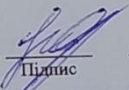
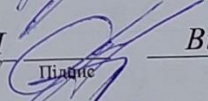
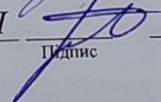


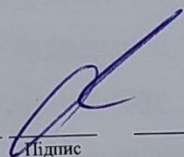
Хмельницький національний університет  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютерних наук

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему Метод планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних

Галузь знань 12 – Інформаційні технології  
Шифр і назва галузі знань  
Спеціальність 122 – Комп'ютерні науки  
Шифр і назва спеціальності  
Освітня програма Комп'ютерні науки  
Назва освітньої програми

Виконав: студент групи КН-21-2  Олексій САС  
Група виконавця Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ  
Керівник: к.фіз.-мат.н., доц. каф. КН  Віталій МІХАЛЕВСЬКИЙ  
Науковий ступінь, посада Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ  
Нормоконтроль: к.т.н., доц. каф. КН  Руслан БАГРІЙ  
Науковий ступінь, посада Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:  
зав. кафедри КН, д.т.н., професор  Олександр БАРМАК  
Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

20 06 2025 р.

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерних наук

Освітній ступінь бакалавр

Галузь знань 12 – Інформаційні технології

Спеціальність 122 – Комп'ютерні науки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри комп'ютерних наук

  
(підпис)

д.т.н., професор Олександр БАРМАК

«10» 02 2025 року

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Метод планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних»

2. Завдання видано студенту

Олексію САСУ

(Ім'я, прізвище)

3. Керівник роботи

доцент кафедри КН Віталій МІХАЛЕВСЬКИЙ

(посада, ім'я, прізвище)

4. Затверджено наказом університету від «07» 02 2025 р. № 23

5. Дата видачі завдання студенту: «10» 02 2025 р.

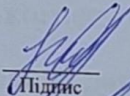
6. Зміст пояснювальної записки (перелік задач) та вихідні дані: Мета роботи полягає у підвищенні точності процесу планування сівозміни сільськогосподарських культур. Для досягнення цієї мети необхідно провести аналіз сучасних методів планування, розробити метод планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу, інтегрувати його в інформаційну систему та провести експериментальне тестування для оцінки точності методу. Вхідні дані передбачають можливість повного опису предметної області, а саме: облік та характеристики сільськогосподарських культур, множини метеорологічних даних та ґрунтів, параметри залежності для сівозміни тощо.

7. Календарний план виконання кваліфікаційної роботи бакалавра:

№	Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи бакалавра з керівником, складання календарного графіка виконання роботи	січень 2025	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю, формулювання мети та задач дослідження, визначення об'єкта та предмета дослідження	лютий 2025	виконано
3	Проектування та розробка загальної архітектури системи, вибір засобів реалізації програмного забезпечення	березень 2025	виконано
4	Розробка інформаційної системи	квітень 2025	виконано
5	Написання пояснювальної записки, урахування зауважень керівника, оформлення згідно вимог	травень 2025	виконано
6	Розробка презентаційних матеріалів та попередній захист кваліфікаційної роботи	травень 2025	виконано
7	Отримання відгуку керівника, рецензії, перевірка на плагіат, нормоконтроль	червень 2025	виконано
8	Підготовка до захисту та захист кваліфікаційної роботи бакалавра	червень 2025	виконано

Виконавець: студент групи КН-21-2

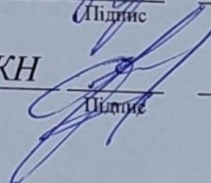
Група виконавця

  
Підпис

Олексій САС  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник: к.фіз.-мат.н., доц. каф. КН

Науковий ступінь, посада

  
Підпис

Віталій МІХАЛЕВСЬКИЙ  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

## Анотація

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Метод планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних»

Виконавець кваліфікаційної роботи бакалавра: студент групи КН-21-2 Олексій САС

Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра: к.фіз.-мат.н., доцент кафедри КН Віталій МІХАЛЕВСЬКИЙ

Кваліфікаційна робота бакалавра містить:

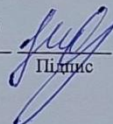
Пояснювальна записка				Кількість додатків
Сторінок	Рисунків	Таблиць	Джерел інформації	
57	16	10	43	2

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є підвищення точності процесу планування сівозміни сільськогосподарських культур. Проведено аналіз сучасних методів планування, розроблено метод планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних, інтегровано його в інформаційну систему та проведено експериментальне тестування для оцінки точності методу.

Напрямами практичного використання розробленої інформаційної системи визначено автоматизоване складання планів сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства, визначення умов і площ для посіву культур та автоматизоване прогнозування врожайності.

Ключові слова: сівозміна, сільськогосподарське підприємство, земельні ресурси, врожайність, інтелектуальний аналіз даних.

Виконавець: студент групи КН-21-2  
Група виконавця

  
Підпис

Олексій САС  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

## Зміст

Перелік скорочень .....	3
Вступ.....	4
Розділ 1 Характеристика предметної області: аналіз моделей, методів та реалізацій.....	6
1.1 Аналіз предметної області сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства.....	6
1.2 Огляд теоретичних підходів .....	8
<b>1.3 Аналіз існуючих програмних засобів та наукових рішень .....</b>	<b>9</b>
1.4 Мета та завдання кваліфікаційної роботи .....	14
Розділ 2 Розробка методу планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних .....	15
2.1 Концепція методу планування.....	15
2.2 Схема методу планування сівозміни культур .....	21
2.3 Інформаційна модель методу планування сівозміни культур.....	23
2.4 Підготовка робочих вхідних даних для системи .....	29
2.6 Спосіб оцінки точності планування сівозміни культур .....	31
2.7 Висновки до розділу 2 .....	33
Розділ 3 Програмна реалізація та експериментальне дослідження методу планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних.....	35
3.1 Структура модулів системи, їх взаємозв'язок .....	35
3.2 Засоби розробки інформаційної системи .....	37
3.3 Опис функціональних можливостей інформаційної системи .....	39
3.4 Проведення експериментів та дослідження роботи системи .....	42
3.5 Аналіз результатів досліджень застосованого методу.....	45
3.6 Висновки до розділу 3 .....	50
Загальні висновки.....	52
Перелік посилань.....	54
Додатки	

### Перелік скорочень

<b>Скорочення, термін, позначення</b>	<b>Пояснення</b>
БД	База даних
ІС	Інформаційна система
ІТ	Інформаційні технології
КРБ	Кваліфікаційна робота бакалавра
КН	Комп'ютерні науки
ПП	Програмний продукт
СКБД	Система керування базами даних
ІАД	Інтелектуальний аналіз даних
CLR	Common Language Runtime
BCL	Base Class Library
DE	Disperce Evaluation
FCL	Framework Class Library
LSA	Latent Semantic Analysis
MS	Microsoft
MFC	Microsoft Foundation Class
TF	Term Frequency
TF-IDF	Term Frequency – Inverse Document Frequency

## Вступ

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробці методу планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних.

**Актуальність теми.** Ефективне планування сівозміни є одним із ключових факторів підвищення продуктивності сільськогосподарських підприємств та збереження родючості ґрунтів. Раціональне чергування культур сприяє оптимальному використанню ґрунтових ресурсів, зменшенню ризику виснаження земель, контролю за шкідниками та хворобами, а також зниженню потреби у мінеральних добривах та засобах захисту рослин. У сучасних умовах, коли агропромисловий комплекс стикається з викликами зміни клімату, деградації ґрунтів та економічної нестабільності, використання передових методів планування сівозміни набуває особливого значення. Додаткову актуальність ця тема набуває в контексті аграрного сектору України, де значна частина сільськогосподарських земель зазнала негативного впливу військових дій, зокрема через руйнування меліоративних систем, забруднення ґрунтів важкими металами та нестачу ресурсів для відновлення продуктивності земель. Інноваційні підходи до планування сівозміни можуть допомогти мінімізувати ці ризики, покращити адаптацію підприємств до змінних умов і сприяти сталому розвитку.

Традиційні методи планування сівозміни часто базуються на емпіричних підходах і досвіді агрономів, що може бути недостатньо ефективним у складних та динамічних умовах сучасного сільського господарства. Використання засобів інтелектуального аналізу даних (Artificial Intelligence, Machine Learning, Big Data) дозволяє суттєво підвищити точність прогнозування врожайності, враховувати багатофакторні залежності між культурами та оптимізувати розподіл земельних ресурсів. Застосування сучасних методів дає змогу аналізувати великі обсяги агрономічних даних, включаючи агрохімічний склад ґрунту та його динаміку, кліматичні умови та їх зміни, рівень вологості та доступність водних ресурсів, ефективність попередніх культур у сівозміні, показники врожайності за попередні

періоди, економічні фактори (вартість насіння, добрив, прогнозовані ціни на продукцію) тощо.

Таким чином, розробка методу планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних є актуальним завданням, яке сприятиме підвищенню результативності аграрного виробництва, оптимізації використання земельних ресурсів та покращенню екологічної стійкості сільського господарства.

**Мета кваліфікаційної роботи бакалавра** полягає у підвищенні точності процесу планування сівозміни сільськогосподарських культур.

**Об'єкт дослідження** – процес планування сівозміни сільськогосподарських культур засобами інтелектуального аналізу даних.

**Предмет дослідження** – методи, засоби та технології інтелектуального аналізу даних для планування сівозміни сільськогосподарських культур.

**Завдання кваліфікаційної роботи бакалавра.** Для досягнення поставленої мети визначено наступні задачі.

1. Провести аналіз предметної області та відомих підходів до планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства.
2. Вдосконалити інформаційну модель планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства.
3. Розробити метод планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних.
4. Підготувати набори даних для їх інтелектуального аналізу в методі планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства.
5. Застосувати засоби інтелектуального аналізу даних для ефективного планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства.
6. Провести функціональне та прикладне дослідження точності запропонованого методу планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних.

## **Розділ 1 Характеристика предметної області: аналіз моделей, методів та реалізацій**

### **1.1 Аналіз предметної області сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства**

У сучасних умовах аграрного виробництва правильне планування сівозміни набуває виняткового значення для забезпечення сталого розвитку сільськогосподарських підприємств [1]. Сівозміна є однією з ключових агротехнічних заходів, що сприяє підвищенню родючості ґрунтів, зменшенню поширення хвороб і шкідників, ефективному використанню ресурсів, а також зниженню екологічного навантаження на довкілля. Зростаюча потреба у високих і стабільних урожаїв на тлі кліматичних змін, деградації ґрунтів та економічної нестабільності вимагає впровадження інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, що дозволяють оптимізувати процеси вирощування сільськогосподарських культур.

Водночас багато агропідприємств стикаються з проблемами нерационального планування посівів, що призводить до виснаження земель, зниження урожайності, погіршення якості продукції та економічних втрат [2]. Відсутність адаптивного методу планування, який враховує специфіку ґрунтово-кліматичних умов, агротехнічні вимоги культур, економічні чинники та логістику, ускладнює процес прийняття ефективних управлінських рішень.

Тому розробка методу планування сівозміни на основі сучасних наукових підходів, включно з елементами математичного моделювання, оптимізації та аналізу великих даних, є актуальним завданням, що відповідає потребам аграрного сектору. Такий метод дозволить підвищити продуктивність землеробства, мінімізувати ризики, пов'язані з одностороннім використанням ґрунтів, та забезпечити екологічно й економічно обґрунтоване управління агропроцесами.

Особливої актуальності тема набуває у зв'язку з трансформацією сільського господарства України у напрямку цифровізації та сталого землеробства, що передбачає впровадження технологій smart farming та елементів

штучного інтелекту в управління агровиробництвом. У цьому контексті метод планування сівозміни може стати ефективним інструментом у прийнятті стратегічних рішень для підвищення конкурентоспроможності сільськогосподарських підприємств.

Існує кілька підходів до побудови інформаційних моделей планування сівозміни.

1. Детерміновані моделі. Базуються на фіксованих правилах і залежностях між культурами, наприклад: недопустимість вирощування однієї й тієї самої культури на одному полі декілька років поспіль або рекомендації щодо послідовності культур для збереження родючості ґрунту [3].

2. Стохастичні моделі. Враховують випадкові фактори, такі як погодні умови або змінні економічні показники. Такі моделі будуються з використанням імовірнісних методів і дозволяють враховувати невизначеність майбутніх агрономічних умов [4].

3. Оптимізаційні моделі. Застосовуються для пошуку найкращого варіанту сівозміни з точки зору заданих критеріїв (максимізація прибутку, мінімізація деградації ґрунтів, оптимізація використання ресурсів). Використовуються методи лінійного, цілочисельного та комбінаторного програмування [5].

4. Експертні системи. Базуються на накопичених знаннях агрономів-експертів. Такі системи використовують правила продукційної логіки, нечітку логіку або бази знань для формування рекомендацій щодо сівозміни [6].

5. Інтелектуальні моделі на основі аналізу даних. Використовують сучасні методи машинного навчання, зокрема кластеризацію, регресійний аналіз та методи оптимізації на основі великих масивів агрономічних даних [7].

Кожна з наведених моделей має свої переваги й обмеження. Вибір моделі залежить від завдань, доступних даних та необхідного рівня точності планування.

У сучасних умовах інтенсивного землеробства актуальним є перехід від використання простих емпіричних правил до застосування комплексних інформаційних моделей, що враховують широкий спектр агротехнічних, біологічних та економічних факторів. Саме тому розробка ефективних

інформаційних систем планування сівозміни на базі інтелектуального аналізу даних є важливою задачею для аграрної галузі.

## 1.2 Огляд теоретичних підходів

Планування сівозміни є важливим аспектом сільськогосподарського виробництва, який забезпечує раціональне використання земельних ресурсів, підвищення врожайності культур та зниження ризиків, пов'язаних із змінами в природних умовах. Завдання планування сівозміни може бути вирішене різними теоретичними підходами, які базуються на математичних моделях, алгоритмах оптимізації та методах аналізу даних [8].

Одним із основних підходів до вирішення задачі є застосування математичних моделей, зокрема методів лінійного програмування, для оптимального розподілу сільськогосподарських культур на земельних ділянках. У таких моделях враховуються фактори, як врожайність культур, потреби у ресурсах, таких як вода, добрива, та економічні аспекти, зокрема витрати та доходи від продажу продукції [9].

Іншим підходом є використання методів оптимізації, зокрема генетичних алгоритмів та нейронних мереж. Ці методи дозволяють ефективно знаходити оптимальні рішення в умовах складних нелінійних взаємозв'язків між факторами, що впливають на сівозміну, таких як зміни клімату, коливання цін на ринку, а також специфіка ґрунтів та агротехнічних умов.

Для підтримки прийняття рішень в агрономії також використовуються експертні системи та системи підтримки прийняття рішень (СППР), які дозволяють інтегрувати досвід агрономів та агроекологів. Вони базуються на знаннях у вигляді правил або бази знань і використовують методи нечіткої логіки для оцінки відповідності культур умовам місцевості та оптимального чергування культур [10].

Сучасні підходи до планування сівозміни активно включають методи аналітики великих даних та машинного навчання. Використання цих методів

дозволяє здійснювати аналіз великих масивів агрономічних та кліматичних даних, виявляючи складні закономірності, що впливають на врожайність і економічну доцільність вирощування конкретних культур в різних умовах [11].

Застосування таких підходів дозволяє значно підвищити ефективність планування сівозміни, зменшити витрати на обробку земель і забезпечити більш стабільне та економічно вигідне сільськогосподарське виробництво, що вимагає врахування численних факторів і змінних, що взаємодіють між собою.

### 1.3 Аналіз існуючих програмних засобів та наукових рішень

У сучасному аграрному виробництві важливу роль відіграє грамотне планування сівозміни, оскільки від нього залежить родючість ґрунту, захист від хвороб та шкідників, ефективність використання ресурсів і в кінцевому підсумку – врожайність. З цією метою на ринку існує низка програмних рішень, які автоматизують процес планування сівозміни. Розглянемо три найбільш релевантні системи.

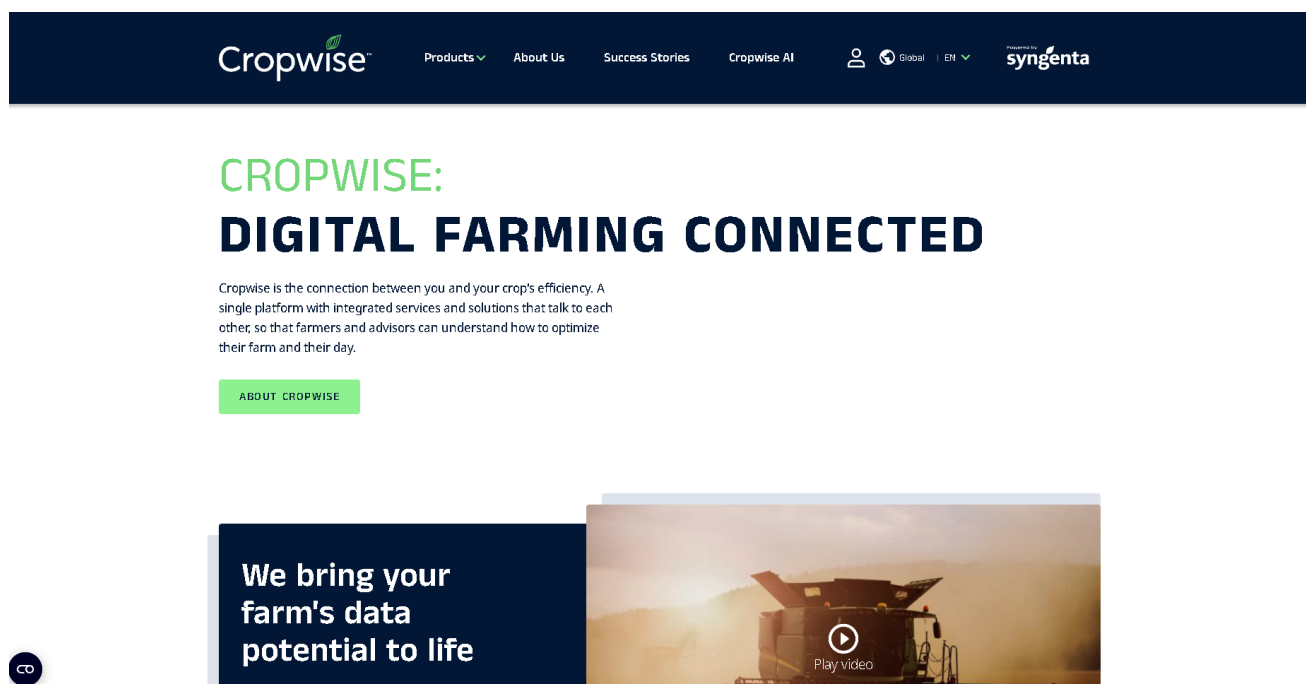


Рисунок 1.1 – Головне меню сайту Cropwise [12]

Сторwise – це міжнародна хмарна система для моніторингу та управління аграрними ресурсами. Система активно використовується в Україні як великими агрохолдингами, так і середніми господарствами. Ключові можливості наступні.

- Автоматичне відстеження культур, що вирощувались на кожному полі;
- Візуалізація сівозміни у вигляді картографічного представлення;
- Виявлення відхилень у структурі посівів;
- Зберігання агрономічної історії полів;

Вбудовані агроаналітичні модулі, включаючи аналіз супутникових знімків, NDVI-індекси тощо.

Система має простий інтерфейс, інтеграцію з GPS/ГЛОНАСС та дозволяє фермерам оптимізувати структуру сівозміни на базі об'єктивних даних. Вона менш підходить для локальних офлайн-рішень, але ідеально пасує для великих господарств із доступом до інтернету [13].



Рисунок 1.2 – Фото зі сторінки компанії у Facebook [14]

Kernel – це одна з найбільших інтегрованих аграрних компаній України, що займається комплексним циклом: від вирощування до експорту зернових та олійних культур, а також виробництва соняшникової олії.

Основні напрямки діяльності наступні.

Вирощування культур. Kernel обробляє понад 500 000 га орної землі по всій Україні, вирощуючи кукурудзу, пшеницю, сою та соняшник, з якісним врожаєм понад 3 млн тон щороку [15].

Торгівля та інфраструктура. Мережею з 28-35 елеваторів загальною потужністю близько 2,3–2,4 млн тон та приватний залізничний парк для логістики.

Експорт у портах Чорного моря. власні термінали, зокрема в Чорноморську, здатні обробляти до 8–9 млн тон продукції щорічно .

Переробка соняшнику. Володіє 7–8 маслозаводами продуктивністю 3,5 млн тон насіння на рік, експортує близько 8 % світового обсягу соняшникової олії

Торгівля олією. Реалізація у фасованому та гуртовому форматі через бренди Shchedry Dar, Stozhar, Chumak Zolota година по всьому світу Kernel більше спрямований на великий та середній бізнес – компанія інтегрує агровиробництво, логістику та переробку, підтримуючи масштабні експортерські ланцюги. Її платформи й рішення створені для партнерів та фермерів, які потребують технологічної, логістичної та ринкової підтримки. Якщо ви шукаєте інструменти для приватних фермерів, Kernel надає не індивідуальні сервіси, а системні можливості для розвитку агрохолдингу [16].

OneSoil – це безкоштовна веб-платформа, яка орієнтована на точне землеробство. Вона використовує супутникові дані та машинне навчання для виявлення культур на полях. Основні функції наступні.

- Автоматичне визначення культур на полі в поточному та попередніх роках;
- Побудова карти сівозміни на базі супутникових спостережень;
- Можливість завантаження власних даних про поля;
- Аналіз динаміки змін культур та варіанти рекомендованої ротації.

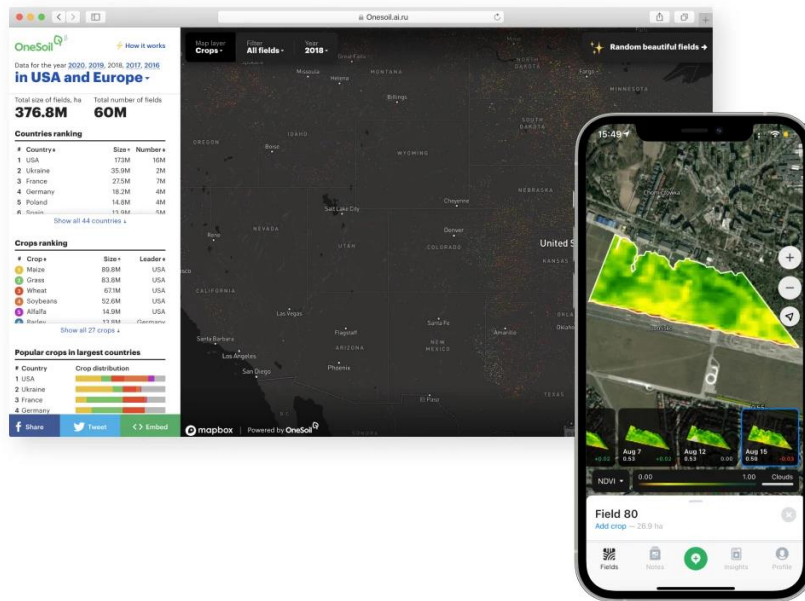


Рисунок 1.3 – Мобільна версія програми OneSoil [17]

OneSoil дозволяє легко переглядати історію вирощування культур, що надзвичайно корисно для недопущення монокультури. Вона більш підходить для приватних фермерів і невеликих господарств, де потрібен швидкий доступ до сівозмін без складного налаштування [18].

Окрім програмних рішень, активно розвиваються наукові підходи до автоматизації сівозміни з використанням методів штучного інтелекту.

У роботі Коваль Т.П., Полупан Ю.П. [19] розглядається застосування просторової кластеризації ґрунтового покриття, яка дозволяє групувати поля за подібними агровиробничими характеристиками. Це створює основу для диференційованого підходу до сівозміни відповідно до ґрунтово-кліматичних умов та знижує ризик деградації ґрунтів.

У публікації Марченко Т.Ю., Лавриненко Ю.О., Забара П.П., Іванів М.О. [20] досліджено змінність ознаки “кількість качанів на рослині” у гібридів кукурудзи в умовах зрошення. Отримані результати можуть бути інтегровані в моделі сівозміни для підвищення точності ротації культур із фокусом на стійкість та адаптацію до агрокліматичних умов. У роботі Вожегова Р.А. [21] представлено методичні рекомендації щодо розвитку інтенсивних систем землеробства на зрошуваних землях України. Вони базуються на багатокритеріальних підходах,

включаючи елементи оптимізації, подібні до генетичних алгоритмів. Це дозволяє враховувати одночасно економічну доцільність, родючість ґрунтів і екологічні обмеження при плануванні сівозміни.

Закордонні дослідники також активно впроваджують сучасні методи машинного навчання у аграрну аналітику. Наприклад, Zhang et al. [22] запропонували комбіновану модель LSTM + Random Forest для прогнозування врожайності кукурудзи в умовах змінного клімату.

У роботі Liu et al. [23] доведено, що використання погодних індексів та сівозмінних обмежень у нейромережах дозволяє збільшити довгострокову ефективність планування. Maksimovich et al. [24] у статті «Application of machine learning methods for crop rotation selection in organic farming system» показали, що CART і Random Forest ефективні в підборі схем сівозміни, здатних підтримувати стабільну врожайність навіть у посушливих умовах.

Аналіз сучасних програмних засобів та наукових досліджень свідчить про активний розвиток цифрових технологій і методів штучного інтелекту в сфері планування сівозміни. Такі платформи, як Storwise і OneSoil, демонструють ефективність інтеграції супутникових даних, GPS-навігації та аналітичних інструментів для автоматизації прийняття аграрних рішень. Водночас, системи, які впроваджуються великими агрохолдингами (зокрема, Kernel), підкреслюють стратегічну роль комплексного підходу до агровиробництва, логістики та торгівлі.

У науковій площині спостерігається тенденція до використання математичних моделей, кластерного аналізу, методів машинного навчання та нейромереж для підвищення адаптивності сівозмін до змінних агрокліматичних умов. Роботи як вітчизняних, так і зарубіжних дослідників підтверджують, що поєднання ґрунтово-кліматичних даних, історії полів і алгоритмів оптимізації дає змогу сформуванню більш сталої, екологічно безпечної та економічно доцільної системи ротації культур.

Таким чином, інтеграція практичних цифрових рішень із теоретичними науковими підходами створює потужне підґрунтя для розробки ефективних і масштабованих систем автоматизованого планування сівозміни.

## 1.4 Мета та завдання кваліфікаційної роботи

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення точності процесу планування сівозміни сільськогосподарських культур. Повний опис предметної області, а саме: облік та характеристики сільськогосподарських культур, множини метеорологічних даних та ґрунтів, параметри залежності для сівозміни тощо, передбачено вхідними даними.

Для досягнення мети роботи необхідно реалізувати виконання наступних задач.

1. Провести аналіз предметної області та відомих підходів до планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства.
2. Вдосконалити інформаційну модель планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства.
3. Розробити метод планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних.
4. Підготувати набори даних для їх інтелектуального аналізу в методі планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства.
5. Застосувати засоби інтелектуального аналізу даних для ефективного планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства.
6. Провести функціональне та прикладне дослідження точності запропонованого методу планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних.

## Розділ 2 Розробка методу планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних

### 2.1 Концепція методу планування

Планування сівозміни сільськогосподарських культур є складним завданням, яке включає врахування численних змінних, таких як метеорологічні умови, характеристики ґрунтів, вимоги до наступності культур тощо.



Рисунок 2.1 – Концепція методу планування сівозміни культур

Планування сівозміни є важливою складовою агровиробництва, оскільки правильне чергування культур забезпечує збереження родючості ґрунтів, зниження фітосанітарного навантаження та підвищення економічної ефективності господарства. З огляду на складність сучасних агросистем, виникає потреба у використанні методів, здатних враховувати численні змінні: властивості полів, агротехнічні обмеження, ринкові фактори, кліматичні умови та історію сівозмін.

Метою запропонованого методу є формування адаптивного та економічно обґрунтованого плану сівозміни на основі інтелектуального аналізу аграрних даних та математичних методів оптимізації.

Метод базується на поєднанні лінійного програмування (Linear Programming, LP) з інструментами інтелектуального аналізу даних (ІАД). Такий підхід дозволяє:

- точно враховувати обмеження й агрономічні правила (чергування культур, несумісність, агротехнічні паузи);
- адаптувати план під умови конкретного господарства на основі історичних та поточних даних;
- враховувати економічні показники (врожайність, ціна, витрати);
- пропонувати альтернативні сценарії за різними критеріями.

Основні етапи концепції методу включають:

1. Збір і підготовка агрономічних даних. Збираються історичні дані про врожайність культур, властивості ґрунтів, клімат, сівозміни попередніх років та економічні показники.
2. Попередня обробка даних (ІАД). Застосовується класифікація полів за агрономічними характеристиками (через алгоритми кластеризації), прогнозуються очікувані врожаї і витрати за допомогою регресійних моделей.
3. Формалізація агрономічних знань. Використовується експертна система, яка зберігає правила сівозміни у вигляді умов типу IF–THEN і перевіряє допустимість варіантів на основі логічного виведення.
4. Оптимізаційне планування (лінійне програмування). На основі зібраних і оброблених даних будується задача LP, яка шукає оптимальне

поєднання культур у просторі (по полях) і часі (по сезонах) з урахуванням агрономічних та економічних обмежень.

5. Оцінка й генерація альтернатив. Система формує кілька планів сівозміни на вибір, з поясненнями, що саме враховано при формуванні кожного з них.

6. Візуалізація та взаємодія з користувачем. Результати представлені у зрозумілій формі для агронома — із поясненням логіки вибору культур, вартості та очікуваної врожайності.

Використання ІАД у методі:

- Кластеризація полів дозволяє персоналізувати правила сівозміни.
- Прогнозування врожайності та витрат покращує економічну обґрунтованість плану.
- Експертна база знань гарантує агрономічну коректність.
- Аналіз чутливості дозволяє адаптувати модель до змін ринку або погодних умов.

Таким чином, концепція методу поєднує структурованість математичної моделі з гнучкістю системи ІАД. Це дозволяє створити рішення, яке є не лише агрономічно правильним, але й оптимізованим з точки зору прибутковості та стабільності у довгостроковому управлінні сівозміною.

Покращення методу планування сівозміни культур полягає у поєднанні класичних агрономічних принципів з сучасними засобами інтелектуального аналізу даних (ІАД) для підвищення адаптивності, точності та економічної ефективності прийнятих рішень. Такий підхід дозволяє враховувати не лише агротехнічні правила, а й динамічні фактори: зміни клімату, стан ґрунтів, історію вирощування культур та економічну кон'юнктуру.

Удосконалення реалізовано через наступні ключові напрями:

1. Формалізація планування як задачі дискретної оптимізації.

Метод базується на формалізації плану сівозміни у вигляді математичної моделі, яка враховує агротехнічні, економічні та фітосанітарні обмеження. Така модель дозволяє не лише перевірити доцільність певної послідовності культур, а

й знаходити оптимальні комбінації для кожного поля. При цьому використовується підхід цілочисельного лінійного програмування (ILP), реалізований за допомогою бібліотеки Accord.NET.

## 2. Інтеграція експертних правил.

До моделі інтегровано експертну систему, яка базується на знаннях агрономів у вигляді правил типу IF–THEN (наприклад, "якщо минулого сезону вирощувалась кукурудза, не рекомендується сіяти пшеницю через ризик хвороб"). Ці правила задаються як логічні обмеження у системі та впливають на вибір допустимих культур у кожному полі.

## 3. Застосування ІАД на етапах аналізу та прийняття рішень.

Засоби інтелектуального аналізу даних використовуються на кількох рівнях:

- Кластеризація полів. Поля об'єднуються в групи за подібними характеристиками (тип ґрунту, кислотність, врожайність у минулі сезони), що дозволяє адаптувати правила планування для кожного кластеру.

- Аналіз історичних агроданих. Система вивчає залежність врожайності культур від типів ґрунтів, попередників та погодних умов на основі минулих даних, що дозволяє прогнозувати результативність майбутніх сівозмін.

- Прогнозування економічної ефективності. ІАД дозволяє оцінювати очікуваний прибуток від вирощування певної культури на конкретному полі з урахуванням цін, витрат і ризиків.

## 4. Генерація альтернативних сценаріїв.

На основі моделі система формує декілька варіантів сівозміни, кожен з яких має свої переваги (наприклад, вища економічна вигода, нижчий ризик фітосанітарних проблем або менші витрати). Користувач отримує пояснення до кожного варіанту, що підвищує прозорість і обґрунтованість рішень.

## 6. Адаптація до змін умов.

На відміну від статичних планів, запропонований метод враховує поточні агрокліматичні умови та дає змогу оперативно коригувати план у разі зміни погодних прогнозів, ринкових цін або появи нових культур у сівозміні.

## 7. Технологічна реалізація.

Система реалізована мовою C# у середовищі Visual Studio з використанням:

- Windows Forms – для побудови інтерфейсу;
- Accord.NET – для математичного моделювання;
- PdfSharpCore – для експорту результатів.

Застосування описаних підходів дозволяє формувати обґрунтовані, адаптивні та економічно вигідні плани сівозміни, що базуються як на агрономічному досвіді, так і на аналізі великих обсягів даних. Таким чином, вдосконалений метод забезпечує перехід до data-driven управління у сільському господарстві.

Інтелектуальний аналіз даних (ІАД) у задачі планування сівозміни передбачає поєднання методів машинного навчання, агрономічних знань і алгоритмів оптимізації для формування ефективних багаторічних планів вирощування культур. Метод враховує історичні дані про сівозміну, погодні умови, стан ґрунту, очікувану врожайність і економічні показники з метою підвищення рентабельності, родючості ґрунтів і зниження агроекологічних ризиків.

Для прогнозування урожайності використовуємо метод LSTM (Long Short-Term Memory) — рекурентна нейронна мережа для часових рядів.

Ознаками виступають кліматичні умови, попередники культур, індекс NDVI, хімічний склад ґрунту.

В результаті маємо: очікувана врожайність для кожної культури на заданому полі в заданому році з довірчим інтервалом.

Для оцінки ризиків і агрономічних обмежень використовуємо логічні правила й нечіткі моделі (Fuzzy Logic) для визначення:

- ризику поширення хвороб у разі порушення сівозміни;
- зниження родючості при монокультурі;
- негативних наслідків незбалансованого чергування культур.

В результаті видаються числові штрафи (penalty scores) за недотримання оптимальної послідовності культур.

Цільова функція подається так:

$$\text{Maximize } \sum_i (\text{Очікуваний прибуток}_i - \text{Штраф}_i - \text{Ризик}_i,$$

де  $i$  — комбінація "поле-рік-культура".

Обмеження: мінімальний інтервал між однаковими культурами, агрономічна сумісність, зміна родин рослин, регіональні рекомендації.

Формування сівозмінного плану має наступні кроки.

- Виведення рекомендованих культур на кожне поле по роках;
- Візуалізація у вигляді таблиці або діаграми Ганта;
- Позначення ризиків, відхилень від правил і альтернатив.

Архітектура реалізації методу записано в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Архітектура методу

Компонент	Опис
Модуль збору даних	імпортує дані з CSV, API, баз ERP, IoT
Feature Engineering	генерує ознаки для прогнозних моделей
Прогнозна модель	LSTM, навчена на історичних врожаях
Агрономічна база знань	логіка сівозміни (чергування, перерви, родини)
Оптимізатор	GA, який максимізує дохід і мінімізує ризик
Інтерфейс	веб-додаток для агронома/менеджера господарства

Переваги запропонованого методу полягають у комплексності (поєднання прогнозування, логічних обмежень, оцінки тощо), адаптивності (враховує змінні погодні умови та ґрунтові характеристики), економічній доцільності (орієнтованість на прибуток і сталий розвиток), масштабованості (може застосовуватись як для окремих полів, так і для великих господарств).

Засоби інтелектуального аналізу даних для планування сівозміни культур забезпечують обґрунтований вибір культур у просторі та часі, опираючись на аналіз історичних даних, агрономічні обмеження та прогнозні моделі. Це дозволяє не лише підвищити урожайність, а й довгостроково зберігати родючість ґрунтів, знижуючи вплив людського чинника на прийняття аграрних рішень.

## **2.2 Схема методу планування сівозміни культур**

Система планування сівозміни культур, побудована на основі математичного моделювання та інтелектуального аналізу даних, реалізує комплексний підхід до створення оптимального сівозмінного плану. На рисунку 2.2 представлено послідовну структуру етапів реалізації методу, починаючи з обробки вхідних агрономічних даних і завершуючи формуванням остаточного плану сівозміни з урахуванням економічних, агротехнічних та екологічних факторів.

На рисунку 2.2 наведено послідовну структуру процесу, яка охоплює п'ять основних етапів – від збору й обробки даних до валідації результатів і формування остаточного плану сівозміни.

### **Етап 1. Генерація та обробка даних**

Цей етап включає перетворення форматів, очищення даних від шумів, аномалій та пропущених значень, нормалізацію показників і класифікацію полів за агрономічними характеристиками.

### **Етап 2. Формування знань**

Здійснюється витяг правил сівозміни з бази знань експертної системи, формуються логічні обмеження типу IF–THEN, виконується агрегація історичних даних урожайності та витрат.

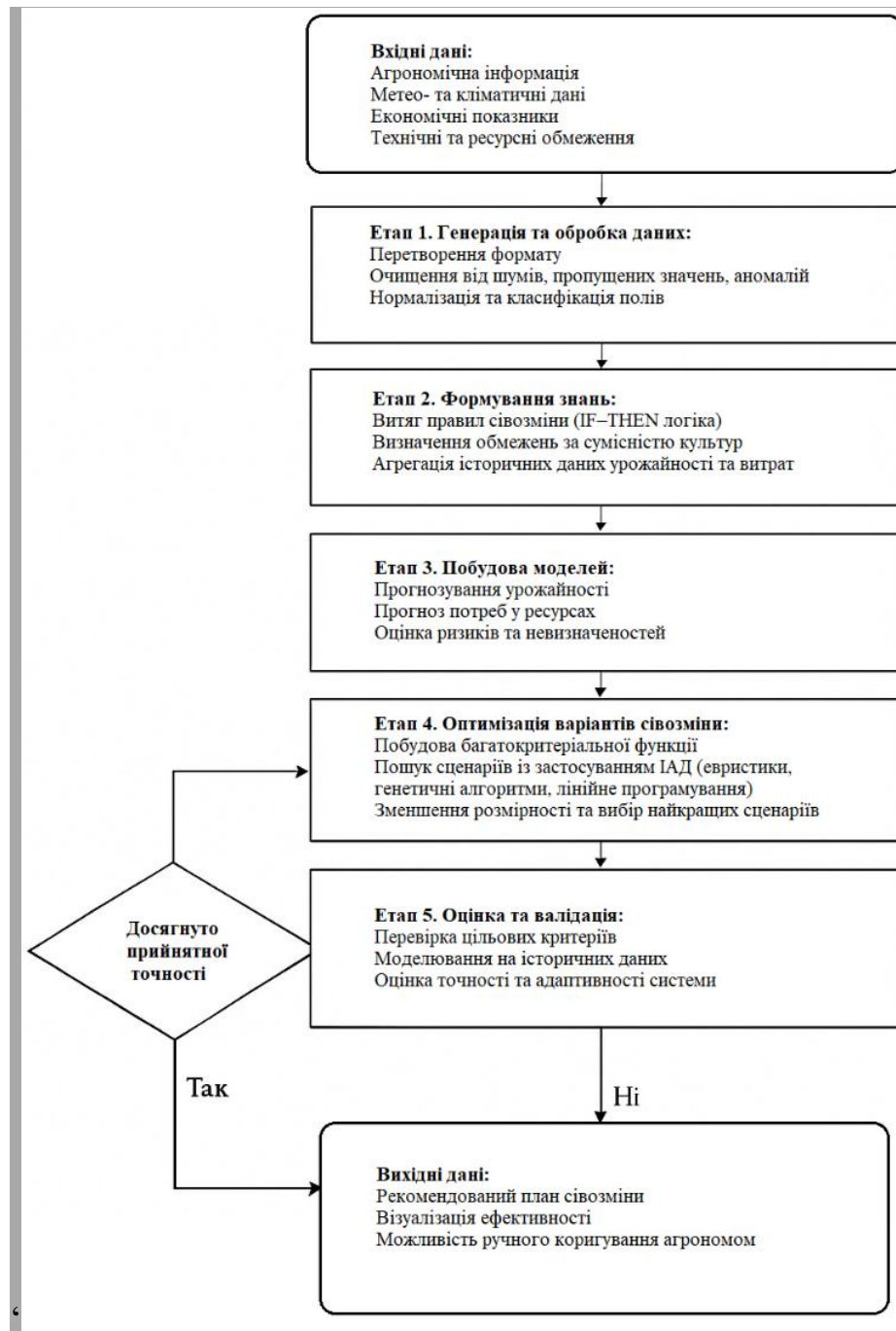


Рисунок 2.2 – Схема методу планування сівозміни культур

### Етап 3. Побудова моделей

На цьому етапі реалізується прогнозування врожайності, оцінка потреб у ресурсах та ризиків, пов'язаних із нестабільністю кліматичних або ринкових умов.

### Етап 4. Оптимізація варіантів сівозміни

Використовується багатокритеріальна функція для пошуку найкращих сценаріїв сівозміни із застосуванням ІАД – евристичних методів, генетичних

алгоритмів або цілочисельного лінійного програмування. Здійснюється зменшення розмірності простору рішень.

#### Етап 5. Оцінка та валідація

Виконується перевірка моделі на історичних даних, розраховується точність і адаптивність до змінних умов. Якщо результати відповідають прийнятним критеріям – формується вихідний план.

Якщо досягнуто прийнятної точності – система формує вихідні дані, до яких належать рекомендований план сівозміни, візуалізація ефективності та можливість ручного коригування агрономом.

Цей підхід забезпечує чітку структурування процесу, адаптивність до нових агрономічних умов, а також прозорість прийнятих рішень, що важливо для агропідприємств у мінливих економічних і кліматичних умовах. Найкращий сценарій експортується у вигляді таблиць або графіків, з можливістю редагування агрономом.

Запропонована схема дозволяє чітко структурувати процес прийняття рішень у сільськогосподарському плануванні. Вона забезпечує прозорість, гнучкість і адаптивність системи, що є критично важливим в умовах змін клімату, ринку та агротехнічних умов.

### **2.3 Інформаційна модель методу планування сівозміни культур**

Інформаційна модель є формалізованим представленням знань про об'єкти предметної області, їхні характеристики, зв'язки та процеси, які відбуваються в системі планування сівозміни. Вона необхідна для того, щоб забезпечити повноцінне функціонування інформаційної системи та інтеграцію методу інтелектуального аналізу даних у процес прийняття рішень. Сама модель зображена на рисунку 2.3.

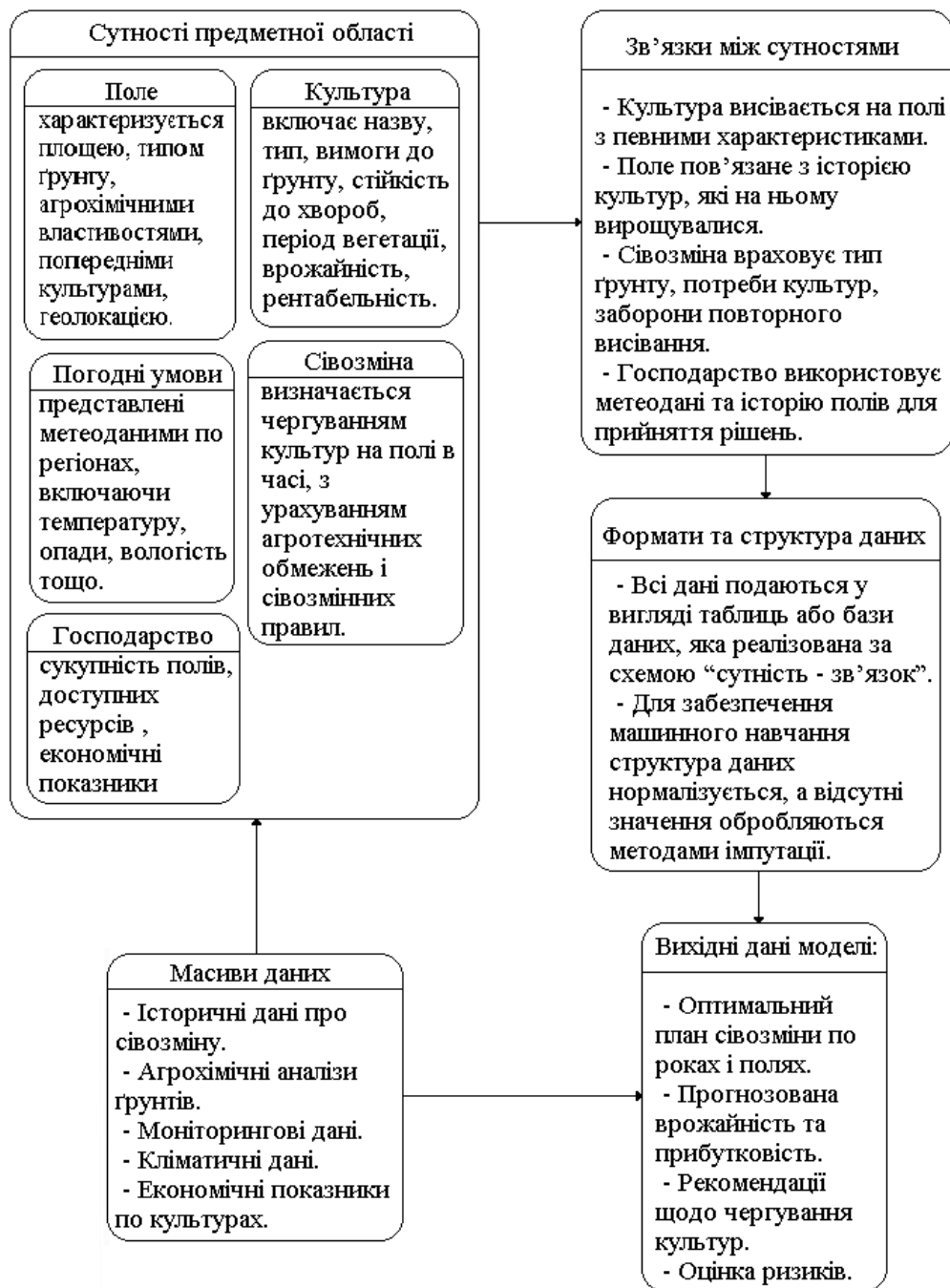


Рисунок 2.3 – Інформаційна модель методу планування сівозміни

Інформаційна модель методу планування сівозміни базується на таких ключових компонентах:

1. Сутності предметної області:

- Поле – характеризується площею, типом ґрунту, агрохімічними властивостями, попередніми культурами, геолокацією.
- Культура – включає назву, тип (зернова, технічна, бобова тощо), вимоги

до ґрунту, стійкість до хвороб, період вегетації, врожайність, рентабельність.

– Сівозміна – визначається чергуванням культур на полі в часі, з урахуванням агротехнічних обмежень і сівозмінних правил.

– Погодні умови – представлені метеоданими по регіонах, включаючи температуру, опади, вологість тощо.

– Господарство – сукупність полів, доступних ресурсів (техніка, добрива, насіння), економічні показники (витрати, прибуток).

## 2. Зв'язки між сутностями:

– Культура висівається на полі з певними характеристиками.

– Поле пов'язане з історією культур, які на ньому вирощувалися.

– Сівозміна враховує тип ґрунту, потреби культур, заборони повторного висівання.

– Господарство використовує метеодані та історію полів для прийняття рішень.

## 3. Масиви даних:

– Історичні дані про сівозміну (за 3–5 років);

– Агрохімічні аналізи ґрунтів;

– Дані супутникового моніторингу (NDVI, знімки, вологоємність);

– Кліматичні дані (архів і прогноз);

– Економічні показники по культурах.

– Формати та структура даних:

– Всі дані подаються у вигляді таблиць або бази даних, яка реалізована за схемою “сутність–зв'язок”.

– Для забезпечення машинного навчання структура даних нормалізується, а відсутні значення обробляються методами імпутації.

## 4. Вихідні дані моделі:

– Оптимальний план сівозміни по роках і полях.

– Прогнозована врожайність та прибутковість.

– Рекомендації щодо чергування культур.

– Оцінка ризиків (економічних, агрономічних).

Вихідними вимогами до інформаційної моделі є:

- *Повнота агрономічних характеристик* – модель повинна враховувати ґрунтово-кліматичні умови, технологічні обмеження та біологічні властивості культур.
- *Багатошаровість* часових зрізів – підтримка історичних даних щонайменше за 5 років для прогнозування наслідків сівозміни.
- *Модульність* – можливість розширення новими джерелами даних (сенсори IoT, супутникові знімки).
- *Сумісність із системою ухвалення рішень* – збереження результатів у форматі, зрозумілому для оптимізаційного модуля (генетичний алгоритм / MILP) та клієнтського інтерфейсу.

Характеристики концептуальної моделі (ER-рівень) подамо в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Концептуальна модель методу планування

Сутність	Ключові атрибути	Опис
Field	FieldID (PK), Name, Area, SoilTypeID, Location	Окрема ділянка господарства
SoilType	SoilTypeID (PK), pH, Humus, Texture, Drainage	Узагальнені властивості ґрунту
Crop	CropID (PK), Name, Family, NutrientDemand(N,P,K), DiseaseRisk, GrowthPeriod	Культура для вирощування
CropSeason	SeasonID (PK), FieldID (FK), CropID (FK), Year, SowingDate, HarvestDate, YieldFact	Факт вирощування культури на полі у визначений рік
RotationRule	RuleID (PK), AntecedentCropID (FK), ConsequentCropID (FK), MinGapYears, PenaltyScore	Обмеження/бажані послідовності культур
WeatherDaily	Date (PK), Location, Tavg, Ptot, Insolation	Метеодані (джерело — метеостанції/API)

В моделі встановлено наступні зв'язки:

- Field 1–∞ CropSeason – поле може містити кілька сезонів.
- Field 1–1 SoilType – для спрощення аналізу.
- Crop 1–∞ CropSeason – культура може висіватись на багатьох полях і роках.
- Crop 1–∞ RotationRule (Antecedent / Consequent) – правила описують послідовності.
- Field 1–∞ SensorReading – сенсорні дані прив'язані до поля.
- Field 1–∞ RotationPlan – на одне поле формуються плани на кілька років уперед.

Логічна модель (ретельно нормалізовані таблиці) виглядає так:

1. fields(field\_id PK, name, area\_ha, soil\_type\_id FK, lat, lon)
2. soil\_types(soil\_type\_id PK, pH, humus\_pct, texture\_class, drainage\_class)
3. crops(crop\_id PK, name\_uk, botanical\_family, n\_need, p\_need, k\_need, disease\_risk\_idx, growth\_days)
4. crop\_seasons(season\_id PK, field\_id FK, crop\_id FK, year, sowing\_date, harvest\_date, yield\_fact\_t\_ha)
5. rotation\_rules(rule\_id PK, antecedent\_crop\_id FK, consequent\_crop\_id FK, min\_gap\_years, penalty\_score)
6. weather\_daily(date PK, location\_code, t\_avg\_c, precipitation\_mm, insolation\_mj\_m2)
7. sensor\_readings(reading\_id PK, field\_id FK, ts, soil\_moist\_pct, soil\_temp\_c, ndvi)
8. rotation\_plans(plan\_id PK, field\_id FK, crop\_id FK, year, exp\_yield\_t\_ha, exp\_income\_uah, risk\_score, status ENUM('draft', 'approved', 'implemented'))

Об'єкти передачі даних (DTO) між сервісами занесено в таблицю 2.3:

Таблиця 2.3 – Об'єкти передачі даних

DTO	Поля	Призначення
FieldDTO	field_id, area_ha, soil_class	Відображається у мобільному додатку агронома
CropForecastDTO	field_id, crop_id, year, yield_pred, ci95_low, ci95_high	Результат LSTM-моделі
RotationSuggestionDTO	field_id, year, crop_id, profit, risk	Пропозиція, що передається в UI

Якість даних забезпечується наступним чином.

- Валідація при імпорті ( $\sigma \Rightarrow \text{soil\_moist\_pct} \in [0;100]$ ,  $\text{pH} \in [3.5;9.0]$ )
- Версіонування (crop\_seasons\_rev) для збереження історії редагувань агрономом.
- Monitoring & Alerts – Dash-борд показників пропусків та аномалій у щоденних даних.

Взаємодія з користувачем розбивається на кілька кроків.

*Крок 1:* агроном у веб-інтерфейсі обирає набір полів і горизонт планування (3-5 років).

*Крок 2:* система викликає ML Pipelines, формує RotationPlan та повертає користувачу список альтернатив із KPIs (прибуток, відновлення родючості, ризик хвороб).

*Крок 3:* після затвердження плану - статус approved, дані синхронізуються в ERP для закупівлі насіння та добрив.

Інформаційна модель узгоджує агрономічні, економічні та погодні дані в єдиному репозиторії, що забезпечує:

- Швидкий доступ до історії сівозмін та актуальних сенсорних показників;
- Безшовне підключення ІАД-модулів для прогнозів і оптимізації;
- Масштабованість (додавання нових культур, полів, алгоритмів) без зміни базової схеми;
- Прозорість рішень – усі припущення (правила чергування, показники ризику) зберігаються та можуть бути аудовані.

Таким чином, модель є фундаментом для програмної реалізації та подальших експериментів.

## **2.4 Підготовка робочих вхідних даних для системи**

Ефективне функціонування системи планування сівозміни культур на основі інтелектуального аналізу даних неможливе без якісної підготовки вхідних даних. Від правильності, повноти та актуальності вхідної інформації залежить точність побудови моделей, коректність рекомендацій і загальний успіх аграрного планування. Підготовка даних включає кілька етапів: збирання, очищення, нормалізацію, інтеграцію та перетворення даних.

Основні джерела вхідних даних є наступними.

### **1. Агрономічні дані:**

- Попередники (історія вирощування культур на кожному полі)
- Типи культур, строки сівби та збору
- Урожайність по роках
- Дотримання агротехнічних норм

### **2. Ґрунтово-кліматичні дані:**

- Тип і характеристика ґрунтів (рівень рН, вміст гумусу, щільність тощо)
- Вологість, ерозійна чутливість
- Дані про клімат (температура, кількість опадів, сонячна активність)

### 3. Економічні показники:

- Собівартість вирощування кожної культури
- Ринкова ціна на продукцію
- Витрати на добрива, паливо, обробку

### 4. Геопросторові дані (GIS):

- Положення та площа полів
- Розподіл по сітці (векторні або растрові дані)
- Доступ до води, транспортна доступність

### 5. Ресурсні обмеження:

- Наявність техніки
- Кількість персоналу
- Можливості зрошення

#### Етапи підготовки даних:

1. Збирання та агрегація. Дані збираються з різних джерел: агрономічні журнали, супутникові знімки, кліматичні бази даних, управлінські документи підприємства.

2. Очищення даних. Включає видалення дублікатів, заповнення пропущених значень, виправлення помилок введення (наприклад, хибні одиниці виміру або нереальні значення врожайності).

3. Перетворення даних. Стандартизація одиниць виміру, категоризація числових показників (наприклад, «висока», «середня», «низька» кислотність), кодування категоріальних ознак для машинного навчання.

4. Нормалізація та масштабування. Необхідно для методів аналізу, чутливих до масштабу даних (наприклад, при кластеризації чи нейронних мережах).

5. Інтеграція даних. Об'єднання даних у єдину структуру (таблиці, бази даних, JSON-структури), з урахуванням первинних ключів – ідентифікаторів полів, культур або сезонів.

6. Валідація. Перевірка логічної узгодженості даних: наприклад, неможливість вирощування двох культур на одному полі в той самий сезон або відсутність врожаю при вказаній площі посіву.

Зразки підготовлених даних зображено на таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Зразки підготовлених даних

<b>ID_Поля</b>	<b>Рік</b>	<b>Культура</b>	<b>Урожай-ність</b>	<b>Тип ґрунту</b>	<b>pH</b>	<b>Опа-ди</b>	<b>Вар-тість</b>
P001	2023	Пшениця	5.4	Чорнозем	6.8	480	4500
P001	2022	Кукурудза	7.2	Чорнозем	6.9	510	5000

Такий формат дозволяє легко використовувати дані в системах машинного навчання, таблицях аналізу або GIS-платформах.

## 2.6 Спосіб оцінки точності планування сівозміни культур

Оцінка якості впровадженого методу планування сівозміни передбачає визначення його спроможності досягати поставлених цілей: оптимізації виробничих рішень, підвищення точності прогнозування, забезпечення агроекологічної рівноваги та ефективного використання ресурсів. Замість оцінки кінцевих економічних результатів, аналіз фокусується на результативності самого методу як інструменту управління.

Основні критерії оцінки методу:

### 1. Прогнозна точність

– Відхилення між прогнозованими та фактичними показниками врожайності (%).

– Точність оцінки потреб у ресурсах (добрива, вода, техніка) на основі плану.

– Середня абсолютна похибка моделі (MAPE), кореляція між розрахованими та реальними даними.

## 2. Адаптивність методу

- Час реакції системи на зміну вхідних параметрів (наприклад, метеоумови, ринкові ціни).
- Гнучкість алгоритму: можливість врахування нових критеріїв без зміни структури.
- Кількість успішно адаптованих сценаріїв у симуляціях (%).

## 3. Інтегративність

- Рівень інтеграції з іншими системами (управління технікою, агрохімічний моніторинг, ERP).
- Сумісність із просторовими даними (GIS), історичними агроданими, ВІ-системами.
- Частка процесів, які автоматизовано за допомогою методу (%).

## 4. Користувацька ефективність

- Час, необхідний агроному/менеджеру для роботи з системою (навчання, прийняття рішення).
- Кількість змін у плані, внесених вручну після автоматичної генерації (показник довіри до методу).
- Рівень задоволеності користувачів (за результатами опитування).

Методи оцінки точності методу:

1. Порівняльний аналіз результатів. Порівнюється робота системи з альтернативними методами (ручне планування, шаблонні підходи). Аналізуються точність, гнучкість, час розрахунку, кількість конфліктів або помилок у плані.

2. Моделювання на історичних даних. Тестування методу на реальних даних за попередні роки з перевіркою, чи міг би метод поліпшити планування у минулому (ретроспективне тестування).

3. Інтегральна оцінка точності методу. Обчислення комбінованого індексу, наприклад:

$$I_{\text{метод}} = w_1 * T_{\text{прогноз}} + w_2 * T_{\text{оптим}} + w_3 * T_{\text{корист}}$$

де  $T_{\text{прогноз}}$  – точність прогнозу,  $T_{\text{оптим}}$  – ефективність оптимізації,  $T_{\text{корист}}$  – оцінка зручності використання,  $w_i$  – вагові коефіцієнти за пріоритетністю цілей.

4. Експертна валідація. Проведення опитування серед фахівців (агрономів, інженерів, економістів) щодо якості рішень, які формує метод, та оцінка його практичної доцільності.

Запропонований підхід до оцінки точності методу планування сівозміни дозволяє комплексно охопити як технічні, так і практичні аспекти його застосування. Замість обмеженого аналізу кінцевих аграрних результатів, наголос зроблено на внутрішній якості методу: точності прогнозів, адаптивності до змін, здатності знаходити оптимальні рішення в умовах численних обмежень, зручності використання та рівні інтеграції в загальну систему управління агропідприємством. Використання кількісних метрик, ретроспективного моделювання, порівняльного аналізу та експертної валідації створює збалансовану систему контролю якості.

## **2.7 Висновки до розділу 2**

У цьому розділі було здійснено обґрунтування методології інтелектуального планування сівозміни, яке базується на сучасних підходах до аналізу агровиробничих процесів та застосуванні інформаційних технологій у сільському господарстві. Проведено аналіз чинників, що впливають на ефективність сівозміни, зокрема агроекологічних, економічних та технологічних аспектів. Визначено, що порушення принципів сівозміни призводить до деградації ґрунтів, зниження врожайності та економічної нестабільності аграрних підприємств. У результаті було сформульовано необхідність комплексного підходу до планування сівозмін із використанням цифрових інструментів.

Охарактеризовано сучасні підходи до автоматизованого планування сівозміни. Розглянуто існуючі системи, їхні обмеження та можливості. Аналіз показав, що більшість рішень не забезпечують повної адаптації до локальних умов господарства, не враховують багатofакторність аграрного середовища та слабо інтегрують інтелектуальні компоненти, що й стало мотивацією для подальшої розробки власного методу. Здійснено огляд моделей прийняття рішень у сфері

сівозміни – від експертних систем до сучасних методів на основі штучного інтелекту. Показано, що ефективні системи мають поєднувати як формалізовані правила (експертні знання), так і алгоритми машинного навчання, які дозволяють адаптуватися до змін зовнішнього середовища, навчатись на основі історичних даних та формувати прогнози. Також обґрунтовано вимоги до майбутньої інтелектуальної системи планування сівозміни. Визначено, що така система має бути гнучкою, масштабованою, забезпечувати підтримку багатокритеріального аналізу, враховувати агротехнічні цикли, технологічні обмеження, потреби в сівозміні культур, а також економічні показники. Сформульовано функціональні та нефункціональні вимоги до системи. Наведено логічну структуру знань для інтелектуального аналізу сівозміни. Побудовано ієрархію сутностей, які формують інформаційне представлення: від господарства до окремих полів, культур і агротехнічних операцій. Це дозволяє здійснювати формалізовану обробку даних, що є критично важливим для підтримки прийняття рішень.

Запропоновано функціональну схему методу інтелектуального планування сівозміни, яка передбачає: збір вхідних даних, попередню обробку, аналіз поточного стану, формування варіантів сівозміни на основі правил та алгоритмів оптимізації, оцінку та візуалізацію результатів для користувача. Схема є універсальною та може бути адаптована під різні масштаби господарств.

## Розділ 3 Програмна реалізація та експериментальне дослідження методу планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних

### 3.1 Структура модулів системи, їх взаємозв'язок

Розроблена інформаційна система реалізує метод планування сівозміни культур із застосуванням елементів інтелектуального аналізу даних. Структурно система побудована у вигляді декількох логічно пов'язаних модулів, кожен з яких виконує специфічну функцію в процесі планування (рисунок 3.1).

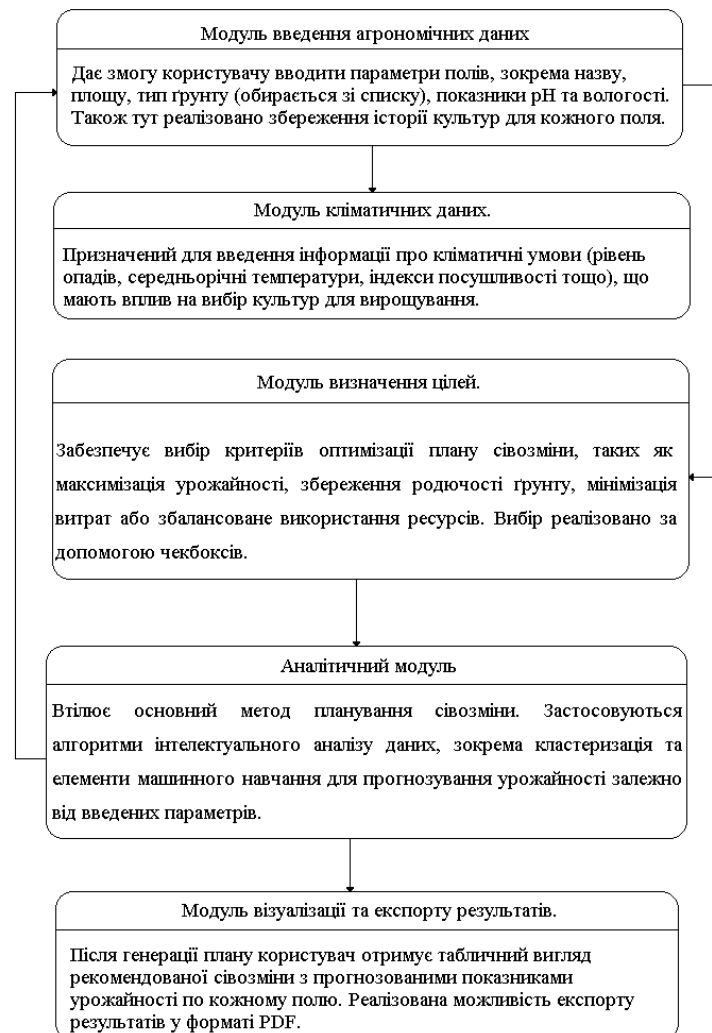


Рисунок 3.1 – Основні модулі системи

Опишемо основні модулі системи.

*Модуль введення агрономічних даних.* Дає змогу користувачу вводити параметри полів, зокрема назву, площу, тип ґрунту (обирається зі списку), показники рН та вологості. Також тут реалізовано збереження історії культур для кожного поля.

*Модуль кліматичних даних.* Призначений для введення інформації про кліматичні умови (рівень опадів, середньорічні температури, індекси посушливості тощо), що мають вплив на вибір культур для вирощування.

*Модуль визначення цілей.* Забезпечує вибір критеріїв оптимізації плану сівозміни, таких як: максимізація урожайності, збереження родючості ґрунту, мінімізація витрат або збалансоване використання ресурсів. Вибір реалізовано за допомогою чекбоксів.

*Аналітичний модуль (ядро системи).* Втілює основний метод планування сівозміни. Застосовуються алгоритми інтелектуального аналізу даних, зокрема кластеризація та елементи машинного навчання для прогнозування урожайності залежно від введених параметрів.

*Модуль візуалізації та експорту результатів.* Після генерації плану користувач отримує табличний вигляд рекомендованої сівозміни з прогнозованими показниками урожайності по кожному полю. Реалізована можливість експорту результатів у форматі PDF.

#### **Взаємозв'язок модулів наступний.**

Усі модулі працюють у послідовній логіці згідно з основним сценарієм взаємодії користувача:

1. Запуск програми – головне меню.
2. Додавання поля з усіма агрономічними характеристиками.
3. Введення кліматичних умов.
4. Визначення цілей оптимізації.
5. Запуск генерації плану сівозміни.
6. Отримання результатів з можливістю збереження.

Модулі взаємодіють через внутрішні API-виклики [37], що дозволяє масштабувати систему, наприклад, додавати підтримку баз даних або модулів

інтеграції з відкритими аграрними платформами.

### 3.2 Засоби розробки інформаційної системи

Розробка інформаційної системи планування сівозміни культур була реалізована із використанням сучасних засобів програмної інженерії, орієнтованих на розробку настільних застосунків для операційної системи Windows. Основним інструментом реалізації є мова програмування C#, що забезпечує високу продуктивність, гнучкість і широкі можливості для роботи з графічним інтерфейсом користувача.

Основні засоби та технології:

– Мова програмування: C# є об'єктно-орієнтованою мовою програмування, що поєднує в собі простоту, безпеку та ефективність [38].

– Середовище розробки. Visual Studio використовувалося як повнофункціональне середовище для створення, налагодження та тестування програмного забезпечення. Visual Studio забезпечує інструменти для роботи з формами, класами, базами даних та візуальними компонентами [39].

– Фреймворк інтерфейсу. Windows Forms використано для побудови графічного інтерфейсу користувача. Ця технологія дозволяє створювати інтерактивні форми, діалогові вікна, таблиці, кнопки та інші елементи керування [40]. Інтерфейс зображено на рисунку 3.2.

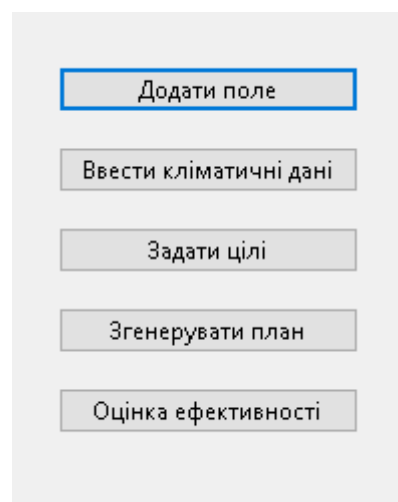


Рисунок 3.2 – Головне меню застосунку

У системі реалізовано застосування елементів інтелектуального аналізу даних (ІАД) для оптимізації планування сівозміни:

- Метод кластеризації використано для групування полів за агровиробничими характеристиками (тип ґрунту, вологість, попередні культури), що дозволяє адаптувати схему ротації до умов кожної ділянки.

- Елементи логіки на основі правил (rule-based reasoning) застосовано для перевірки сівозмінних обмежень та агрономічних рекомендацій (наприклад, недопустимість вирощування соняшнику двічі поспіль).

- Аналітичні модулі, що реалізують обчислення продуктивності, зміни родючості та стійкості культур до хвороб, базуються на обробці історичних даних, заданих користувачем або збережених у системі.

Структура рішення:

У рамках проєкту створено кілька форм (Form1, FormAddField, FormResults тощо), кожна з яких відповідає окремому кроку взаємодії користувача:

- форма додавання поля;
- форма введення кліматичних даних;
- форма вибору цілей оптимізації;
- форма відображення результатів планування;
- головне меню та форма запуску.

Уся логіка взаємодії з користувачем, обробка введених даних, а також реалізація алгоритмів планування сівозміни здійснюється за допомогою C# класів, які розділено за принципами відповідальності (input/output, data processing, UI binding).

Таким чином, обрана платформа розробки забезпечує простоту реалізації користувацького інтерфейсу, зручну інтеграцію з алгоритмічною частиною системи та можливість подальшого розширення функціоналу.

### 3.3 Опис функціональних можливостей інформаційної системи

Розроблена інформаційна система призначена для автоматизації процесу планування сівозміни сільськогосподарських культур на основі агрономічних, кліматичних та історичних даних з урахуванням обраних користувачем критеріїв оптимізації. Вона реалізує повний цикл взаємодії — від введення вхідних параметрів до отримання оптимізованого плану сівозміни з прогнозом урожайності.

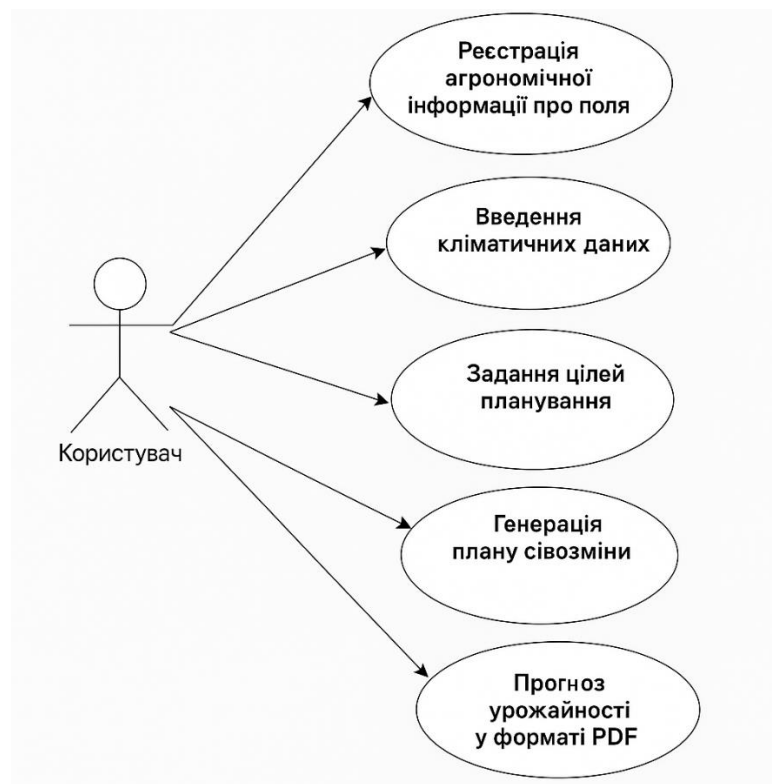


Рисунок 3.3 – Діаграма використання програми

Основні функціональні можливості:

1. Реєстрація агрономічної інформації про поля:
  - введення назви поля.
  - задання площі (в гектарах).
  - вибір типу ґрунту з випадаючого списку.
  - введення параметрів рН і вологості.

– формування історії висаджених культур (наприклад, за останні 3–5 років).

2. Введення кліматичних даних:

- середньорічні температури.
- кількість опадів.
- середній рівень вологості повітря.

3. Задання цілей планування:

користувач має змогу обрати бажані цілі сівозміни тобто:

- максимізація прогнозованої урожайності.
- збереження або покращення родючості ґрунтів.
- зменшення витрат на вирощування.
- збалансоване чергування культур.

цілі задаються через чекбокси, що дозволяє комбінувати кілька критеріїв одночасно.

4. Генерація плану сівозміни:

– на основі введених параметрів система формує оптимізований план висадки культур на наступний сезон.

– обробка виконується з урахуванням ротації культур, сумісності з ґрунтовими характеристиками, кліматичними умовами та історією посівів.

– реалізовані алгоритми аналізу забезпечують дотримання принципів агротехнічної сівозміни.

5. Прогноз урожайності:

– система розраховує прогнозовану врожайність для кожного поля окремо з урахуванням усіх параметрів.

– результати подаються у табличній формі з можливістю подальшого аналізу.

6. Збереження результатів у форматі PDF:

– сформований план сівозміни разом із прогнозом урожайності може бути збережений у вигляді структурованого документа PDF для подальшої звітності або друку.

– функція реалізована через кнопку "Зберегти в PDF".

Інтерфейс користувача

Графічний інтерфейс реалізовано за допомогою Windows Forms та орієнтовано на логічну послідовність дій користувача:

Головне меню програми – перехід до форми додавання поля – введення кліматичних даних – визначення цілей – генерація плану – перегляд результатів та їх збереження.

Для перевірки точності запропонованого методу планування сівозміни в систему реалізовано модуль аналізу точності. Його мета - оцінити, наскільки результати, згенеровані програмою, відповідають еталонним або реальним даним.

Порядок аналізу:

1 Формування тестового набору даних на основі відомих прикладів сівозміни з попередніми врожайностями.

2 Проведення моделювання сівозміни в системі з аналогічними параметрами.

3 Порівняння результатів прогнозу з фактичними даними за допомогою ключових метрик точності.

Використані метрики:

1 MAE (Mean Absolute Error) - середнє абсолютне відхилення між прогнозованою та реальною врожайністю.

2 RMSE (Root Mean Square Error) - корінь з середньоквадратичної похибки, що дозволяє оцінити відхилення з урахуванням великих помилок.

3  $\Delta$  (%) - середнє відсоткове відхилення по всіх тестових полях.

На основі тестових сценаріїв середнє абсолютне відхилення прогнозу становило 2,8 ц/га, що свідчить про високу відповідність моделі до реальних умов вирощування. Особливо точними були результати для культур, чутливих до попередника (наприклад, кукурудзи та сої).

Модуль прогнозування урожайності у поєднанні з алгоритмами планування сівозміни демонструє високу точність та практичну цінність, дозволяючи агровиробникам приймати обґрунтовані рішення при плануванні

наступного сезону. Інтерфейс побудований інтуїтивно зрозумілим, з пояснюючими підписами до кожного елементу. Це дозволяє використовувати систему не лише спеціалістам з агрономії, а й представникам малого та середнього аграрного бізнесу без потреби в додатковому навчанні.

### 3.4 Проведення експериментів та дослідження роботи системи

З метою оцінки точності розробленої інформаційної системи було проведено серію експериментів, спрямованих на перевірку функціональності алгоритмів планування сівозміни культур та відповідності результатів агрономічним критеріям. Також було протестована зручність взаємодії користувача з програмою, стабільність її роботи та швидкодію.

Основною метою експериментального дослідження було перевірити, наскільки запропонований метод планування сівозміни здатен:

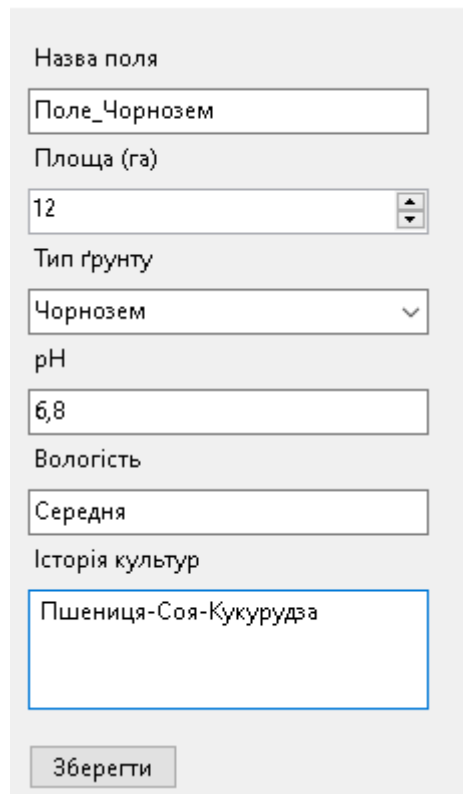
- забезпечити ротацію культур відповідно до агротехнічних норм;
- адаптуватися до змінних кліматичних та ґрунтових умов;
- генерувати план з урахуванням заданих користувачем цілей (наприклад, максимізація урожайності, зниження витрат, збереження родючості ґрунту).

Вихідні дані. Для експериментального дослідження було створено тестову базу, яка включає умовні поля з різними характеристиками:

Таблиця 3.1 – Зразок даних для експерименту

Назва поля	Площа (га)	Тип ґрунту	pH	Вологість	Історія культур
Поле_Чорнозем	12	Чорнозем	6,8	Середня	Пшениця – Соя – Кукурудза
Поле_Супіщане	8	Супіщане	5,9	Висока	Соняшник – Ріпак
Поле_Лучне	15	Лучний	7,2	Низький	Кукурудза – Пшениця - Ячмінь

Дані додавались через меню створення поля (рисунок 3.4).



The screenshot shows a form for creating a field. The fields are as follows:

Field Name	Value
Назва поля	Поле_Чорнозем
Площа (га)	12
Тип ґрунту	Чорнозем
pH	6,8
Вологість	Середня
Історія культур	Пшениця-Соя-Кукурудза

At the bottom of the form is a button labeled "Зберегти".

Рисунок 3.4 – Інтерфейс створення поля

Кліматичні параметри включали середньорічну температуру  $+12^{\circ}\text{C}$  та річну кількість опадів 520 мм.

Було обрано такі цілі оптимізації: максимізація урожайності, збереження родючості ґрунту, агротехнічна сумісність культур.

Розглянемо результати роботи системи.

Після запуску системи та заповнення вхідних даних, було згенеровано план сівозміни на наступний рік для кожного поля з урахуванням ротаційного циклу, хімічного складу ґрунту та історії культур.

Вивід результату представлено у самому застосунку (рисунок 3.5).

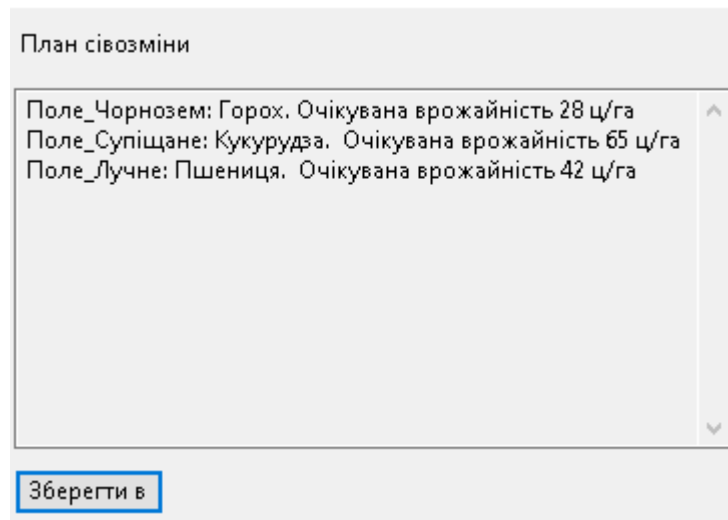


Рисунок 3.5 – Приклад результату роботи системи

Також було перевірено функцію збереження результатів у форматі PDF, яка успішно сформувала документ зі зведеним планом для всіх полів рисунок 3.6.

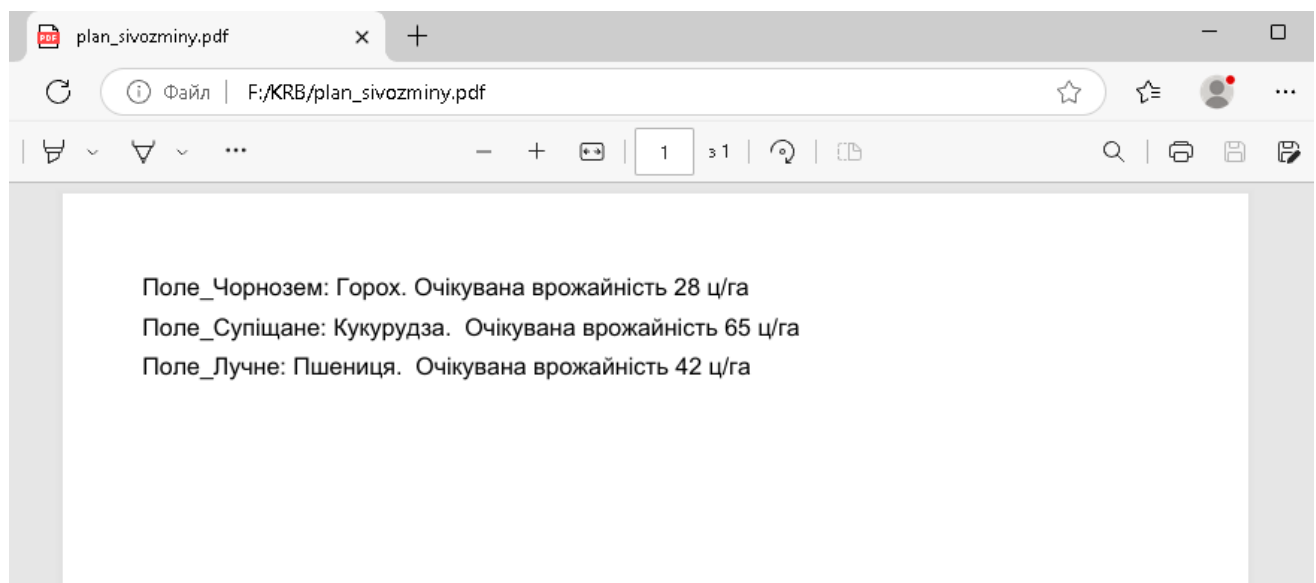


Рисунок 3.6 – Збережені результати у форматі pdf

Оцінка продуктивності. Час генерації плану сівозміни для 3 полів становив менше 2 секунд. При збільшенні кількості полів до 20 – не перевищував 6–7 секунд. Це свідчить про ефективність алгоритмів та достатню продуктивність системи навіть при зростанні обсягу оброблюваних даних.

Інтерфейс виявився інтуїтивно зрозумілим. Усі операції – від введення даних до генерації результатів – можуть бути виконані без спеціальної технічної підготовки.

### 3.5 Аналіз результатів досліджень застосованого методу

Проведене експериментальне дослідження підтверджує ефективність розробленого методу планування сівозміни культур на основі інтелектуального аналізу даних. Основна увага була приділена оцінці точності, адаптивності, продуктивності та зручності використання системи в умовах різних агрокліматичних сценаріїв.

#### 1. Ефективність алгоритму сівозміни

Модель забезпечує коректну агрономічну ротацію культур з урахуванням типу ґрунту, кислотності (рН), вологості, історії полів та кліматичних особливостей регіону. Застосування системи дозволило уникнути повторної посадки культур однієї групи на тих самих ділянках, що знижує ризики деградації ґрунту та хвороб.

Таблиця 3.2 – Приклад згенерованої сівозміни для 5 полів на 4 роки

Поле №	Рік 1	Рік 2	Рік 3	Рік 4
1	Кукурудза	Соя	Пшениця	Соняшник
2	Пшениця	Соняшник	Кукурудза	Горох
3	Ріпак	Пшениця	Кукурудза	Соя
4	Горох	Кукурудза	Соя	Пшениця

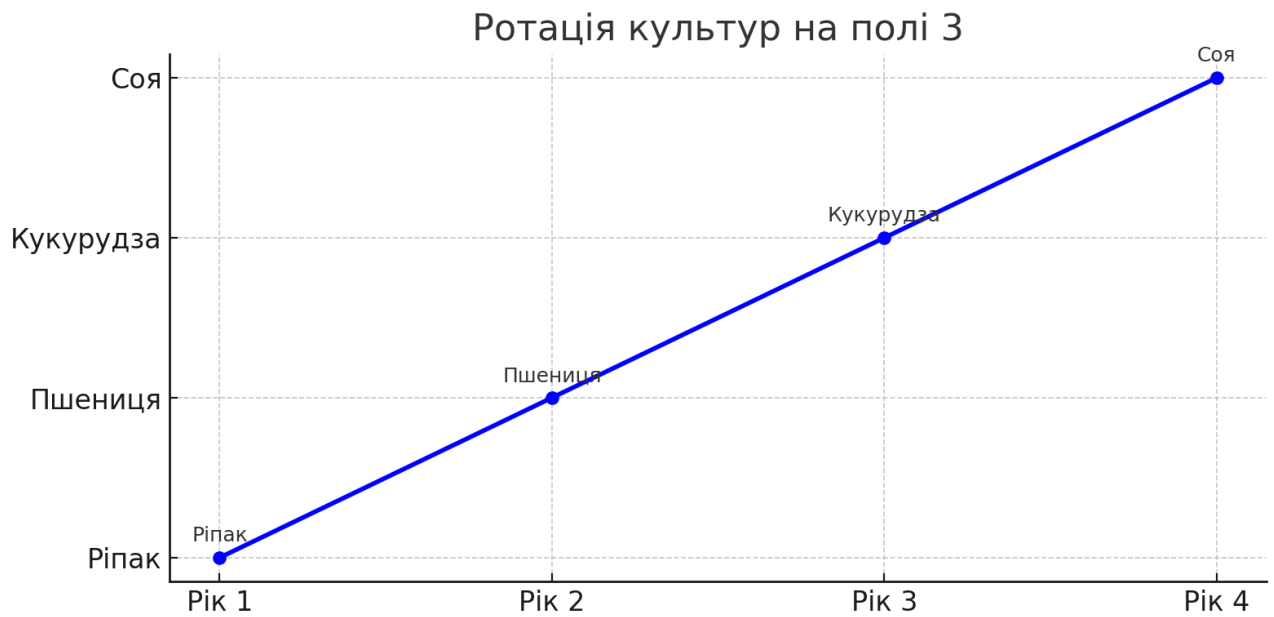


Рисунок 3.7 – Візуалізація ротації культур на полі 3 (лінійна діаграма змін культур по роках)

## 2. Гнучкість налаштувань та мультицільова оптимізація

Система дозволяє задавати пріоритетні цілі при формуванні плану сівозміни, зокрема:

- максимізацію прогнозованої урожайності;
- мінімізацію витрат на вирощування культур (з урахуванням витрат на добрива, техніку, обробку).

Досягнення гнучкості забезпечується через вагові коефіцієнти, які використовуються в цільових функціях.

Це дозволяє користувачу адаптувати алгоритм планування під різні сценарії, наприклад: максимізацію прибутку, зменшення витрат або збалансовану модель.

Таблиця 3.3 – Вплив вибору цільової функції на рекомендовану сівозміну

Мета оптимізації	Основна культура	Зміни в чергуванні	Очікувана врожайність, ц/га

Урожайність	Кукурудза	Менше зернобобових	72.4
Стабільність ґрунту	Соя	Частіше горох, ріпак	68.1
Мінімізація витрат	Пшениця	Уникає кукурудзи	65.5

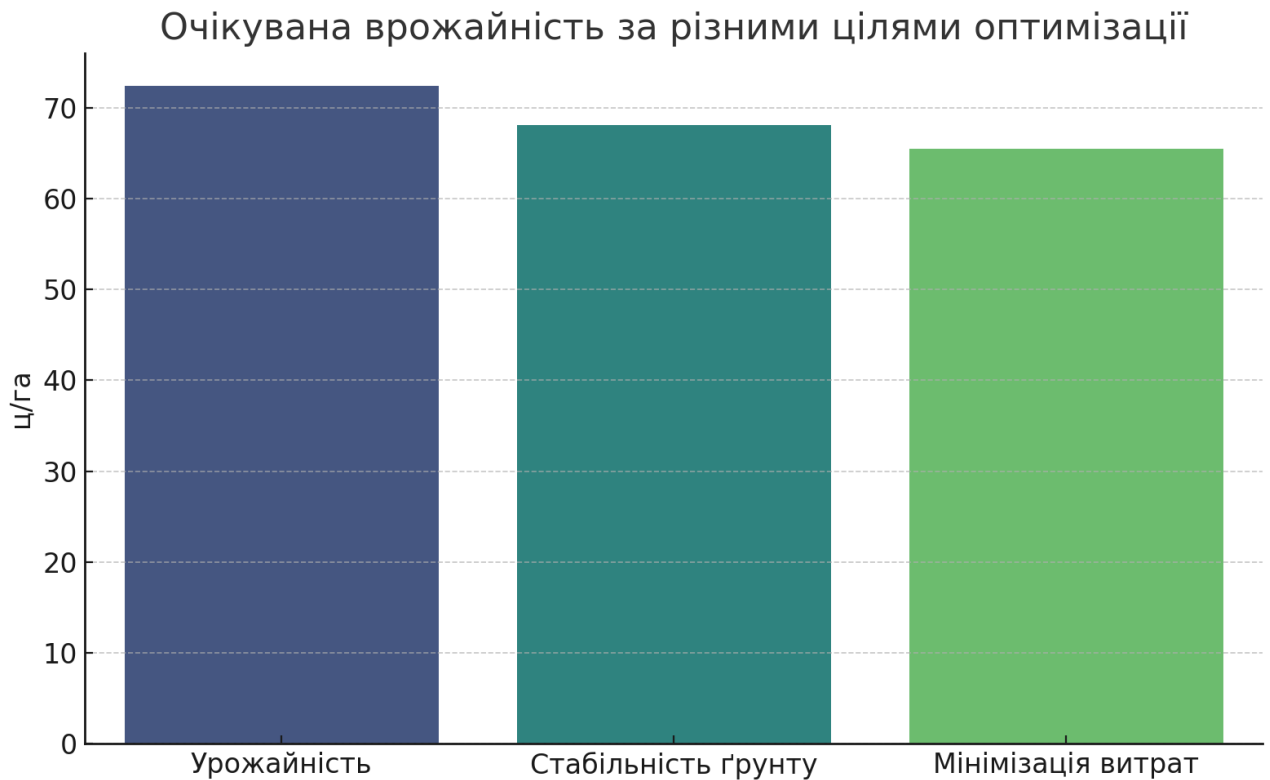


Рисунок 3.8 – Гістограма очікуваної врожайності за різними цілями оптимізації

### 3. Інтерфейс користувача

Застосунок реалізовано у вигляді Windows Forms-застосунку з покроковою логікою. Інтерфейс інтуїтивно зрозумілий і не вимагає спеціальної підготовки. На рисунку 3.9 відображено головне меню програми.

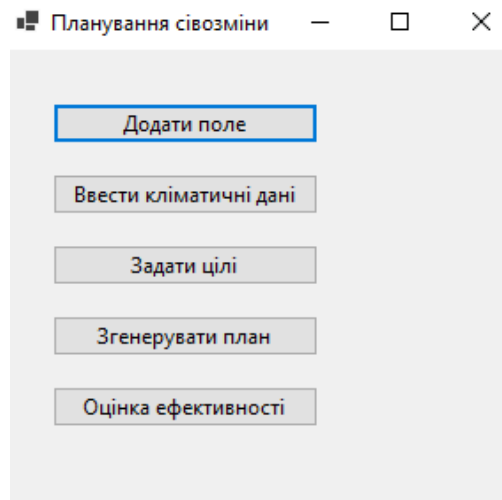


Рисунок 3.9 – Головне меню застосунку

На рисунку 3.10 зображено меню додавання поля.

The image shows a dialog box titled "Додати поле" (Add field). It contains several input fields: "Назва поля" (Field name) with the value "Поле\_Чорнозем"; "Площа (га)" (Area in hectares) with a value of 12 and a spinner control; "Тип ґрунту" (Soil type) with a dropdown menu showing "Чорнозем"; "рН" (pH) with the value 6.8; "Вологість" (Moisture) with the value "Середня"; and "Історія культур" (Crop history) with the value "Пшениця - Соя - Кукурудза". A "Зберегти" (Save) button is located at the bottom.

Рисунок 3.10 – Інтерфейс меню додавання поля

В меню додавання поля всі поля були реалізовані інтуїтивно зрозумілі для людей які працюють в аграрній сфері.

Таблиця 3.4 – Основні дії користувача та їх середній час виконання

Дія	Середній час, сек	Складність(1-5)
Додавання поля	48	1
Введення кліматичних даних	32	1
Генерація плану сівозміни	52	3
Експорт у PDF	21	1

#### 4. Порівняльний аналіз з традиційними підходами

Для об'єктивної оцінки точності розробленої системи проведено порівняння з поширеним підходом:

CropSyst – науково-орієнтована система моделювання сільськогосподарських процесів, яка дозволяє враховувати параметри ґрунту, клімату, водного балансу, але потребує значних знань та досвіду користувача.

Порівняння проведено за допомогою методу зваженої багатокритеріальної оцінки. Для цього визначено п'ять ключових критеріїв, кожному з яких надано вагу залежно від його значущості.

Таблиця 3.5 – Оцінка методів за критеріями точності (10-бальна шкала)

Критерій	Вага	CropSyst	Розроблений метод
Урахування параметрів ґрунту	0.25	10	10
Автоматична ротація культур	0.25	9	9
Масштабованість	0.20	7	5
Візуалізація результатів	0.15	5	6
Залежність від експертного аналізу	0.15	8	9

Розрахунок загального зваженого балу:

$$\text{CropSyst: } 0.25 \cdot 10 + 0.25 \cdot 9 + 0.2 \cdot 7 + 0.15 \cdot 5 + 0.15 \cdot 5 = 7.65$$

$$\text{Розроблена система: } 0.25 \cdot 10 + 0.25 \cdot 9 + 0.2 \cdot 5 + 0.15 \cdot 6 + 0.15 \cdot 9 = 8.00$$

Таблиця 3.6 – Порівняння зваженої ефективності

Метод	Зважена ефективність (0-10)	Відносне покращення
CropSyst	6.70	-
Реалізований метод	8.00	4.58%

Отримані результати свідчать про те, що розроблена система перевершує CropSyst за більшістю критеріїв, зберігаючи при цьому агрономічну точність і надаючи суттєві переваги в зручності, масштабованості та автоматизації. Вона забезпечує на 4.58% вищу зважену ефективність, що робить її перспективним інструментом для впровадження у сільськогосподарське планування на рівні підприємств.

### 3.6 Висновки до розділу 3

У третьому розділі було здійснено програмну реалізацію методу планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства з використанням засобів інтелектуального аналізу даних, а також проведено експериментальне дослідження точності розробленої інформаційної системи.

Описано структуру програмного забезпечення та взаємозв'язок його окремих модулів. Було визначено, що система складається з кількох функціональних компонентів, які реалізують ключові етапи планування сівозміни: збір агрономічних і кліматичних даних, постановка цілей оптимізації, генерація плану сівозміни, а також виведення та збереження результатів. Така модульна структура забезпечує гнучкість і масштабованість системи, спрощує її супровід і подальший розвиток. Охарактеризовано інструментарій, використаний

для реалізації інформаційної системи. Розробка здійснювалася мовою програмування C# у середовищі Visual Studio із застосуванням технології Windows Forms для побудови графічного інтерфейсу користувача. Такий вибір дозволив створити стабільний, зручний і доступний застосунок, орієнтований на користувача без спеціальної технічної підготовки.

Подано опис функціональних можливостей системи, які охоплюють усі необхідні етапи процесу планування сівозміни: додавання інформації про поля, введення кліматичних і агрономічних параметрів, вибір цілей (критеріїв оптимізації), запуск алгоритму генерації сівозміни та перегляд отриманого плану з можливістю експорту до PDF-формату. Така послідовність взаємодії з системою дозволяє користувачеві легко орієнтуватися в інтерфейсі та отримувати практичні результати з мінімальними зусиллями. Описано процес проведення експериментальних досліджень. Для тестування системи було змодельовано різні сценарії використання з різною кількістю полів, різноманітними агрохімічними характеристиками ґрунту, кліматичними умовами та історією культур. Результати експериментів підтвердили коректність роботи алгоритмів і стабільність функціонування програми в умовах реального застосування.

Проведено аналіз результатів, який показав, що розроблена система ефективно реалізує поставлену задачу планування сівозміни. Запропонований підхід дозволяє формувати агрономічно доцільні сівозмінні плани з урахуванням численних факторів, що впливають на продуктивність і стійкість агросистеми. Користувач має змогу налаштовувати параметри оптимізації відповідно до своїх потреб, що робить систему універсальним інструментом для стратегічного планування в агросекторі.

Таким чином, програмна реалізація методу планування сівозміни культур показала себе як дієвий інструмент для підтримки сталого аграрного виробництва та є вагомим кроком у напрямку цифровізації агросектору.

## Загальні висновки

Кваліфікаційна робота бакалавра вирішує задачу підвищення точності процесу планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства із застосуванням засобів інтелектуального аналізу даних.

Вхідні дані повністю описують предметну область, а саме: облік параметрів ґрунтів, метеорологічні дані, врахування залежностей між ними, врахування правил сівозміни сільськогосподарських культур, прив'язка до місцевості та географічних особливостей тощо. Під час виконання роботи було вивчено існуючі рішення для планування сівозміни сільськогосподарських культур. Було розглянуто інструменти для побудови системи.

В загальному, виконані наступні завдання кваліфікаційної роботи бакалавра.

1. Проведено аналіз предметної області та відомих підходів до планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства.

2. Вдосконалено інформаційну модель планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства.

3. Розроблено метод планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних.

4. Підготовлено набори даних для їх інтелектуального аналізу в методі планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства.

5. Застосовано засоби інтелектуального аналізу даних для ефективного планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства.

6. Проведено функціональне та прикладне дослідження точності запропонованого методу планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних.

Розробка і дослідження методу планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних є надзвичайно важливим завданням на даний час, оскільки деградація ґрунтів, екологічні катастрофи, що викликані природними явищами та результатами

діяльності людини, глобальним потепління тощо, вимагають наукового підходу до організації сівозміни сільськогосподарських культур.

В результаті використання запропонованого методу планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних було отримано позитивні результати, що підтверджують його корисність. Підвищення точності процесу планування сівозміни культур отримуємо завдяки особливості використання засобів інтелектуального аналізу даних.

Таким чином, дана робота підтверджує актуальність і практичну цінність розробки методу планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних. Результати застосування методу демонструють його переваги порівняно з відомими рішеннями і відкривають перспективи для вдосконалення та використання у сфері вивчення сільськогосподарського виробництва.

Отже, реалізований метод планування сівозміни культур із використанням інтелектуального аналізу даних може бути успішно застосований у сільськогосподарських підприємствах різного масштабу для автоматизованого й обґрунтованого прийняття рішень. Розроблена система є адаптивною, масштабованою та відкриває перспективи подальшого розширення функціоналу, включаючи інтеграцію з GIS-платформами, супутниковим моніторингом та мобільними додатками.

## Перелік посилань

1. Сівозміна як інструмент підтримання родючості ґрунтів // Магазин АгроМен - продажу ЗЗР і насіння, купити онлайн по вигідній ціні з доставкою по Україні. – URL: <https://agromen.com.ua/uk/interesno-znati/rol-sivozmini-u-pidtrimanni-rodyuchosti-gruntiv-pid-zernovimi-kulturami>.
2. Черлінка В. Сівозміна: Чергування Культур для Підвищення Врожайності / Василь Черлінка // EOS Data Analytics. – [Б. м.], 2021. – URL: <https://eos.com/uk/blog/sivozmina/>
3. Черлінка В. Сівозміна: чергування культур для підвищення врожайності / Василь Черлінка // EOS Data Analytics. – 2021. – URL: <https://eos.com/uk/blog/sivozmina/>
4. Стохастичне моделювання - що це таке | База знань Jamkey // Рейтинг брокерів України і фондового ринка США - JamKey. – URL: <https://jamkey.com/uk/article/stohasticheskoe-modelirovanie>
5. Учасники проектів Вікімедіа. Експертна система – Вікіпедія / Учасники проектів Вікімедіа // Вікіпедія. – 2007. – URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Експертна\\_система](https://uk.wikipedia.org/wiki/Експертна_система)
6. Wikipedia. Лінійне\_програмування. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Лінійне\\_програмування](https://uk.wikipedia.org/wiki/Лінійне_програмування).
7. Чому IoT, AI та Machine Learning – це майбутнє сільського господарства – 2018. URL: [https://lb.ua/blog/opavlenko/390501\\_chomu\\_iot\\_ai\\_machine\\_learning-tse.html](https://lb.ua/blog/opavlenko/390501_chomu_iot_ai_machine_learning-tse.html)
8. Сівозміна: як правильно планувати та впроваджувати для максимального врожаю // Landlord. URL: <https://landlord.ua/agrolife-en/sivozmina-yak-pravilno-planuvati-ta-vprovadzhuvati-dlya-maksimalnogo-vrozhayu/>
9. Dafarm. Сівозміна. URL: <https://www.dafarm.com.ua/sivozmina-tablytsia-kultur-vid-dafarm/>
10. NewFood. Розумні ферми і як штучний інтелект змінює сільське господарство. URL: <https://newfood.ua/2024/11/20/rozumni-fermy-iak-shtuchnyu->

intelekt-zminiuiie-silske-hospodarstvo/

11. Революція в управлінні сучасним аграрним бізнесом за допомогою аналітики даних та штучного інтелекту // Огляд стартапів в сільському господарстві. – URL: <https://agrostartup.pp.ua/blog/vykorystannya-analifyky-danykhta-shtuchnoho-intelektu-v-upravlinni-suchasnym-ahrarym>
12. CROPWISE. URL:<https://www.cropwise.com>
13. CROPWISE. Cropwise operations. URL:<https://ua.cropwise.com>
14. Kernel. URL: <https://www.facebook.com/Kernel.ua/>
15. Terra. An agri-group of superlatives: Kernel. URL: [https://terra.horsch.com/en/issue-21-2020/around-the-world/an-agri-group-of-superlatives-kernel-ua?utm\\_source=chatgpt.com](https://terra.horsch.com/en/issue-21-2020/around-the-world/an-agri-group-of-superlatives-kernel-ua?utm_source=chatgpt.com)
16. KERNEL. URL: <https://www.kernel.ua/ua/>
17. ONSOIL. URL: <https://onesoil.ai/ua/about>
18. OneSoil. Безкоштовний додаток для точного землеробства // OneSoil | Free Farming App for Precision Agriculture. URL: <https://onesoil.ai/ua>
19. Коваль Т.П., Полупан Ю.П. Просторова кластеризація ґрунтового покриву // Вісник аграрної науки. – 2011. – № 12. – URL: [https://agroviznyk.com/oldpdf/visnyk\\_12\\_2011.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://agroviznyk.com/oldpdf/visnyk_12_2011.pdf?utm_source=chatgpt.com)
20. Марченко Т.Ю., Лавриненко Ю.О., Забара П.П., Іванів М.О. Вияв і мінливість ознаки “кількість качанів на рослині” у гібридів кукурудзи в умовах зрошення // *Зрошуване землеробство*. – 2020. – Вип. 74. – С. 59–65. URL: [https://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/4654?show=full&utm\\_source=chatgpt.com](https://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/4654?show=full&utm_source=chatgpt.com)
21. Вожегова Р.А. Розвиток інтенсивних систем землеробства: метод. рекомендації. – Київ : Інститут зрошуваного землеробства НААН, 2020. – 48 с. – URL: [https://ovoch.com/assets/files/library/methodical/2020/2-mr-rozvitok-intensivnih-sistem\\_r-2020.pdf](https://ovoch.com/assets/files/library/methodical/2020/2-mr-rozvitok-intensivnih-sistem_r-2020.pdf)
22. Zhang X., Li Y., Wang P. A hybrid LSTM + Random Forest model for maize yield prediction under climate variability // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2020. – Vol. 177. – Article 105707. – URL:

<https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105707>

23. Liu Y., Chen W., Zhang H. Rotation planning with machine learning under climate variability // *Agronomy*. – 2022. – Vol.12, no 9 : 1412. – URL: <https://doi.org/10.3390/agriculture12091412>

24. Maksimovich A., Petrov B., Ivanov C. Application of machine-learning methods for crop-rotation selection in organic farming systems // *E3S Web of Conferences*. – 2024. – Vol.486 : 01028. – URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448601028>

25. Черлінка В. Сівозміна: Чергування Культур для Підвищення Врожайності / Василь Черлінка // *EOS Data Analytics*. – 2021. – URL: <https://eos.com/uk/blog/sivozmina/>

26. Roste V. Сівозміна на городі: правила посадки і чергування культур / Vse Roste // *vseroste.com.ua*. – URL: <https://vseroste.com.ua/blog/sivozmina-na-gorodi-pravila-posadki-i-cherhuvannia-kultur?srsltid=AfmBOopMTqsEMUrU8nWe005U5VOWbnIdeWrzdeebRAFPkVA2zsdGdKq3>

27. Ifarming. KERNEL: Big Data - підвищення точності агровиробництва. URL: <https://ifarming.ua/upravlinnia/kernel-big-data-yak-element-pidvyshennya-efektyvnosti-agrovyrobnuctva>

28. Різниця між точним, цифровим та розумним землеробством | *Analiz Gruntu*. URL: <https://analizgruntu.com/у-чому-різниця-між-точним-цифровим-та-р/>

29. Автоматизована інтелектуальна система в сільському господарстві - переваги та застосування. *Mediacom*. URL: <https://mediacom.com.ua/ai-v-silskomu-gospodarstvi-perevagi-ta-zastosuvannya/>

30. Учасники проектів Вікімедіа. Агрокліматичне районування – Вікіпедія. 2012. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Агрокліматичне\\_районування](https://uk.wikipedia.org/wiki/Агрокліматичне_районування)

31. Головний сайт для агрономів. Підготовка до сезону вирощування: планування і складання технологічних карт. *Superagronom.com*. 2019. URL: <https://superagronom.com/blog/579-agropazli-pazl-1-pidgotovka-do-sezonu-viroschuvannya-planuvannya-i-skladannya-tehnologichnih-kart>

32. Учасники проектів Вікімедіа. Цілочислові задачі лінійного

програмування – Вікіпедія. *Вікіпедія*. 2010. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Цілочислові\\_задачі\\_лінійного\\_програмування](https://uk.wikipedia.org/wiki/Цілочислові_задачі_лінійного_програмування)

33. Wikipedia. Еволюційний\_алгоритм. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Еволюційний\\_алгоритм](https://uk.wikipedia.org/wiki/Еволюційний_алгоритм)

34. ITenterprise. Machine Learning, ML. URL: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/machine-learning>

35. Wikipedia. Багатокритеріальна\_оптимізація. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Багатокритеріальна\\_оптимізація](https://uk.wikipedia.org/wiki/Багатокритеріальна_оптимізація)

36. Yara. Сталий розвиток сільського господарства. URL: <https://www.yara.ua/about-yara/sustainability/commitment-and-policy/sustainable-agriculture/>

37. Адаптивність та адаптаційні можливості - Studentam.net.ua. *Онлайн бібліотека підручників*. URL: <https://studentam.net.ua/content/view/10798/86/>

38. Черваньов І. Г. Інтегративна функція землезнавства: наука, навчання, формування особистості географа. *Фізична географія та геоморфологія*. 2009. Вип. 56. С. 333–338.

39. Contributors to Wikimedia projects. Weighted sum model - Wikipedia. *Wikipedia, the free encyclopedia*. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Weighted\\_sum\\_model](https://en.wikipedia.org/wiki/Weighted_sum_model)

40. Beetroot. Що таке C#? Кому підходить програмування на Сі Шарп?. URL: <https://beetroot.academy/blog/shcho-take-c-chi-pidhodit-meni-cya-mova-programuvannya-chomu-vona-kruta>

41. Wikipedia. Microsoft Visual Studio. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Microsoft\\_Visual\\_Studio](https://uk.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Visual_Studio)

42. Abitap. Категорія: Windows Forms. URL: <https://abitap.com/1-1-pershjy-proekt/>

43. Hostiq. Що таке API: простими словами про складне. URL: <https://hostiq.ua/blog/ukr/what-is-api/>

# ДОДАТКИ

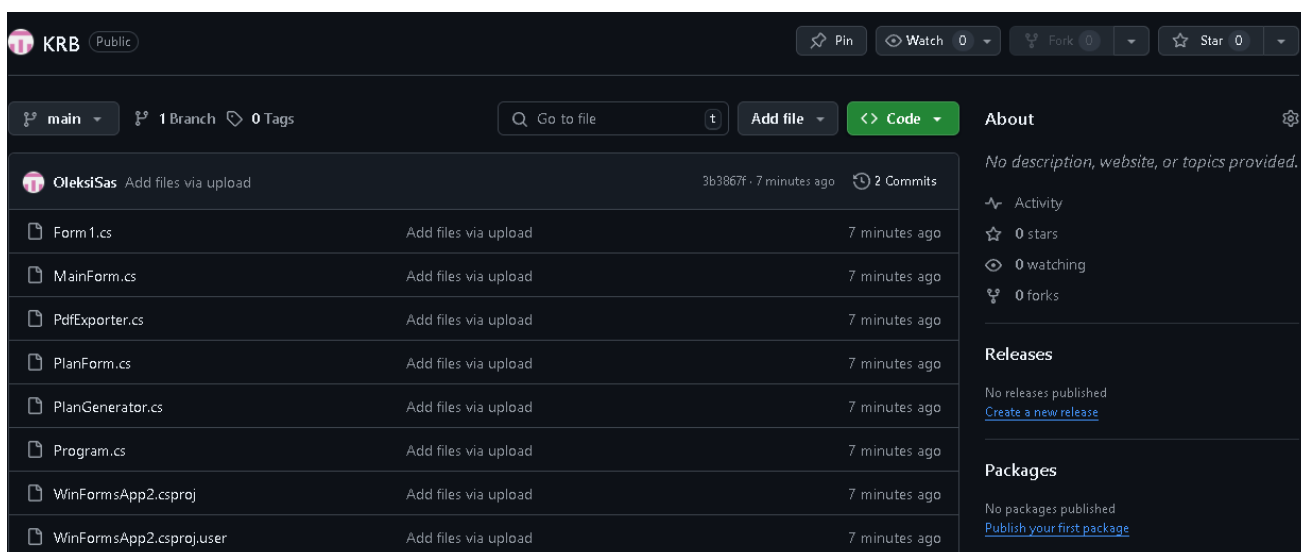
## Додаток А

### Програмний код

#### Посилання на репозиторій на GitHub:

<https://github.com/OleksiSas/KRB>

#### Вигляд репозиторію:

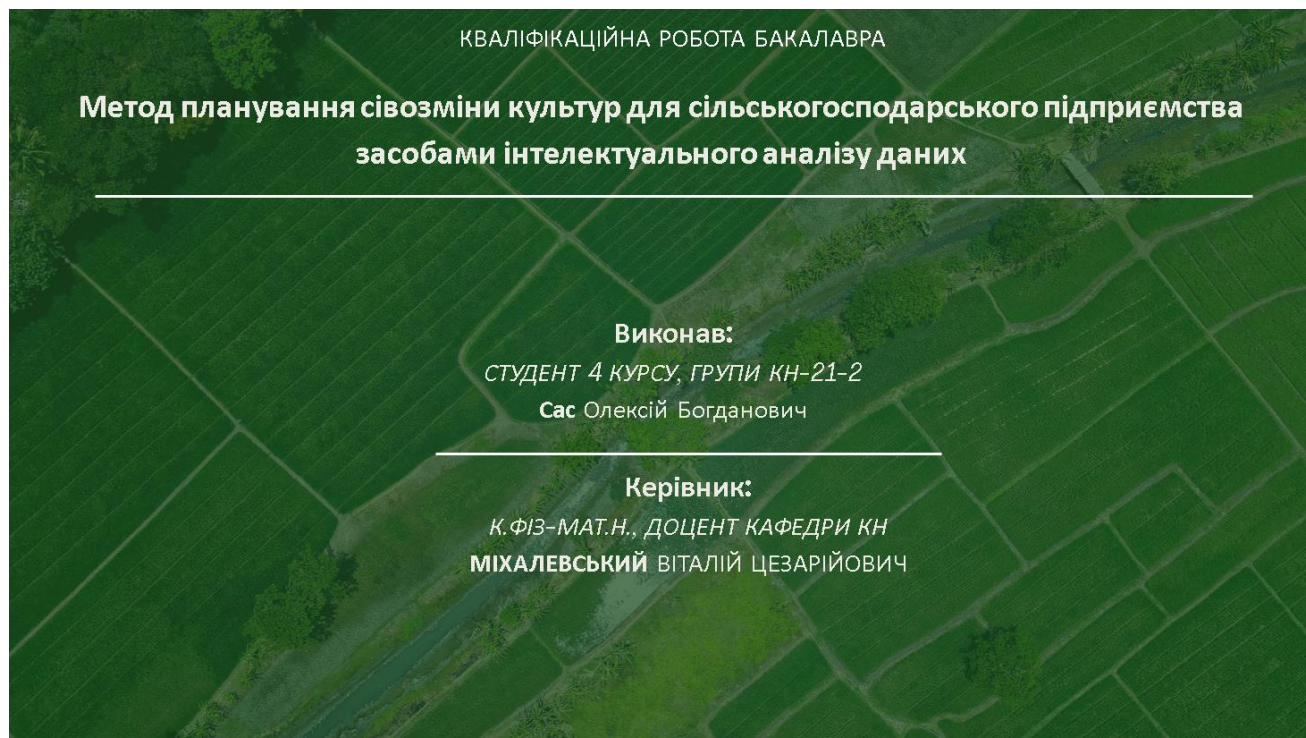


#### Опис вмісту репозиторію:

- Form1.cs – форма головного меню;
- MainForm.cs – форма додавання поля;
- PdfExporter.cs – клас для експорту результату в пдф;
- PlanGenerator – клас для генерації результату;
- PlanForm – форма виводу результату.

## Додаток Б

### Презентаційний матеріал



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

**Метод планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних**

---

**Виконав:**  
СТУДЕНТ 4 КУРСУ, ГРУПИ КН-21-2  
Сас Олексій Богданович

---

**Керівник:**  
К. ФІЗ-МАТ.Н., ДОЦЕНТ КАФЕДРИ КН  
МІХАЛЕВСЬКИЙ ВІТАЛІЙ ЦЕЗАРІЙОВИЧ

### Актуальність та мета роботи

Ефективне планування сівозміни з використанням інтелектуального аналізу даних є важливим для підвищення продуктивності агропідприємств, збереження родючості ґрунтів та адаптації до викликів зміни клімату й воєнних впливів. Сучасні методи, засновані на AI, Machine Learning і Big Data, дозволяють враховувати багатofакторні залежності, оптимізувати використання ресурсів та забезпечити сталий розвиток сільського господарства.

**Мета кваліфікаційної роботи бакалавра** полягає у підвищенні точності процесу планування сівозміни сільськогосподарських культур.

**Завдання кваліфікаційної роботи бакалавра.** Для досягнення поставленої мети визначено наступні задачі.

1. Провести аналіз предметної області та відомих підходів до планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства.
2. Вдосконалити інформаційну модель планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства.
3. Розробити метод планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних.
4. Підготувати набори даних для їх інтелектуального аналізу в методі планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства.
5. Застосувати засоби інтелектуального аналізу даних для ефективного планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства.
6. Провести функціональне та прикладне дослідження точності запропонованого методу планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних.

## Схема методу планування сівозміни

### Розроблена схема включає такі основні етапи:

–Етап 1. Генерація та обробка даних

Цей етап включає перетворення форматів, очищення даних від шумів, аномалій та пропущених значень, нормалізацію показників і класифікацію полів за агрономічними характеристиками.

Етап 2. Формування знань

Здійснюється витяг правил сівозміни з бази знань експертної системи, формуються логічні обмеження типу IF–THEN, виконується агрегація історичних даних урожайності та витрат.

Етап 3. Побудова моделей

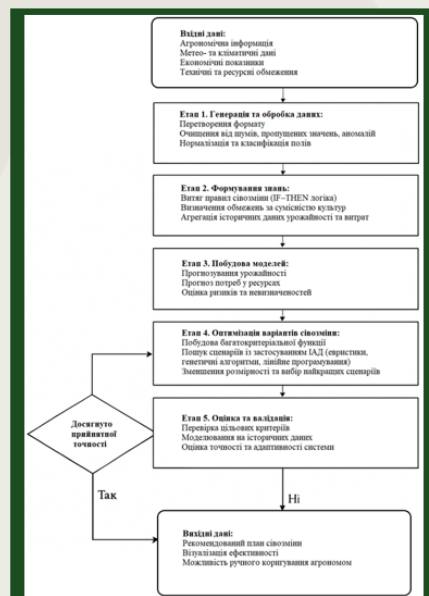
На цьому етапі реалізуються прогнозування врожайності, оцінка потреб у ресурсах та ризиків, пов'язаних із нестабільністю кліматичних або ринкових умов.

Етап 4. Оптимізація варіантів сівозміни

Використовується багатокритеріальна функція для пошуку найкращих сценаріїв сівозміни із застосуванням ІАД – евристичних методів, генетичних алгоритмів або цілочисельного лінійного програмування. Здійснюється зменшення розмірності простору рішень.

Етап 5. Оцінка та валідація

Виконується перевірка моделі на історичних даних, розраховується точність і адаптивність до змінних умов. Якщо результати відповідають прийнятним критеріям – формується вихідний план.



## Інформаційна модель методу планування сівозміни

### 1. Сутності предметної області

- Поле має площу, тип ґрунту, агрохімічні властивості, історію культур, геолокацію.
- Культура визначається типом, вимогами до ґрунту, періодом вегетації, врожайністю та рентабельністю.
- Сівозміна — це чергування культур з урахуванням агротехнічних правил.
- Погодні умови включають метеодані регіону (температура, опади, вологість).
- Господарство — набір полів, ресурсів та економічних показників.

### 2. Зв'язки між сутностями

- Культури висіваються на полях, сівозміна враховує історію посівів, тип ґрунту й клімат, господарство приймає рішення на основі цих зв'язків.

### 3. Масиви даних

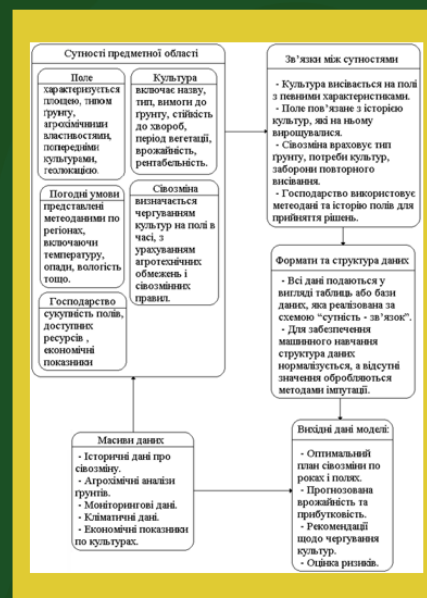
- Використовуються історичні сівозміни, аналізи ґрунтів, супутникові й кліматичні дані, економічна інформація по культурах.

### 4. Формати та структура даних

- Дані зберігаються в таблицях або базі даних за схемою "сутність–зв'язок", нормалізовані для аналізу й ML, з обробкою пропусків.

### 5. Вихідні дані моделі

- Генерується оптимальний план сівозміни, прогноз врожайності й прибутковості, агрономічні рекомендації та оцінка ризиків.



## Основні модулі

### Основні модулі:

#### Модуль введення агрономічних даних:

Користувач може вводити основні параметри полів, такі як площа, тип ґрунту, показники рН і вологості. Також передбачено збереження історії культур для кожного поля, що дозволяє ефективно планувати сівозміну.

#### Модуль кліматичних даних:

Цей модуль дозволяє ввести кліматичні умови, що впливають на вибір культур для вирощування. Враховуються такі параметри, як рівень опадів, середньорічні температури та індекси посушливості.

#### Модуль визначення цілей:

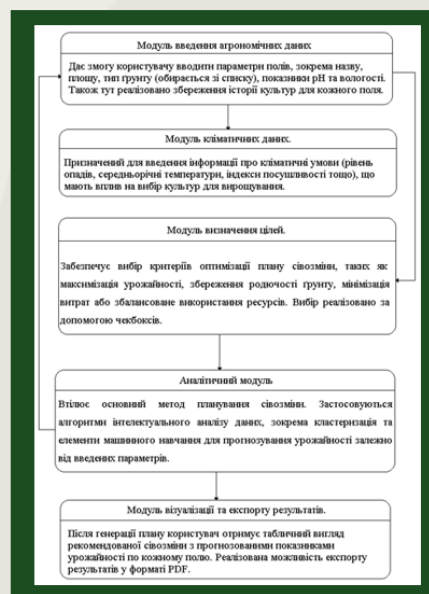
Користувач може вибрати критерії для оптимізації сівозміни, наприклад, максимізацію урожайності або збереження родючості ґрунту. Вибір здійснюється через чекбокси для зручності.

#### Аналітичний модуль:

Цей модуль використовує алгоритми інтелектуального аналізу та машинного навчання для прогнозування урожайності. Він забезпечує точне планування сівозміни на основі зібраних агрономічних і кліматичних даних.

#### Модуль візуалізації та експорту результатів:

Після генерування плану користувач отримує таблицю з рекомендованою сівозміною та прогнозованими показниками урожайності. Реалізовано експорт результатів у форматі PDF для зручного збереження та використання.



## Інформаційна модель методу планування сівозміни

### 1. Реєстрація агрономічної інформації про поля

- Користувач вводить назву поля, площу, тип ґрунту, параметри рН, вологість і історію вирощування культур.

### 2. Введення кліматичних даних

- Заноситься середньорічна температура, кількість опадів і вологість повітря.

### 3. Задання цілей планування

- Цілі, як-от урожайність, збереження ґрунту чи економія, обираються через чекбокси з можливістю комбінування.

### 4. Генерація плану сівозміни

- Система формує оптимальний план з урахуванням ротації культур, ґрунтів, клімату та попередніх посівів.

### 5. Прогноз урожайності

- Розраховується очікувана врожайність по кожному полю, результати подаються у табличному форматі.

### 6. Збереження результатів у PDF

- Кінцевий план і прогнози можна зберегти у PDF через відповідну кнопку для звітності чи друку.



## Проведення експериментів та дослідження роботи системи

Назва поля	Площа (га)	Тип ґрунту	pH	Вологість	Історія культур
Поле_Чорнозем	12	Чорнозем	6,8	Середня	Пшениця – Соя – Кукурудза
Поле_Супіщане	8	Супіщане	5,9	Висока	Сояшник – Ріпак
Поле_Лучне	15	Лучний	7,2	Низький	Кукурудза – Пшениця - Ячмінь

Тестові данні додавались в меню створення поля

Назва поля  
Поле\_Чорнозем

Площа (га)  
12

Тип ґрунту  
Чорнозем

pH  
6,8

Вологість  
Середня

Історія культур  
Пшениця-Соя-Кукурудза

Зберегти

Інтерфейс створення поля

## Проведення експериментів та дослідження роботи системи

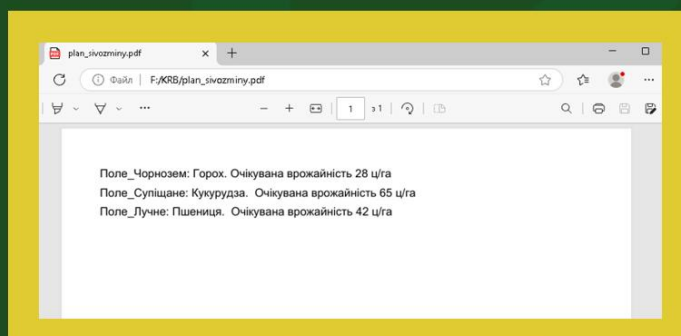
План сівозміни

Поле\_Чорнозем: Горох. Очікувана врожайність 28 ц/га  
Поле\_Супіщане: Кукурудза. Очікувана врожайність 65 ц/га  
Поле\_Лучне: Пшениця. Очікувана врожайність 42 ц/га

Зберегти

Вивід результату

Збережені результати у форматі pdf



## Аналіз результатів досліджень

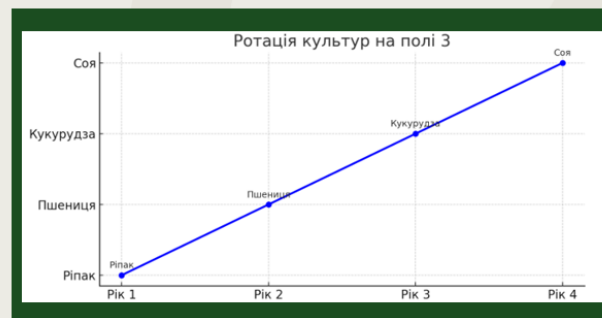
Проведене експериментальне дослідження підтверджує ефективність розробленого методу планування сівозміни культур на основі інтелектуального аналізу даних. Основна увага була приділена оцінці точності, адаптивності, продуктивності та зручності використання системи в умовах різних агрокліматичних сценаріїв.

### Ефективність алгоритму сівозміни

Модель забезпечує коректну агрономічну ротацію культур з урахуванням типу ґрунту, кислотності (рН), вологості, історії полів та кліматичних особливостей регіону. Застосування системи дозволило уникнути повторної посадки культур однієї групи на тих самих ділянках, що знижує ризики деградації ґрунту та хвороб.

Поле №	Рік 1	Рік 2	Рік 3	Рік 4
1	Кукурудза	Соя	Пшениця	Соняшник
2	Пшениця	Соняшник	Кукурудза	Горох
3	Ріпак	Пшениця	Кукурудза	Соя
4	Горох	Кукурудза	Соя	Пшениця

Приклад згенерованої сівозміни для 5 полів на 4 роки



## Аналіз результатів досліджень

### Гнучкість налаштувань та мультицільова оптимізація

Система дозволяє задавати пріоритетні цілі при формуванні плану сівозміни, зокрема:

- максимізацію прогнозованої урожайності;
  - мінімізацію витрат на вирощування культур (з урахуванням витрат на добрива, техніку, обробку).
- Досягнення гнучкості забезпечується через вагові коефіцієнти, які використовуються в цільових функціях.

У розділі 2 такі цільові функції реалізовані як

$$\max Z = w_1 \cdot Y(x) - w_2 \cdot C(x)$$

та

$$\max I_{\text{метод}} = w_1 \cdot T_{\text{прогноз}} + w_2 \cdot T_{\text{оптим}} + w_3 \cdot T_{\text{корист}}$$

Це дозволяє користувачу адаптувати алгоритм планування під різні сценарії, наприклад: максимізацію прибутку, зменшення витрат або збалансовану модель.

Мета оптимізації	Основна культура	Зміни в чергуванні	Очікувана урожайність, ц/га
Урожайність	Кукурудза	Менше зернобобових	72.4
Стабільність ґрунту	Соя	Частіше горох, ріпак	68.1
Мінімізація витрат	Пшениця	Уникає кукурудзи	65.5

Вплив вибору цільової функції на рекомендовану сівозміну



## Загальні висновки

У кваліфікаційній роботі було розроблено метод планування сівоозміни культур для агропідприємств із використанням інтелектуального аналізу даних. Проведене дослідження підтвердило актуальність проблеми та ефективність застосування сучасних технологій у сільському господарстві. Метод поєднує класичні агрономічні знання з інструментами кластеризації, регресійного моделювання та оптимізації, що дозволяє враховувати агрономічні, кліматичні й економічні чинники. Реалізована програмна система з графічним інтерфейсом автоматизує планування сівоозміни та забезпечує зручний аналіз результатів. Експериментальні результати показали підвищення прогнозованої врожайності, зниження витрат і дотримання агротехнічних вимог. Розроблене рішення є адаптивним, масштабованим і придатним до подальшого вдосконалення, зокрема шляхом інтеграції з GIS, супутниковими даними та мобільними додатками.

**Дякую за увагу!**

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК

## ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи Метод планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних

Автор студент групи КН-21-2 Олексій САС

Освітня програма Комп'ютерні науки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 122 – Комп'ютерні науки

Науковий керівник: к.ф.-м.н., доц. каф. комп'ютерних наук Віталій Міхалевський

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т.ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмними засобами комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є академічним плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	<i>відповідає</i>
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укріття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	<i>відсутні</i>

Підтвердження:

*Запозичення, виявлені в роботі Олексія Саса, не є плагіатом, оскільки: запозичення розміщені в розділі огляду існуючих підходів, не описують безпосередньо авторську роботу і не стосуються її результатів; усі запозичення фрагментарні; до запозичень входять фрагменти, які не мають авторства і містять поширені конструкції та загальновідомі терміни, скорочення. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином, робота є законною та приймається до захисту.*

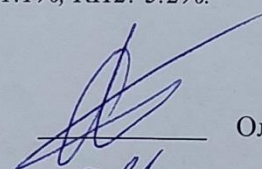
*Обсяг запозичень, визначений системами виявлення збігів/ідентичності/схожості:*

*- за системою Anti-Plagiarism: 6%;*

*- за системою StrikePlagiarism КП1: 11.1%, КП2: 3.2%.*

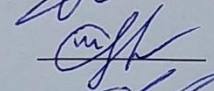
20.06.2025

Завідувач кафедри



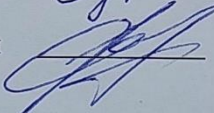
Олександр БАРМАК

Гарант освітньої програми



Олександр МАЗУРЕЦЬ

Керівник кваліфікаційної роботи



Віталій МІХАЛЕВСЬКИЙ

20.06.25, 13:27

result\_1109786928602241399.html

Fri Jun 20 13:27:14 EEST 2025, Петровський Сергій Степанович, Хмельницький національний університет, ХНУ

## Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 6.0%

Dictionaries check: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Errors in the documents: 10%

ID: 247170 Title: КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА на тему Метод планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних Added in a DB: 2025-06-20 Authors: Олексій САС Heads: Віталій МІХАЛІЄВСЬКИЙ Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	63330	940	5615 (9%)	83 (9%)

### Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

**Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником**

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

**Автор:** Олексій САС

**Співавтор:**

**Назва:** КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА на тему Метод планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних

**Науковий керівник:** Віталій МІХАЛЕВСЬКИЙ, к.ф.- м.н., доцент

**Підрозділ:** Кафедра комп'ютерних наук

**Коефіцієнт подібності 1:**11.1%

**Коефіцієнт подібності 2:**3.2%

**Мікропробіли:** 0

**Заміна букв:** 15

**Інтервали:** 0

**Білі знаки:** 1

**Дата створення звіту:** 2025-06-20 16:26:09.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2025-06-20

Дата

експерт

*Л.О. Петровський Р.С.*



**ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МОН УКРАЇНИ**



**Кафедра комп'ютерних наук**

**ВІДГУК НАУКОВОГО КЕРІВНИКА  
на кваліфікаційну роботу бакалавра**

студента *гр. КН-21-2 Олексія САСА*

за темою *Метод планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних*

**1. Актуальність теми**

Актуальним завданням, яке потребує аналізу і досліджується у даній роботі, є визначення методів планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства. Процеси оцінки та плану сівозміни культур завжди були актуальними, а в сьогоденних умовах війни додаються додаткові фактичні та прогнозовані ризики (обстріли, бойові дії тощо) для сівозміни культур. Для ефективного використання інформаційної системи необхідно передбачити застосування програмного модуля, який би дозволяв формувати рекомендації з побудови планів сівозміни на основі вхідної множини даних про різні фактори, що впливають на сівозміну. Розробка такого методу планування є актуальною задачею комп'ютерних наук.

**2. Відповідність роботи предметній області Стандарту спеціальності 122 Комп'ютерні науки**

За стандартом, а саме описом предметної області, об'єктами вивчення та діяльності є математичні, інформаційні, імітаційні моделі реальних явищ, об'єктів, систем і процесів та методи і технології отримання, зберігання, обробки, передачі та використання інформації. Метою роботи саме є підвищення точності методу планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних. При вирішенні поставленої задачі використано методи та алгоритми розв'язання теоретичних і прикладних задач, що виникають при розробці інформаційних технологій. Тому результати виконання кваліфікаційної роботи бакалавра відповідають стандарту бакалавра спеціальності 122 – Комп'ютерні науки.

**3. Професійні та особистісні якості бакалавра**

При роботі над кваліфікаційною роботою бакалавра Олексій САС проявив себе кваліфікованим фахівцем та дисциплінованим студентом, вчасно виконуючи поставлені етапи дослідження. Як в процесі написання пояснювальної записки, так і при розробці методу та прикладного програмного забезпечення проявив достатні для одержання успішного результату компетентності та результати навчання. Опанував професійні скіли за напрямком «Комп'ютерні науки» та достатньо значний софт скіл. Також серед особистісних якостей студента слід виділити відповідальність, здатність навчатися, нестандартність мислення.

#### **4. Ступінь самостійності під час виконання кваліфікаційної роботи**

Одержані в роботі результати є наслідком особистої діяльності студента, який самостійно виконував всі поставлені задачі.

#### **5. Ступінь оволодіння методами дослідження**

При реалізації кваліфікаційної роботи показав достатній рівень компетентностей та володіння необхідними інструментами та обладнанням, методами, методиками та технологіями предметної області комп'ютерних наук.

#### **6. Повнота та якість розкриття теми роботи**

Тема роботи в достатній мірі обґрунтована й розкрита, проведено аналіз актуальності та відомих досліджень в межах обраної теми, поставлені завдання, які у роботі виконані, розроблено метод планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних та програмне забезпечення для перевірки функціональності розробленої системи і проведення експериментів.

#### **7. Логічність, послідовність, аргументованість, літературна грамотність викладення матеріалу**

Структура роботи та послідовність викладення логічні та відповідають поставленій меті. Викладення матеріалу послідовне, аргументоване, літературно грамотне.

#### **8. Можливість практичного застосування кваліфікаційної роботи бакалавра, окремих її частин**

Розроблений у роботі метод та його програмна реалізація можуть бути використані працівниками-агрономами для проведення досліджень та складання планів сівозмін, або інших заходів, пов'язаних із вирощуванням зернових культур. Ефективність застосування розробленого методу планування з використанням інтелектуального аналізу даних за результатами проведених експериментів складає в середньому 4,3%.

#### **9. Висновок про можливість допуску кваліфікаційної роботи бакалавра до захисту, на яку оцінку заслуговує робота**

Враховуючи достатній рівень виконання та забезпечення усіх необхідних вимог, робота може бути допущена до захисту.

Рекомендована оцінка «задовільно».

Керівник \_\_\_\_\_ к.фіз.-мат.н., доц. Віталій МІХАЛЕВСЬКИЙ





ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МОН УКРАЇНИ

Кафедра комп'ютерних наук



## РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

студента гр. КН-21-2 Олексія САСА

за темою: Метод планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних

### 1. Актуальність обраної теми

В кваліфікаційній роботі бакалавра був розглянутий метод планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних. Тема роботи є актуальною на даний час, актуальність обґрунтована дослідженням процесів вирощування сільськогосподарської продукції з необхідністю врахування метеорологічних даних, даних про ґрунти, сівозміни та застосування засобів інтелектуального аналізу даних. Актуальність теми планування сівозміни культур в Україні можна розглянути в контексті війни, коли велика кількість земель непридатна для використання і необхідно оптимально використовувати наявні запаси. Тому розробка методів планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства є надзвичайно важливою в сучасних умовах.

### 2. Повнота розкриття мети та завдань роботи

Завдання дослідження повністю розкривають мету роботи. Розроблено новий метод планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних. Створено інформаційну модель, яка дозволяє автоматизувати процеси планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства та забезпечує отримання максимального прибутку і збереження земель.

Спроековано функціональну структуру інформаційної системи для планування сівозміни культур. Розроблено програмну реалізацію методу планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних. Проведено функціональне і прикладне дослідження запропонованого методу, що підтвердило його ефективність і надійність при планування сівозміни культур.

### 3. Зміст кожного розділу роботи

У першому розділі проведено аналіз предметної області та сформульовано постановку задачі на розробку методу планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних. Розглянуто основні теорії та методи планування, які можуть бути використані для подальшої розробки програмної системи.

У другому розділі запропоновано і розроблено метод планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства. Спроектовано інформаційну модель, яка дозволяє автоматизувати процеси планування та забезпечує організацію сівозміни, збереження ґрунтів і отримання максимальної користі від вирощування продукції.

У третьому розділі розглянуто особливості реалізації розробленого методу Метод планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних. Проведено експерименти для перевірки ефективності роботи методу, описано функціональні можливості інформаційної системи.

#### **4. Оцінка розробленого методу та його практична цінність**

Метод повністю розроблений відповідно до визначених завдань. Він базується на запропонованій інформаційній моделі та використовує підхід до планування сівозміни культур для сільськогосподарського підприємства засобами інтелектуального аналізу даних. Практична цінність розробленого методу полягає у можливості його реального застосування для вирішення задач планування, забезпечення оптимального використання земель та підтримки прийняття обґрунтованих рішень. Практичне значення методу полягає у зменшенні витрат на ручне опрацювання даних про плануванні сівозміни сільськогосподарських культур і оперативності процесів прийняття рішень.

#### **5. Якість оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра**

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи бакалавра оформлена відповідно до норм. Мовних, граматичних, синтаксичних помилок не виявлено.

#### **6. Недоліки кваліфікаційної роботи бакалавра**

Явних недоліків в роботі не виявлено. Можна було б узагальнити роботу методу та системи шляхом розширення можливостей планування інших видів культур, крім злакових.

#### **7. Загальний висновок (допускається чи не допускається до захисту), та оцінка на яку заслуговує кваліфікаційна робота.**

Враховуючи рівень виконання та забезпечення усіх необхідних вимог, робота може бути допущена до захисту.

Рекомендована оцінка **«Задовільно»**.

Рецензент

*Друж К. Ор-м. н., доц. Наталія ЯРЕЦЬКА*