

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет інформаційних технологій

**ПОГОДЖЕНО
Декан факультету**

_____ **Ігор БОЛБОТ**
(підпис)

«___» _____ 2026 р.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри комп'ютерних наук**

_____ **Белла ГОЛУБ**
(підпис)

«___» _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: «Програмне забезпечення інформаційної системи агрохімічного
паспорта полів»**

Спеціальність «121 Інженерія програмного забезпечення»

Освітньо-професійна програма «Інженерія програмного забезпечення»

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., доцент

_____ **Ганна ВАЙГАНГ**
(підпис)

**Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи**

К.Т.Н., С.Н.С.

_____ **Георгій БОРОДКІН**
(підпис)

Виконав

_____ **Денис САМАР**
(підпис)

Київ-2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет інформаційних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри комп'ютерних наук

К.Т.Н., доцент _____ Белла ГОЛУБ
(підпис)

«___» _____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ БАКАЛАВРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ЗДОБУВАЧУ**

Самару Денису Владиславовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність «121 Інженерія програмного забезпечення»

Освітньо-професійна програма «Інженерія програмного забезпечення»

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи

«Програмне забезпечення інформаційної системи агрохімічного паспорту полів»

затверджена наказом від «19» грудня 2025 р. №3204 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру «22 травня 2026 р.

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи (проєкту):

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

Перелік графічних документів (за необхідності).

Дата видачі завдання «16» вересня 2025 р.

**Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи**

_____ (підпис)

Георгій БОРОДКІН

**Завдання взяв до
виконання**

_____ (підпис)

Денис САМАР

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ АГРОХІМІЧНОГО ПАСПОРТА ПОЛІВ	9
1.1 Опис предметної області агрохімічного моніторингу полів	9
1.2 Теоретико-методологічні засади аналізу агрохімічних показників ґрунту та сучасний стан наукових досліджень.....	11
1.3 Аналіз існуючих рішень й інформаційних систем	14
1.4 Моделювання предметної області	18
1.5 Аналіз вимог інформаційної системи	21
1.6 Постановка завдання	24
2 ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	26
2.1 Логічна модель даних інформаційної системи агрохімічного паспорта полів	26
2.2 Діаграма класів і кооперації інформаційної системи агрохімічного паспорта полів	30
2.3 Діаграма компонентів	34
2.4 Діаграма пакетів інформаційної системи агрохімічного паспорта полів	37
2.5 Висновки до розділу 2.....	40
3 РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	42
3.1 Обґрунтування вибору технологічних засобів реалізації	42
3.2 Розробка фізичної моделі бази даних	43
3.3 Алгоритмізація роботи програмних модулів системи	47
3.4 Реалізація основних програмних модулів	53
3.5 Опис інтерфейсу користувача	55

3.6 Висновки до третього розділу	57
4 ТЕСТУВАННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ.....	58
4.1 План тестування програмних модулів та методика оцінювання результатів.....	58
4.2 Тестування інформаційної системи агрохімічного паспорта полів.....	60
4.3 Оцінювання ефективності роботи системи.....	69
4.4 Висновки до четвертого розділу	71
ВИСНОВКИ	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	74
ДОДАТОК А	77
ДОДАТОК Б.....	79
ДОДАТОК В	81
ДОДАТОК Г.....	84

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

- БД - база даних
- СУБД - система управління базами даних
- ІС - інформаційна система
- ПЗ - програмне забезпечення
- GUI - графічний інтерфейс користувача
- UI - інтерфейс користувача
- SQLite - вбудована локальна система управління базами даних
- SQL - мова структурованих запитів до бази даних
- Python - мова програмування, використана для реалізації програмного забезпечення
- PyQt6 - бібліотека Python для створення графічного інтерфейсу користувача
- HTML - мова гіпертекстової розмітки, використана для формування паспорта поля
- PDF - формат електронного документа для друку та збереження звітів
- CSV - текстовий формат для експорту табличних даних
- CRUD - базові операції з даними: створення, читання, оновлення та видалення
- N - азот
- P_2O_5 - рухомий фосфор у перерахунку на оксид фосфору
- K_2O - обмінний калій у перерахунку на оксид калію
- NPK - комплекс основних елементів живлення рослин: азот, фосфор і калій
- рН - показник кислотності ґрунтового розчину
- гумус - органічна частина ґрунту, що характеризує рівень його родючості

- мг/кг - міліграм речовини на один кілограм ґрунту
- га - гектар, одиниця площі земельної ділянки

ВСТУП

Актуальність дослідження зумовлена зростанням потреби у точному, стандартизованому та автоматизованому агрохімічному моніторингу земельних ресурсів, що є критично важливим для забезпечення раціонального використання добрив, підвищення врожайності та збереження родючості ґрунтів. Традиційні моделі ведення агрохімічного паспорта полів часто ґрунтуються на розрізнених даних, ручному введенні результатів аналізів та неуніфікованих форматах, що ускладнює довгостроковий моніторинг, оперативне ухвалення рішень і інтеграцію з цифровими платформами агровиробництва. У сучасних умовах діджиталізації агросектора постає потреба у створенні інформаційної системи, яка забезпечить формалізоване збирання агрохімічних даних, їх структуроване зберігання, аналітичну обробку та автоматизоване формування агрохімічного паспорта відповідно до чинних методичних вимог.

Мета роботи полягає у розробленні програмного забезпечення інформаційної системи агрохімічного паспорта полів, здатної забезпечити комплексний цикл оброблення інформації: від введення та валідації вихідних даних до формування паспорта та побудови аналітичних звітів для підтримки агрономічних рішень.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі **завдання**:

1. провести системний аналіз предметної області агрохімічного моніторингу;
2. дослідити нормативні вимоги до структури й змісту агрохімічного паспорта;
3. проаналізувати існуючі цифрові рішення та визначити їх обмеження;
4. здійснити моделювання інформаційних процесів, потоків даних і структур даних;

5. сформувати вимоги до функціональних, нефункціональних та безпекових характеристик системи;
6. розробити архітектуру програмного забезпечення; реалізувати компонентну структуру системи;
7. виконати тестування, оцінити результати функціонування та визначити ефективність запропонованого рішення.

Об'єктом дослідження є процес інформаційної підтримки агрохімічного моніторингу ґрунтів у цифрових системах агровиробництва.

Предметом дослідження є методи, алгоритми та програмні засоби побудови інформаційної системи агрохімічного паспорта полів, що забезпечують структурування, зберігання, аналіз та відтворюване формування агрохімічних показників.

Методи дослідження включають системний аналіз для формалізації предметної області, методи моделювання UML та ER для опису структури даних і взаємодії компонентів, алгоритмічні підходи до оброблення агрохімічної інформації, методи аналітики й валідації даних, а також програмно-інженерні підходи до проєктування, тестування та оцінювання якості програмного забезпечення.

Наукова новизна роботи полягає у розробленні узгодженої інформаційної моделі агрохімічного паспорта полів та програмного рішення, що забезпечує автоматизоване формування паспорта на основі формалізованих вхідних даних, інтегрованих алгоритмів контролю якості й цілісності інформації та аналітичних модулів для підтримки агрономічних рішень. Розроблене програмне забезпечення усуває фрагментарність традиційних способів ведення агрохімічної документації, забезпечуючи стандартизацію, масштабованість і підвищення точності оброблення агрохімічних показників.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ АГРОХІМІЧНОГО ПАСПОРТА ПОЛІВ

1.1 Опис предметної області агрохімічного моніторингу полів

Предметна область агрохімічного моніторингу охоплює процеси формалізованого збирання, систематизації, аналізу та візуалізації даних про стан ґрунтів, їх родючість, хімічний склад і динаміку показників, що визначають ефективність використання земельних ресурсів. На рисунку 1.1 подано узагальнену схему взаємодії ключових учасників процесу - землекористувача, агронома, лабораторії, контролюючих органів та інформаційних підсистем - яка демонструє основні інформаційні потоки у системі агрохімічного паспортизування полів.

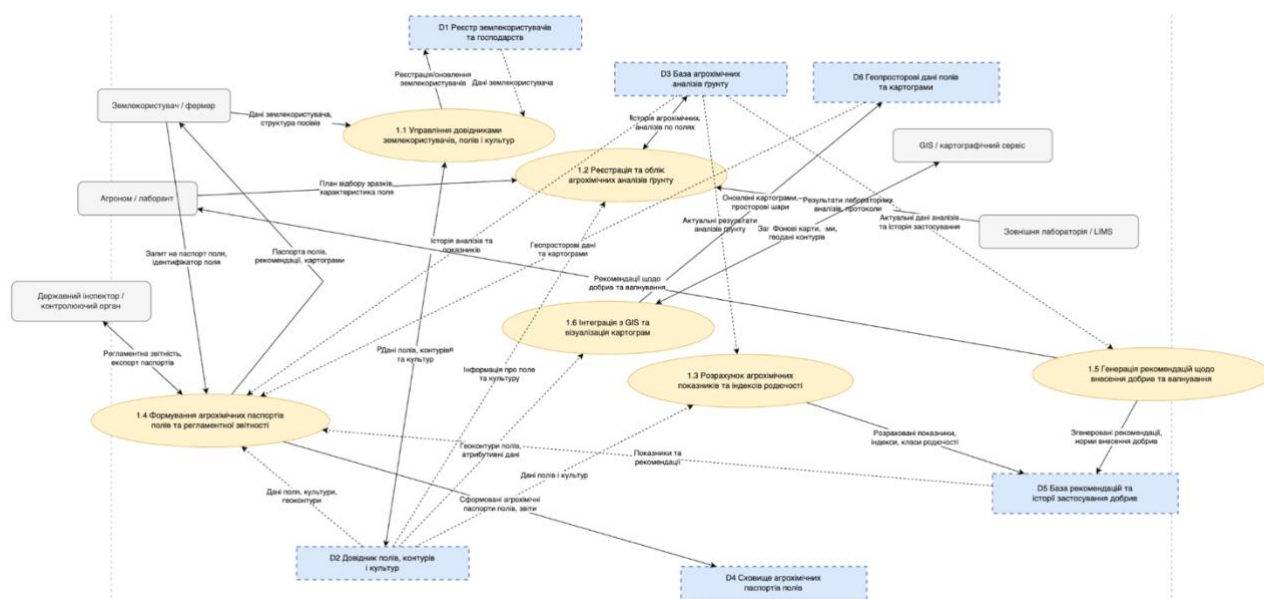


Рис. 1.1. Загальна модель взаємодії суб'єктів та компонентів предметної області агрохімічного моніторингу

Основою предметної області є формалізація даних про землекористувачів, поля, контури та вирощувані культури, що забезпечує можливість просторової прив'язки агрохімічних показників до управлінських об'єктів. Дані надходять з різних джерел: від землекористувача (структура посівів, агротехнічні операції), від агронома та лабораторії (протоколи аналізів ґрунту, плани відбору зразків),

від зовнішніх сервісів GIS (геопросторові шари, картограми), а також від державних структур (регламентні вимоги, шаблони паспортів). Ключовими елементами інформаційної структури є: реєстр землекористувачів, довідники полів і контурів, база агрохімічних аналізів, модулі розрахунку показників родючості, модуль формування паспорта та блок інтеграції з GIS-сервісами.

Для систематизації об'єктів предметної області доцільно використовувати структуровану класифікацію, наведену в таблиці 1.1, що відображає основні категорії сутностей інформаційної системи агрохімічного паспорта.

Таблиця 1.1

Основні категорії об'єктів предметної області агрохімічного моніторингу

Категорія об'єкта	Опис	Джерело даних
Землекористувач / господарство	Ідентифікаційні дані, структура угідь, посіви	Реєстр землекористувачів
Поле / контур	Геометрія, координати, площа, культура, історія обробітку	Довідник полів, GIS
Агрохімічний аналіз	Протоколи лабораторних досліджень ґрунту, датовані серії аналізів	Лабораторія / LIMS
Показники родючості	Розраховані індекси, норми добрив, класифікація родючості	Аналітичний модуль
Паспорт поля	Уніфікований документ, що містить аналізи, рекомендації, картограми	Модуль паспортизації
Рекомендації та історія внесення добрив	Норми, періодичність, результати застосування	База рекомендацій
Геопросторові шари	Картограми, геодані, фонові шари	GIS-сервіси

Сукупність цих компонентів формує предметну область, у якій агрохімічна інформаційна система повинна забезпечити структуроване зберігання агрохімічних показників, автоматизований розрахунок родючості, підтримку інтеграції з лабораторіями та GIS-платформами, а також формування агрохімічних паспортів, що відповідають регламентним вимогам. Як видно з рисунка 1.1, взаємодія між суб'єктами реалізується через чітко визначені інформаційні потоки, що уможлиблює підвищення точності агрохімічного

обліку, зменшення помилок ручної обробки даних та створює передумови для впровадження цифрового управління родючістю ґрунтів на рівні господарства.

1.2 Теоретико-методологічні засади аналізу агрохімічних показників ґрунту та сучасний стан наукових досліджень

У сучасних наукових підходах дослідження родючості ґрунтів базується на статистичному аналізі параметрів кислотності, електропровідності, органічного вуглецю, макро- та мікроелементів, які визначають продуктивність агроландшафтів [Malo et al., 2025; Venkateswarlu et al., 2025]. На рисунку 1.2 наведено узагальнений розподіл ключових агрохімічних параметрів (pH, EC, OC, NPK, S, Zn, B, Fe, Mn, Cu), який демонструє варіативність їхніх значень та підтверджує потребу у використанні стандартизованих індексних методик для подальшої інтерпретації даних.

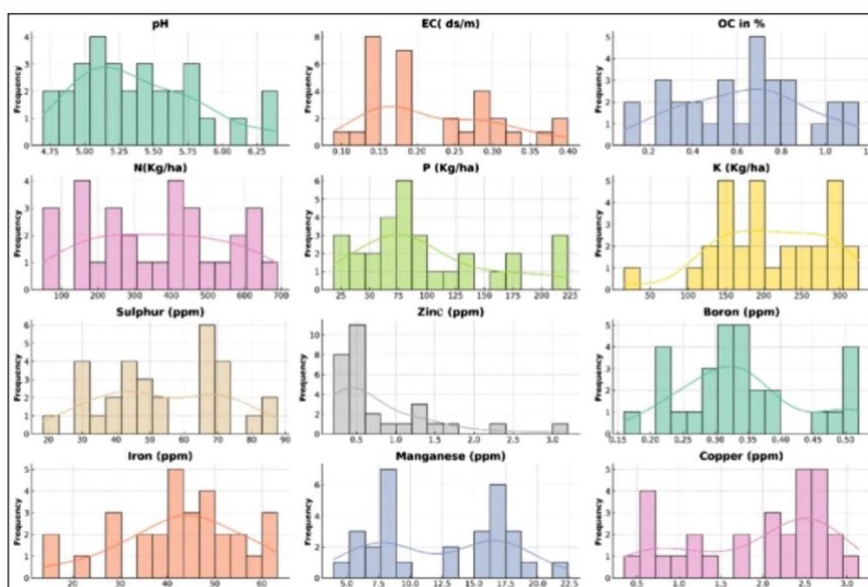


Рис. 1.2. Розподіл основних агрохімічних параметрів ґрунту

Подальший аналіз наукової літератури засвідчує, що кореляційні залежності між показниками визначають не лише агрохімічний стан, а й потенціал продуктивності агроecosистем. Як показано на рисунку 1.3, значущі зв'язки між органічним вуглецем, азотом, електропровідністю та

мікроелементами формують передумови для побудови моделей оцінювання класів родючості [Matviichuk et al., 2021].

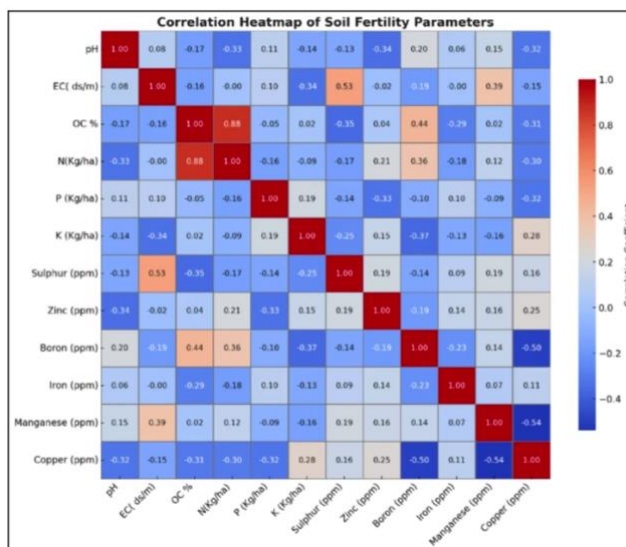


Рис. 1.3. Кореляційна матриця агрохімічних параметрів ґрунту

Однією з найбільш поширених методик є розрахунок Soil Nutrient Index (SNI), запропонований у працях Malo et al. (2025), який передбачає агрегування нормалізованих показників макро- та мікроелементів за класифікаційною шкалою. На рисунку 1.4 представлено приклад обчислених значень SNI для основних агрохімічних параметрів, що демонструє нерівномірність забезпеченості ґрунту елементами живлення та необхідність індивідуальних рекомендацій щодо удобрення.

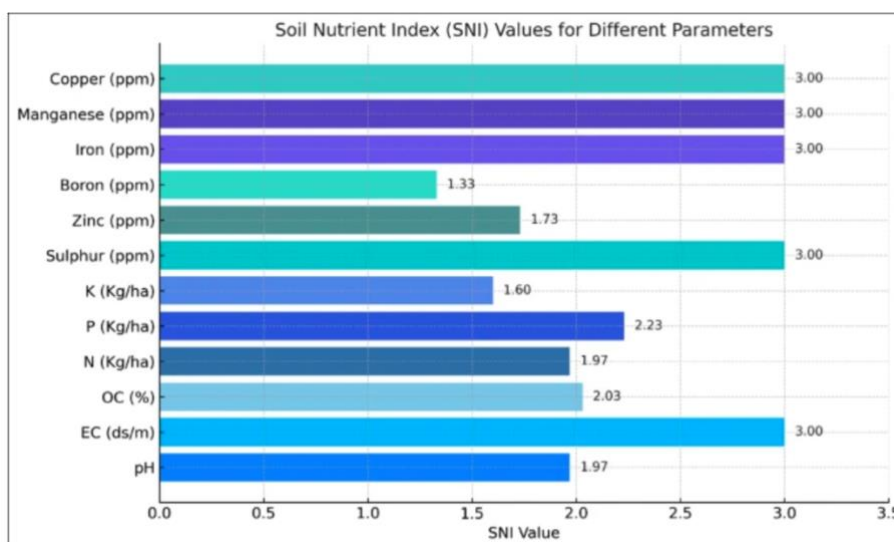


Рис. 1.4. Значення індексу забезпеченості SNI для основних агрохімічних параметрів

Для забезпечення узгодженості даних методи статистичної нормалізації та масштабування використовуються як базовий етап математичної обробки агрохімічної інформації [Paradopoulos, 2015]. На рисунку 1.5 наведено приклади нормалізованих значень параметрів, які демонструють можливість подальшого інтегрування їх у складні індексні й класифікаційні моделі.

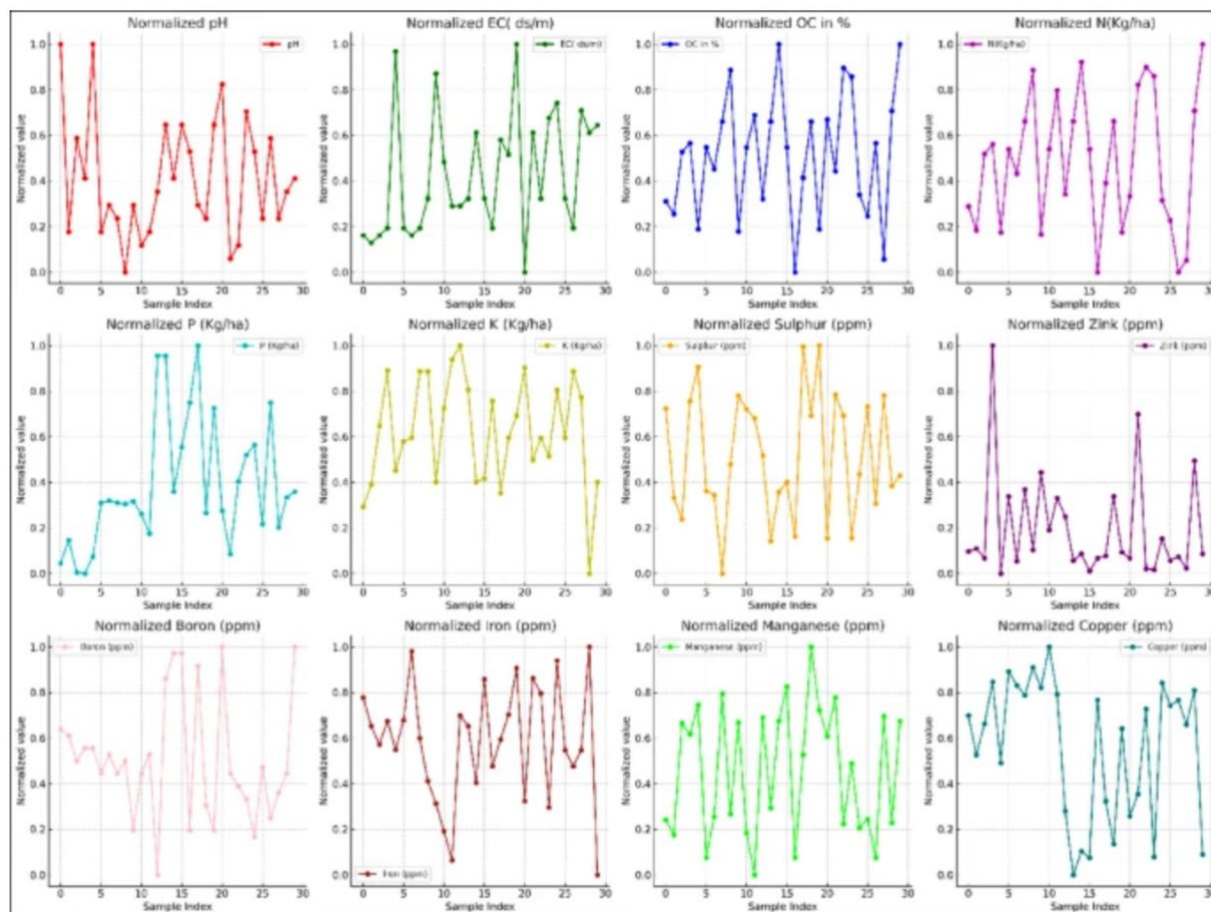


Рис. 1.5. Нормалізовані значення агрохімічних параметрів для різних проб ґрунту

Сучасні DSS-платформи пропонують моделі формування рекомендацій щодо внесення добрив на основі комплексного аналізу NPK, мікроелементів та історичних характеристик поля [Kukar et al., 2019]. На рисунку 1.6 відображено типовий приклад розрахунку потреби у внесенні азоту, фосфору та калію, що демонструє нерівномірність потреб між різними ділянками поля.

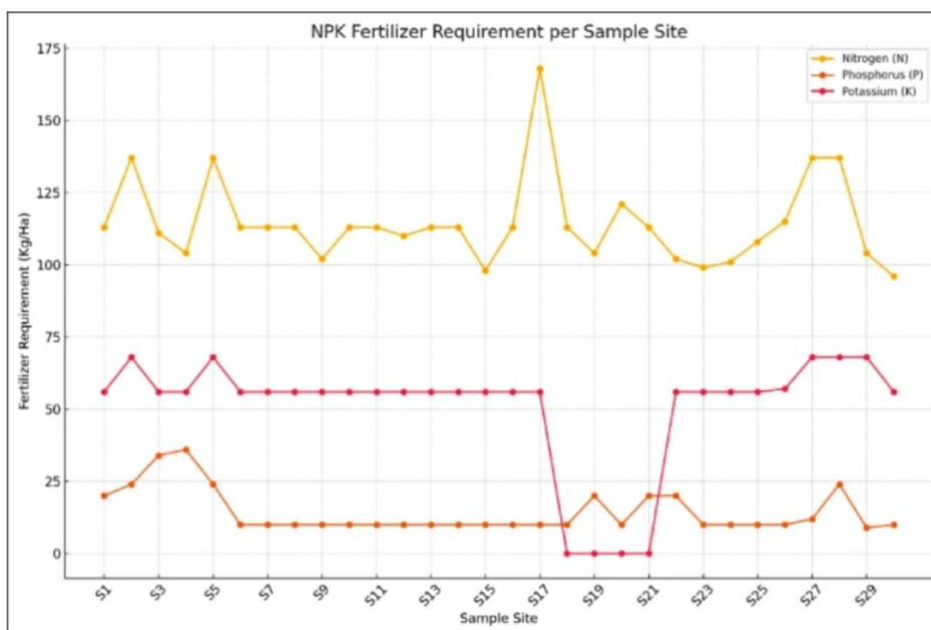


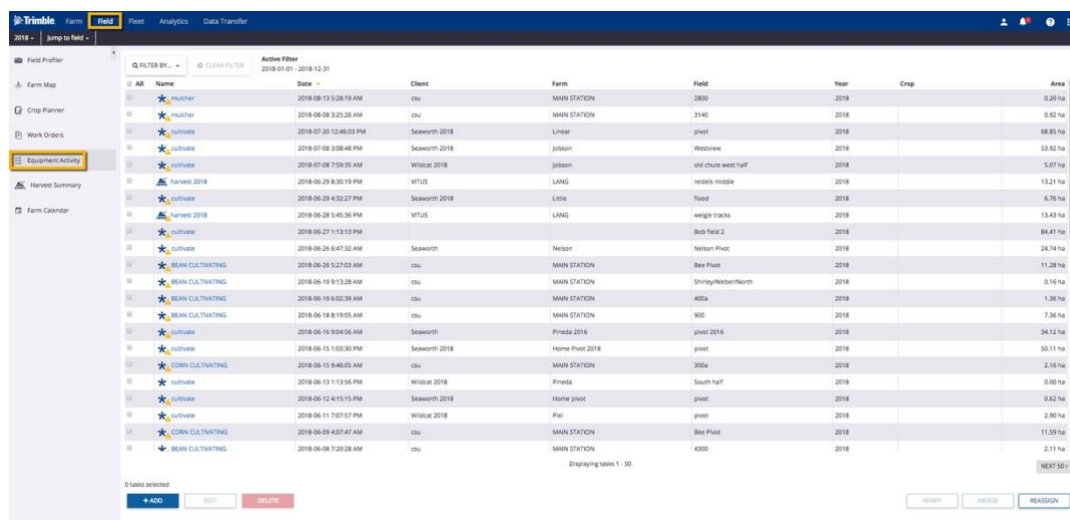
Рис. 1.6. Розрахунок потреби у внесенні NPK-добрих для різних проб ґрунту

Узагальнення наведених методик свідчить, що сучасні дослідження спрямовані на інтеграцію лабораторних, геопросторових та аналітичних даних у єдині цифрові моделі, проте значна частина рішень залишається фрагментованою, що ускладнює створення відтворюваного та стандартизованого агрохімічного паспорта поля. Проведений аналіз дозволяє визначити наукову новизну нашого підходу: у роботі обґрунтовується інтеграція методів нормалізації, кореляційного аналізу, індексних моделей SNI/SFI та модулів прогнозних рекомендацій у структуру єдиної інформаційної системи агрохімічного паспорта полів, що забезпечує автоматизоване формування паспорта, підвищує точність інтерпретації агрохімічних даних та дозволяє розробляти адаптивні рекомендації для управління родючістю у режимі реального часу.

1.3 Аналіз існуючих рішень й інформаційних систем

Серед сучасних цифрових рішень для агрохімічного моніторингу першим варто виділити глобальну платформу SoilGrids, яка формує просторові моделі

Програмне забезпечення Trimble Ag орієнтоване на агроменеджмент, облік робіт та базову GIS-візуалізацію. На рисунку 1.9 наведено приклад роботи системи, де відображені контури полів та операції, однак відсутній модуль агрохімічного аналізу, розрахунків SNI/SFI та формування регламентованих документів.



ID	Name	Date	Client	Farm	Field	Year	Crop	Area
1	MAIN STATION	2018-08-13 9:28:19 AM	clu	MAIN STATION	2800	2018		0.20 ha
2	MAIN STATION	2018-08-08 9:25:26 AM	clu	MAIN STATION	3140	2018		0.92 ha
3	MAIN STATION	2018-07-20 12:40:03 PM	Seaworth 2018	Linear	plant	2018		08.85 ha
4	MAIN STATION	2018-07-08 9:08:48 PM	Seaworth 2018	Josson	Western	2018		33.92 ha
5	MAIN STATION	2018-07-08 9:08:36 AM	Witvuk 2018	Josson	old chote west half	2018		5.07 ha
6	MAIN STATION	2018-06-29 9:30:19 PM	VITUS	LARG	reders middle	2018		13.21 ha
7	MAIN STATION	2018-06-29 4:32:27 PM	Seaworth 2018	Lick	road	2018		6.76 ha
8	MAIN STATION	2018-06-28 9:45:36 PM	VITUS	LARG	weight tracks	2018		13.43 ha
9	MAIN STATION	2018-06-27 1:13:13 PM			Bois Field 2	2018		86.47 ha
10	MAIN STATION	2018-06-26 6:47:32 AM	Seaworth	Nelson	Nelson Phoe	2018		24.74 ha
11	MAIN STATION	2018-06-26 9:27:03 AM	clu	MAIN STATION	Bee Phoe	2018		11.28 ha
12	MAIN STATION	2018-06-19 9:13:28 AM	clu	MAIN STATION	Shirley/Western North	2018		0.16 ha
13	MAIN STATION	2018-06-19 6:02:39 AM	clu	MAIN STATION	400a	2018		1.36 ha
14	MAIN STATION	2018-06-18 8:19:05 AM	clu	MAIN STATION	900	2018		7.36 ha
15	MAIN STATION	2018-06-16 9:04:06 AM	Seaworth	Pinella 2018	plant 2018	2018		34.12 ha
16	MAIN STATION	2018-06-15 1:03:30 PM	Seaworth 2018	Home Phoe 2018	plant	2018		50.11 ha
17	MAIN STATION	2018-06-13 9:40:05 AM	clu	MAIN STATION	300a	2018		2.16 ha
18	MAIN STATION	2018-06-13 1:13:06 PM	Witvuk 2018	Pinella	South half	2018		0.80 ha
19	MAIN STATION	2018-06-12 4:15:15 PM	Seaworth 2018	Home plant	plant	2018		0.82 ha
20	MAIN STATION	2018-06-11 7:07:57 PM	Witvuk 2018	Pot	plant	2018		2.80 ha
21	MAIN STATION	2018-06-09 4:07:47 AM	clu	MAIN STATION	Bee Phoe	2018		11.59 ha
22	MAIN STATION	2018-06-08 7:20:08 AM	clu	MAIN STATION	4300	2018		2.11 ha

Рис. 1.9. Відображення польових контурів у системі Trimble Ag

Платформа John Deere Operations Center забезпечує індексні карти рослинності та дані з аграрної техніки. Рисунок 1.10 відображає приклад інтерпретації вегетаційних індексів, однак система не працює з агрохімічними показниками ґрунту та не підтримує паспортизацію.

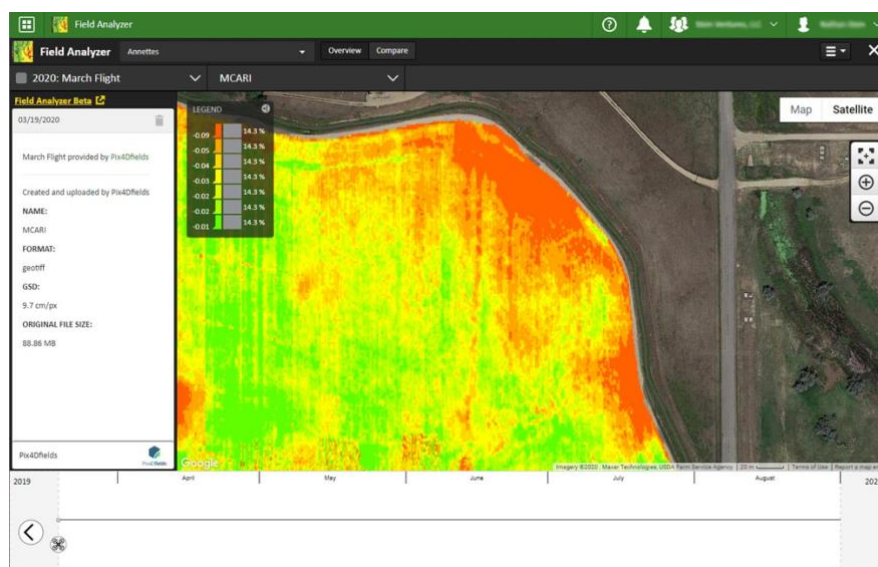


Рис. 1.10. Карта стану рослин у John Deere Operations Center

Окремим класом рішень є SWAT+, призначена для наукового моделювання водного балансу, ерозії та поживних потоків. Як показано на рисунку 1.11, система застосовується для довгострокових сценарних розрахунків, проте не передбачена для рівня господарства та не формує агрохімічний паспорт у нормативному вигляді.

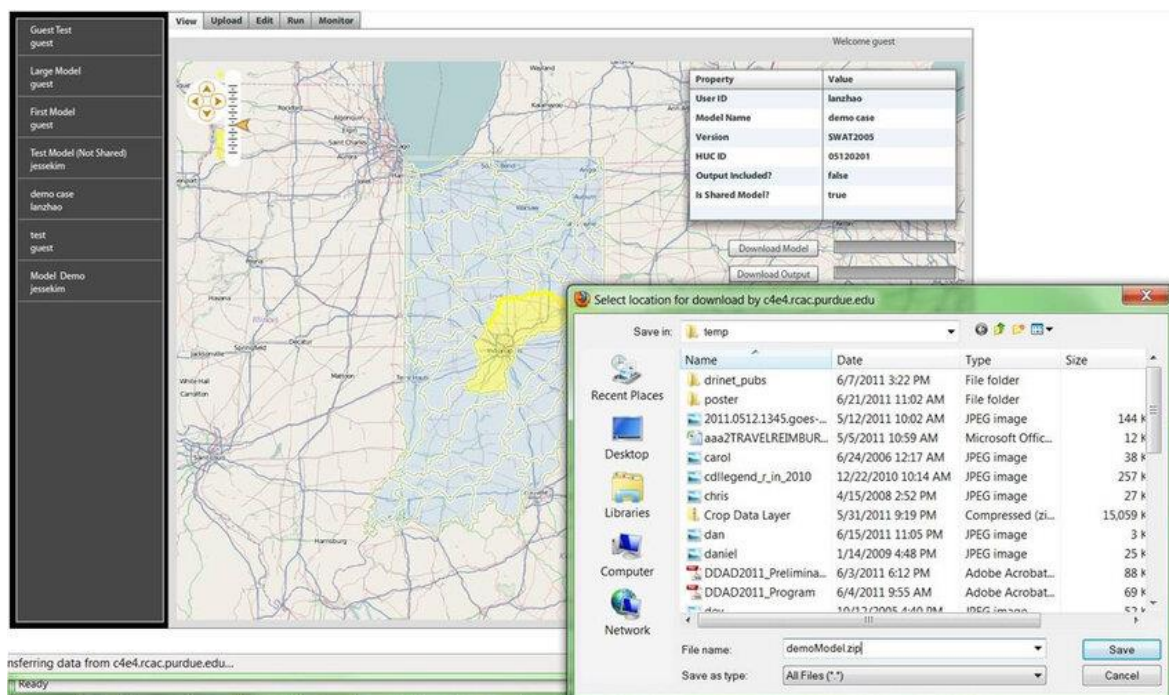


Рис. 1.11. Моделювання процесів ґрунту та водного балансу у SWAT+

Для узагальнення функціональних можливостей зазначених систем у таблиці 1.2 наведено порівняльний аналіз, у якому окремо виділено розроблювану інформаційну систему агрохімічного паспорта полів та її ключові відмінності.

Таблиця 1.2

Порівняння сучасних рішень із розроблюваною системою

Система	Лабораторні аналізи	GIS-картографія	Розрахунок індексів родючості (SNI/SFI)	Формування агрохімічного паспорта	Рекомендації щодо удобрення	Призначення
SoilGrids	Ні	Так	Частково	Ні	Ні	Глобальне картографування ґрунтів

Продовження таблиці 1.2

AgroCares Soil Scanner	Так (експрес)	Обмежено	Ні	Ні	Частково	Полевий експрес-аналіз
Trimble Ag Software	Ні	Так	Ні	Ні	Частково	Управління полями, агроменеджмент
John Deere Operations Center	Ні	Так	Ні	Ні	Частково	Моніторинг стану рослинності
SWAT+	Ні	Так	Так (наукові моделі)	Ні	Так	Наукове моделювання процесів ґрунту
Розроблювана система	Так (повний лабораторний цикл)	Так (інтегрована GIS)	Так (SNI/SFI + власні моделі)	Так (повна автоматична генерація)	Так (адаптивні рекомендації)	Цифровий агрохімічний паспорт поля + аналітика

Загальний аналіз показує, що жодна з наявних платформ не забезпечує повного циклу агрохімічного паспортизування: від збирання лабораторних результатів і нормалізації показників до індексного оцінювання родючості та автоматизованого формування паспорта. Розроблювана система усуває виявлені обмеження, поєднуючи лабораторні дані, GIS-візуалізацію, індексні моделі SNI/SFI, історичні характеристики поля та модуль рекомендацій, що і формує її прикладну цінність і наукову новизну.

1.4 Моделювання предметної області

Моделювання предметної області агрохімічного паспортизування поля полягає у формальному описі взаємодії акторів, функцій системи, інформаційних потоків та умов, за яких здійснюється формування паспорта. На рисунку 1.12 подано діаграму прецедентів, яка відображає ролі землекористувача, агронома,

лаборанта, адміністратора, контролюючого органу та GIS-сервісу і їх взаємодію з ключовими сервісами системи - від реєстрації полів до розрахунку показників та експорту паспорта.

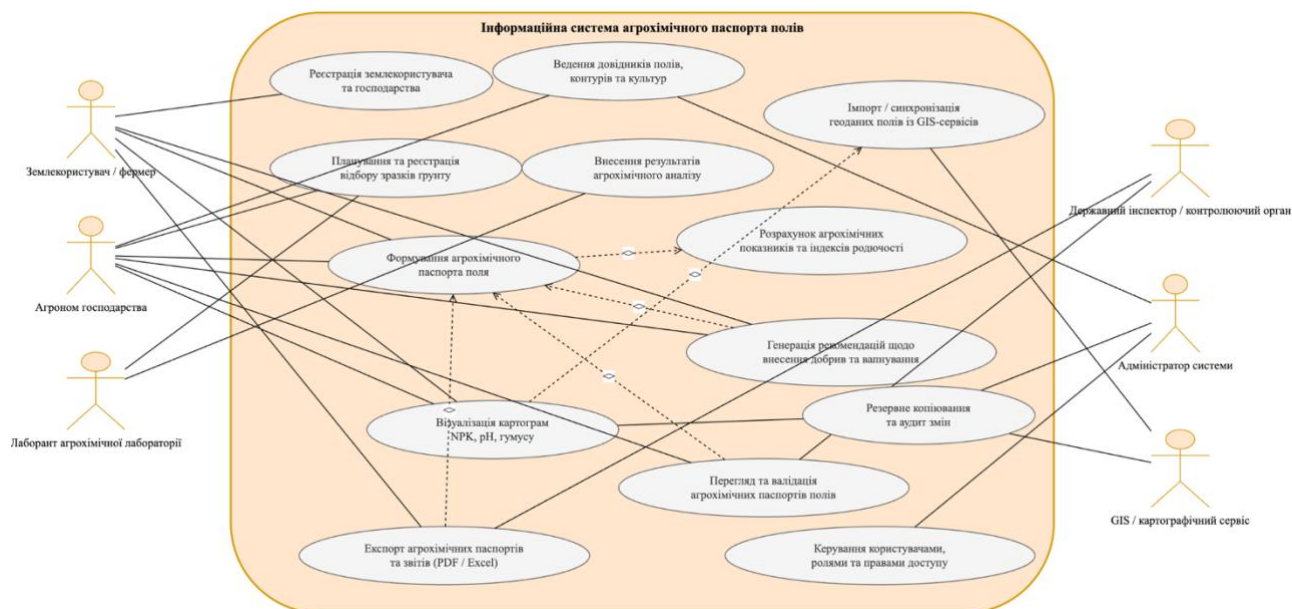


Рис. 1.12. Діаграма прецедентів інформаційної системи агрохімічного паспорта полів

Подальша деталізація механізму формування паспорта відображена на рисунку 1.13, де наведено діаграму послідовності, що описує алгоритм оброблення запиту на паспорт. Сценарій враховує два варіанти розвитку подій: наявність актуальних агрохімічних аналізів (≤ 3 роки) та їх відсутність, коли система формує службове завдання на новий відбір зразків. Діаграма показує структуру взаємодії між веб-інтерфейсом, сервісом управління полями, сервісом агрохімічних аналізів, модулем розрахунків та модулем формування звітів.

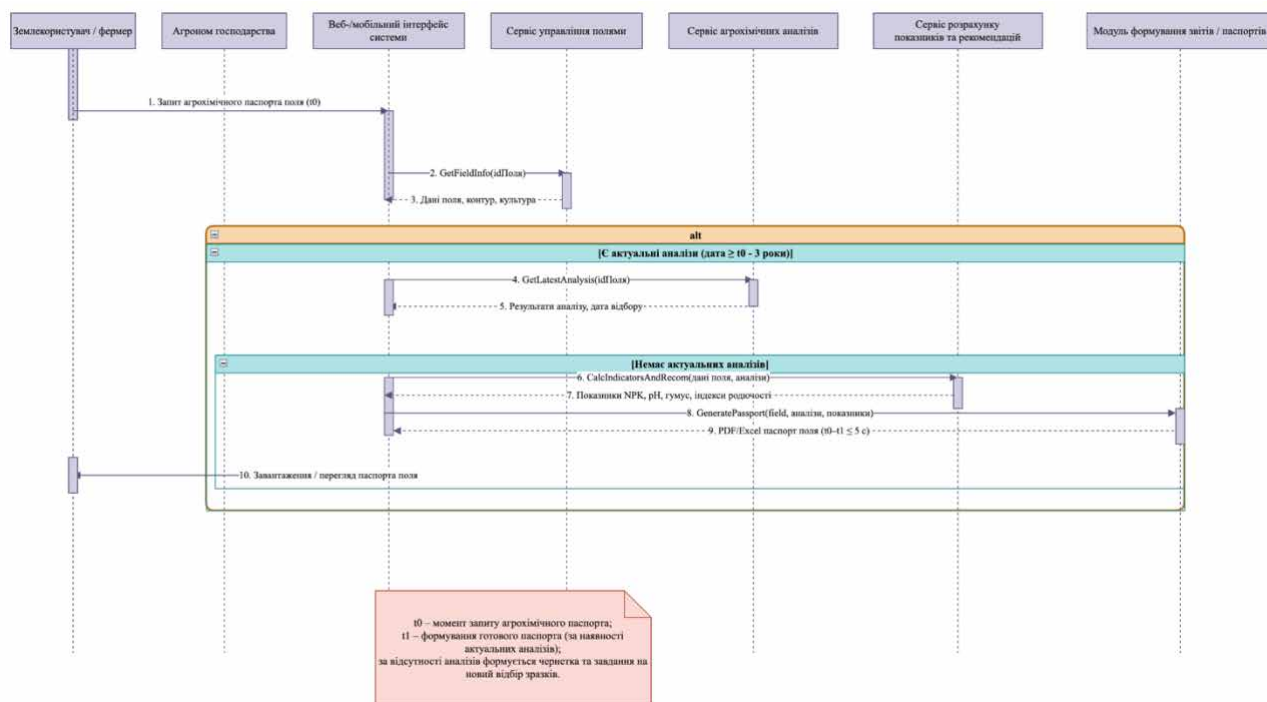


Рис. 1.13. Діаграма послідовності формування агрохімічного паспорта поля

Логіка виконання операцій у розрізі ролей і підсистем також відображена у вигляді діаграми активностей на рисунку 1.14. Діаграма демонструє основні етапи: перевірку даних поля, пошук актуальних аналізів, розрахунок показників (NPK, рН, гумус, індекси родючості), формування паспорта або генерацію нового завдання на лабораторний аналіз. Модель також показує розгалуження сценарію (“так/ні”) та повернення в єдину точку завершення, що підвищує формальну відтворюваність процесу.

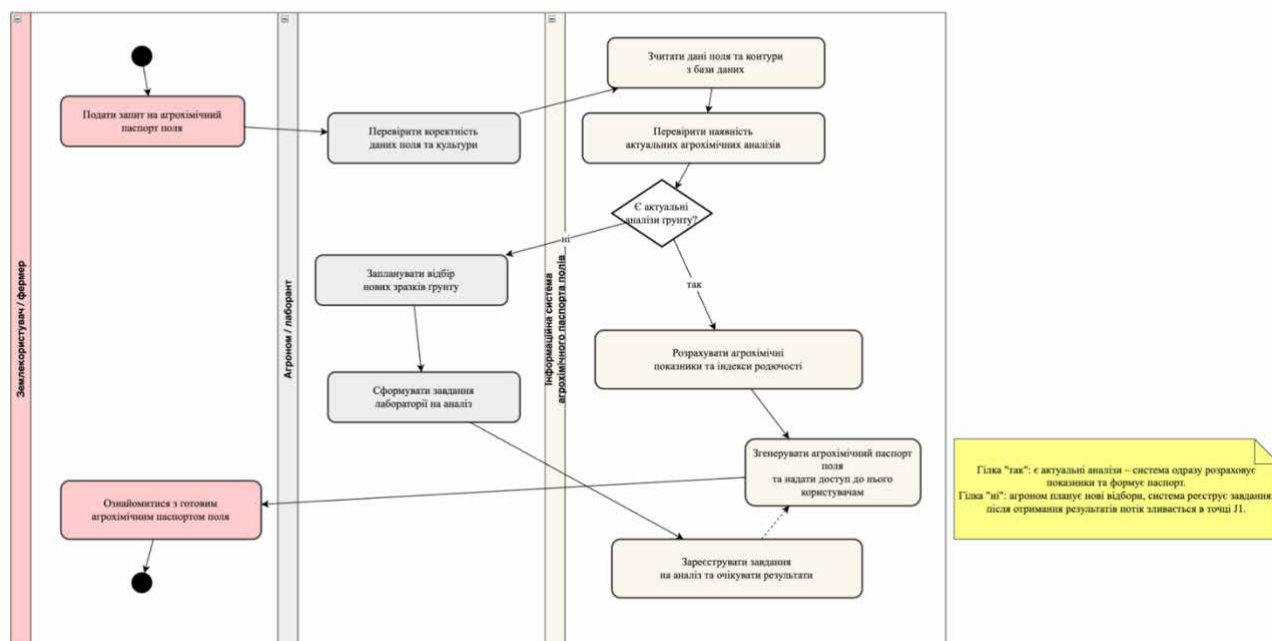


Рис. 1.14. Діаграма активностей процесу отримання агрохімічного паспорта поля

Узагальнена побудована модель дозволяє чітко описати функціональну логіку системи, визначити залежності між модулями та вхідними/вихідними даними і формалізувати передумови для подальшого проєктування архітектури. Логічні схеми (рис. 1.12–1.14) підтверджують необхідність багаторівневого оброблення даних: від управління довідниками та геоданими - до складних аналітичних процедур. Моделювання предметної області показує, що саме інтегроване поєднання лабораторних протоколів, GIS-шарів і алгоритмічного розрахунку індексів родючості формує основу цифрової системи агрохімічного паспорта, забезпечуючи точність, повторюваність і автоматизованість процесу.

1.5 Аналіз вимог інформаційної системи

Аналіз вимог до експертної системи агрохімічного паспортизування поля передбачає визначення функціональних, нефункціональних та вимог до безпеки, що забезпечують коректну роботу системи, її масштабованість, надійність і відповідність регламентним нормам. У таблиці 1.2 наведено сукупність

функціональних вимог, що визначають обов'язкові можливості системи: ведення реєстрів, інтеграція з лабораторіями, розрахунок показників родючості, генерація паспорта та рекомендацій.

Таблиця 1.2

Функціональні вимоги експертної системи агрохімічного паспорта

№	Вимога	Опис
1	Реєстрація землекористувача та господарства	Зберігання ідентифікаційних даних, структур угідь, контурів
2	Ведення довідників полів і культур	Зберігання геометрії, координат, площ, культур, історії обробітку
3	Внесення та зберігання результатів аналізів	Імпорт лабораторних протоколів, дата відбору, параметри ґрунту
4	Розрахунок агрохімічних показників	Обчислення NPK, pH, ЕС, органічної речовини, індексів родючості
5	Генерація рекомендацій	Норми добрив, варіанти внесення, періодичність
6	Формування паспорта поля	Створення PDF/Excel-документів відповідно до державних вимог
7	Інтеграція з GIS	Імпорт геоданих, картограм, просторових шарів
8	Перегляд і валідація паспортів	Перевірка, погодження, внесення змін
9	Управління користувачами	Ролі, права доступу, історія дій
10	Експорт звітів	Формування аналітики, експорт у PDF/Excel

Нефункціональні вимоги наведено в таблиці 1.3. Вони визначають продуктивність, масштабованість, відмовостійкість і якість роботи системи в умовах реального навантаження.

Таблиця 1.3

Нефункціональні вимоги експертної системи

№	Вимога	Показник
1	Час відповіді системи	≤ 2 с для типових операцій, ≤ 5 с для формування паспорта
2	Пропускна здатність	≥ 100 одночасних запитів без деградації продуктивності
3	Масштабованість	Лінійне масштабування сервісів та бази даних
4	Доступність	$\geq 99.5\%$ uptime для користувацьких операцій
5	Відмовостійкість	Автоматичне відновлення сервісів, резервування даних

Продовження таблиці 1.3

6	Інтероперабельність	Підтримка API для інтеграції з GIS, LIMS, державними реєстрами
7	Юзабіліті	Інтуїтивний веб/мобільний інтерфейс, локалізація, адаптивність

Вимоги до безпеки системи критично важливі, оскільки обробляються дані землекористувачів, геопросторові моделі та лабораторні результати. У таблиці 1.4 наведено перелік основних вимог кіберзахисту.

Таблиця 1.4

Вимоги до безпеки експертної системи

№	Вимога	Опис
1	Аутентифікація та авторизація	Ролі, багаторівневий доступ, контроль дозволів
2	Шифрування даних	TLS 1.3 для трафіку, AES-256 для даних у сховищі
3	Аудит дій користувачів	Логи операцій, історія формування паспортів
4	Захист від втрати даних	Резервні копії, журналювання, контроль цілісності
5	Захист API	Rate limiting, токени доступу, цифрові підписи
6	Інтеграція з лабораторіями	Підтримка захищених каналів LIMS, перевірка сертифікатів
7	Валідація вхідних даних	Перевірка форматів, діапазонів, аномалій

Узагальнення вимог (табл. 1.2–1.4) демонструє, що експертна система агрохімічного паспортизування має відповідати подвійній природі задачі: бути одночасно аналітичною платформою (розрахунки показників, моделі родючості, рекомендації) та офіційним інструментом регламентованої звітності (формування паспорта відповідно до державних вимог). Вимоги визначають повний функціональний цикл - від оброблення лабораторних даних до інтегрованої GIS-візуалізації - і створюють основу для побудови архітектури, яка забезпечує точність агрохімічного обліку, надійність зберігання даних та відтворюваність управлінських рішень

1.6 Постановка завдання

Постановка завдання для розроблення інформаційної системи агрохімічного паспорта полів ґрунтується на результатах аналізу предметної області, існуючих рішень та вимог до системи. Метою завдання є створення інтегрованої експертної системи, що забезпечує автоматизоване формування агрохімічного паспорта поля на основі лабораторних даних, геопросторової інформації та моделей оцінювання родючості. Для цього необхідно формалізувати вхідні дані, визначити алгоритми оброблення, структуру вихідних результатів та обмеження, що впливають з нормативних і технічних вимог.

Вхідними даними системи є:

- реєстраційні дані землекористувача та господарства (ідентифікаційні дані, структури угідь, поля, контури);
- геопросторові дані полів (координати, геометрія, площа, картограми ґрунтів);
- лабораторні результати агрохімічних аналізів (рН, N, P, K, гумус, мікроелементи, ЕС та інші параметри);
- історичні дані про культуру, попередники, агротехнічні операції;
- регламентні вимоги до структури паспорта та форматів вихідних документів (PDF/Excel);
- довідкові значення норм удобрення та класифікації родючості.

Очікуваними вихідними результатами є:

- розраховані агрохімічні показники ґрунту: NPK, рН, ЕС, органічна речовина, макро- та мікроелементи;
- індекси родючості (SNI/SFI або аналогічні моделі оцінювання);
- рекомендації щодо норм і схем внесення добрив;
- повний агрохімічний паспорт поля у форматі PDF/Excel;
- картограми NPK, рН, гумусу та інших параметрів;

- журнал операцій та історія аналізів.

З урахуванням визначених вхідних і вихідних даних завдання розробки передбачає створення:

Модуля управління довідниками землекористувачів, полів, контурів та культур.

Модуля імпорту й оброблення лабораторних протоколів, включно з перевіркою повноти та коректності даних.

Аналітичного модуля, який реалізує:

- нормалізацію показників ґрунту;
- алгоритми обчислення агрохімічних показників та індексів родючості;
- генерацію рекомендацій щодо удобрення.

Модуля інтеграції з GIS-сервісами для імпорту геоданих та візуалізації картограм.

Модуля формування агрохімічного паспорта поля відповідно до державних вимог.

Системи управління ролями, правами доступу та аудиту операцій.

Засобів резервного копіювання, контролю цілісності та кіберзахисту.

Основне завдання проєкту полягає у створенні експертної системи, яка забезпечує повний цикл оброблення агрохімічної інформації, мінімізує участь людини у розрахунках і формуванні документації, забезпечує відтворюваність результатів та підвищує точність управління родючістю ґрунтів на рівні господарства. Виконання цього завдання створює передумови для цифровізації агрохімічного моніторингу, стандартизації паспортів та інтеграції з сучасними системами точного землеробства.

2 ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

2.1 Логічна модель даних інформаційної системи агрохімічного паспорта полів

Логічна модель даних визначає структуру інформаційної системи агрохімічного паспорта полів, описує основні сутності предметної області, їх атрибути та типи взаємозв'язків між ними. Модель орієнтована на забезпечення систематизованого зберігання агрохімічних показників ґрунтів, результатів лабораторних досліджень, просторових характеристик полів, а також формування агрохімічних паспортів і рекомендацій щодо внесення добрив.

Логічна модель формує основу інформаційної архітектури системи та забезпечує підтримку повного циклу оброблення агрохімічних даних: від реєстрації землекористувачів і опису полів до зберігання результатів аналізів, розрахунку індексів родючості та генерації паспортів поля. На рис. 2.1 наведено ER-діаграму логічної моделі даних інформаційної системи агрохімічного паспорта полів.

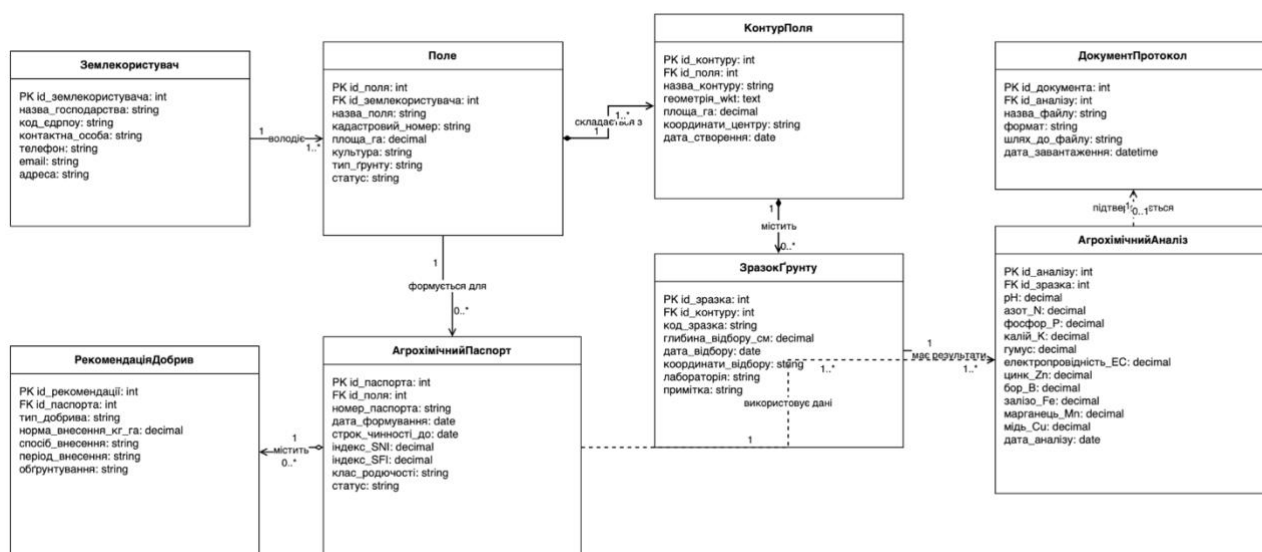


Рис. 2.1 – Логічна модель даних інформаційної системи агрохімічного паспорта полів

Логічна модель даних побудована з використанням принципів нормалізації бази даних до третьої нормальної форми (3NF). Для кожної сутності визначено первинний ключ, який забезпечує унікальну ідентифікацію записів. Усі неключові атрибути функціонально залежать лише від первинного ключа відповідної сутності, а транзитивні залежності між атрибутами усунені. Такий підхід дозволяє мінімізувати дублювання інформації, забезпечити цілісність даних та підтримувати узгодженість агрохімічної інформації у системі.

Однією з базових сутностей логічної моделі є Землекористувач, яка описує господарства або організації, що використовують земельні ресурси. Сутність містить ідентифікаційні та контактні дані землекористувача, зокрема назву господарства, код ЄДРПОУ, контактну особу, телефон, електронну пошту та адресу. Між сутностями Землекористувач і Поле встановлено зв'язок типу один-до-багатьох, що означає можливість одного землекористувача володіти декількома полями.

Сутність Поле відображає основні характеристики сільськогосподарського поля, включаючи його назву, кадастровий номер, площу, тип ґрунту, вирощувану культуру та поточний статус. Для кожного поля у системі можуть зберігатися декілька агрохімічних паспортів, що дозволяє вести історію агрохімічного стану ґрунтів. Зв'язок між сутностями Поле та АгрохімічнийПаспорт реалізовано за типом один-до-багатьох.

Для більш детального опису геопросторової структури поля використовується сутність КонтурПоля, яка описує окремі контури або ділянки поля. Вона містить геометричні параметри, площу, координати центру та дату створення контуру. Між сутностями Поле та КонтурПоля встановлено зв'язок один-до-багатьох, що дозволяє одному полю складатися з декількох контурів.

У межах кожного контуру поля можуть відбиратися зразки ґрунту для подальшого лабораторного аналізу. Для цього у моделі передбачено сутність ЗразокҐрунту, яка містить інформацію про код зразка, глибину відбору, дату відбору, координати відбору, лабораторію, що проводила дослідження, а

також додаткові примітки. Сутність ЗразокГрунту пов'язана із сутністю КонтурПоля зв'язком один-до-багатьох, оскільки в межах одного контуру може бути відібрано декілька зразків ґрунту.

Результати лабораторних досліджень ґрунту зберігаються у сутності АгрохімічнийАналіз, яка містить основні агрохімічні показники. До них належать кислотність ґрунту (pH), вміст азоту (N), фосфору (P), калію (K), гумусу, електропровідність, а також концентрації мікроелементів, таких як цинк, бор, залізо, марганець і мідь. Сутність АгрохімічнийАналіз пов'язана із сутністю ЗразокГрунту зв'язком один-до-багатьох, оскільки для одного зразка можуть виконуватися декілька лабораторних аналізів у різні періоди часу.

Для зберігання підтверджуючих лабораторних документів використовується сутність ДокументПротокол, яка містить назву файлу, формат документа, шлях до файлу та дату його завантаження. Між сутностями АгрохімічнийАналіз та ДокументПротокол встановлено зв'язок один-до-багатьох, що дозволяє прикріплювати до результатів аналізу відповідні протоколи лабораторних досліджень.

Центральним елементом інформаційної системи є сутність АгрохімічнийПаспорт, яка представляє узагальнений документ, що характеризує агрохімічний стан конкретного поля. Вона містить номер паспорта, дату формування, строк його чинності, індекси родючості ґрунту (SNI та SFI), клас родючості та статус документа. Агрохімічний паспорт формується на основі результатів агрохімічних аналізів і використовується як основний документ для агрономічного планування.

Для формування рекомендацій щодо підвищення родючості ґрунтів у системі передбачено сутність РекомендаціяДобрив. Вона містить інформацію про тип добрива, норму внесення, спосіб внесення, період застосування та обґрунтування рекомендації. Сутність РекомендаціяДобрив пов'язана із сутністю АгрохімічнийПаспорт зв'язком один-до-багатьох, що дозволяє формувати декілька рекомендацій для одного паспорта поля.

Запропонована логічна модель даних забезпечує структуроване зберігання агрохімічної інформації, підтримує інтеграцію лабораторних результатів, геопросторових характеристик полів та аналітичних показників родючості ґрунту. Використання нормалізованої структури дозволяє забезпечити цілісність даних, зменшити надлишковість інформації та створити надійну основу для подальшого проєктування фізичної бази даних.

Узагальнену характеристику сутностей логічної моделі даних, їх ключів та основних типів зв'язків наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Сутності логічної моделі даних інформаційної системи агрохімічного паспорта полів

Сутність	Первинний ключ	Основні зовнішні ключі	Тип зв'язку
Землекористувач	id_землекористувача	-	1:M Поле
Поле	id_поля	id_землекористувача	M:1 Землекористувач
КонтурПоля	id_контуру	id_поля	M:1 Поле
ЗразокҐрунту	id_зразка	id_контуру	M:1 КонтурПоля
Агрохімічний Аналіз	id_аналізу	id_зразка	M:1 ЗразокҐрунту
ДокументПротокол	id_документа	id_аналізу	M:1 АгрохімічнийАналіз
Агрохімічний Паспорт	id_паспорта	id_поля	M:1 Поле
Рекомендація Добрив	id_рекомендації	id_паспорта	M:1 АгрохімічнийПаспорт

Побудована логічна модель даних є нормалізованою, масштабованою та придатною для реалізації інформаційної системи агрохімічного паспорта полів.

Вона забезпечує цілісність агрохімічних даних, підтримує інтеграцію лабораторних результатів і геопросторової інформації та створює основу для подальшого проектування фізичної структури бази даних і реалізації програмного забезпечення системи.

2.2 Діаграма класів і кооперації інформаційної системи агрохімічного паспорта полів

Діаграма класів відображає об'єктну структуру інформаційної системи агрохімічного паспорта полів, визначає склад основних програмних класів, їх атрибути, операції та типи взаємозв'язків між ними. Така модель забезпечує формалізацію програмної структури системи та узгодженість між логічною моделлю даних і реалізацією програмних компонентів. На рисунку 2.2 наведено UML-діаграму класів інформаційної системи.

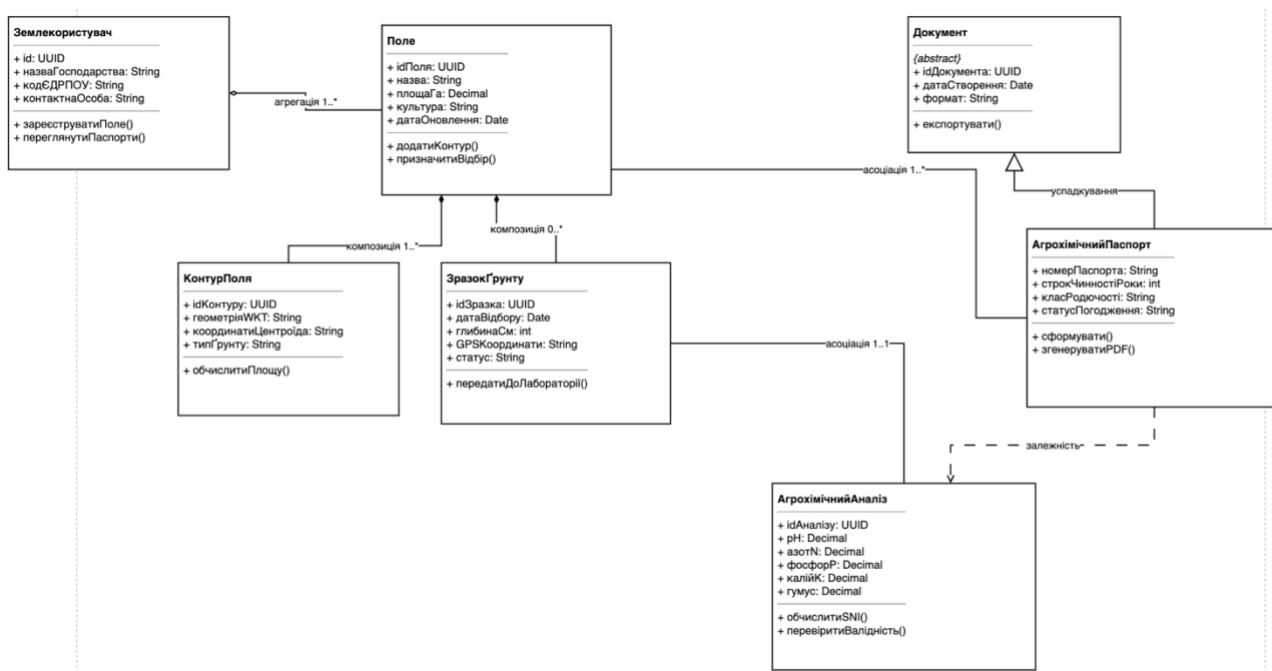


Рис. 2.2 – Діаграма класів інформаційної системи агрохімічного паспорта полів

У моделі виділено класи, що відображають ключові об'єкти предметної області агрохімічного моніторингу: Землекористувач, Поле, КонтурПоля, ЗразокҐрунту, АгрохімічнийАналіз, АгрохімічнийПаспорт та Документ. Їх

структура відповідає логічній моделі даних і забезпечує розподіл відповідальності між компонентами системи.

Клас Землекористувач описує суб'єкта господарювання, який управляє земельними ресурсами. Він містить основні ідентифікаційні атрибути господарства та реалізує операції реєстрації полів і перегляду сформованих агрохімічних паспортів. Між класами Землекористувач і Поле встановлено зв'язок агрегації, що дозволяє одному землекористувачу володіти множиною полів. Поле є центральним елементом моделі та містить основні характеристики земельної ділянки: назву, площу, вирощувану культуру та дату оновлення даних. Клас реалізує операції додавання контуру та призначення відбору ґрунтових зразків. З класом КонтурПоля він пов'язаний композиційним зв'язком, що означає залежність існування контуру від відповідного поля.

Клас КонтурПоля описує просторову структуру поля та містить геометрію ділянки, координати її центру та тип ґрунту. Передбачена операція обчислення площі дозволяє виконувати автоматизований розрахунок площі контуру на основі геометричних параметрів.

Клас ЗразокҐрунту призначений для зберігання інформації про відібрані ґрунтові проби. Він містить дату відбору, глибину відбору, координати GPS та статус зразка. Також передбачена операція передачі зразка до лабораторії для проведення агрохімічного аналізу. З класом Поле він пов'язаний композиційним зв'язком, що забезпечує залежність зразків від конкретного поля. Клас АгрохімічнийАналіз містить результати лабораторних досліджень ґрунту, зокрема значення рН, вміст азоту, фосфору, калію та гумусу. Функціональність класу передбачає перевірку валідності даних і обчислення індексів родючості. Клас пов'язаний із ЗразокҐрунту асоціативним зв'язком, що дозволяє виконувати аналізи для конкретних ґрунтових проб.

Формування підсумкового документа реалізовано за допомогою класу АгрохімічнийПаспорт, який є спеціалізацією абстрактного класу Документ. Абстрактний клас визначає загальні характеристики документів системи, зокрема ідентифікатор, дату створення та формат.

Клас АгрохімічнийПаспорт доповнює їх параметрами номера паспорта, строку його чинності, класу родючості та статусу погодження. Також передбачені операції формування паспорта та експорту документа у форматі PDF. Залежність між класами АгрохімічнийАналіз і АгрохімічнийПаспорт відображає використання результатів лабораторних досліджень під час формування агрохімічного паспорта поля.

Для деталізації взаємодії між об'єктами системи використано діаграми кооперації, які демонструють послідовність обміну повідомленнями між класами під час виконання основних операцій системи.

Перша діаграма кооперації відображає процес створення нового поля та додавання його контуру.

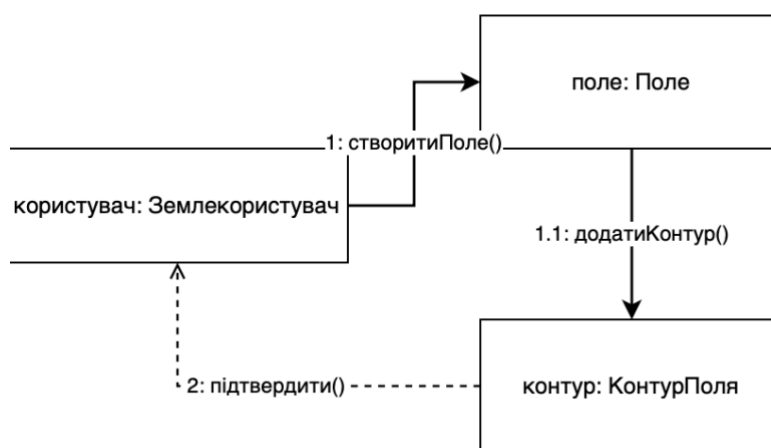


Рис. 2.3 – Кооперація об'єктів під час створення поля та формування контуру

На діаграмі показано, що об'єкт Землекористувач ініціює створення нового об'єкта Поле, після чого виконується операція додавання контуру. У результаті створюється об'єкт КонтурПоля, який стає складовою частиною відповідного поля.

Друга діаграма демонструє взаємодію об'єктів під час відбору ґрунтового зразка та внесення результатів лабораторного аналізу.

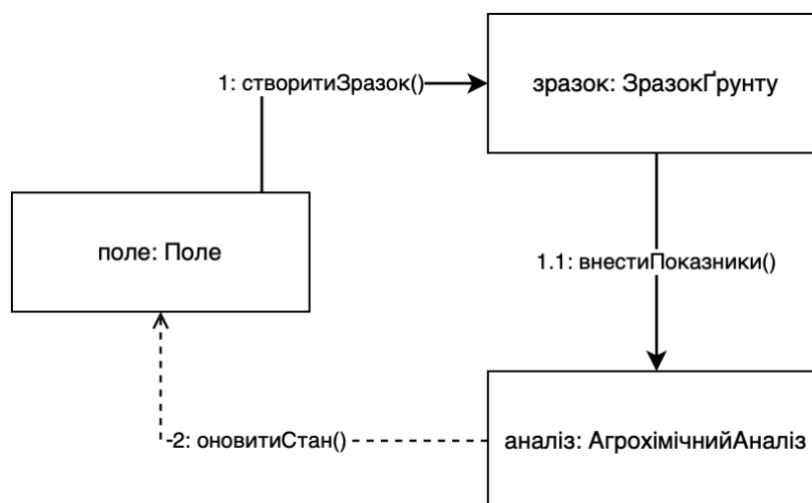


Рис. 2.4 – Кооперація об'єктів під час відбору зразка ґрунту та проведення аналізу

У цьому сценарії об'єкт Поле ініціює створення нового об'єкта ЗразокҐрунту, після чого для нього формується об'єкт АгрохімічнийАналіз, у який заносяться результати лабораторних досліджень. Після внесення показників оновлюється стан відповідного поля.

Третя діаграма кооперації відображає процес формування агрохімічного паспорта.

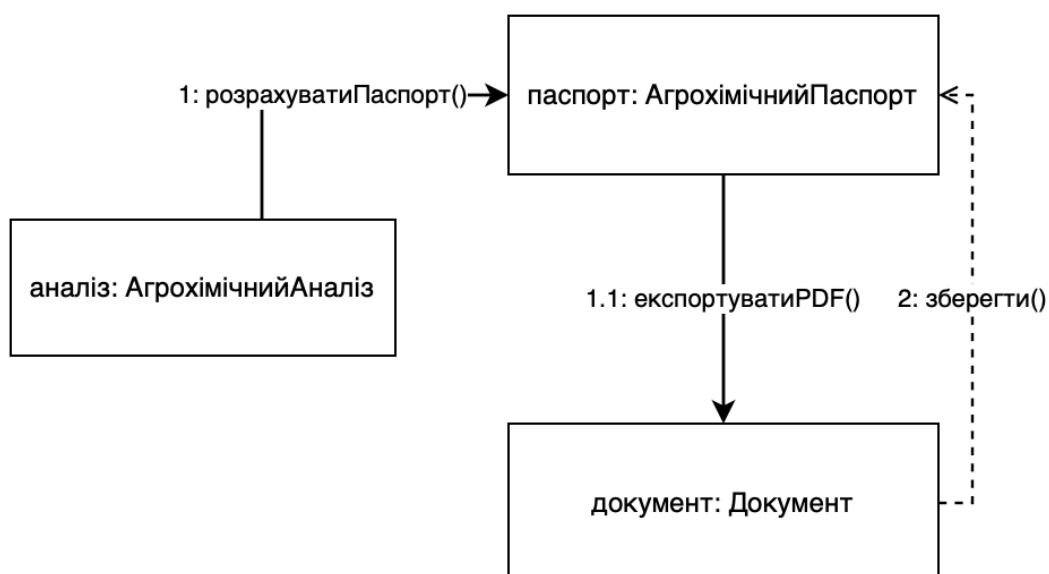


Рис. 2.5 – Кооперація об'єктів під час формування агрохімічного паспорта поля

На основі результатів агрохімічного аналізу створюється об'єкт АгрохімічнийПаспорт, у якому виконуються розрахунки показників родючості. Після завершення розрахунків виконується операція експорту документа, у результаті чого формується об'єкт Документ, що містить файл агрохімічного паспорта.

Побудовані UML-діаграми класів і кооперації формалізують структуру програмних компонентів системи та основні сценарії їх взаємодії під час оброблення агрохімічних даних. Це забезпечує узгодженість програмної архітектури, підтримує автоматизацію формування агрохімічних паспортів і створює основу для подальшої реалізації інформаційної системи.

2.3 Діаграма компонентів

Діаграма компонентів відображає архітектурну структуру інформаційної системи агрохімічного паспорта полів, визначає склад програмних модулів, їх функціональне призначення та взаємодію між ними. Така модель дозволяє формалізувати програмну архітектуру системи та розподілити основні функції між компонентами програмного забезпечення. На рисунку 2.6 наведено діаграму компонентів системи.

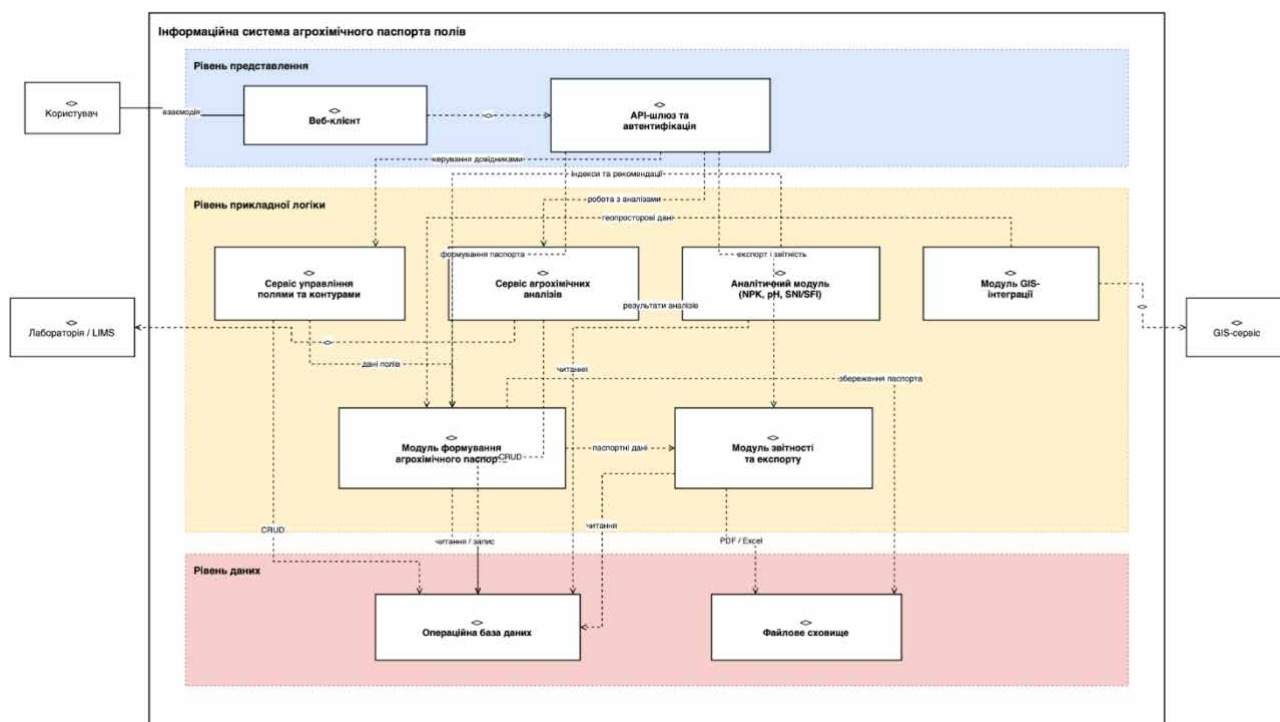


Рис. 2.6 – Діаграма компонентів інформаційної системи агрохімічного паспорта полів

Архітектура системи побудована за трирівневим принципом та включає рівень представлення, рівень прикладної логіки та рівень зберігання даних. Рівень представлення забезпечує взаємодію користувача із системою через веб-клієнт, а також містить модуль автентифікації та авторизації, який виконує перевірку облікових даних і керує доступом до функціональних можливостей системи.

Рівень прикладної логіки реалізує основні функції оброблення агрохімічних даних. До нього належать сервіс управління полями та контурами, сервіс агрохімічних аналізів, аналітичний модуль розрахунку показників родючості, модуль GIS-інтеграції, модуль формування агрохімічного паспорта та модуль звітності й експорту. Ці компоненти забезпечують оброблення лабораторних результатів, виконання аналітичних розрахунків та формування документів агрохімічного паспорта.

Рівень даних відповідає за зберігання інформації та включає операційну базу даних і файлове сховище. У базі даних зберігаються структуровані дані про поля, контури, результати аналізів та сформовані паспорти, тоді як файлове

сховище використовується для зберігання документів і звітів у форматах PDF або Excel.

Система також взаємодіє із зовнішніми сервісами. Зокрема, лабораторна інформаційна система (LIMS) використовується для отримання результатів агрохімічних аналізів, а GIS-сервіси забезпечують доступ до геопросторових даних і картографічних матеріалів.

Основні компоненти системи та їх функціональне призначення наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Основні компоненти інформаційної системи агрохімічного паспорта полів

Компонент	Призначення	Основні функції
Веб-клієнт	Інтерфейс взаємодії користувача з системою	перегляд даних, керування полями, формування паспортів
Авторизація та автентифікація	Контроль доступу до системи	перевірка користувачів, керування сесіями
Сервіс управління полями та контурами	Управління структурою земельних ділянок	створення та редагування полів, робота з контурами
Сервіс агрохімічних аналізів	Оброблення лабораторних результатів	імпорт даних аналізів, перевірка та зберігання показників
Аналітичний модуль	Обчислення агрохімічних показників	розрахунок рН, NPK, індексів родючості (SNI, SFI)
Модуль GIS-інтеграції	Робота з геопросторовими даними	отримання координат, відображення картограм
Модуль формування агрохімічного паспорта	Формування структурованого документа	генерація паспорта на основі аналітичних даних
Модуль звітності та експорту	Формування звітних документів	експорт результатів у PDF та Excel
Операційна база даних	Зберігання структурованих даних	зберігання полів, зразків, аналізів і паспортів
Файлове сховище	Зберігання документів	зберігання файлів паспортів і лабораторних протоколів

Побудована діаграма компонентів визначає структуру програмної архітектури системи та відображає взаємодію між її основними модулями. Такий підхід забезпечує модульність програмного забезпечення, спрощує розширення функціональності системи та створює основу для подальшої реалізації програмних компонентів інформаційної системи агрохімічного паспорта полів.

2.4 Діаграма пакетів інформаційної системи агрохімічного паспорта полів

Діаграма пакетів використовується для відображення логічної організації програмних компонентів системи та групування їх у функціональні підсистеми. Така модель дозволяє структурувати програмне забезпечення, визначити залежності між модулями та забезпечити розподіл відповідальності між окремими частинами системи. На рисунку 2.7 наведено діаграму пакетів інформаційної системи агрохімічного паспорта полів.

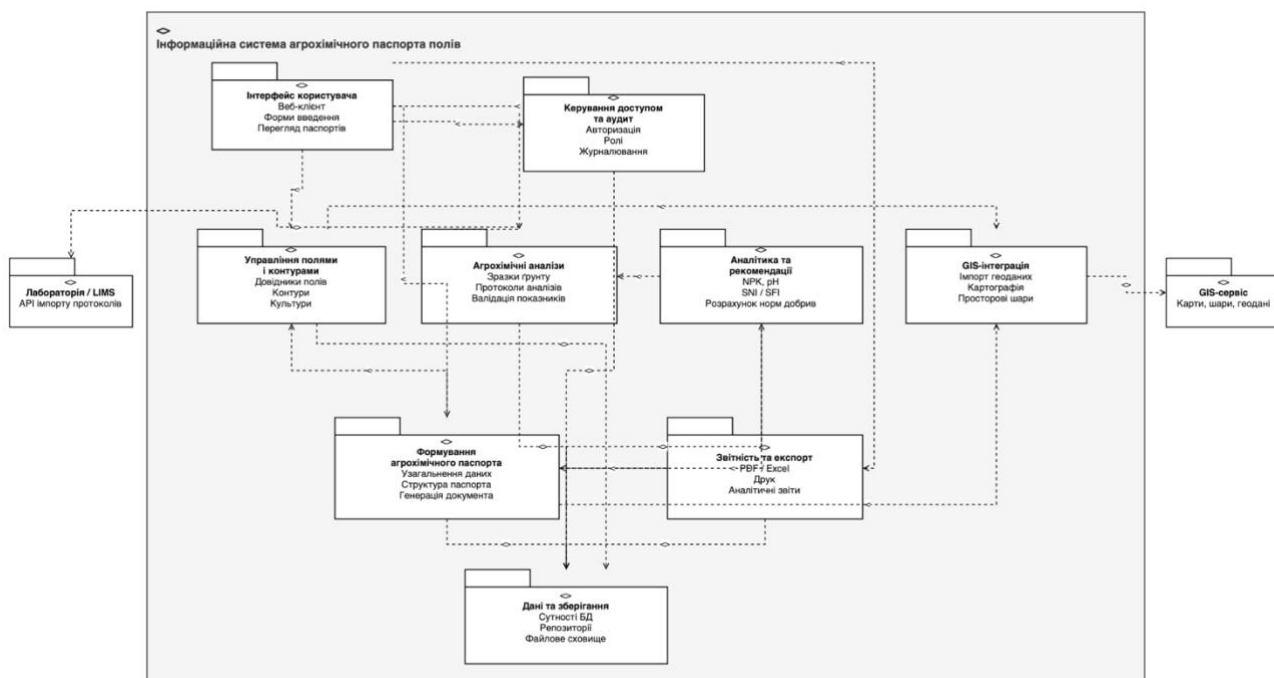


Рис. 2.7 – Діаграма пакетів інформаційної системи агрохімічного паспорта полів

У межах системи виділено кілька основних пакетів, що відповідають ключовим функціональним підсистемам. Пакет Інтерфейс користувача реалізує взаємодію користувача із системою через веб-клієнт. Він містить форми введення даних, інтерфейси керування полями та засоби перегляду агрохімічних паспортів.

Пакет Керування доступом та аудит відповідає за механізми автентифікації, авторизації та журналювання дій користувачів. У межах цього пакета реалізовано управління ролями доступу та контроль використання функціональних можливостей системи.

Пакет Управління полями і контурами забезпечує роботу з довідниками земельних ділянок, включаючи створення, редагування та зберігання інформації про поля, їх контури та вирощувані культури. Цей пакет формує базову структуру просторових даних, яка використовується іншими підсистемами.

Пакет Агрохімічні аналізи реалізує оброблення результатів лабораторних досліджень ґрунту. У межах цього пакета здійснюється зберігання інформації про зразки ґрунту, протоколи лабораторних аналізів та перевірка коректності отриманих показників.

Пакет Аналітика та рекомендації відповідає за виконання розрахунків агрохімічних показників та індексів родючості. У ньому реалізовано обчислення параметрів NPK, кислотності ґрунту, індексів родючості SNI та SFI, а також формування рекомендацій щодо внесення добрив.

Пакет GIS-інтеграція забезпечує взаємодію системи з геоінформаційними сервісами. Він реалізує імпорт геопросторових даних, роботу з картографічними матеріалами та відображення просторових шарів, що використовуються під час аналізу стану ґрунтів.

Пакет Формування агрохімічного паспорта виконує агрегування даних, отриманих з інших підсистем, та формує структурований документ агрохімічного паспорта поля. У межах цього пакета виконується узагальнення аналітичних результатів і генерація документа.

Пакет Звітність та експорт відповідає за формування вихідних документів і аналітичних звітів. У ньому реалізовано створення документів у форматах PDF та Excel, а також підготовку звітних матеріалів для подальшого використання.

Пакет Дані та зберігання забезпечує доступ до операційної бази даних і файлового сховища. Він містить репозиторії даних, через які здійснюється збереження інформації про поля, результати аналізів та сформовані агрохімічні паспорти.

Окремі пакети системи взаємодіють із зовнішніми компонентами. Зокрема, пакет агрохімічних аналізів отримує результати лабораторних досліджень через API лабораторної інформаційної системи (LIMS), а пакет GIS-інтеграції використовує дані геоінформаційних сервісів для роботи з просторовими шарами.

Для узагальнення функціонального призначення основних пакетів системи відповідні характеристики наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Основні пакети інформаційної системи агрохімічного паспорта полів

Пакет	Призначення	Основні функції
Інтерфейс користувача	Взаємодія користувача із системою	введення даних, перегляд паспортів
Керування доступом та аудит	Контроль доступу до функцій системи	авторизація, ролі, журналювання
Управління полями і контурами	Робота з просторовими об'єктами	створення та редагування полів і контурів
Агрохімічні аналізи	Оброблення лабораторних результатів	зразки ґрунту, протоколи аналізів, перевірка показників
Аналітика та рекомендації	Розрахунок агрохімічних показників	обчислення NPK, pH, індексів родючості
GIS-інтеграція	Робота з геопросторовими даними	імпорт геоданих, картографічні шари
Формування агрохімічного паспорта	Генерація документа	узагальнення даних, формування паспорта
Звітність та експорт	Підготовка звітних документів	формування PDF та Excel

Запропонована пакетна структура забезпечує модульність програмної архітектури системи та спрощує подальший розвиток програмного забезпечення. Розподіл функціональності між пакетами дозволяє ізолювати окремі підсистеми, зменшити залежності між компонентами та забезпечити ефективну інтеграцію з зовнішніми сервісами.

2.5 Висновки до розділу 2

У другому розділі виконано проектування інформаційного та програмного забезпечення інформаційної системи агрохімічного паспорту полів. На основі аналізу предметної області та сформованих вимог було розроблено структурні моделі системи, що визначають організацію даних, програмну архітектуру та взаємодію основних компонентів.

Побудовано логічну модель даних системи, яка описує основні сутності предметної області, їх атрибути та взаємозв'язки. У моделі виділено ключові об'єкти агрохімічного моніторингу: землекористувачі, поля, контури полів, зразки ґрунту, результати агрохімічних аналізів, агрохімічні паспорти та рекомендації щодо внесення добрив. Нормалізація структури бази даних забезпечує цілісність інформації, усуває дублювання даних та створює основу для подальшої реалізації бази даних системи.

Розроблено UML-діаграму класів, яка формалізує об'єктну структуру програмного забезпечення системи та визначає атрибути, операції і типи зв'язків між основними класами. Побудована модель відображає взаємозв'язки між об'єктами предметної області та визначає правила їх взаємодії у програмному середовищі. Для відображення основних сценаріїв функціонування системи також побудовано діаграми кооперації, що демонструють взаємодію об'єктів під час створення поля, оброблення результатів агрохімічних аналізів та формування агрохімічного паспорту.

З метою визначення програмної архітектури системи побудовано діаграму компонентів, яка відображає структуру програмних модулів та їх функціональне призначення. У межах архітектури виділено рівень представлення, рівень прикладної логіки та рівень даних. Такий підхід дозволяє забезпечити модульність програмного забезпечення, спростити підтримку та подальше розширення системи.

Додатково сформовано діаграму пакетів, яка визначає логічну організацію програмних модулів системи та їх групування у функціональні підсистеми. Пакетна структура дозволяє чітко розподілити відповідальність між компонентами системи, зменшити зв'язність між модулями та забезпечити ефективну взаємодію між підсистемами.

Отримані результати проєктування формують основу для подальшої реалізації програмного забезпечення інформаційної системи агрохімічного паспорта полів, забезпечують узгодженість архітектурних рішень та створюють передумови для автоматизації процесів агрохімічного моніторингу і формування агрохімічних паспортів полів.

3 РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Обґрунтування вибору технологічних засобів реалізації

Розроблення програмного забезпечення інформаційної системи агрохімічного паспорту полів виконано з урахуванням потреб локального використання в умовах сільськогосподарського підприємства. Основним завданням системи є збереження відомостей про поля, результатів агрохімічного аналізу ґрунту, формування паспорту поля, розрахунок плану удобрення та підготовка звітних матеріалів для агронома або відповідальної особи господарства.

Для реалізації програмного прототипу обрано мову програмування Python. Вона має достатній набір стандартних і додаткових бібліотек для створення прикладних інформаційних систем, роботи з базами даних, оброблення табличної інформації та формування звітів. Вибір Python є доцільним також через простоту супроводу програмного коду, можливість швидкої модифікації алгоритмів розрахунку та зручність інтеграції з додатковими модулями.

Графічний інтерфейс користувача реалізовано з використанням бібліотеки PyQt6. Це дає змогу створити повноцінний настільний застосунок із вікнами, формами введення, таблицями, вкладками, кнопками керування та областю перегляду сформованих документів. Настільний формат системи є зручним для дипломної реалізації, оскільки програма може працювати автономно без обов'язкового підключення до віддаленого сервера.

Для збереження даних використано SQLite. Ця система керування базами даних не потребує встановлення окремого серверного середовища, а вся база зберігається в одному файлі. Такий підхід спрощує розгортання системи на комп'ютері користувача та дає змогу переносити базу разом із програмою. SQLite є достатньою для зберігання інформації про поля, агрохімічні аналізи, плани удобрення та журнал дій користувачів.

Основні технологічні засоби реалізації наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Технологічні засоби реалізації програмного забезпечення

Засіб	Призначення у системі
Python	Реалізація бізнес-логіки, алгоритмів оцінювання та взаємодії з базою даних
PyQt6	Побудова графічного інтерфейсу користувача
SQLite	Локальне збереження даних інформаційної системи
HTML	Формування агрохімічного паспорта поля у вигляді звітнього документа
CSV	Експорт табличних даних для подальшої обробки
PDF	Збереження паспорта поля у форматі, придатному для друку або передачі

Обрана технологічна база забезпечує автономність програмного забезпечення, простоту запуску, достатню швидкодію та можливість подальшого розширення. У разі розвитку системи її можна доповнити модулем картографування полів, підключенням зовнішніх лабораторних даних або синхронізацією з серверною базою господарства.

3.2 Розробка фізичної моделі бази даних

Фізична модель бази даних інформаційної системи розроблена відповідно до функціонального призначення програмного забезпечення. Основними інформаційними об'єктами системи є користувачі, поля, результати агрохімічних аналізів, плани удобрення та записи журналу дій. Саме ці сутності забезпечують повний цикл роботи системи: від введення вихідних даних до формування агрохімічного паспорта поля.

Фізичну модель даних наведено на рисунку 3.1.

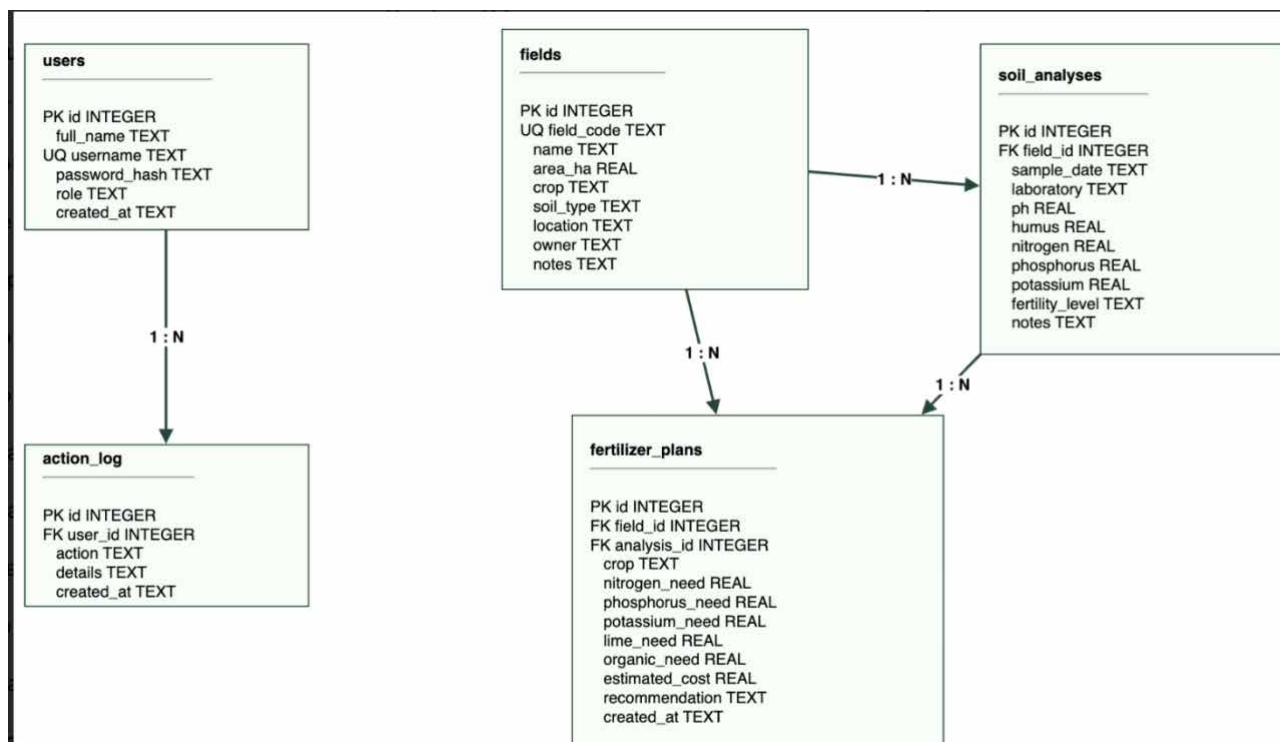


Рис. 3.1 - Фізична модель даних інформаційної системи агрохімічного паспорту полів

До складу бази даних входять п'ять основних таблиць: `users`, `fields`, `soil_analyses`, `fertilizer_plans` та `action_log`. Таблиця `users` використовується для збереження облікових записів користувачів. Таблиця `fields` містить загальну інформацію про поля господарства. Таблиця `soil_analyses` призначена для збереження результатів агрохімічного аналізу ґрунту. Таблиця `fertilizer_plans` зберігає розраховані рекомендації щодо внесення добрив. Таблиця `action_log` використовується для фіксації основних дій користувача в системі.

Структуру основних таблиць бази даних наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Основні таблиці фізичної моделі бази даних

Таблиця	Призначення
<code>users</code>	Зберігання даних користувачів, логінів, хешів паролів і ролей
<code>fields</code>	Зберігання відомостей про поля, площу, культуру, тип ґрунту та місце розташування
<code>soil_analyses</code>	Збереження результатів агрохімічного аналізу ґрунту
<code>fertilizer_plans</code>	Збереження планів удобрення та розрахованих норм добрив
<code>action_log</code>	Фіксація дій користувачів у системі

Центральною таблицею фізичної моделі є `fields`, оскільки більшість даних системи пов'язана саме з конкретним полем. Для одного поля може бути збережено декілька результатів агрохімічного аналізу. Це важливо, оскільки показники ґрунту змінюються залежно від сезону, сівозміни, попереднього удобрення, погодних умов та інтенсивності використання земельної ділянки.

Таблиця `soil_analyses` має зовнішній ключ `field_id`, який посилається на таблицю `fields`. Завдяки цьому кожний запис аналізу прив'язується до конкретного поля. У таблиці зберігаються дата відбору зразка, лабораторія, показник рН, вміст гумусу, азоту, фосфору, калію, рівень родючості та примітки.

Таблиця `fertilizer_plans` також пов'язана з таблицею `fields`. Крім цього, вона може посилатися на конкретний запис у таблиці `soil_analyses` через поле `analysis_id`. Це дозволяє формувати план удобрення не абстрактно, а на основі останніх або вибраних результатів агрохімічного дослідження ґрунту. У таблиці зберігаються потреби в азоті, фосфорі, калії, вапнуванні, органічних добривах, орієнтовна вартість і текстова рекомендація.

Таблиця `action_log` пов'язана з таблицею `users` і дає змогу зберігати історію дій користувача. Це підвищує контрольованість роботи системи та дає можливість відстежити створення, зміну або експорт даних.

Основні зв'язки між таблицями наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Зв'язки між таблицями бази даних

Зв'язок	Тип зв'язку	Опис
<code>users.id → action_log.user_id</code>	1:N	Один користувач може виконати багато дій
<code>fields.id → soil_analyses.field_id</code>	1:N	Одне поле може мати багато агрохімічних аналізів
<code>fields.id → fertilizer_plans.field_id</code>	1:N	Для одного поля може бути створено багато планів удобрення
<code>soil_analyses.id → fertilizer_plans.analysis_id</code>	1:N	Один аналіз може бути використаний для формування плану удобрення

Фізична модель побудована так, щоб уникнути дублювання даних. Наприклад, дані про поле не повторюються в кожному агрохімічному аналізі, а зберігаються окремо в таблиці `fields`. Аналогічно, плани удобрення зберігаються окремими записами, що дозволяє порівнювати рекомендації для різних культур або різних періодів.

Для створення таблиць у базі даних використовується SQL-код:

```
CREATE TABLE users (
  id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
  full_name TEXT NOT NULL,
  username TEXT NOT NULL UNIQUE,
  password_hash TEXT NOT NULL,
  role TEXT NOT NULL DEFAULT 'agronomist',
  created_at TEXT NOT NULL
);

CREATE TABLE fields (
  id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
  field_code TEXT NOT NULL UNIQUE,
  name TEXT NOT NULL,
  area_ha REAL NOT NULL CHECK (area_ha > 0),
  crop TEXT,
  soil_type TEXT,
  location TEXT,
  owner TEXT,
  notes TEXT
);

CREATE TABLE soil_analyses (
  id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
  field_id INTEGER NOT NULL,
  sample_date TEXT NOT NULL,
  laboratory TEXT,
  ph REAL CHECK (ph >= 0 AND ph <= 14),
  humus REAL CHECK (humus >= 0),
  nitrogen REAL CHECK (nitrogen >= 0),
  phosphorus REAL CHECK (phosphorus >= 0),
  potassium REAL CHECK (potassium >= 0),
  fertility_level TEXT,
  notes TEXT,
  FOREIGN KEY (field_id) REFERENCES fields(id) ON DELETE CASCADE
);

CREATE TABLE fertilizer_plans (
  id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
  field_id INTEGER NOT NULL,
  analysis_id INTEGER,
  crop TEXT NOT NULL,
  nitrogen_need REAL DEFAULT 0,
  phosphorus_need REAL DEFAULT 0,
  potassium_need REAL DEFAULT 0,
  lime_need REAL DEFAULT 0,
  organic_need REAL DEFAULT 0,
  estimated_cost REAL DEFAULT 0,
  recommendation TEXT,
  created_at TEXT NOT NULL,
  FOREIGN KEY (field_id) REFERENCES fields(id) ON DELETE CASCADE,
```

```

        FOREIGN KEY (analysis_id) REFERENCES soil_analyses(id) ON DELETE SET NULL
    );

CREATE TABLE action_log (
    id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
    user_id INTEGER,
    action TEXT NOT NULL,
    details TEXT,
    created_at TEXT NOT NULL,
    FOREIGN KEY (user_id) REFERENCES users(id) ON DELETE SET NULL
);

```

Для прискорення вибірки даних у базі передбачено індекси. Вони використовуються для пошуку поля за кодом, отримання аналізів конкретного поля, вибірки планів удобрення та сортування журналу дій за датою.

```

CREATE INDEX idx_fields_code
ON fields(field_code);

CREATE INDEX idx_soil_analyses_field
ON soil_analyses(field_id);

CREATE INDEX idx_fertilizer_plans_field
ON fertilizer_plans(field_id);

CREATE INDEX idx_action_log_date
ON action_log(created_at);

```

Розроблена фізична модель є достатньою для реалізації основних функцій інформаційної системи. Вона не перевантажена зайвими довідниками, але має всі необхідні зв'язки для коректного збереження інформації про поля, аналізи ґрунту, плани удобрення та дії користувачів.

3.3 Алгоритмізація роботи програмних модулів системи

Алгоритмізація програмного забезпечення виконана для основних процесів, які визначають роботу інформаційної системи: авторизації користувача, формування агрохімічного паспорта поля та розрахунку плану удобрення. Ці процеси є ключовими, оскільки забезпечують доступ до системи, оброблення агрохімічних даних і формування практичних рекомендацій для користувача.

Алгоритм авторизації користувача наведено на рисунку 3.2.

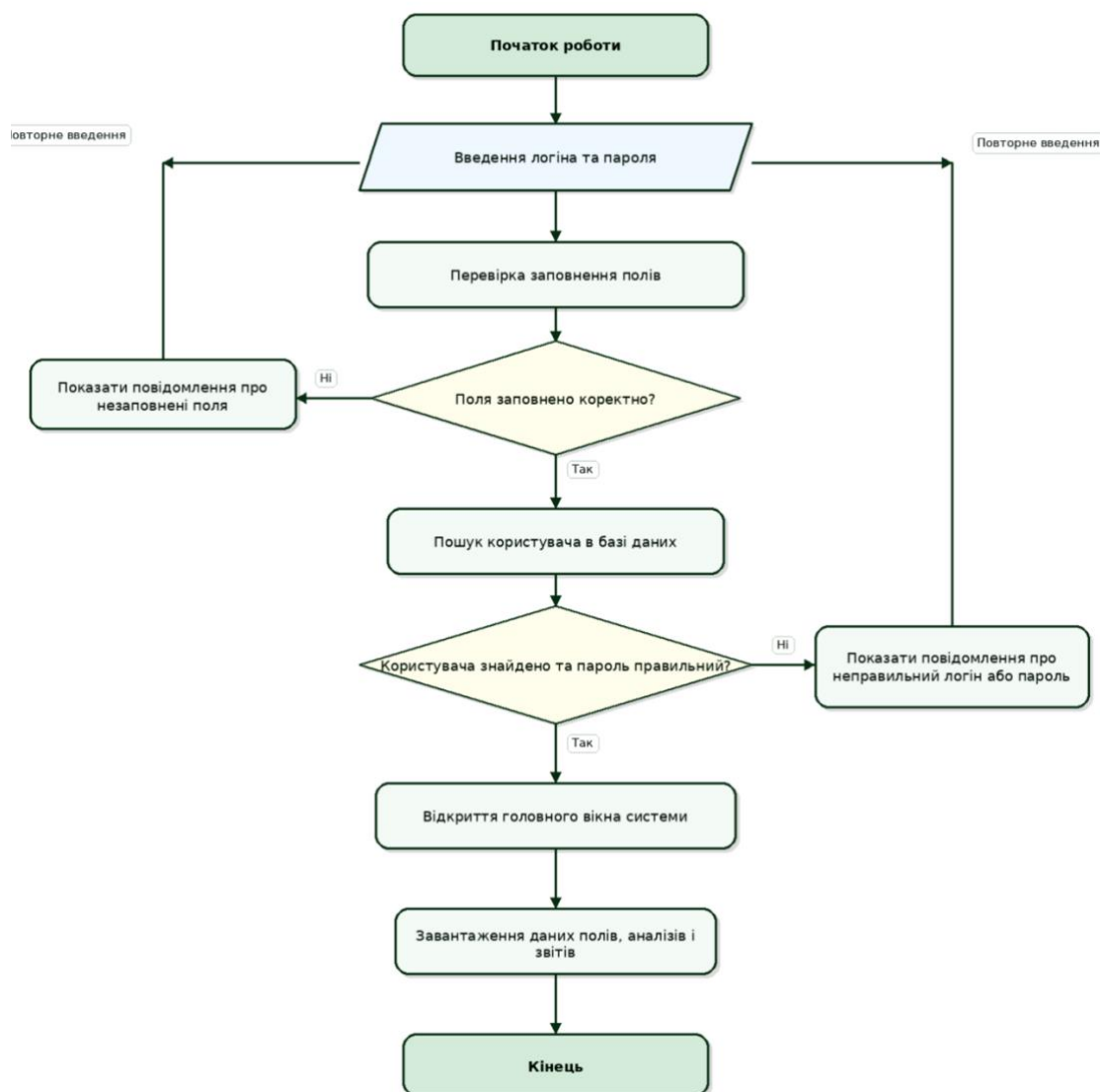


Рис. 3.2 - Блок-схема алгоритму авторизації користувача

Процес авторизації починається із введення логіна та пароля. Після цього система перевіряє, чи заповнені обов'язкові поля. Якщо користувач залишив одне з полів порожнім, система виводить повідомлення про помилку та пропонує повторити введення даних. Така перевірка дозволяє уникнути зайвих запитів до бази даних і підвищує коректність роботи форми входу.

Якщо всі поля заповнені, система виконує пошук користувача в базі даних. Далі перевіряється відповідність введеного пароля збереженому хешу. Якщо користувача не знайдено або пароль неправильний, система виводить повідомлення про помилку авторизації. Якщо дані введені правильно, відкривається головне вікно інформаційної системи та завантажуються основні дані: список полів, результати аналізів і доступні звіти.

Основні етапи алгоритму авторизації наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Етапи алгоритму авторизації користувача

Етап	Дія системи	Результат
1	Отримання логіна та пароля	Дані передаються на перевірку
2	Перевірка заповнення полів	Виявлення порожніх значень
3	Пошук користувача в базі даних	Отримання облікового запису
4	Перевірка пароля	Підтвердження або відхилення входу
5	Відкриття головного вікна	Користувач отримує доступ до системи

Такий алгоритм забезпечує базовий рівень захисту доступу до системи. У програмній реалізації пароль не повинен зберігатися відкритим текстом, тому для нього використовується хешоване представлення. Це знижує ризик несанкціонованого отримання облікових даних у разі доступу до файлу бази даних.

Алгоритм розрахунку плану удобрення наведено на рисунку 3.3.

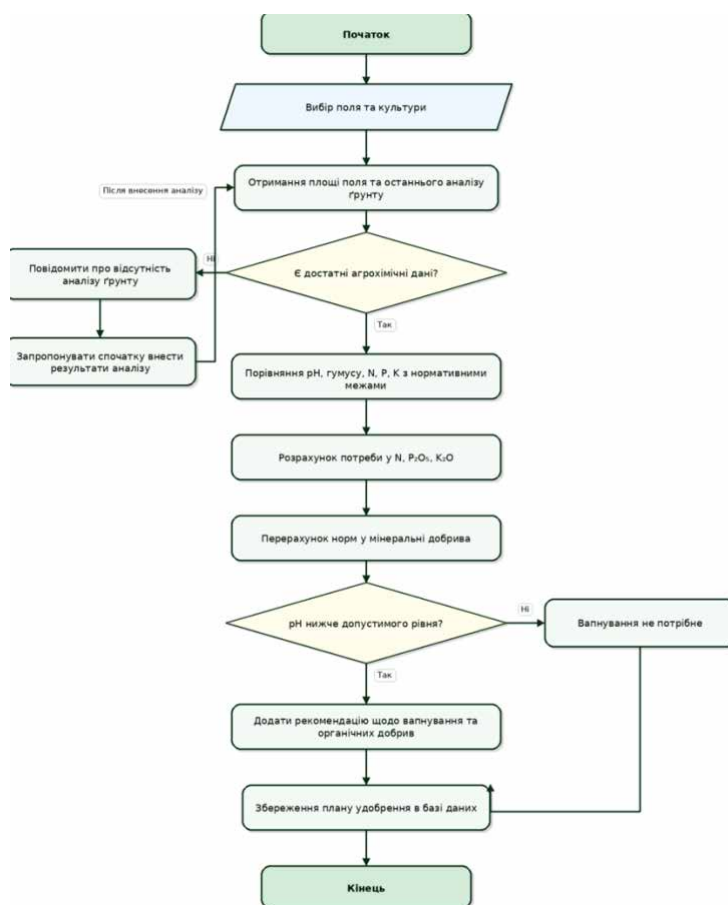


Рис.3.3 - Блок-схема алгоритму розрахунку плану удобрення

Розрахунок плану удобрення починається з вибору поля та культури. Після цього система отримує площу поля та останній доступний агрохімічний аналіз ґрунту. Якщо для вибраного поля немає результатів аналізу, користувач отримує повідомлення про необхідність спочатку внести агрохімічні дані. Після внесення аналізу система може повторити розрахунок.

Якщо дані аналізу доступні, система порівнює фактичні показники рН, гумусу, азоту, фосфору та калію з нормативними або умовно прийнятими межами. На основі цих значень визначається потреба в основних елементах живлення: азоті, фосфорі та калії. Далі система виконує перерахунок потреби в діючій речовині на відповідні мінеральні добрива.

У програмному прототипі передбачено використання таких добрив: карбамід для азотного живлення, амофос для фосфорного живлення та калій хлористий для калійного живлення. Якщо показник рН нижчий за допустимий рівень, система додає рекомендацію щодо вапнування. Також може бути сформована рекомендація щодо внесення органічних добрив для поліпшення гумусного стану ґрунту.

Логіку розрахунку плану удобрення узагальнено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Логіка формування плану удобрення

Вхідний показник	Перевірка	Результат оброблення
Азот	Порівняння з мінімально допустимим рівнем	Розрахунок потреби в азотному добриві
Фосфор	Порівняння з нормативним рівнем	Розрахунок потреби у фосфорному добриві
Калій	Порівняння з нормативним рівнем	Розрахунок потреби в калійному добриві
рН	Перевірка кислотності ґрунту	Формування рекомендації щодо вапнування
Гумус	Оцінка забезпеченості органічною речовиною	Рекомендація щодо органічних добрив

Після завершення розрахунків система зберігає план удобрення в базі даних. Це дозволяє переглядати історію рекомендацій, порівнювати плани за різні періоди та включати останній план до агрохімічного паспорту поля. Такий

підхід робить систему не лише засобом збереження лабораторних показників, а й інструментом підтримки агрономічних рішень.

Алгоритм формування агрохімічного паспорта поля наведено на рисунку 3.4.

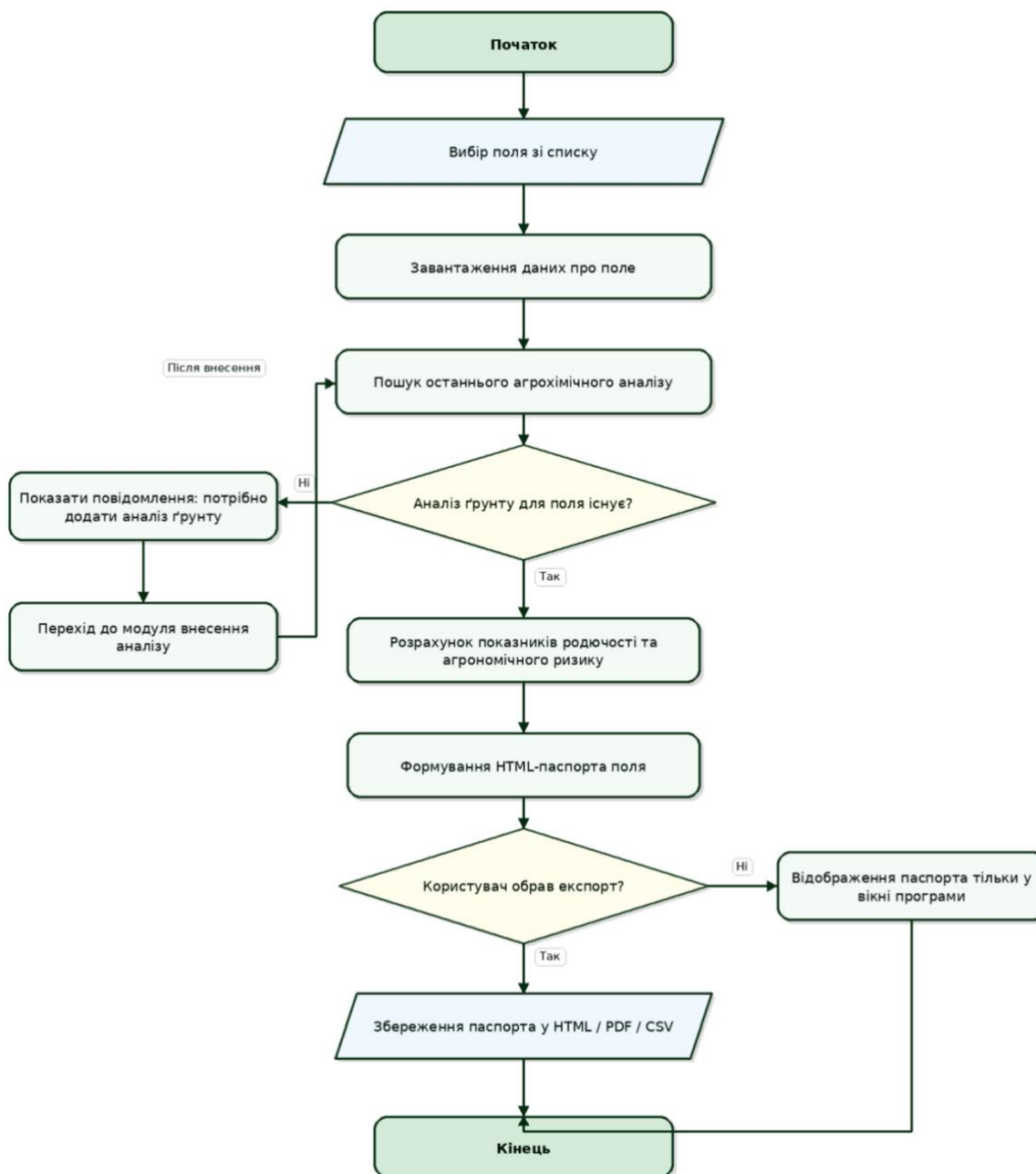


Рис. 3.4 - Блок-схема алгоритму формування агрохімічного паспорта поля

Формування паспорта починається з вибору поля зі списку. Система завантажує основні дані про поле: код, назву, площу, культуру, тип ґрунту, місце розташування та власника або відповідальну особу. Після цього виконується пошук останнього агрохімічного аналізу. Якщо аналіз відсутній, система

повідомляє користувача про необхідність додати результати дослідження ґрунту та пропонує перейти до відповідного модуля.

Якщо аналіз існує, система розраховує узагальнені показники родючості та агрономічного ризику. Для цього враховуються кислотність ґрунту, вміст гумусу, азоту, фосфору й калію. На основі цих даних формується HTML-паспорт поля, який містить загальні відомості, результати аналізу, оцінку стану ґрунту, рекомендації та, за наявності, останній план удобрення.

Користувач може переглянути сформований паспорт у вікні програми або експортувати його в окремий файл. У програмній реалізації передбачено збереження паспорта у форматах HTML, PDF або CSV. HTML зручний для перегляду, PDF - для друку та передачі, CSV - для подальшого опрацювання табличних даних.

Основні етапи формування агрохімічного паспорта наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Етапи формування агрохімічного паспорта поля

Етап	Зміст операції	Результат
1	Вибір поля зі списку	Отримання ідентифікатора поля
2	Завантаження даних про поле	Отримання загальних характеристик ділянки
3	Пошук останнього аналізу ґрунту	Отримання актуальних агрохімічних показників
4	Розрахунок показників родючості	Визначення стану ґрунту
5	Формування HTML-паспорта	Створення структурованого звітнього документа
6	Експорт паспорта	Збереження у вибраному форматі

Розроблені алгоритми охоплюють основні сценарії роботи користувача з інформаційною системою. Вони передбачають перевірку вхідних даних, оброблення помилкових ситуацій, взаємодію з базою даних і формування результатів у зручному для користувача вигляді.

3.4 Реалізація основних програмних модулів

Програмне забезпечення інформаційної системи реалізовано як настільний застосунок із графічним інтерфейсом. Структура системи побудована за модульним принципом. Кожний модуль відповідає за окремий набір функцій, що спрощує супровід програми та дає змогу вносити зміни без повного переписування коду.

Основні програмні модулі системи наведено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7

Основні програмні модулі інформаційної системи

Модуль	Призначення
Модуль авторизації	Вхід користувача до системи та перевірка облікових даних
Модуль роботи з полями	Додавання, редагування та перегляд земельних ділянок
Модуль агрохімічних аналізів	Збереження показників ґрунту за результатами лабораторних досліджень
Модуль паспорта поля	Формування агрохімічного паспорта та його експорт
Модуль плану удобрення	Розрахунок потреби в добривах, вапнуванні та органічних речовинах
Модуль звітів	Підготовка узагальнених даних по полях
Модуль журналу дій	Фіксація основних операцій користувача

Модуль авторизації реалізує початковий доступ до системи. Після запуску програми користувач вводить логін і пароль. Якщо перевірка проходить успішно, відкривається головне вікно системи. Якщо облікові дані неправильні, користувач отримує повідомлення про помилку. Така реалізація дозволяє обмежити доступ до агрохімічних даних і забезпечити базову персоніфікацію роботи.

Модуль роботи з полями дає змогу створювати записи про земельні ділянки. Для кожного поля вказуються код, назва, площа, культура, тип ґрунту, місце розташування, господарство або відповідальна особа. Ці дані використовуються в інших частинах системи, зокрема під час формування паспорта та розрахунку плану удобрення.

Модуль агрохімічних аналізів призначений для внесення результатів лабораторного дослідження ґрунту. Користувач вибирає поле, дату відбору зразка, лабораторію та вводить показники рН, гумусу, азоту, фосфору й калію. Після збереження система може визначити рівень родючості та використати ці дані для подальших розрахунків.

Модуль паспорта поля формує структурований документ на основі даних із бази. У паспорті відображаються загальні відомості про поле, результати останнього аналізу ґрунту, оцінка родючості, агрономічний ризик і рекомендації. Для зручності користувача паспорт можна переглянути безпосередньо в програмі або зберегти в окремий файл.

Модуль плану удобрення реалізує агрономічні розрахунки. Він аналізує показники ґрунту, визначає нестачу основних елементів живлення та формує орієнтовні норми внесення добрив. Крім цього, система враховує кислотність ґрунту й може рекомендувати вапнування. Якщо вміст гумусу є низьким, формується рекомендація щодо внесення органічних добрив.

Узагальнену структуру даних, які використовуються під час реалізації програмних модулів, наведено в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8

Дані, що використовуються основними модулями системи

Модуль	Основні вхідні дані	Основні вихідні дані
Авторизація	Логін, пароль	Доступ до головного вікна або повідомлення про помилку
Поля	Код, назва, площа, культура, тип ґрунту	Запис про поле в базі даних
Аналізи ґрунту	рН, гумус, N, P, K, дата аналізу	Запис агрохімічного аналізу
Паспорт поля	Дані поля, останній аналіз, план удобрення	HTML/PDF/CSV-паспорт
План удобрення	Площа, культура, показники ґрунту	Норми добрив і рекомендації
Журнал дій	Дія користувача, дата, деталі	Запис у журналі

Після кожної важливої операції система оновлює відповідні таблиці інтерфейсу та, за потреби, записує подію до журналу. Це дозволяє користувачу бачити актуальні дані без перезавпуску програми. Наприклад, після додавання нового аналізу ґрунту він одразу може бути використаний для формування паспорту або плану удобрення.

Для реалізації взаємодії з базою даних використано окремі методи створення, читання, оновлення та видалення записів. Такий підхід відповідає CRUD-логіці та забезпечує зрозумілу структуру програмного коду. У разі потреби окремі методи можуть бути доповнені перевітками, фільтрацією або експортом результатів.

Формування агрохімічного паспорту реалізовано через створення HTML-документа. Такий підхід є зручним, оскільки HTML дозволяє структурувати текст, таблиці та блоки рекомендацій. Надалі цей документ може бути збережений або перетворений у PDF-формат. Для експорту табличної інформації використовується CSV, що дає змогу відкривати дані в електронних таблицях.

Окрему увагу приділено обробленню помилкових ситуацій. Якщо користувач не вибрав поле, не заповнив обов'язкові дані або намагається сформувати паспорт без аналізу ґрунту, система не завершує роботу аварійно, а виводить повідомлення з поясненням. Це підвищує зручність використання програми та зменшує ймовірність некоректного збереження даних.

3.5 Опис інтерфейсу користувача

Інтерфейс програмного забезпечення побудований у вигляді головного вікна з окремими розділами. Така структура дозволяє швидко переходити між основними функціями системи: переглядом полів, внесенням аналізів, формуванням паспорту, розрахунком плану удобрення, переглядом звітів і журналом дій.

Після успішної авторизації користувач потрапляє до головного вікна. У ньому розміщено навігаційні елементи, таблиці з даними та робочі форми. Для зручності інтерфейс виконано в аграрній кольоровій гамі з переважанням зелених і світлих відтінків. Це відповідає тематиці програмного забезпечення та робить візуальне сприйняття системи більш цілісним.

Основні принципи побудови інтерфейсу:

- поділ функцій за окремими вкладками;
- використання таблиць для перегляду записів;
- наявність форм введення для додавання або редагування даних;
- виведення повідомлень про помилки та успішні операції;
- можливість експорту сформованих результатів;
- мінімальна кількість зайвих елементів на екрані.

Розділ роботи з полями забезпечує введення основних характеристик земельних ділянок. Розділ агрохімічних аналізів дає змогу вносити лабораторні показники ґрунту. Розділ паспорта поля формує узагальнений документ для вибраної ділянки. Розділ плану удобрення містить розрахунок норм внесення добрив і текстові рекомендації.

Функціональна структура інтерфейсу наведена в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9

Основні розділи інтерфейсу користувача

Розділ інтерфейсу	Призначення
Вхід у систему	Авторизація користувача
Поля	Облік земельних ділянок
Аналізи ґрунту	Внесення результатів агрохімічних досліджень
Паспорт поля	Формування та експорт агрохімічного паспорта
План удобрення	Розрахунок норм добрив і рекомендацій
Звіти	Узагальнення інформації по полях
Журнал	Перегляд історії дій користувача

Реалізований інтерфейс орієнтований на користувача, який не обов'язково має глибокі технічні навички. Основні дії виконуються через кнопки та форми, а результати відображаються в зрозумілому табличному або звітному вигляді. Це

дозволяє використовувати систему як демонстраційний програмний продукт у межах кваліфікаційної роботи.

3.6 Висновки до третього розділу

У третьому розділі було виконано розроблення та опис програмної реалізації інформаційної системи агрохімічного паспорту полів. Обґрунтовано вибір технологічних засобів, зокрема мови Python, бібліотеки PyQt6 для створення графічного інтерфейсу та SQLite для локального збереження даних.

Розроблено фізичну модель бази даних, яка включає таблиці користувачів, полів, агрохімічних аналізів, планів удобрення та журналу дій. Визначено зв'язки між таблицями, зовнішні ключі та індекси, необхідні для забезпечення цілісності й швидкого доступу до даних.

Описано алгоритми основних процесів системи: авторизації користувача, формування агрохімічного паспорту поля та розрахунку плану удобрення. Для кожного алгоритму визначено послідовність операцій, умови перевірки та результат виконання. Запропоновані алгоритми враховують можливі помилкові ситуації, зокрема незаповнені поля, відсутність аналізу ґрунту або неправильні облікові дані.

Також розглянуто реалізацію основних програмних модулів: модуля авторизації, обліку полів, агрохімічних аналізів, паспорту поля, плану удобрення, звітів і журналу дій. Розроблена структура програмного забезпечення є достатньою для виконання основних функцій системи та може бути розширена в майбутньому шляхом додавання карти полів, історії врожайності, сівозміни або інтеграції з лабораторними сервісами.

4 ТЕСТУВАННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ

4.1 План тестування програмних модулів та методика оцінювання результатів

Тестування програмного забезпечення інформаційної системи агрохімічного паспорту полів виконувалося з метою перевірки працездатності основних модулів, правильності збереження даних у базі, коректності розрахунків агрохімічних показників, формування паспорту поля та підготовки рекомендацій щодо удобрення. Оскільки система призначена для локального використання агрономом або працівником сільськогосподарського підприємства, особливу увагу приділено стабільності настільного застосунку, зрозумілості інтерфейсу та правильності роботи з базою SQLite.

План тестування охоплює перевірку таких функціональних частин: авторизації користувача, роботи з довідником полів, внесення результатів агрохімічного аналізу ґрунту, формування агрохімічного паспорту поля, розрахунку плану удобрення, експорту звітів і ведення журналу дій. Тестування проводилося у наскрізному сценарії: вхід у систему, перегляд наявних полів, додавання або редагування агрохімічних показників, формування паспорту, створення плану удобрення та перевірка збережених результатів.

Методика тестування передбачала порівняння фактичної поведінки програми з очікуваними результатами. Для кожного модуля перевірялися вхідні дані, реакція інтерфейсу, правильність запису в базу даних, наявність повідомлень про помилки та коректність сформованих вихідних даних. Основний план тестування подано у табл. 4.1.

Таблиця 4.1

План тестування програмних модулів інформаційної системи
агрохімічного паспорту полів

№	Модуль / функція	Вхідні дані	Очікуваний результат	Критерії приймання
1	Авторизація користувача	Логін і пароль	Відкриття головного вікна або повідомлення про помилку	Вхід виконується лише з правильними обліковими даними
2	Перевірка порожніх полів входу	Порожній логін або пароль	Повідомлення про необхідність заповнення полів	Програма не виконує запит до бази без обов'язкових даних
3	Довідник полів	Код, назва, площа, культура, тип ґрунту	Створення або оновлення запису про поле	Дані зберігаються в таблиці fields
4	Агрохімічний аналіз	pH, гумус, N, P, K, дата аналізу	Збереження результатів аналізу ґрунту	Запис з'являється у таблиці soil_analyses
5	Перевірка агрохімічних показників	Некоректні або порожні значення	Повідомлення про помилку введення	Некоректні дані не зберігаються
6	Формування паспорта поля	Вибране поле з наявним аналізом	Створення структурованого паспорта	Паспорт містить дані поля, аналіз і рекомендації
7	Формування паспорта без аналізу	Поле без результатів ґрунтового аналізу	Повідомлення про необхідність додати аналіз	Система не формує неповний паспорт
8	План удобрення	Поле, культура, останній аналіз ґрунту	Розрахунок потреби в N, P ₂ O ₅ , K ₂ O	Рекомендації відповідають введеним показникам
9	Експорт звітів	Дані паспорта або журналу	Збереження у HTML, PDF або CSV	Файл створюється та відкривається без помилок
10	Журнал дій	Дії користувача в системі	Фіксація подій із датою та описом	Події зберігаються в таблиці action_log

Під час тестування також враховувались нефункціональні характеристики програмного забезпечення. До них належать швидкість запуску програми, стабільність роботи при повторному відкритті модулів, коректність оновлення

таблиць після додавання записів, зручність навігації між розділами та відсутність аварійного завершення роботи при некоректних діях користувача.

Критеріями успішності тестування прийнято: коректне відкриття головного вікна після авторизації, правильне збереження даних у SQLite, відображення оновлених записів без перезапуску програми, формування агрохімічного паспорта з актуальними показниками, розрахунок плану удобрення на основі останнього аналізу та успішний експорт результатів.

План тестування охоплює всі ключові функції програмної реалізації та дозволяє оцінити готовність інформаційної системи до практичного використання в межах обліку агрохімічного стану полів.

4.2 Тестування інформаційної системи агрохімічного паспорта полів

Тестування інформаційної системи агрохімічного паспорта полів виконано з метою перевірки працездатності основних функціональних модулів програмного забезпечення, коректності збереження даних у локальній базі SQLite, правильності формування агрохімічного паспорта поля, роботи модулів аналізу ґрунту, звітності та журналювання дій користувача. Перевірка проводилася за наскрізним сценарієм роботи користувача: вхід до системи, перегляд панелі огляду, робота з полями господарства, внесення лабораторних показників ґрунту, формування паспорта поля, перегляд узагальненого звіту та контроль журналу дій.

На першому етапі було перевірено форму авторизації користувача. Вікно входу містить інформаційний блок із коротким описом призначення системи та форму введення логіна й пароля. Для тестування використано демонстраційний обліковий запис адміністратора. Після введення правильних даних система відкриває головне вікно програми. Якщо логін або пароль введено неправильно, доступ до основних модулів не надається. Такий підхід забезпечує базовий

контроль доступу до агрохімічних даних і запобігає несанкціонованому перегляду або зміні інформації.

Результат перевірки форми входу наведено на рис. 4.1.

Рис. 4.1 – Форма авторизації користувача інформаційної системи

Після успішної авторизації було протестовано панель огляду. Вона призначена для швидкого перегляду узагальнених показників земельного банку та поточного агрохімічного стану полів. На панелі відображається кількість зареєстрованих полів, загальна площа земельних ділянок, кількість лабораторних аналізів, середній показник рН, середній вміст гумусу та усереднені значення N/P/K. Також у нижній частині сторінки розміщено таблицю останніх лабораторних аналізів і короткий журнал дій користувача.

Під час тестування встановлено, що після входу система коректно завантажує дані з бази, відображає три зареєстровані поля, загальну площу 98,3 га, три записи аналізів ґрунту та останню подію авторизації. Це підтверджує правильну роботу механізму початкового завантаження даних і оновлення інформаційних карток.

Результат роботи панелі огляду наведено на рис. 4.2.

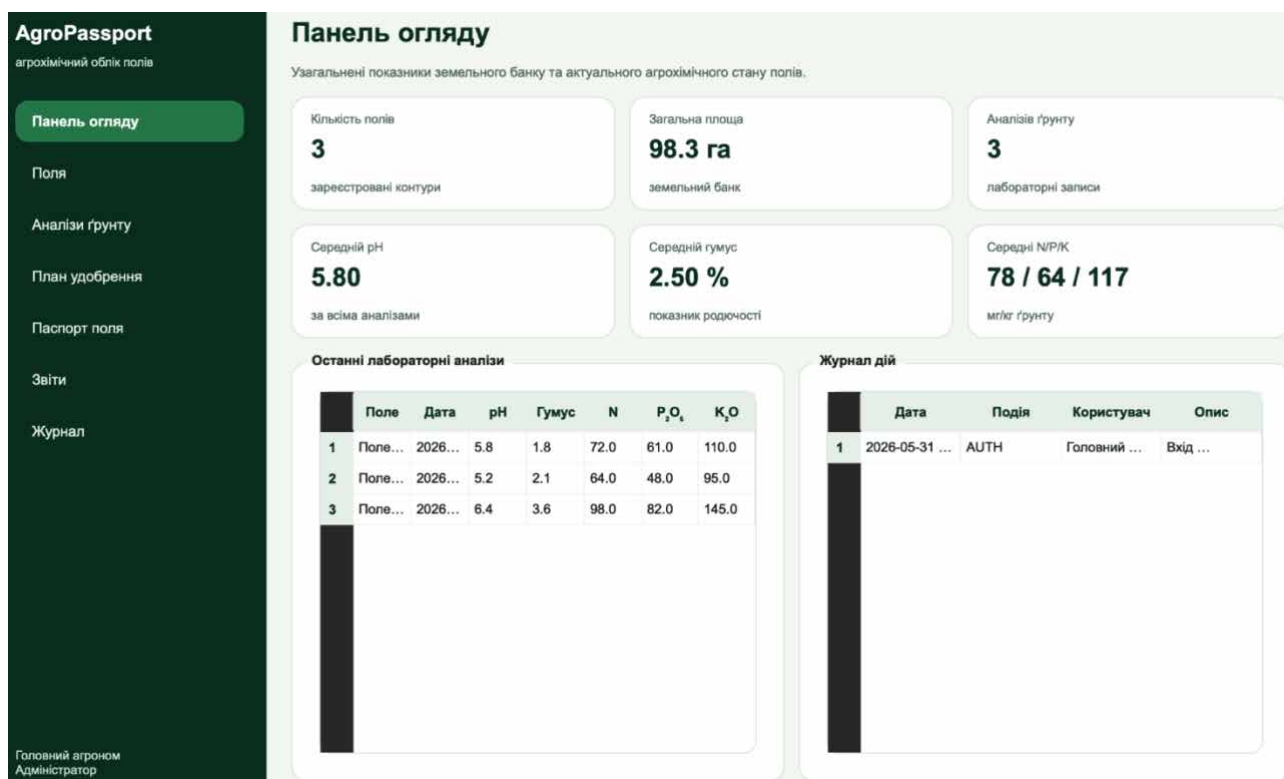


Рис. 4.2 – Панель огляду агрохімічного стану полів

Наступним етапом перевірено модуль «Поля господарства». Цей модуль призначений для створення, редагування, пошуку та видалення записів про земельні ділянки, що входять до агрохімічного паспорта. У лівій частині вікна відображається таблиця зі списком полів, а в правій частині розміщено картку поля для введення або редагування даних. У формі передбачено поля для назви, кадастрового номера, площі, місцезнаходження, типу ґрунту, поточної культури, попередника, сівозміни, відповідальної особи та приміток.

Під час тестування перевірено пошук поля за назвою, культурою, кадастровим номером і типом ґрунту. Також перевірено створення нового запису, збереження змін і видалення вибраного поля. Дані після збереження відображаються в таблиці без перезапуску програми, що підтверджує коректну взаємодію інтерфейсу з базою даних. Наявність окремих полів для культури, попередника та сівозміни дає змогу використовувати програму не лише для зберігання паспортних даних, а й для подальшого агрономічного аналізу.

Інтерфейс модуля обліку полів наведено на рис. 4.3.

Поля господарства

Створення та редагування контурів, які входять до агрохімічного паспорта.

Пошук за назвою, культурою, кадастровим номером або типом ґрунту

Нове поле Зберегти Видалити

	Назва	Площа, га	Культура	Тип ґрунту	Кадастр	Відповідальний
1	Поле №3 ...	24.0	соя	темно-сір...	71234845...	Коваленк...
2	Поле №2 ...	31.5	кукурудза	чорнозем...	71234845...	Петренко...
3	Поле №1 ...	42.8	озима ...	чорнозем...	71234845...	Іваненко ...

Картка поля

Назва поля

Кадастровий номер

Площа

Місцезнаходження

Тип ґрунту

Поточна культура

Попередник

Сівозміна

Відповідальний

Примітки

Рис. 4.3 – Модуль обліку полів господарства

Окремо протестовано модуль «Аналізи ґрунту». Він використовується для внесення лабораторних показників і автоматичної інтерпретації агрохімічного стану поля. У таблиці відображаються вже внесені аналізи із зазначенням поля, дати, рН, вмісту гумусу, азоту, фосфору, калію, оцінки родючості та назви лабораторії. У правій частині розміщено форму введення показників аналізу.

Під час тестування було перевірено вибір поля зі списку, зазначення дати відбору проб, введення назви лабораторії та числових показників: рН сольового, гумусу, азоту N, фосфору P_2O_5 , калію K_2O , солоності, цинку та міді. Система коректно приймає числові значення, зберігає їх у базі даних і відображає у таблиці аналізів. Також перевірено автоматичне визначення рівня родючості. Наприклад, для поля з рН 5,8, гумусом 1,8 %, азотом 72 мг/кг, фосфором 61 мг/кг і калієм 110 мг/кг система визначає низьку забезпеченість окремими елементами живлення, що надалі враховується у звітах і рекомендаціях.

Результат перевірки модуля аналізів ґрунту наведено на рис. 4.4.

Аналізи ґрунту

Внесення лабораторних показників і автоматична інтерпретація агрохімічного стану.

Новий аналіз

Зберегти аналіз

Видалити

	Поле	Дата	pH	Гумус	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	хлористі	борато
1	Поле ...	2026-...	5.8	1.8	72.0	61.0	110.0	низьк...	Агрох...
2	Поле ...	2026-...	5.2	2.1	64.0	48.0	95.0	низьк...	Агрох...
3	Поле ...	2026-...	6.4	3.6	98.0	82.0	145.0	сере...	Агрох...

Показники аналізу

Поле Поле №3 Садове (24 га)

Дата відбору проб 31.05.26

Лабораторія хімічна лабораторія

pH сольовий 6,50

Гумус, % 3,00

Азот N, мг/кг 100,0

Фосфор P₂O₅, мг/кг 80,0

Калій K₂O, мг/кг 140,0

Сопоність, % 0,100

Цинк, мг/кг 1,00

Мідь, мг/кг 0,20

Висновок лабораторії

Рис. 4.4 – Модуль внесення та перегляду агрохімічних аналізів ґрунту

Після перевірки введення лабораторних показників протестовано модуль «Паспорт поля». Він є одним із ключових модулів системи, оскільки формує друкований агрохімічний паспорт на основі даних про поле та останнього лабораторного аналізу. Користувач вибирає поле зі списку, після чого система автоматично завантажує його ідентифікаційні дані, результати аналізу ґрунту та формує структурований документ.

У сформованому паспорті відображаються назва поля, кадастровий номер, площа, місцезнаходження, тип ґрунту, поточна культура, попередник, сівозміна та відповідальна особа. Далі подано результати агрохімічного аналізу: дата відбору проб, назва лабораторії, показники pH, гумусу, азоту, фосфору та калію з інтерпретацією. Під час тестування перевірено, що паспорт оновлюється після вибору іншого поля або натискання кнопки «Оновити». Також перевірено

наявність кнопок експорту HTML, PDF і CSV, що дозволяє зберігати сформований документ у зручному форматі для друку, передачі або подальшого опрацювання.

Формування агрохімічного паспорта поля показано на рис. 4.5.

Паспорт поля

Формування друкованого агрохімічного паспорта з висновками та рекомендаціями.

Поле: Оновити Експорт HTML Експорт PDF Експорт CSV

Агрохімічний паспорт поля

Сформовано автоматично: 2026-05-31 16:33:31

1. Ідентифікаційні дані поля

Назва поля: Поле №3 Садове
 Кадастровий номер: 7123484500:02:002:0211
 Площа: 24 га
 Місцезнаходження: Черкаська область, контур С-3
 Тип ґрунту: темно-сірий опідзолений ґрунт
 Поточна культура: соя
 Попередник: пшениця
 Сівозміна: зернобобова
 Відповідальний: Коваленко М. В.

2. Результати агрохімічного аналізу

Дата відбору проб: 2026-04-18
 Лабораторія: Агрохімічна лабораторія НУБіП

Показник	Значення	Інтерпретація
рН сольовий	5.80	оптимальна реакція
Гумус, %	1.80	низький вміст гумусу
Азот N, мг/кг	72	низьке забезпечення азотом

Рис. 4.5 – Модуль формування агрохімічного паспорта поля

Наступним етапом протестовано модуль «Звіти». Він призначений для порівняльного аналізу полів за останніми лабораторними показниками та агрономічними ризиками. У таблиці звіту відображається назва поля, площа, культура, дата аналізу, показники рН, гумусу, N, P₂O₅, K₂O, оцінка стану та першочергова дія. Такий формат дозволяє швидко визначити поля, які потребують оновлення аналізів, коригування кислотності, підтримання гумусного балансу або уточнення норм NPK.

Під час тестування перевірено кнопку «Оновити звіт» і можливість експорту даних у CSV. Система коректно відображає три поля, для яких наявні

лабораторні аналізи. В аналітичному висновку визначається, що в системі обліковано 3 поля, полів без актуального лабораторного аналізу немає, 2 поля мають ознаки низької родючості, а 1 поле має кислу реакцію ґрунтового розчину. Такий висновок підтверджує, що система не лише відображає таблицю даних, а й виконує початкове аналітичне узагальнення.

Результат роботи модуля звітів наведено на рис. 4.6.

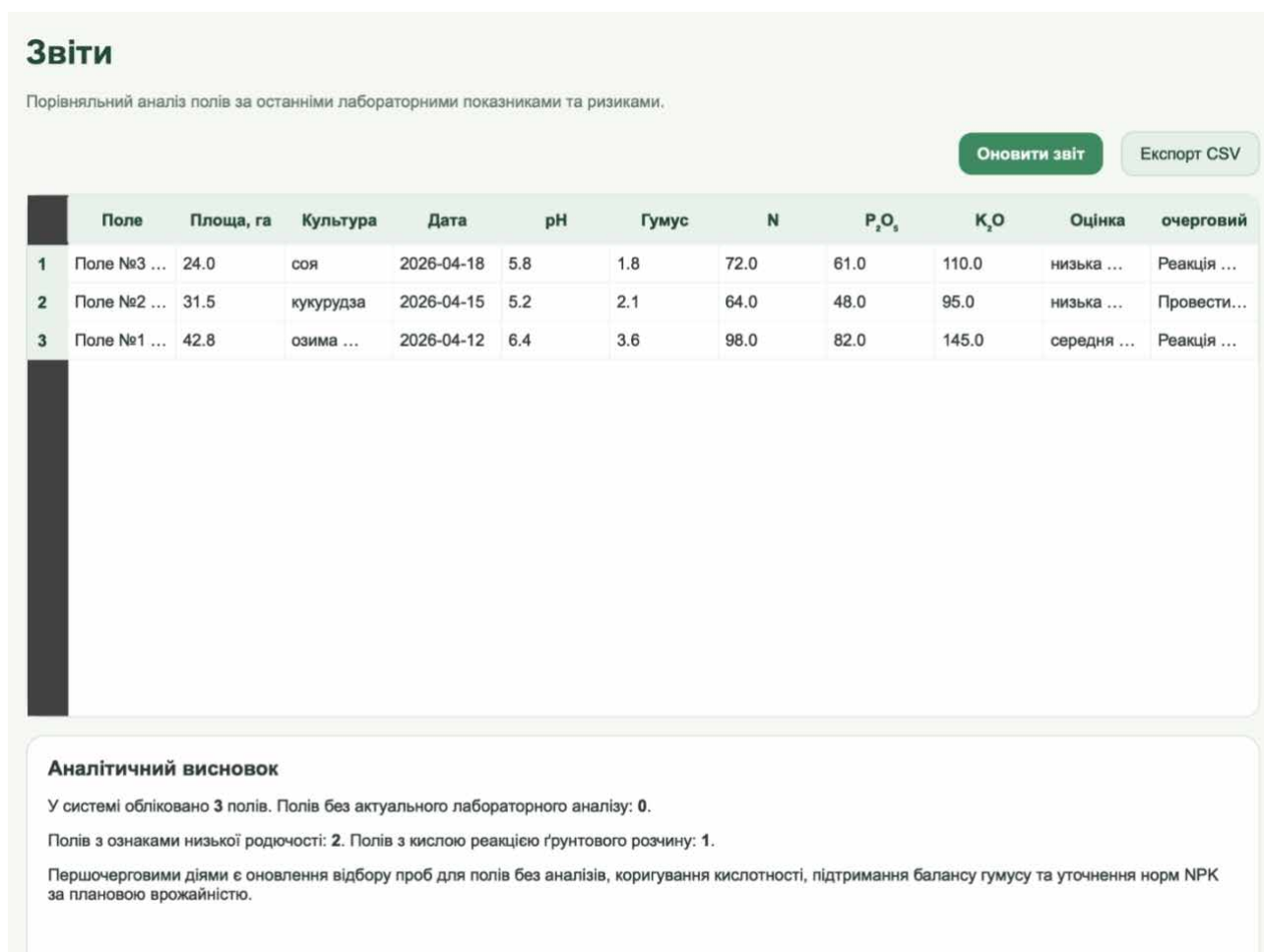


Рис. 4.6 – Модуль формування порівняльного звіту за полями

Завершальним етапом було протестовано журнал дій користувача. Цей модуль забезпечує аудит операцій у системі: авторизації, створення, редагування, видалення та експорту даних. У журналі відображаються дата й час події, користувач, тип операції, об'єкт, ідентифікатор запису та опис виконаної дії. Для зручності передбачено пошук за типом події, користувачем або описом, а також експорт журналу у CSV.

Під час тестування підтверджено, що після входу до системи створюється запис типу AUTH з описом входу користувача. Наявність такого журналу є важливою для контролю змін у базі даних, особливо якщо система використовується кількома працівниками господарства. Журнал дає змогу встановити, хто і коли виконував певні операції, що підвищує надійність і контрольованість роботи програмного забезпечення.

Інтерфейс журналу дій наведено на рис. 4.7.

Журнал дій						
Повний аудит операцій користувача: авторизація, створення, редагування, видалення та експорт даних.						
Пошук у журналі за типом події, користувачем або описом					Оновити	Експорт CSV
	Дата	Користувач	Тип	Об'єкт	ID	Опис
1	2026-05-31 16:33:16	Головний агроном	AUTH	user	1	Вхід користувача до ...

Рис. 4.7 – Журнал дій користувача

Узагальнені результати тестування основних модулів інформаційної системи наведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Результати тестування основних модулів інформаційної системи агрохімічного паспорту полів

Модуль	Перевірена дія	Очікуваний результат	Результат
Авторизація	Введення правильного логіна та пароля	Відкриття головного вікна системи	Виконано
Авторизація	Введення неправильних або порожніх даних	Повідомлення про помилку входу	Виконано
Панель огляду	Завантаження початкових показників	Відображення кількості полів, площі, аналізів, середнього рН, гумусу та N/P/K	Виконано
Поля господарства	Перегляд списку полів	Відображення назви, площі, культури, типу ґрунту, кадастрового номера та відповідального	Виконано
Поля господарства	Створення або редагування поля	Дані зберігаються в базі та оновлюються в таблиці	Виконано
Поля господарства	Пошук за назвою, культурою або типом ґрунту	У таблиці залишаються записи, що відповідають запиту	Виконано
Аналізи ґрунту	Внесення лабораторних показників	рН, гумус, N, P ₂ O ₅ , K ₂ O та інші показники зберігаються для вибраного поля	Виконано
Аналізи ґрунту	Автоматична оцінка показників	Система визначає рівень родючості та інтерпретацію агрохімічного стану	Виконано
Паспорт поля	Формування паспорта для вибраного поля	Створюється документ з ідентифікаційними даними, аналізом і рекомендаціями	Виконано
Паспорт поля	Експорт HTML, PDF і CSV	Файл формується у вибраному форматі	Виконано
Звіти	Формування порівняльного звіту	Відображається таблиця полів з останніми агрохімічними показниками	Виконано
Звіти	Формування аналітичного висновку	Система визначає кількість полів з ризиками та першочергові дії	Виконано
Журнал дій	Фіксація входу та операцій користувача	У журналі зберігається дата, користувач, тип події, об'єкт і опис	Виконано
Журнал дій	Пошук і експорт журналу	Дані фільтруються та можуть бути збережені у CSV	Виконано

За результатами тестування встановлено, що інформаційна система агрохімічного паспорту полів коректно виконує основні функції, визначені на етапі проєктування. Програмне забезпечення забезпечує контрольований вхід до системи, облік полів господарства, внесення лабораторних показників,

автоматичну інтерпретацію агрохімічного стану, формування паспорта поля, підготовку порівняльних звітів та ведення журналу дій.

Тестування підтвердило працездатність локальної бази даних і правильну взаємодію між основними модулями програми. Дані, внесені в модулі полів та аналізів ґрунту, використовуються під час формування паспорта й аналітичного звіту. Це свідчить про цілісність інформаційної структури системи та узгодженість реалізованого функціоналу.

Отже, розроблена інформаційна система може використовуватися як локальний програмний інструмент для ведення агрохімічного обліку полів, підготовки паспортів земельних ділянок, аналізу лабораторних показників і формування першочергових агрономічних рекомендацій.

4.3 Оцінювання ефективності роботи системи

Оцінювання ефективності інформаційної системи агрохімічного паспорта полів виконувалося за функціональними, інформаційними та експлуатаційними критеріями. Функціональна ефективність визначається здатністю системи виконувати основні завдання, передбачені темою роботи. Інформаційна ефективність пов'язана з повнотою та структурованістю збережених даних. Експлуатаційна ефективність характеризує зручність використання програми, швидкість виконання операцій і простоту розгортання.

До впровадження такої системи облік агрохімічних даних може виконуватися вручну або в окремих електронних таблицях. У такому випадку дані про поле, результати аналізів, рекомендації та звіти часто зберігаються окремо, що ускладнює пошук інформації й підвищує ймовірність помилок. Розроблена система об'єднує ці процеси в одному програмному середовищі.

Основні показники ефективності наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Оцінювання ефективності інформаційної системи

Критерій	До використання системи	Після використання системи
Облік полів	Ведення в окремих документах або таблицях	Єдиний довідник полів у базі даних
Збереження аналізів ґрунту	Розрізнені файли або паперові документи	Прив'язка аналізів до конкретного поля
Формування паспорта поля	Ручне складання документа	Автоматичне формування паспорта
Розрахунок удобрення	Розрахунок вручну або за окремими таблицями	Автоматизований розрахунок на основі аналізу
Пошук історії дій	Відсутній або неструктурований	Журнал дій користувача
Експорт результатів	Потребує ручного оформлення	HTML, PDF або CSV-файл

Результати оцінювання показують, що використання системи зменшує обсяг ручної роботи та підвищує впорядкованість агрохімічних даних. Користувач отримує можливість швидко знайти потрібне поле, переглянути останній аналіз, сформувати паспорт і підготувати план удобрення. Це скорочує час підготовки звітних матеріалів і знижує ймовірність втрати важливої інформації.

Ефективність програмного забезпечення також проявляється в тому, що всі основні дані зберігаються в єдиній базі SQLite. Користувачу не потрібно налаштовувати сервер або підключатися до зовнішньої системи. Програма може працювати локально на персональному комп'ютері, що є зручним для невеликих господарств або навчального демонстраційного використання.

Окремою перевагою є автоматизоване формування рекомендацій. Система не лише зберігає результати агрохімічного аналізу, а й використовує їх для практичного висновку щодо потреби в основних елементах живлення, вапнуванні та органічних добривах. Завдяки цьому програмний продукт виконує не тільки облікову, а й аналітичну функцію.

4.4 Висновки до четвертого розділу

У четвертому розділі проведено тестування та оцінювання ефективності програмного забезпечення інформаційної системи агрохімічного паспорту полів. Розроблено план тестування, який охоплює авторизацію користувача, роботу з полями, внесення агрохімічних аналізів, формування паспорту поля, розрахунок плану удобрення, експорт звітів і ведення журналу дій.

Під час тестування перевірено основні сценарії роботи користувача. Встановлено, що система коректно виконує авторизацію, зберігає дані про поля, прив'язує результати аналізів до конкретних земельних ділянок, формує агрохімічний паспорт поля та розраховує план удобрення на основі актуальних показників ґрунту.

Перевірка алгоритмів показала, що програмне забезпечення правильно реагує на відсутність обов'язкових даних. Якщо користувач не ввів логін або пароль, система виводить відповідне повідомлення. Якщо для поля немає агрохімічного аналізу, паспорт і план удобрення не формуються безпідставно, а користувачу пропонується спочатку внести необхідні дані.

Оцінювання ефективності підтвердило, що розроблена інформаційна система спрощує ведення агрохімічного обліку, зменшує кількість ручних операцій, забезпечує структуроване зберігання даних і дає змогу швидко формувати паспорт поля та рекомендації щодо удобрення. Отримані результати свідчать про працездатність програмного забезпечення та його придатність для використання як прикладної інформаційної системи в межах агрохімічного обліку полів.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розроблено програмне забезпечення інформаційної системи агрохімічного паспорта полів, призначене для автоматизації обліку земельних ділянок, збереження результатів лабораторних аналізів ґрунту, оцінювання агрохімічного стану полів, формування паспорта поля, підготовки рекомендацій щодо удобрення та створення звітної інформації.

У першому розділі було проаналізовано предметну область агрохімічного обстеження полів. Встановлено, що агрохімічний паспорт є важливим документом для контролю стану ґрунтів, планування системи удобрення, оцінювання родючості та прийняття агрономічних рішень. Розглянуто основні показники, які впливають на агрохімічну оцінку поля: кислотність ґрунту, вміст гумусу, азоту, фосфору, калію, мікроелементів, солоність, тип ґрунту, культура, попередник і сівоzmіна. Визначено, що ручне ведення таких даних у паперових документах або окремих електронних таблицях ускладнює пошук інформації, порівняння показників і формування звітів.

У другому розділі виконано проєктування інформаційного та програмного забезпечення системи. Побудовано логічну та фізичну модель бази даних, яка включає таблиці користувачів, полів, агрохімічних аналізів, планів удобрення та журналу дій. Така структура забезпечує зв'язок між земельними ділянками, результатами аналізів і сформованими рекомендаціями. Розроблено діаграми, які відображають основні процеси роботи системи: авторизацію користувача, формування агрохімічного паспорта поля та розрахунок плану удобрення.

У третьому розділі обґрунтовано вибір засобів реалізації програмного забезпечення. Для створення застосунку використано мову програмування Python, бібліотеку PyQt6 для побудови графічного інтерфейсу та SQLite для локального збереження даних. Такий набір технологій дозволив реалізувати автономний настільний застосунок, який не потребує складного серверного налаштування та може використовуватися на персональному комп'ютері агронома або працівника господарства. Реалізовано модулі авторизації, панелі

огляду, обліку полів, внесення аналізів ґрунту, формування паспорта поля, звітності та журналу дій.

У четвертому розділі проведено тестування програмного забезпечення. Перевірено вхід до системи, відображення панелі огляду, роботу модуля полів, внесення лабораторних показників, формування агрохімічного паспорта, експорт даних, побудову порівняльного звіту та ведення журналу дій. Результати тестування підтвердили, що система коректно обробляє дані, зберігає їх у базі SQLite, відображає актуальні записи в інтерфейсі та формує звітні документи. Окремо перевірено, що система не формує повноцінний паспорт поля без наявних результатів агрохімічного аналізу, що зменшує ризик створення необґрунтованих висновків.

Практична цінність розробленого програмного забезпечення полягає в тому, що воно об'єднує в одному середовищі облік полів, лабораторні показники, агрохімічну інтерпретацію, рекомендації та звіти. Це скорочує обсяг ручної роботи, спрощує контроль агрохімічного стану земельних ділянок і підвищує зручність підготовки паспортів полів. Система може використовуватися як навчальний програмний прототип або як основа для подальшого розвитку повноцінної інформаційної системи агрохімічного моніторингу.

Подальше вдосконалення програмного забезпечення може передбачати додавання картографічного модуля для відображення контурів полів, інтеграцію з GPS-даними, імпорт результатів лабораторних досліджень з електронних файлів, розширення розрахунків норм добрив за плановою врожайністю, підключення багатокористувацького режиму та створення вебверсії системи. Отже, поставлену мету роботи досягнуто, а розроблена інформаційна система відповідає визначеним функціональним вимогам і може бути використана для автоматизації процесів ведення агрохімічного паспорта полів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Київ : Держспоживстандарт України, 2005.
2. ДСТУ 4362:2004. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. Київ : Держспоживстандарт України, 2006.
3. ДСТУ 7537:2014. Якість ґрунту. Визначення гідролітичної кислотності. Київ : Мінекономрозвитку України, 2015.
4. ДСТУ ISO 10390:2007. Якість ґрунту. Визначення рН. Київ : Держспоживстандарт України, 2009.
5. ДСТУ ISO 10694:2001. Якість ґрунту. Визначення органічного і загального вуглецю після сухого спалювання. Київ : Держстандарт України, 2002.
6. ДСТУ ISO 11260:2001. Якість ґрунту. Визначення ефективної катіонної обмінної ємності та ступеня насиченості основами. Київ : Держстандарт України, 2002.
7. ДСТУ ISO 11464:2007. Якість ґрунту. Попереднє обробляння проб для фізико-хімічного аналізу. Київ : Держспоживстандарт України, 2009.
8. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
9. Закон України «Про охорону земель» від 19.06.2003 № 962-IV. Відомості Верховної Ради України. 2003. № 39. Ст. 349.
10. Закон України «Про державний контроль за використанням та охороною земель» від 19.06.2003 № 963-IV. Відомості Верховної Ради України. 2003. № 39. Ст. 350.
11. Закон України «Про землеустрій» від 22.05.2003 № 858-IV. Відомості Верховної Ради України. 2003. № 36. Ст. 282.
12. Медведєв В. В. Моніторинг ґрунтів України. Харків : Антіква, 2002. 428 с.

13. Балюк С. А., Медведєв В. В., Тараріко О. Г. Агрохімічна паспортизація земель сільськогосподарського призначення. Харків : ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», 2012.
14. Городній М. М. Агрохімія : підручник. Київ : Алефа, 2003. 778 с.
15. Господаренко Г. М. Агрохімія : підручник. Київ : ТОВ «СІК ГРУП Україна», 2015. 376 с.
16. Якість ґрунту та сучасні стратегії удобрення сільськогосподарських культур / за ред. С. А. Балюка. Харків : ННЦ ІГА, 2018.
17. FAO. Soil Testing Methods Manual. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020. URL: <https://www.fao.org>.
18. FAO. Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022. URL: <https://www.fao.org>.
19. ISO 11074:2015. Soil quality. Vocabulary. Geneva : International Organization for Standardization, 2015. URL: <https://www.iso.org>.
20. ISO 28258:2013. Soil quality. Digital exchange of soil-related data. Geneva : International Organization for Standardization, 2013. URL: <https://www.iso.org>.
21. Python Software Foundation. Python 3 Documentation. URL: <https://docs.python.org/3/>.
22. Python Software Foundation. sqlite3. DB-API 2.0 interface for SQLite databases. Python 3 Documentation. URL: <https://docs.python.org/3/library/sqlite3.html>.
23. Riverbank Computing. PyQt6 Documentation. URL: <https://www.riverbankcomputing.com/static/Docs/PyQt6/>.
24. Riverbank Computing. PyQt6 Download and Installation. URL: <https://www.riverbankcomputing.com/software/pyqt/download>.
25. SQLite Consortium. SQLite Documentation. URL: <https://www.sqlite.org/docs.html>.
26. SQLite Consortium. SQLite Foreign Key Support. URL: <https://www.sqlite.org/foreignkeys.html>.

27. SQLite Consortium. Datatypes In SQLite.
URL: <https://www.sqlite.org/datatype3.html>.
28. OWASP Foundation. Password Storage Cheat Sheet.
URL: https://cheatsheetseries.owasp.org/cheatsheets/Password_Storage_Cheat_Sheet.html.
29. OWASP Foundation. Authentication Cheat Sheet.
URL: https://cheatsheetseries.owasp.org/cheatsheets/Authentication_Cheat_Sheet.html.
30. Sommerville I. Software Engineering. 10th ed. Boston : Pearson, 2016. 816 p.
31. Pressman R. S., Maxim B. R. Software Engineering: A Practitioner's Approach. 9th ed. New York : McGraw-Hill Education, 2019. 704 p.
32. Fowler M. UML Distilled: A Brief Guide to the Standard Object Modeling Language. 3rd ed. Boston : Addison-Wesley, 2004. 208 p.

ДОДАТОК А

Фрагмент SQL-коду створення фізичної моделі бази даних

```
CREATE TABLE users (
    id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
    full_name TEXT NOT NULL,
    username TEXT NOT NULL UNIQUE,
    password_hash TEXT NOT NULL,
    role TEXT NOT NULL DEFAULT 'agronomist',
    created_at TEXT NOT NULL
);

CREATE TABLE fields (
    id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
    field_code TEXT NOT NULL UNIQUE,
    name TEXT NOT NULL,
    area_ha REAL NOT NULL CHECK (area_ha > 0),
    crop TEXT,
    soil_type TEXT,
    location TEXT,
    owner TEXT,
    notes TEXT
);

CREATE TABLE soil_analyses (
    id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
    field_id INTEGER NOT NULL,
    sample_date TEXT NOT NULL,
    laboratory TEXT,
    ph REAL CHECK (ph >= 0 AND ph <= 14),
    humus REAL CHECK (humus >= 0),
    nitrogen REAL CHECK (nitrogen >= 0),
    phosphorus REAL CHECK (phosphorus >= 0),
    potassium REAL CHECK (potassium >= 0),
    salinity REAL DEFAULT 0,
    zinc REAL DEFAULT 0,
    copper REAL DEFAULT 0,
    fertility_level TEXT,
    laboratory_note TEXT,
    created_at TEXT NOT NULL,
    FOREIGN KEY (field_id) REFERENCES fields(id) ON DELETE CASCADE
);

CREATE TABLE fertilizer_plans (
    id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
    field_id INTEGER NOT NULL,
    analysis_id INTEGER,
    crop TEXT NOT NULL,
    nitrogen_need REAL DEFAULT 0,
    phosphorus_need REAL DEFAULT 0,
    potassium_need REAL DEFAULT 0,
    lime_need REAL DEFAULT 0,
    organic_need REAL DEFAULT 0,
    estimated_cost REAL DEFAULT 0,
    recommendation TEXT,
    created_at TEXT NOT NULL,
    FOREIGN KEY (field_id) REFERENCES fields(id) ON DELETE CASCADE,
    FOREIGN KEY (analysis_id) REFERENCES soil_analyses(id) ON DELETE SET NULL
);
```

```
CREATE TABLE action_log (  
    id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,  
    user_id INTEGER,  
    action_type TEXT NOT NULL,  
    object_type TEXT,  
    object_id INTEGER,  
    description TEXT,  
    created_at TEXT NOT NULL,  
    FOREIGN KEY (user_id) REFERENCES users(id) ON DELETE SET NULL  
);  
  
CREATE INDEX idx_fields_code ON fields(field_code);  
CREATE INDEX idx_soil_analyses_field ON soil_analyses(field_id);  
CREATE INDEX idx_fertilizer_plans_field ON fertilizer_plans(field_id);  
CREATE INDEX idx_action_log_date ON action_log(created_at);
```

ДОДАТОК Б

Фрагмент програмного коду модуля агрохімічної оцінки ґрунту

```
class AgroChemistry:
    @staticmethod
    def ph_status(ph_value: float) -> str:
        if ph_value < 5.5:
            return "кисла реакція ґрунтового розчину"
        if 5.5 <= ph_value <= 7.2:
            return "оптимальна реакція"
        return "лужна реакція ґрунтового розчину"

    @staticmethod
    def humus_status(humus: float) -> str:
        if humus < 2.0:
            return "низький вміст гумусу"
        if humus < 3.5:
            return "середній вміст гумусу"
        return "достатній вміст гумусу"

    @staticmethod
    def nutrient_status(value: float, low: float, medium: float, name: str) ->
str:
        if value < low:
            return f"низьке забезпечення {name}"
        if value < medium:
            return f"середнє забезпечення {name}"
        return f"достатнє забезпечення {name}"

    @staticmethod
    def fertility_level(analysis: dict) -> str:
        risk_points = 0

        if analysis["ph"] < 5.5:
            risk_points += 1
        if analysis["humus"] < 2.0:
            risk_points += 1
        if analysis["nitrogen"] < 80:
            risk_points += 1
        if analysis["phosphorus"] < 60:
            risk_points += 1
        if analysis["potassium"] < 110:
            risk_points += 1

        if risk_points >= 3:
            return "низька родючість"
        if risk_points >= 1:
            return "середня родючість"
        return "добра родючість"

    @staticmethod
    def risk_index(analysis: dict) -> int:
        risk = 0

        if analysis["ph"] < 5.5:
            risk += 20
        if analysis["humus"] < 2.0:
            risk += 25
        if analysis["nitrogen"] < 80:
```

```

        risk += 20
    if analysis["phosphorus"] < 60:
        risk += 15
    if analysis["potassium"] < 110:
        risk += 15
    if analysis.get("salinity", 0) > 0.25:
        risk += 5

    return min(risk, 100)

@staticmethod
def fertilizer_need(analysis: dict, area_ha: float) -> dict:
    nitrogen_need = max(0, 100 - analysis["nitrogen"])
    phosphorus_need = max(0, 80 - analysis["phosphorus"])
    potassium_need = max(0, 140 - analysis["potassium"])

    urea = nitrogen_need / 0.46 * area_ha
    ammophos = phosphorus_need / 0.52 * area_ha
    potassium_chloride = potassium_need / 0.60 * area_ha

    lime_need = 0
    if analysis["ph"] < 5.5:
        lime_need = (5.8 - analysis["ph"]) * 2.0 * area_ha

    organic_need = 0
    if analysis["humus"] < 2.0:
        organic_need = 10 * area_ha

    estimated_cost = (
        urea * 25 +
        ammophos * 35 +
        potassium_chloride * 22 +
        lime_need * 2 +
        organic_need * 0.8
    )

    return {
        "nitrogen_need": round(nitrogen_need, 2),
        "phosphorus_need": round(phosphorus_need, 2),
        "potassium_need": round(potassium_need, 2),
        "urea": round(urea, 2),
        "ammophos": round(ammophos, 2),
        "potassium_chloride": round(potassium_chloride, 2),
        "lime_need": round(lime_need, 2),
        "organic_need": round(organic_need, 2),
        "estimated_cost": round(estimated_cost, 2)
    }

```


ДОДАТОК В

Фрагмент програмного коду формування агрохімічного паспорту поля

```
from datetime import datetime
import csv

def build_passport_html(field: dict, analysis: dict, recommendation: str) ->
str:
    created_at = datetime.now().strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S")

    ph_text = AgroChemistry.ph_status(analysis["ph"])
    humus_text = AgroChemistry.humus_status(analysis["humus"])
    nitrogen_text = AgroChemistry.nutrient_status(
        analysis["nitrogen"], 80, 120, "азотом"
    )
    phosphorus_text = AgroChemistry.nutrient_status(
        analysis["phosphorus"], 60, 100, "фосфором"
    )
    potassium_text = AgroChemistry.nutrient_status(
        analysis["potassium"], 110, 160, "калієм"
    )
    fertility = AgroChemistry.fertility_level(analysis)
    risk = AgroChemistry.risk_index(analysis)

    html = f"""
<html>
<head>
    <meta charset="utf-8">
    <title>Агрохімічний паспорт поля</title>
    <style>
        body {{
            font-family: Arial, sans-serif;
            color: #24382d;
            margin: 32px;
        }}
        h1 {{
            color: #244f3a;
        }}
        h2 {{
            color: #3f8f60;
            margin-top: 24px;
        }}
        table {{
            border-collapse: collapse;
            width: 100%;
            margin-top: 10px;
        }}
        th, td {{
            border: 1px solid #b7cdbc;
            padding: 8px;
            text-align: left;
        }}
        th {{
            background: #e7f1e9;
        }}
        .note {{
            margin-top: 20px;
            padding: 14px;
            background: #f3f8f4;
    """
```

```

        border: 1px solid #c7dccc;
        border-radius: 8px;
    }}
</style>
</head>
<body>
    <h1>Агрохімічний паспорт поля</h1>
    <p>Сформовано автоматично: {created_at}</p>

    <h2>1. Ідентифікаційні дані поля</h2>
    <p><b>Назва поля:</b> {field["name"]}</p>
    <p><b>Кадастровий номер:</b> {field["field_code"]}</p>
    <p><b>Площа:</b> {field["area_ha"]} га</p>
    <p><b>Місцезнаходження:</b> {field["location"]}</p>
    <p><b>Тип ґрунту:</b> {field["soil_type"]}</p>
    <p><b>Поточна культура:</b> {field["crop"]}</p>
    <p><b>Відповідальний:</b> {field["owner"]}</p>

    <h2>2. Результати агрохімічного аналізу</h2>
    <p><b>Дата відбору проб:</b> {analysis["sample_date"]}</p>
    <p><b>Лабораторія:</b> {analysis["laboratory"]}</p>

    <table>
        <tr>
            <th>Показник</th>
            <th>Значення</th>
            <th>Інтерпретація</th>
        </tr>
        <tr>
            <td>рН сольовий</td>
            <td>{analysis["ph"]}</td>
            <td>{ph_text}</td>
        </tr>
        <tr>
            <td>Гумус, %</td>
            <td>{analysis["humus"]}</td>
            <td>{humus_text}</td>
        </tr>
        <tr>
            <td>Азот N, мг/кг</td>
            <td>{analysis["nitrogen"]}</td>
            <td>{nitrogen_text}</td>
        </tr>
        <tr>
            <td>Фосфор P2O5, мг/кг</td>
            <td>{analysis["phosphorus"]}</td>
            <td>{phosphorus_text}</td>
        </tr>
        <tr>
            <td>Калій K2O, мг/кг</td>
            <td>{analysis["potassium"]}</td>
            <td>{potassium_text}</td>
        </tr>
    </table>

    <h2>3. Узагальнена оцінка</h2>
    <p><b>Рівень родючості:</b> {fertility}</p>
    <p><b>Індекс агрономічного ризику:</b> {risk} зі 100</p>

    <div class="note">
        <b>Рекомендація:</b><br>
        {recommendation}
    </div>

```

```

</body>
</html>
"""

```

```

return html

```

```

def export_report_csv(path: str, rows: list[dict]) -> None:
    headers = [
        "Поле",
        "Площа, га",
        "Культура",
        "Дата аналізу",
        "pH",
        "Гумус",
        "N",
        "P205",
        "K20",
        "Оцінка",
        "Першочергова дія"
    ]

    with open(path, "w", newline="", encoding="utf-8-sig") as file:
        writer = csv.writer(file)
        writer.writerow(headers)

        for row in rows:
            writer.writerow([
                row["field_name"],
                row["area_ha"],
                row["crop"],
                row["sample_date"],
                row["ph"],
                row["humus"],
                row["nitrogen"],
                row["phosphorus"],
                row["potassium"],
                row["fertility_level"],
                row["priority_action"]
            ])

```

ДОДАТОК Г

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ****Факультет інформаційних технологій****Декларація про академічну доброчесність та використання ШІ****ДЕКЛАРАЦІЯ ЗДОБУВАЧА**

Я, Самар Денис, здобувач(ка) НУБіП України, усвідомлюючи відповідальність за порушення академічної доброчесності, цією заявою підтверджую, що:

1. Моя бакалаврська кваліфікаційна робота (проект) на тему «Програмне забезпечення інформаційної системи агрохімічного паспорту полів» є результатом моєї особистої праці.
2. Усі запозичення з текстів інших авторів мають відповідні посилання згідно з чинними стандартами.
3. Щодо використання інструментів ШІ зазначаю, що (обрати необхідне):
 - ☐ інструменти генеративного ШІ не використовувалися.
 - ☐ інструменти ШІ (вказати назву: ChatGPT, Gemini, Claude, DeepL, _____ інші (вказати назву)) були використані для:
 - ☐ перекладу іншомовних джерел;
 - ☐ стилістичного редагування та перевірки граматики;
 - ☐ допомоги у написанні/відлагодженні програмного коду;
 - ☐ інше: _____.

Я розумію, що надання недостовірної інформації може призвести до скасування результатів захисту та відрахування з числа здобувачів НУБіП України.

«___» _____
2026 р.

_____ Денис САМАР
(підпис)