконатися в отриманні погодних даних
Очікуваний результат	Відображається актуальний прогноз погоди для обраної території
Стан системи після тесту	Погодні дані відображено на панелі
Результат тесту	Тест успішний



Рисунок 7.7 – Відображення сайту погоди



Рисунок 7.8 – Вдалий пошук на сайті

Випробування функції редагування володінь. Специфікація випробування наведена в таблиці 7.5. Основні кроки тестування та результати змін у володіннях можна переглянути на рисунках 7.9 – 7.11.

Таблиця 7.5 – Перевірка функції редагування володінь

Мета тесту	Перевірка додавання, редагування й видалення полів
Вихідний стан системи	У базі є записи полів, відкрито інтерфейс володінь
Порядок проведення тесту	Натиснути «Редагувати мої володіння» → Перейти до інструменту додавання полів → Спробувати додати нове поле
Очікуваний результат	Нове поле додається, існуючі змінюються/видаляються, дані оновлюються на карті
Стан системи після тесту	Стан володінь відображає всі зміни
Результат тесту	Тест успішний

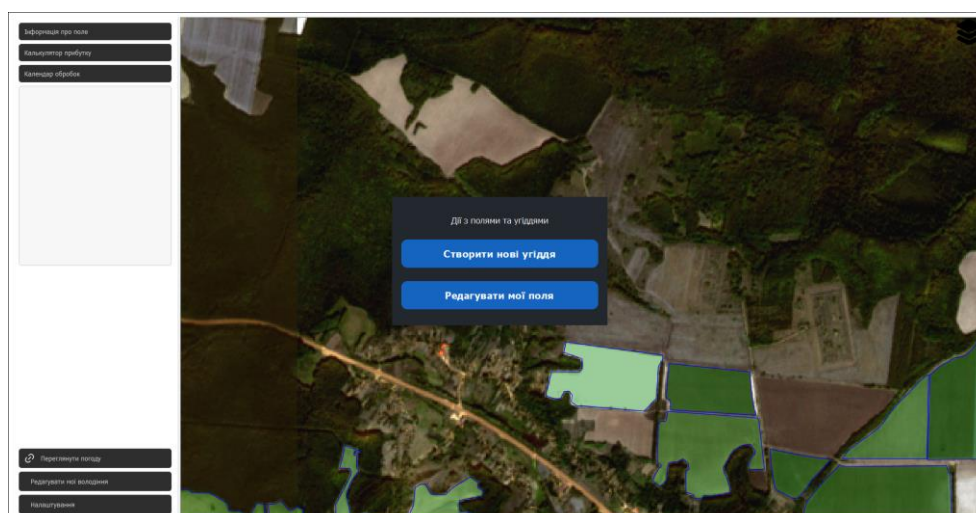


Рисунок 7.9 – Екран переходу до інструменту редагування



Рисунок 7.10 – Створення полігонів нового поля



Рисунок 7.11 – Нове поле створено

Випробування роботи модуля налаштувань. Специфікація випробування наведена в таблиці 7.6. Відповідні кроки зміни налаштувань та результати перевірки наведені на рисунках 7.12 – 7.14.

Таблиця 7.6 – Перевірка роботи модуля налаштувань

Мета тесту	Перевірка коректної роботи зміни налаштувань (ціни, дози, препарати)
Вихідний стан системи	Програма відкрита, відкрито модуль налаштувань

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ІС13.130БАК.005 ПЗ

Арк.

67

Мета тесту	Перевірка коректної роботи зміни налаштувань (ціни, дози, препарати)
Порядок проведення тесту	Відкрити вікно налаштувань → Змінити один із параметрів → Зберегти зміни
Очікуваний результат	Нове налаштування застосовано, враховано про операціях з полями
Стан системи після тесту	Значення параметра змінилося й збереглося
Результат тесту	Тест успішний



Рисунок 7.12 – Відображення найкращої культури для поля 1

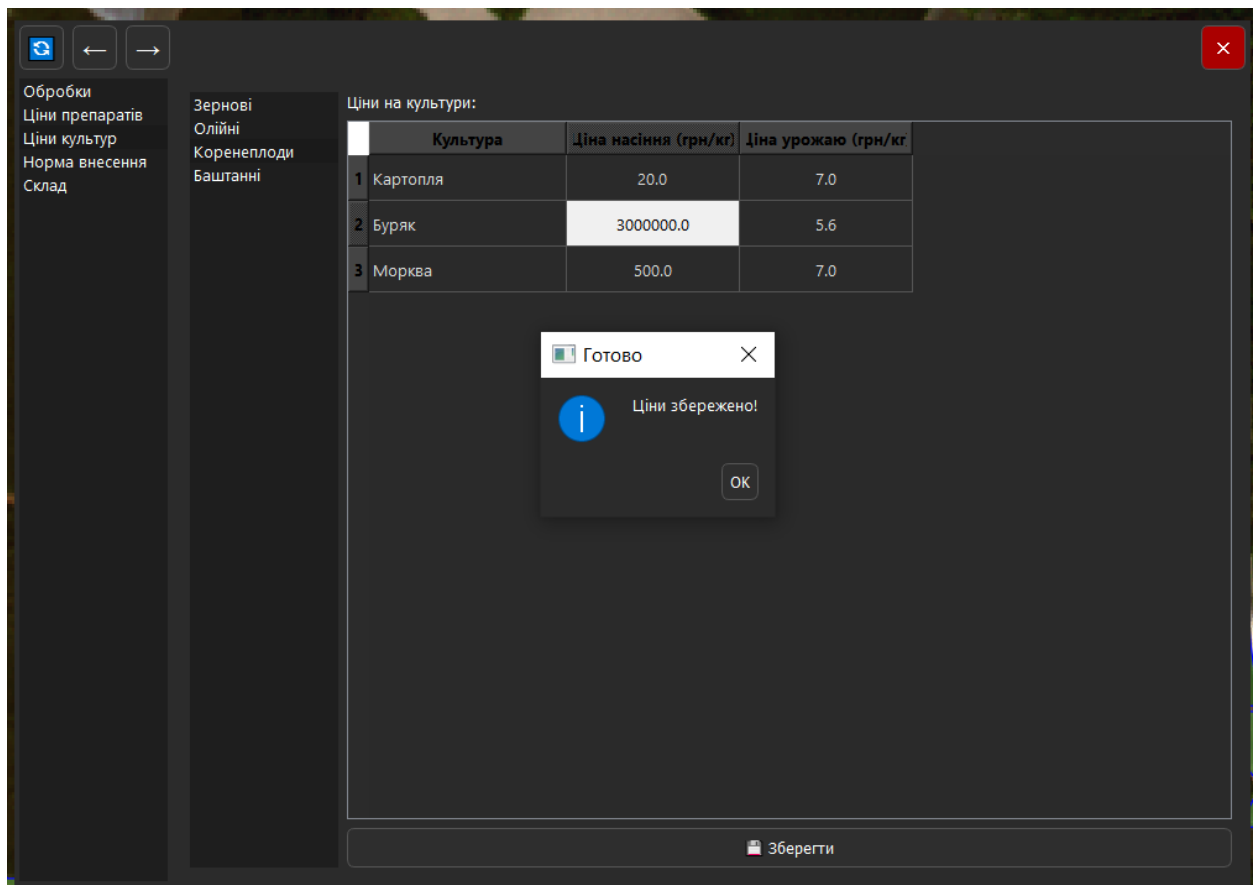


Рисунок 7.13 – Фіктивна зміна ціни насіння



Рисунок 7.14 – Відображення іншої найприбутковішої культури поля 1

Висновки до розділу 7

У цьому розділі було проведено всебічне тестування основних функцій інформаційної системи допомоги аграрію для оцінки її працездатності та відповідності функціональним вимогам. В рамках тестування розглянуто ключові сценарії користування: завантаження та відображення картографічної основи і полів, перегляд детальної інформації за кожним полем, розрахунок прибутку для різних комбінацій «поле-культура», отримання та вивід актуальних погодних даних, редагування земельних володінь, а також зміну налаштувань системи.

Результати випробувань показали, що всі основні модулі системи функціонують коректно й стабільно. При відпрацюванні базових і розширених сценаріїв система правильно обробляє дані, своєчасно реагує на дії користувача, відображає всі необхідні зміни в інтерфейсі, забезпечує точний розрахунок економічних показників, а також гарантує збереження актуальної інформації у базі даних. Окремо відзначено зручність навігації між модулями програми, інтуїтивність картографічного інтерфейсу й легкість внесення та оновлення даних.

Тестування підтвердило відповідність роботи системи її початковим вимогам і завданням: забезпечення аграрію ефективним інструментом для планування посівів з урахуванням ресурсних, економічних і агротехнічних обмежень. Усі запропоновані сценарії відпрацьовані успішно, жодних критичних збоїв чи помилок виявлено не було. В цілому, розроблена система може бути впроваджена в практичну діяльність сільськогосподарських підприємств та фермерських господарств для підвищення обґрунтованості рішень і підвищення рентабельності виробництва.

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломного проєкту було розроблено інформаційну систему допомоги аграрію, яка дозволяє комплексно автоматизувати процеси планування та аналізу аграрної діяльності. Запропонована система поєднує сучасний програмний інтерфейс, просторову інтеграцію з картографічними сервісами, зручну роботу з базою даних та набір аналітичних інструментів для оптимізації використання ресурсів.

Проведене дослідження та етапи розробки показали, що створення цифрових інструментів для аграрної сфери значно підвищує ефективність прийняття рішень, дозволяє швидко адаптуватися до змін ринкових умов і краще використовувати наявний земельний та матеріальний потенціал. Особливої уваги було приділено формуванню модульної архітектури системи, що забезпечує її гнучкість, масштабованість та можливість подальшого розвитку.

Використання просторових даних та інтеграція з картографічною платформою QGIS [5, 10, 15] зробили інтерфейс програми наочним і зручним для користувача — аграрій може працювати з полями прямо на карті, аналізувати структуру посівів і планувати технологічні операції з урахуванням реальних характеристик земельних ділянок. Розроблені аналітичні модулі на основі математичних моделей дають змогу швидко розраховувати оптимальні стратегії сівоzmіни, враховуючи економічну доцільність, обмеження по ресурсах, типи ґрунтів та логістику.

Практична перевірка роботи системи підтвердила її коректність, стабільність та відповідність поставленим вимогам. Інтерфейс і структура програми дозволяють легко додавати нові функції, розширювати базу культур, інтегрувати нові джерела даних та використовувати продукт як окремими аграріями, так і в рамках агрокомпаній.

Отримані результати доводять перспективність і необхідність впровадження подібних інформаційних систем у сільськогосподарське виробництво. Подальший розвиток проєкту може бути пов'язаний із розширенням алгоритмів аналітики,

впровадженням мобільної версії, інтеграцією з державними реєстрами, використанням машинного навчання для прогнозування врожайності, а також подальшою автоматизацією операцій на основі накопичених даних.

Загалом, виконана робота є прикладом успішної реалізації сучасних ІТ-рішень у сфері агробізнесу, що дозволяє підвищити ефективність управління, знизити витрати і зробити аграрну діяльність більш передбачуваною, економічно вигідною та стійкою до зовнішніх ризиків.

					ІС13.130БАК.005 ПЗ	Арк.
						72
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закупівельні ціни на зерно в Україні [Електронний ресурс] / UkrAgroConsult. <https://ukragroconsult.com/grain-prices/#:~:text=16> (дата звернення: 02.04.2025).
2. Copernicus data space ecosystem [Електронний ресурс]. <https://dataspace.copernicus.eu/> (дата звернення: 23.04.2025).
3. Аналітика, ціни на оптових ринках України [Електронний ресурс] / Інформаційно-аналітичний центр Інфо-Шувар. <https://info.shuvar.com/price#:~:text=,00> (дата звернення: 08.05.2025).
4. Куркуль – онлайн-асистент фермера [Електронний ресурс]. <https://kurkul.com/news/36368-gurtovi-tsini-na-kavuni-vpali-do-minimalnogo-rivnya-za-ostanni-3-sezoni> (дата звернення: 25.04.2025).
5. QGIS user guide – QGIS documentation [Електронний ресурс]. https://docs.qgis.org/3.40/en/docs/user_manual/index.html (дата звернення: 15.04.2025).
6. Geofabrik download server [Електронний ресурс]. <https://download.geofabrik.de/europe/ukraine.html> (дата звернення: 20.04.2025).
7. Uk:WikiStart – JOSM [Електронний ресурс] / JOSM. <https://josm.openstreetmap.de/wiki/Uk:WikiStart> (дата звернення: 03.05.2025).
8. PyQt5 Reference Guide – PyQt Documentation v5.15.7 [Електронний ресурс]. <https://www.riverbankcomputing.com/static/Docs/PyQt5/> (дата звернення: 14.04.2025).
9. PostgreSQL: Documentation [Електронний ресурс]. <https://www.postgresql.org/docs/> (дата звернення: 13.04.2025).
10. Connecting QGIS to Postgres and PostGIS [Електронний ресурс]. <https://www.crunchydata.com/blog/connecting-qgis-to-postgres-and-postgis> (дата звернення: 20.04.2025).

11. Geospatial School. QGIS Python Tutorial (PyQGIS Tutorial), 2023 [Електронний ресурс]. <https://www.youtube.com/watch?v=X-LvGvNor4E> (дата звернення: 29.04.2025).

12. PostgreSQL Python: Connecting to PostgreSQL Server [Електронний ресурс]. <https://neon.com/postgresql/postgresql-python/connect> (дата звернення: 02.05.2025).

13. GeoPandas 1.1.1 – GeoPandas 1.1.1+ documentation [Електронний ресурс]. <https://geopandas.org/en/stable/> (дата звернення: 05.05.2025).

14. Psycopg – PostgreSQL database adapter for Python – Psycopg 2.9.10 documentation [Електронний ресурс] / PostgreSQL driver for Python – Psycopg. <https://www.psycopg.org/docs/> (дата звернення: 25.04.2025).

15. Connecting QGIS to Postgres and PostGIS [Електронний ресурс] / Crunchy Data Blog. <https://www.crunchydata.com/blog/connecting-qgis-to-postgres-and-postgis> (дата звернення: 22.04.2025)