

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК ТА ТЕХНОЛОГІЙ  
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Олександр ЛИТВИНЕНКО

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «МАГІСТР»

Тема: Геоінформаційна система для сільськогосподарської авіації

Виконавець: \_\_\_\_\_ Данило

ЛИГУТА

Керівник: \_\_\_\_\_ Олена КОБА

\_\_\_\_\_

Нормоконтролер: \_\_\_\_\_ Євгеній

ТУПОТА



# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних наук та технологій

Кафедра комп'ютеризованих систем управління

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Освітньо-професійна програма «Системне програмування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олександр ЛИТВИНЕНКО

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

## ЗАВДАННЯ

### на виконання кваліфікаційної роботи

Лигути Данила Ігоровича

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Геоінформаційна система для сільськогосподарської авіації»

затверджена наказом ректора від «28» серпня 2023 р. № 1494/ст

2. Термін виконання роботи: з 2 жовтня 2023 р. по 31 грудня 2023 р.

3. Вхідні дані до роботи: технічна документація, програмні продукти

4. Зміст пояснювальної записки: вступ, аналіз предметної області, проектування геоінформаційної системи, розробка ГІС для сільськогосподарської авіації, аналіз системи та її характеристики, висновки.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстрованого) матеріалу: \_\_\_\_\_

1) оверлейна операція «точка-в-полігон»

2) діаграма класів застосунку;

---

3) схематичне представлення процесів збору, обробки, аналізу і виведення даних ГІС

---

4) операції логічного оверлею;

---

5) приклад використання платформи;

---

6) приклад аналітичної операції перекласифікації.

---

## 6. Календарний план

№ пор	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Аналіз системи, формування вимог	02.10.2023 – 01.11.2023	
2	Розробка розділу 1: Аналіз предметної області	02.11.2023 – 10.11.2023	
3	Розробка розділу 2: Проектування геоінформаційної системи	12.11.2023 – 20.11.2023	
4	Розробка розділу 3: Розробка ГІС для сільськогосподарської авіації	21.11.2023 – 01.12.2023	
5	Розробка розділу 4: Аналіз системи та її характеристики	02.12.2023 – 12.12.2023	
6	Оформлення пояснювальної записки	13.12.2023 – 17.12.2023	
7	Розробка презентації для захисту роботи та підготовка до захисту	18.12.2023 – 31.12.2023	

7. Дата видачі завдання: « 02 » жовтня 2023 р.

Керівник дипломної роботи \_\_\_\_\_

Олена КОБА

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

Данило ЛИГУТА

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Геоінформаційна система для сільськогосподарської авіації»: 96 сторінки, 27 рисунків, 1 таблиця, 25 використане джерело.

### ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ, ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ.

Об'єкт дослідження дипломної роботи – геоінформаційна система для сільськогосподарської авіації.

Предмет дослідження дипломної роботи – геоінформаційна система для сільськогосподарської авіації з використанням сучасних технологій та інструментів.

Мета дипломної роботи – Розробка геоінформаційної системи для сільськогосподарської авіації з метою підвищення ефективності та сталості господарювання.

Методи дослідження – огляд існуючих систем оптимізації маршрутів, їх переваг та недоліків. Дослідження методів, реалізація мінімізації та максимізації цільових функцій для обрання оптимальних маршрутів у програмному продукті.

Матеріали дипломної роботи слід рекомендувати для використання серед фермерів з метою розвитку української сільськогосподарської галузі. Дослідження алгоритмів оптимізації маршрутів та створення зручного програмного модуля для побудови оптимального розкладу сільгосп-виробництва може значно полегшити та оптимізувати виробничі процеси для фермерів.

Розроблений модуль може бути ефективним інструментом для планування та визначення оптимального використання ресурсів, таких як земля, вода, та праця, що сприятиме підвищенню врожайності та прибутковості.

Прогнозні припущення щодо розвитку досліджуваного об'єкту - це створення зручного програмного інструменту, який фермери можуть використовувати для планування виробничих операцій, враховуючи різні аспекти, такі як агрокліматичні

умови, ґрунтовий покрив, та вартість ресурсів. Модуль також повинен надавати можливість аналізу даних та візуалізації результатів для ефективного моніторингу та оновлення стратегій виробництва. Його логіка повинна бути досить простою для розуміння та розширення функціоналу фермерами відповідно до їхніх потреб та вимог. Такий інструмент може сприяти не лише оптимізації виробництва, а й підвищенню ефективності української агросфери.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	12
1.1. Знайомство з геоінформаційними технологіями	12
1.2. Еволюція ГІС	14
1.3. Сфери застосування ГІС	16
1.4. Географічні (просторові) та атрибутивні дані	18
1.5. Різниця ГІС та цифрової картографії	19
1.6. Призначення та область застосування геоінформаційної системи для сільськогосподарської авіації	23
1.7. Вивчення існуючих програмних рішень та їхніх переваг і недоліків	26
1.8. Висновки до розділу	31
РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТУВАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ	33
2.1. Моделі даних у ГІС	33
2.2. Обробка і організація інформації у ГІС	34
2.3. Організація інформації в ГІС	39
2.4. Введення інформації в ГІС	41
2.5. Введення даних у ГІС з растровою моделлю даних	42
2.6. Аналіз інформації в ГІС	42
2.7. Оверлейні операції	44
2.8. Перекласифікація	46
2.9. Висновки до розділу	49
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ГІС ДЛЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ АВІАЦІЇ	51
3.1. Опис архітектури та функціональних вимог до програмного модуля	51
3.2. Вибір технологій	53
3.3. Архітектура мікросервісів ГІС	62
3.4. Детальне проектування	65
3.5. Клієнтська частина	67



3.6. Серверна частина	71
3.7. База даних	72
3.8. Висновки до розділу	75
<b>РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ СИСТЕМИ ТА ЇЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ</b>	<b>77</b>
4.1. Результат розробки	77
4.2. Основні напрямки використання ГІС в сільському господарстві	78
4.3. Висновки до розділу	84
<b>ВИСНОВКИ</b>	<b>86</b>
<b>СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	<b>88</b>
<b>ДОДАТОК А</b>	<b>91</b>

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

ГІС (геоінформаційна система) – це інтегрована комп'ютерна система, що знаходиться під управлінням спеціалістів-аналітиків, яка здійснює збір, зберігання, маніпулювання, аналіз, моделювання і відображення просторово співвіднесених даних

ГІС-технології – технологічна основа створення географічних інформаційних систем, що дозволяє реалізувати їх функціональні можливості.

Цифрова карта – (*Numerical map, Digital map*) – цифрова модель поверхні, сформована з урахуванням законів картографічної генералізації в прийнятих для карт проекціях, розграфці, системі координат і висот.

Електронна карта – це цифрова карта з пов'язаними до її просторових об'єктів атрибутивними даними.

Просторовий об'єкт (графічний примітив) – цифрове представлення об'єкта реальності (цифрова модель місцевості), що містить його місцезнаходження і набір властивостей, характеристик, атрибутів, або сам цей об'єкт

*NDMI (Normalized Difference Moisture Index)* – індекс, що вимірює вологість або вологість рослинного покриву на землі. Він використовується в області дистанційного зондування для визначення ступеня вологоутворення або вологозабезпеченості рослин.

*MSAVI (Modified Soil-Adjusted Vegetation Index)* – індекс вегетації, який використовується в області дистанційного зондування для оцінки здоров'я рослинного покриву та визначення його вегетаційного стану.

## ВСТУП

Поява геоінформаційних систем (ГІС) для сільськогосподарської авіації пов'язана із розвитком авіаційних технологій та інтересом до використання просторових даних у сільському господарстві. Перші спроби використання авіаційних засобів для аналізу сільських угідь датуються серединою 20-го століття. З появою літаків і аерофотозйомки почалася можливість отримання зображень з великої висоти, що відкрило нові перспективи для аналізу та моніторингу угідь.

На ринку існують готові варіанти продуктів такі як *Agribotix*, *DroneDeploy*, *PrecisionHawk*. Але всі вони мають свої недоліки, які обмежують їхню ідеальність.

*Agribotix* – це компанія, що надає рішення для сільськогосподарського аналізу, використовуючи технології дронів та обробку знімків. Їхні продукти дозволяють фермерам моніторити стан поля, виявляти проблеми зростання культур та визначати ефективні стратегії виробництва. Однак, попри свої переваги, *Agribotix* стикається з обмеженістю спектра даних та може бути витратним для фермерів, які потребують постійного доступу до високоточних аналізів.

*DroneDeploy* – це платформа для аналізу сільськогосподарських угідь за допомогою даних, отриманих від дронів. Вона дозволяє створювати тривимірні моделі полів, визначати зони з різним станом вегетації та проводити аналіз врожайності. Проте, *DroneDeploy* також має свої недоліки, такі як високі вимоги до технічної кваліфікації користувачів та обмеженість функцій для деяких конкретних вимог фермерів.

*PrecisionHawk* – це компанія, яка надає ГІС-рішення для сільського господарства, використовуючи дані від дронів та супутників. Їхні послуги включають аналіз вегетації, визначення стану рослин, а також мапування та моніторинг врожайності. Однак, *PrecisionHawk* може бути витратним для менших фермерських господарств та вимагає великої уваги до апаратно-програмного забезпечення для оптимального використання.

Створення нового продукту стало необхідним для вирішення конкретних проблем або вдосконалення існуючих рішень на ринку. Процес розробки нового

продукту може бути обумовлений такими факторами, як виявлення недоліків у наявних продуктах, потреба в адаптації до нових технологічних вимог, задоволення потреб специфічної аудиторії чи вирішення ринкових прогалин.

Відокремлення нового продукту виникає з прагнення покращити або змінити підходи до вирішення конкретних завдань чи проблем. Це може бути пов'язано з інноваційними технологіями, вдосконаленням функціоналу, поліпшенням продуктивності, зменшенням вартості чи іншими аспектами, які визначають конкурентоспроможність нового продукту на ринку.

Таким чином, створення нового продукту має на меті ефективно вирішити визначені завдання та відповідати на конкретні вимоги аудиторії, що визначається внутрішніми або зовнішніми факторами, що впливають на бізнес.

Метою диплому є розробка інноваційного продукту в сфері сільського господарства, спрямованого на покращення та ефективність українського сільськогосподарського сектору. Зокрема, створення нового продукту має на меті вирішення конкретних проблем та вдосконалення різних аспектів сільського господарства в Україні. Цілі проекту:

- Розробка продукту: розробити інноваційний сільськогосподарський продукт, який враховує потреби та особливості українських фермерських господарств.
- Підвищення ефективності: забезпечити зростання продуктивності та ефективності використання ресурсів в українському сільському господарстві за допомогою нового продукту.
- Сприяння сталому розвитку: впровадження практик, спрямованих на підтримку сталого розвитку сільського господарства, зменшення впливу на навколишнє середовище та підвищення екологічної чистоти продукції.
- Зростання конкурентоспроможності: забезпечити, щоб українські сільськогосподарські підприємства були конкурентоспроможними на ринках та мали доступ до сучасних технологій.

– Підтримка фермерських господарств: Забезпечити продуктом інструменти та ресурси для підтримки малих та середніх фермерських господарств, сприяючи їхньому сталому розвитку.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у впровадженні та вдосконаленні геоінформаційних технологій для сільськогосподарської авіації в українському контексті. Розроблений продукт відзначається кількома ключовими науковими нововведеннями:

– Використання оперативних даних для прийняття рішень: забезпечується можливість використання оперативних даних у реальному часі для прийняття швидких та обґрунтованих рішень, що покращує оперативність сільськогосподарських підприємств.

– Зручний та розширюваний інтерфейс для користувачів: розроблений продукт має інтуїтивний інтерфейс, що дозволяє користувачам легко взаємодіяти з системою та швидко реагувати на зміни.

– Адаптованість до українських умов: при розробці враховані особливості та потреби українського агросектору, що робить продукт адаптованим та ефективним в даному контексті.

У ході розробки проекту, автора кваліфікаційної роботи було включено у визначення стратегії розвитку та функціоналу нового продукту для сільськогосподарської авіації в Україні. Автор вивчав потреби ринку та визначав конкретні вимоги від користувачів, спрямовані на оптимізацію процесів у сфері сільського господарства, враховуючи регіональні особливості та умови українського агросектора.

Завдяки детальному аналізу ринкових тенденцій та конкурентного середовища, автор прийняв обґрунтоване рішення про створення нового продукту, спрямованого на вирішення конкретних завдань та викликів у сфері сільського господарства в Україні. Роль була спрямована на створення продукту, який відповідає унікальним потребам українських фермерів та сприяє розвитку сільськогосподарського сектора в Україні.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

### 1.1. Знайомство з геоінформаційними технологіями

Геоінформаційні технології існують вже понад 50 років, визначаючи сучасні методи обробки геопросторової інформації. Розвиток геоінформатики та геоінформаційних технологій виокремлює цей напрям серед інших інформаційних технологій. Але що саме представляє собою геоінформатика – наука, технологія, метод чи комп'ютерна програма?

Багато людей, які не мають досвіду з географічними інформаційними системами, можуть задати питання: "Чому мені потрібно знати геоінформатику?" Здається, що географічні атласи та карти необхідні рідко. Проте геоінформаційні технології – це не просто комп'ютерні карти. Вони включають в себе більше, ніж візуалізацію зображення на комп'ютері. Геоінформаційні технології є ключовим інструментом для аналізу та роботи з географічними даними.

Географічна інформаційна система тісно пов'язана із звичайними картами, які вони аналізують. Географічна карта – це модель земної поверхні, яка стає об'єктом дослідження користувачів. Геоінформаційні технології використовуються для вирішення різних завдань, від визначення відстані між точками до аналізу великих об'ємів географічних даних. ГІС можуть допомогти в розв'язанні складних задач, таких як визначення площі об'єктів неправильної форми чи встановлення взаємозв'язків між різними параметрами.

Сучасна людина постійно стикається з необхідністю обробки великих обсягів інформації, пов'язаної з просторовим розташуванням об'єктів та їхньою динамікою з часом. Геоінформаційні технології дозволяють створювати візуальне відображення цих даних і є ефективним інструментом для аналізу та вирішення проблем сучасності.

Процес візуалізації, який є формуванням карт, є невід'ємною частиною функцій геоінформаційних систем. З'явлення таких систем стало можливим на

перетині технологій обробки інформації, що використовувалися в системах управління базами даних, та візуалізації графічних даних у сферах автоматизованого проектування та машинної графіки (САПР), виробництва карт, та управління мережами. Необхідність використання комп'ютерів для обробки географічної інформації була вперше визнана у 60-70-ті роки ХХ століття, але реалізація цієї ідеї вимагала великих програмно-апаратних ресурсів та була доступною лише великим організаціям. Ситуація змінилася з появою потужних та доступних комп'ютерів на ринку наприкінці 90-х років.

Головна перевага використання геоінформаційних технологій полягає в їхній здатності виконувати аналіз та візуалізацію геопросторової інформації у вигляді карт та схем. Значна більшість завдань, що вирішуються за допомогою геоінформаційних систем, можуть бути здійснені просто, без складного комп'ютерного аналізу чи моделювання. Однак використання ГІС стає надзвичайно корисним, коли потрібно обробити великі обсяги географічних даних та розв'язати складні завдання аналізу та взаємозв'язку різних параметрів.

Багато людей вперше знайомляться з геоінформаційними технологіями через використання графічних редакторів, таких як *Photoshop* чи *CorelDraw*. Проте поступово стає зрозуміло, що для розміщення додаткових даних з інших джерел на графічний шар чи карту потрібен єдиний координатний простір. Це стає першим кроком до використання систем координат та картографічних проекцій. Далі виникає потреба у складанні запитів за атрибутивною інформацією, що веде до формування завдань і стає вихідними точками для потенційних користувачів ГІС.

Геоінформатика сприяє міждисциплінарному спілкуванню, сприяючи розвитку понять і методів в різних галузях діяльності. Також вона діє на самі галузі, визначаючи їхні вимоги та обмеження, що впливає на методи, використовувані в конкретних дисциплінах. Це сприяє взаємодії людей із різним досвідом та фаховістю, але об'єднаних геоінформаційним підходом до досліджень і робіт.

## 1.2. Еволюція ГІС

Історія геоінформаційних систем розпочалася наприкінці 1950-х років і пройшла кілька етапів, що призвели до виникнення самостійно функціонуючої галузі – сфери геоінформаційних технологій. Основні досягнення у геоінформаційній картографії були досягнуті в США, Канаді та Європі. Україна приєдналася до світового процесу створення і розвитку геоінформаційних технологій лише в середині 1980-х років. Незважаючи на це, наша країна має власний, хоч і невеликий, досвід у сфері розвитку геоінформаційних систем і технологій. В історії розвитку геоінформаційних систем виділяють чотири основних періоди.

Період новаторства (з пізніх 1950-х до ранніх 1970-х) включав дослідження основних можливостей інформаційних систем, вивчення периферійних галузей знань і технологій, набуття емпіричного досвіду та реалізацію перших значущих проектів і теоретичних розробок. Період державного впливу (з ранніх 1970-х до ранніх 1980-х) характеризувався розвитком великих геоінформаційних проектів, фінансованих державою, формуванням державних інститутів у сфері геоінформатики та обмеженням ролі та впливу ділових дослідників і невеликих груп. Період комерціалізації (з ранніх 1980-х до нашого часу) характеризувався широким ринком різноманітних програмних засобів, розвитком настільних інструментальних ГІС, розширенням сфери їх використання через інтеграцію з базами атрибутивних даних, виникненням значного числа непрофесійних користувачів та організацією систем, які підтримують індивідуальні набори даних на бізнес-комп'ютерах, а також корпоративні та розподілені бази геоданих.

Етап споживання (з пізніх 1980-х до наших днів) відзначається зростанням конкуренції між комерційними виробниками геоінформаційних технологій і послуг, що призводить до переваг для користувачів ГІС. Доступність та "відкритість" програмних засобів дозволяє користувачам самостійно налаштовувати, адаптувати, використовувати і навіть модифікувати програми. З'являються спеціально призначені для користувачів "клуби", телеконференції та територіально роз'єднані, але пов'язані



єдиною тематикою, групи. Зростає попит на географічні дані, відбувається початок формування геоінформаційної інфраструктури планетарного масштабу. Окреме згадування заслуговують організації, проекти та дослідники, які відіграли ключову роль у розвитку ГІС.

У кінці 60-х років Бюро перепису США розробило формат *GBF-DIME* (*Geographic Base File, Dual Independent Map Encoding*). Цей формат став першим, де було вперше впроваджено схему визначення просторових відносин між об'єктами, відому як топологія. Вона описує взаємозв'язок лінійних об'єктів на карті, вказує, як граничать один з одним майданчики та як об'єкти складаються з елементів, які є сусідами. У цьому форматі вперше ввели нумерацію вузлових точок та ідентифікатори площ, розташованих по різні сторони ліній. Це було значущим кроком вперед. *GBF-DIME* пізніше перетворився в *TIGER*, а ключовими особами цього процесу стали математик Джеймс Корбетт (*James Corbett*) та програмісти Дональд Кук (*Donald Cooke*) і Максфілд (*Maxfield*). Протягом 70-х років у форматі *GBF-DIME* були створені карти для всіх міст Сполучених Штатів, і ця технологія залишається популярною у сучасних ГІС. Лабораторія комп'ютерної графіки і просторового аналізу Гарварду відіграла важливу роль у розвитку ідей, пов'язаних із геоінформаційними системами. З цієї лабораторії вийшли ключові постаті галузі, такі як засновник лабораторії, Говард Фішер (*Howard Fisher*), і програміст Дана Томлін (*Dana Tomlin*), яка створила визначений сімейством растрових програмних засобів *Map Analysis Package* – *MAP*, *PMP*, *aMAP*. До найвідоміших програмних продуктів Гарвардської лабораторії відносяться *SYMAP* (система багатоцільового картографування), *CALFORM* (програма виведення картографічного зображення на плотер), *SYMVU* (перегляд перспективних зображень) і *ODYSSEY* (попередник *ARC/INFO*). Теоретичні розробки в галузі географії та просторових взаємин, а також кількісні методи в географії відіграли важливу роль у розвитку ГІС-технологій в США, Канаді, Франції, Англії та Швеції. Роботи таких вчених, як У. Гаррісон (*William Garrison*), Т. Хагерstrand (*Torsten Hagerstrand*), Г. Маккарті (*Harold McCarty*), Я. Макхарга (*Ian McHarg*), зміцнили теоретичну базу і внесли вагомий вклад у ГІС. Засновані в 1969 році компанії *ESRI* та *Intergraph*, які і на сьогоднішній

день є видатними розробниками ГІС, грають велику роль на світовому ринку. Ці компанії виробляють половину використовуваних у США ГІС і активно розширюють свою діяльність на українському ринку ГІС, починаючи з 90-х років минулого століття.

### 1.3. Сфери застосування ГІС

В даний момент геоінформаційні технології вже широко застосовуються в практично всіх сферах життя. На основній діяльності слід виділити наступні:

- сільське господарство;
- сфера екології та природокористування;
- земельний кадастр та землеустрій;
- морська, авіаційна та автомобільна навігація;
- управління міським господарством;
- регіональне планування;
- маркетинг;
- демографія та дослідження трудових ресурсів;
- управління дорожнім рухом;
- оперативне управління та планування в надзвичайних ситуаціях;
- соціологія та політологія;

Крім цього, ГІС використовуються для вирішення різноманітних завдань, таких як:

- забезпечення комплексного і галузевого кадастру;
- пошук і ефективне використання природних ресурсів;
- територіальне і галузеве планування;
- контроль умов життя населення, охорона здоров'я, соціальне обслуговування, трудова зайнятість;
- забезпечення діяльності правоохоронних органів і силових структур;
- наука і освіта;
- картографування;

На діаграмі на рисунку 1.1. показано приклади взаємозв'язків ГІС та інших дисциплін.



Рис. 1.1. Взаємозв'язки ГІС з іншими дисциплінами

Спеціалісти, які працюють у сфері геоінформаційних систем і технологій, виконують такі види робіт:

- збір первинних даних;
- розробка баз даних;
- проектування ГІС;
- планування, управління і адміністрування геоінформаційних проектів;
- розробка та підтримка ГІС;
- маркетинг та розповсюдження ГІС-продукції та геоданих;
- професійна геоінформаційна освіта та навчання застосуванню

ГІС-технологій.

- будь-яка ГІС включає наступні компоненти:
- апаратна платформа (апаратне забезпечення);
- програмне забезпечення (програми);

- дані (інформаційний матеріал);
- людина-аналітик.
- апаратна платформа, у свою чергу, охоплює такі складові:
- комп'ютери (робочі станції, ноутбуки, кишенькові ПК);
- засоби зберігання даних (вінчестери, компакт-диски, дискети, флеш-пам'ять);
- пристрої для введення інформації (дигітайзери, сканери, цифрові камери і фотоапарати, клавіатури, комп'ютерні миші);
- пристрої для виведення інформації (принтери, плотери, проектори, дисплеї).

Головним елементом будь-якої геоінформаційної системи є використовувані для аналізу дані. Пристрої введення дозволяють перетворити наявну просторову інформацію у формат, придатний для використання в конкретній ГІС. Просторова інформація охоплює паперові карти, матеріали аерофотозйомок і дистанційного зондування, адреси, координати об'єктів, зібрані за допомогою систем глобального позиціонування *GPS (Global Position System)*, космічних супутників або цифрової географічної інформації у різних форматах.

#### 1.4. Географічні (просторові) та атрибутивні дані

Як вже було відзначено, геоінформаційна система орієнтована на спільну обробку інформації двох видів:

Географічна (просторова, картографічна) інформація - географічна інформація в ГІС представлена даними, що визначають просторове розташування об'єктів, такі як координати та елементи графічного оформлення. Ці дані знаходяться у цифровій формі на різноманітних носіях, таких як магнітні стрічки, магнітні, оптичні та тверді диски, і використовуються для візуалізації образу у різних моделях даних.

Атрибутивна (непросторова, семантична, тематична, описова, таблична) інформація – атрибутивна інформація в ГІС представляє дані, що описують якісні або кількісні параметри просторово пов'язаних об'єктів.

Так, для прикладу, на екрані може бути зображений житловий будинок у формі полігону (графічна частина), а в атрибутивній базі даних міститимуться відомості про його площу, поштову адресу, кількість поверхів, матеріал стін, тип фундаменту, рік побудови і так далі.

В геоінформаційній системі існує підсистема управління як географічною, так і атрибутивною інформацією. Просторовий аналіз, який включає перевірку взаємного розташування об'єктів, встановлення закономірностей їх розподілу, знаходження суміжних об'єктів, вимірювання відстаней і площ тощо, здійснюється з використанням географічної інформації. Функції семантичної (непросторової) обробки призначені для аналізу та управління атрибутивною інформацією.

У практично кожній ГІС існують інструменти, які дозволяють вводити та редагувати інформацію, а також візуально відображати дані. Серед таких можливостей можна виділити масштабування зображень (збільшення або зменшення, зумування), прокрутку, панорамування або перегляд у вигляді слайд-шоу та інші. Процес використання цих функцій включає графічний інтерфейс, який представлений сучасними операційними системами, такими як Windows, Linux, Solaris, і включає діалогові віконця, контекстні меню та інші елементи управління (кнопки, перемикачі, повзунки і т. д.).

В повнофункціональних ГІС, так само як і в будь-якій інформаційній системі, реалізовані розвинені засоби виведення інформації. Серед них можна відзначити генератори звітів, інструменти для створення та редагування тематичних карт, схем, графіків, легенд, таблиць і діаграм. Сучасні ГІС дозволяють створювати високоякісні карти, які за інформативністю і технологічністю не поступаються, а часто перевершують традиційні паперові карти.

Багато ГІС мають вбудовані засоби розробки прикладних програм, які використовуються для адаптації стандартного програмного забезпечення для вирішення конкретних завдань користувача. Для цього використовуються різні мови програмування, включаючи спеціальні та загально-розповсюджені, такі як C, C+, C++, *Delphi*, *Visual Basic* і багато інших.

## 1.5. Різниця ГІС та цифрової картографії

Як було вказано раніше, створення картографічних продуктів за допомогою комп'ютера може бути реалізовано різними методами. Існує низка графічних редакторів (*CorelDraw*, *Adobe Illustrator*, *Adobe InDesign* та інші), які дозволяють створювати карти зі складним вмістом високої якості. Проте, навіть тільки точні картографічні зображення, створені у графічному редакторі, не можна вважати геоінформаційною системою. Такі зображення вважаються цифровими і розглядаються як компоненти або результат функціонування ГІС. Часто поняття цифрової карти плутають з поняттям комп'ютерної карти .

Водночас не завжди цифрова карта може легко включатися до складу ГІС, навіть якщо їх зовнішні межі співпадають. Важливо розрізняти цифрову карту, призначену для друку на папері чи пластикових матеріалах, від тієї, яка призначена для ГІС. Зазвичай виділяють цілий ряд ознак, які допомагають відрізнити цифрові карти ГІС від цифрових макетів карт для друку, які представлені в таблиці 1.1. За даними цієї таблиці можна зрозуміти, що існує багато принципових відмінностей між технологією підготовки цифрової карти для ГІС і макету для друку.

Географічна прив'язка об'єктів в ГІС визначається як важлива ознака, що надає можливість використовувати єдиний координатний простір. Здійснення трансформації з однієї координатної системи в іншу і зміни проєкцій можливо завдяки особливостям кінцевого продукту. Використання жорсткої координатної прив'язки дозволяє легко управляти різними шарами або об'єктами ГІС різного типу та масштабу. В результаті користувач отримує набір деталей, які можна збирати різними способами, і вигляд готової ГІС залежатиме виключно від його творчих здібностей.

Ще однією фундаментальною ознакою ГІС є використання аналітичної обробки. У цьому випадку користувач самостійно складає аналітичний алгоритм на основі своїх запитів. Використовуючи послідовні операції просторового аналізу, такі як буферизація, об'єднання, вирізання і накладення, майже завжди можна отримати потрібний результат.

Ще однією важливою функцією ГІС є можливість моделювання на їх основі. Користувачеві просто необхідно сформулювати послідовні запитання "що станеться, якщо...". На цій основі легко створити просту модель місцевості або географічного об'єкта.

Таблиця 1.1

Відмінність цифрової карти для ГІС від цифрового макета карти

<b>Ознака</b>	<b>Цифрова карта для ГІС</b>	<b>Цифровий макет карти</b>
Форма зберігання і обробки готового продукту на ПК	Набір файлів	Один файл
Координати об'єктів	Реальні просторові або місцеві	Умовні (в межах окремого зображення)
Можливість перетворення зображення з однієї координатної системи в іншу	Так	Ні
Проекційні перетворення	Так	Ні
Перетворення з одного формату даних в інший формат	Так	Складно, оскільки трансформація складних графічних примітивів приводить до втрати даних
Топологічна коректність	У більшості випадків так	Ні
Модель представлення даних	Векторна і растрова	Векторна і растрова
Формати представлення даних	Графічні примітиви і атрибутивна інформація у вигляді баз даних	Графічні примітиви

Графічні примітиви	Точки, лінії, полігони	Точки, лінії, полігони, текст, фігури і групи об'єктів (комбінація точок, ліній, полігонів і фігур)
--------------------	------------------------	---

Продовження таблиці 1.1

Структура графічних об'єктів	Декілька шарів	Може бути як декілька, так і один шар
Легенда	Як інструмент управління візуалізацією об'єктів	Як частина карти у вигляді групи графічних об'єктів
Координатна прив'язка об'єктів	Точна	Використовуються винесення і зміщення об'єктів, що тим самим підвищує наочність
Підписи	Атрибут до графічних примітивів	Є графічним об'єктом
Довідково-інформаційні запити	Так	Ні
Моделювання	Так	Ні
Отримання атрибутивної інформації	Таблиці, графіки і діаграми	Немає
Можливість з'єднання сусідніх зображень	Стандартна операція	Трудомістка ручна операція
Обробка фрагмента зображення	Так	Не завжди
Масштабування зображень	Так	Так



Використання просторових запитів і моделювання для створення принципово нового зображення графічних об'єктів	Так	Ні
--	-----	----

Закінчення таблиці 1.1

Реалізація тематичних карт, з використанням включення/відключення шарів і об'єктів	Так	Ні
Дотримання стандартів представлення паперових карт	Не обов'язково, частіше немає	Так
Компонування зображення для друку	Так	Так

#### 1.6. Призначення та область застосування геоінформаційної системи для сільськогосподарської авіації

У сучасних умовах розвитку сільського господарства, важливість впровадження новітніх технологій набуває особливого значення. Геоінформаційні системи для сільськогосподарської авіації виступають ефективним інструментом для оптимізації управління та підвищення продуктивності в галузі сільськогосподарського виробництва.

Геоінформаційні системи для сільськогосподарської авіації (ГІС-СА) визначаються великою розмаїтістю технічних аспектів, що поєднуються для створення потужного інструменту управління сільським господарством. Найсуттєвішим елементом є засоби збору геопросторових даних. Застосування сучасних дронів та супутникових систем забезпечує точний та швидкий збір

інформації про стан полів, рельєфу та інших аспектів, необхідних для ефективного управління.

Обробка цих даних відіграє ключову роль у функціональності системи. Застосування передових алгоритмів обробки та аналізу геопросторових даних дозволяє системі виділяти значущі патерни, визначати аномалії та надавати корисну інформацію для управлінських рішень.

Важливим аспектом є створення цифрових карт і моделей, що відображають сільськогосподарські угіддя. ГІС-СА використовує тривимірне моделювання та картографування для зручної візуалізації геоданих, допомагаючи агрономам та менеджерам легше розуміти просторові взаємозв'язки та тенденції.

Додатково, використовують машинне навчання та аналітичні методи для розробки прогностичних моделей. Це важливо для передбачення врожайності та надання рекомендацій щодо оптимальних стратегій вирощування рослин.

В глобальному контексті використання геоінформаційної системи для сільськогосподарської авіації визначається як необхідний елемент ефективного та управління сільським господарством. Початковим етапом цього процесу є збір різноманітних геопросторових даних, таких як аерофотознімки та супутникові зображення, які дозволяють отримувати детальну інформацію про земельні ділянки та їх характеристики.

Застосування сучасних методів обробки даних є ключовим елементом для виокремлення значущих патернів та виявлення тенденцій у сільському господарстві. Високоточні алгоритми аналізу ГІС-СА дозволяють враховувати фактори, такі як вологість ґрунту, структура рослинності та інші аспекти, що впливають на урожайність.

Аналіз спектральних характеристик рослин вирізняється як інноваційний підхід для виявлення хвороб та стресів. Це дозволяє оперативно вживати заходів для захисту та підтримки рослинності.

Прогностичні моделі також враховують історичні дані про врожаї та використовують їх для поліпшення точності прогнозів. Це сприяє адаптивності системи до змінних умов та забезпечує більш вірогідне передбачення вирощування.

Що цікавіше система не лише розробляє прогностичні моделі, але й генерує індивідуалізовані рекомендації для сільськогосподарських підприємств. Це включає оптимальні схеми засіву, розподіл ресурсів та стратегії захисту рослин, створюючи комплексний підхід до ефективного управління сільським господарством.

Розподіл ресурсів базується на точних геопросторових даних, які система отримує з різних джерел, таких як супутникові знімки та аерофотознімки. Ці дані дозволяють ефективно визначати потреби полів у воді, добривах, інсектицидах та інших ресурсах. Сучасні алгоритми аналізу геоданих допомагають розподілити ці ресурси оптимальним чином, забезпечуючи економію та ефективне використання.

Автоматизоване управління включає в себе впровадження різноманітних систем, що дозволяють віддалено керувати сільськогосподарською технікою та процесами. ГІС-СА використовує дрони та автономні транспортні засоби для автоматизованого моніторингу полів, виявлення проблем, таких як хвороби рослин чи дефіцит ресурсів, та надає засоби для негайної реакції.

Додатково, системи штучного інтелекту та машинного навчання в ГІС-СА використовуються для прогнозування оптимальних схем розподілу ресурсів в майбутньому, забезпечуючи стратегічне планування для сільських господарств. Це дозволяє заздалегідь адаптуватися до змінних умов і покращити продуктивність.

Інтеграція з системами метеорологічного моніторингу відкриває можливості для автоматичного врахування кліматичних умов при прийнятті рішень. Зв'язок із супутниковими системами надає точні геопросторові дані для розширеного моніторингу стану сільськогосподарських угідь.

Зв'язок з системами електронного обліку та управління ресурсами дозволяє автоматизувати процеси складання бюджету, моніторингу запасів та розподілу ресурсів для ефективного господарювання.

Інтеграція з платформами для обміну даними в реальному часі з іншими аграрними підприємствами створює можливості для об'єднання зусиль та обміну досвідом, що сприяє розвитку сільськогосподарського сектора в цілому.

Незважаючи на великий потенціал та переваги, геоінформаційна система для сільськогосподарської авіації стикається з певними недоліками та викликами, які важливо враховувати при розгляді її впровадження:

- Високі витрати на впровадження: встановлення та конфігурування може вимагати значних фінансових та часових витрат. Придбання необхідного обладнання, програмного забезпечення та навчання персоналу може бути складним завданням для менших аграрних підприємств.

- Складність використання: для агрономів та фермерів, які не мають технічного досвіду, може бути складно освоїти та використовувати ГІС-СА. Це може призвести до обмеження можливостей використання системи та вплинути на її ефективність.

- Залежність від супутникового зв'язку: деякі аспекти можуть бути обмежені доступністю супутникового зв'язку. У випадку знехтування чи втрати сигналу може статися втрата точності та ефективності системи.

- Проблеми конфіденційності даних: збір та обробка великих обсягів геопросторових даних може викликати проблеми з конфіденційністю. Забезпечення високого рівня захисту даних є важливим аспектом для уникнення несанкціонованого доступу та використання інформації.

- Потреба в постійному оновленні: система вимагає постійного оновлення геопросторових даних для забезпечення актуальності та точності інформації. Це може стати викликом, оскільки великі обсяги даних потребують постійної уваги та ресурсів.

Заключно, геоінформаційні системи для сільськогосподарської авіації є потужним інструментом для оптимізації управління та підвищення продуктивності в аграрному секторі. Вони дозволяють точно визначати оптимальні стратегії виробництва, розподіляти ресурси та забезпечують цифровий підхід до управління, що є ключовим для сталого та ефективного розвитку сільськогосподарської галузі. Однак важливо враховувати недоліки та виклики, розробляючи стратегії впровадження та підтримки, геоінформаційної системи.

## 1.7. Вивчення існуючих програмних рішень та їхніх переваг і недоліків

Ми дослідили кілька програмних рішень для точного землеробства, зокрема *Agribotix*, *DroneDeploy* та *PrecisionHawk*. Кожна з цих систем пропонує унікальні можливості та сервіси для фермерів та агрономів. Вивчення їхніх переваг та недоліків допомогло визначити, яке рішення краще відповідає конкретним потребам та обмеженням виробництва, та дало розуміння що ми хочемо бачити в своєму продукті, що відрізнятиме його від інших. Під час аналізу було звернено увагу на такі аспекти, як ефективність збору та обробки даних, доступність аналітики та звітності, складність використання та вартість реалізації.

*Agribotix* – це компанія, що спеціалізується на розробці програмного забезпечення та додаткових рішень для візуалізації та аналізу точного землеробства з використанням дронів.

У їхньому асортименті представлений дрон *Agribotix Hornet*, стійкий і доступний за ціною, спеціально адаптований для використання на сільськогосподарських фермах. Крім того, компанія пропонує Інфрачервоні та термічні датчики *Agribotix*, що є тепловими камерами і здійснюють зйомку над цільовими полями. Також на вибір доступний сервіс обробки зображень *Agribotix*, яке є програмним рішенням, забезпечуючи зручний перегляд геоприв'язаних повітряних знімків.

Основні переваги *Agribotix*:

- *Agribotix* відзначається високою точністю збору даних і аналізу в реальному часі, що дозволяє точніше визначати потреби поля;
- відмінно підходить для різних культур і типів сільськогосподарських угідь, що робить його універсальним рішенням;
- *Agribotix* використовує аналіз даних для оптимізації внесення ресурсів, таких як вода, добрива і пестициди, що призводить до підвищення врожайності;
- здатність інтегруватися з геоінформаційними системами дозволяє агрономам виводити інформацію на карти для кращого розуміння просторових взаємозв'язків;

- інтуїтивний інтерфейс та простота в управлінні роблять *Agribotix* дружелюбним для користувачів, з різним рівнем технічної підготовки;
- регулярні Оновлення та Підтримка.

Недоліки:

- *Agribotix* може мати високі витрати на впровадження, що може бути обмеженням для невеликих фермерських господарств;
- деякі функції можуть бути чутливими до погодних умов, особливо тих, що стосуються датчиків із зоровою системою;
- для повного використання можливостей може знадобитися певний рівень технічної підготовки, що може становити виклик для деяких користувачів;
- для максимальної ефективності може потребувати специфічної інфраструктури, яка може бути вартісно затратною для фермерів;
- можливості розширення можуть бути обмеженими для великих агропідприємств з великими площами обробітку.

*DroneDeploy* – це високотехнологічна компанія, яка спеціалізується на розробці інноваційних рішень у сфері дронів та геопросторових технологій. Заснована в 2013 році, компанія швидко визначилася як провідний гравець у сегменті ринку геоінформаційних систем і знімання аерознімків.

Однією з ключових сфер діяльності *DroneDeploy* є розробка та вдосконалення програмного забезпечення для управління даними, отриманими з дронів. Вони створюють інтуїтивно зрозумілі інструменти для візуалізації, аналізу та використання геопросторових даних, зібраних за допомогою дронів.

Основною метою *DroneDeploy* є забезпечення сільськогосподарських, будівельних та інших галузей ефективними інструментами для управління різноманітними завданнями через використання даних, отриманих з повітря. Вони активно впроваджують технології штучного інтелекту та аналізу даних, щоб надавати своїм клієнтам максимально точну і корисну інформацію.

Компанія надає своїм користувачам можливість не лише отримувати відображення з висоти завдяки дронам, але і використовувати ці дані для прийняття стратегічних рішень. Вони пропонують інтеграцію з різними апаратними засобами і

навігаційними системами, щоб забезпечити найкращу продуктивність і точність при роботі з геопросторовою інформацією.

Завдяки своєму поєднанню інновацій, технічного досвіду та прагнення надавати високоякісні рішення, *DroneDeploy* продовжує визначати стандарти в сфері геоінформаційних технологій, сприяючи розвитку сучасного підходу до управління простором та даними.

#### Переваги:

- має легкий у використанні інтерфейс, сприяючи швидкому освоєнню користувачами навіть без попереднього досвіду;
- надає можливості для комплексного аналізу даних, включаючи картографування, моделювання та вимірювання;
- пропонує різноманітні можливості, такі як визначення врожайності, аналіз забруднення, контроль земельної поверхні та інші;
- забезпечує використання передових технологій для ефективного управління сільським господарством та зростання врожайності.

#### Недоліки:

- деякі користувачі можуть відзначити високі витрати на впровадження та підтримку системи;
- використання системи може вимагати наявності високоякісних технічних пристроїв та дронів;
- для повного використання можливостей системи може знадобитися часове навчання персоналу;
- може виникати обмеження у доступі до деяких функцій або областей в залежності від регіону використання.

*PrecisionHawk* є однією з провідних компаній у сфері розробки та впровадження дрон-технологій для різних галузей, зокрема для сільського господарства, енергетики, лісового господарства та геопросторового аналізу. Заснована в 2010 році в США, *PrecisionHawk* стала ключовим гравцем у сфері агротехнологій та геоінформаційних систем.

Компанія спеціалізується на розробці інтегрованих рішень, які використовують дрони, сенсори та програмне забезпечення для збору, обробки та аналізу даних з висоти. У сільському господарстві *PrecisionHawk* надає засоби для точного картографування полів, визначення стану рослин, контролю врожайності та оптимізації управління землею.

Інноваційні рішення *PrecisionHawk* дозволяють агрономам та фермерам здійснювати інтелектуальний аналіз земельних ділянок, щоб приймати обґрунтовані управлінські рішення. Компанія активно співпрацює з провідними гравцями у сфері сільського господарства та геоінформаційних технологій, надаючи індивідуальні та комплексні рішення, адаптовані до потреб клієнтів.

*PrecisionHawk* використовує передові алгоритми обробки даних, штучний інтелект та машинне навчання для отримання максимальної корисності зі зібраних даних. Компанія активно розвивається та впроваджує нові технології з метою покращення продуктивності та стійкості сільського господарства, а також інших галузей, де її рішення можуть бути використані для оптимізації процесів та прийняття управлінських рішень.

#### Переваги:

- має легкий у використанні інтерфейс; сприяє швидкому освоєнню користувачами навіть без попереднього досвіду;
- надає можливості для комплексного аналізу даних, включаючи картографування, моделювання та вимірювання;
- пропонує різноманітні можливості, такі як визначення врожайності, аналіз забруднення, контроль земельної поверхні та інші;
- забезпечує використання передових технологій для ефективного управління сільським господарством та зростання врожайності.

#### Недоліки:

- деякі користувачі можуть відзначити високі витрати на впровадження та підтримку системи;
- використання системи може вимагати наявності високоякісних технічних пристроїв та дронів;



- для повного використання можливостей системи може знадобитися часове навчання персоналу;
- може виникати обмеження у доступі до деяких функцій або областей в залежності від регіону використання.

Зазначимо, що компанія *PrecisionHawk* не обмежується тільки сільськогосподарською авіацією, що може бути розглянуто як невеликий мінус у порівнянні з фокусуванням на конкретній галузі.

Після аналізу різноманітних ГІС для сільськогосподарської авіації, виявлено, що кожен з них має свої унікальні переваги та недоліки. Зокрема, *Agribotix* і *DroneDeploy* відзначаються легкістю використання та розширеними функціями для сільськогосподарського сектору. З іншого боку, *PrecisionHawk* вирізняється більшою універсальністю і використанням передових технологій.

Кожен інструмент відповідає на конкретні потреби, проте важливо враховувати індивідуальні вимоги та обмеження користувача чи компанії при виборі програмного забезпечення. Зазначимо, що ідеального рішення, яке відповідало б усім потребам без жодних недоліків, не існує. Визначення ключових аспектів для конкретного використання і обґрунтований вибір є важливою складовою успішного впровадження програми для оптимізації маршрутів.

## 1.8. Висновки до розділу

У першому розділі ми ознайомились з основними аспектами геоінформаційних технологій, включаючи їхнє походження та еволюцію. Розглянули сфери застосування ГІС, які виявляються дуже різноманітними і охоплюють не тільки картографію, але й сільське господарство, транспорт, екологію та інші галузі. Вивчили особливості географічних (просторових) та атрибутивних даних, що є ключовими компонентами в геоінформаційних системах. Також проаналізували різницю між ГІС та цифровою картографією, визначаючи їхні відмінності та взаємодію.

Додатково розглянули призначення та область застосування геоінформаційних систем у сільському господарстві, звертаючи увагу на їхню роль у точному сільському господарстві та оптимізації управління полями.

Нарешті, провели вивчення існуючих програмних рішень та їх переваг та недоліків. Цей аналіз допомагає зрозуміти різноманітність інструментів, які доступні для використання, та вибрати оптимальний з урахуванням конкретних потреб та вимог користувача чи компанії.

Загалом, дослідження першого розділу дало нам глибоке розуміння ключових понять та напрямків у галузі геоінформаційних технологій, які є фундаментом для подальшого аналізу та розвитку сільськогосподарської авіації.

Преший розділ надає глибокий огляд геоінформаційних технологій, починаючи з їхнього знайомства та еволюції. Зазначено, що геоінформаційні технології необхідні не лише сільгоспвиробникам, а й іншим галузям агросфери. Розділ детально розглядає сфери застосування, відзначаючи широкий спектр використання у сільському господарстві, екології та управлінні містами.

Окрему увагу приділено географічним та атрибутивним даним, які є фундаментальним елементом ГІС. Висвітлено різноманітність ГІС та цифрової картографії, наголошуючи на їхній специфіці та варіативності в застосуванні.

Останній пункт розділу стосується важливості та області застосування геоінформаційних систем у сільськогосподарській авіації. Визначено завдання та переваги використання ГІС для вирішення проблем сільського господарства з використанням авіаційних технологій.

У висновках підкреслено ключову роль геоінформаційних технологій у великому ряді сфер, зокрема сільському господарстві, та їхній потенціал для вдосконалення управлінських та виробничих процесів в агросфері.

## РОЗДІЛ 2

### ПРОЕКТУВАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Створення власної геоінформаційної системи для сільськогосподарської авіації є необхідним кроком в ситуації, коли існуючі готові рішення не відповідають нашим конкретним вимогам і критеріям. Можливості готових систем можуть бути обмеженими або неповністю задовольняти унікальні потреби в геопросторовому аналізі та управлінні сільськогосподарськими процесами. Створення власної системи дозволяє налаштовувати функціонал під конкретні завдання, забезпечуючи точність та ефективність збору та обробки даних, підвищуючи при цьому продуктивність та рівень автоматизації в аграрному секторі. Такий індивідуальний підхід забезпечує повний контроль над функціоналом системи та можливість швидкого адаптування до змінних умов сільськогосподарського виробництва.

#### 2.1. Моделі даних у ГІС

Вибір методу організації даних у геоінформаційній системі, особливо моделі даних, є важливішим, ніж вибір програмного забезпечення. Це пояснюється тим, що модель даних визначає багато функціональних аспектів створюваної геоінформаційної системи і впливає на застосування конкретних технологій введення даних. Від моделі залежить якість просторового представлення інформації, можливість створення високоякісних карт та організація контролю за цифровими картами. Також важливо враховувати, що спосіб організації даних суттєво впливає на продуктивність системи, зокрема при виконанні запитів до бази даних або візуалізації на екрані.

Помилки у виборі моделі даних можуть серйозно вплинути на можливості реалізації необхідних функцій у геоінформаційній системі та ускладнити розширення їхнього переліку у майбутньому, а також можуть вплинути на ефективність проекту з економічної точки зору. Від вибору моделі даних

визначається цінність сформованих баз даних просторової та атрибутивної інформації.

Організація даних може бути уявлена у вигляді піраміди (рис. 2.1), де модель даних представляє концептуальний рівень цієї організації. Терміни, які розглядалися раніше, такі як "полігон", "вузол", "лінія", "дуга", "ідентифікатор", "таблиця", відносяться саме до цього рівня, а також поняття "тема" і "шар". Більш детальне вивчення організації даних отримує назву структури даних, де використовуються математичні і програмні терміни, такі як "матриця", "список", "система посилань", "показчик", "спосіб стиснення інформації". На більш детальному рівні фахівці займаються структурою файлів даних та їхніми конкретними форматами. Кожен проект може мати унікальний рівень організації конкретної бази даних.



Рис. 2.1. Рівні організації даних у ГІС

## 2.2. Обробка і організація інформації у ГІС

Геоінформаційна система, так само, як і інші інформаційні системи, володіє розширеними інструментами для обробки та аналізу включених даних з метою їхнього подальшого використання в матеріальній формі. На схемі аналітичної роботи

ГІС, яку представлено на рис. 2.2, виділяються різні етапи. Початково на етапі "Колекціонування" здійснюється збір як просторової (цифрові карти, зображення), так і атрибутивної інформації. Зібрані дані зберігаються у двох базах даних, одна з яких містить просторові дані, а інша - атрибутивну інформацію. На наступному етапі система обробки просторових даних використовує ці бази даних для проведення обробки та аналізу потрібної інформації. Процес контролюється системою управління базами даних (СУБД), що дозволяє швидко здійснювати пошук табличної та статистичної інформації. Головним результатом роботи ГІС є різноманітні карти.

Для встановлення зв'язку між географічною та атрибутивною інформацією використовуються чотири підходи взаємодії. Перший підхід, також відомий як геореляційний або гібридний, передбачає різну організацію географічних та атрибутивних даних. У цьому підході зв'язок між двома типами даних встановлюється за допомогою ідентифікатора об'єкта. Як видно з рисунку 2.2, просторова інформація зберігається окремо від атрибутивної в своїй базі даних. Атрибутивна інформація організована у вигляді таблиці під управлінням реляційної системи управління базами даних (СУБД).

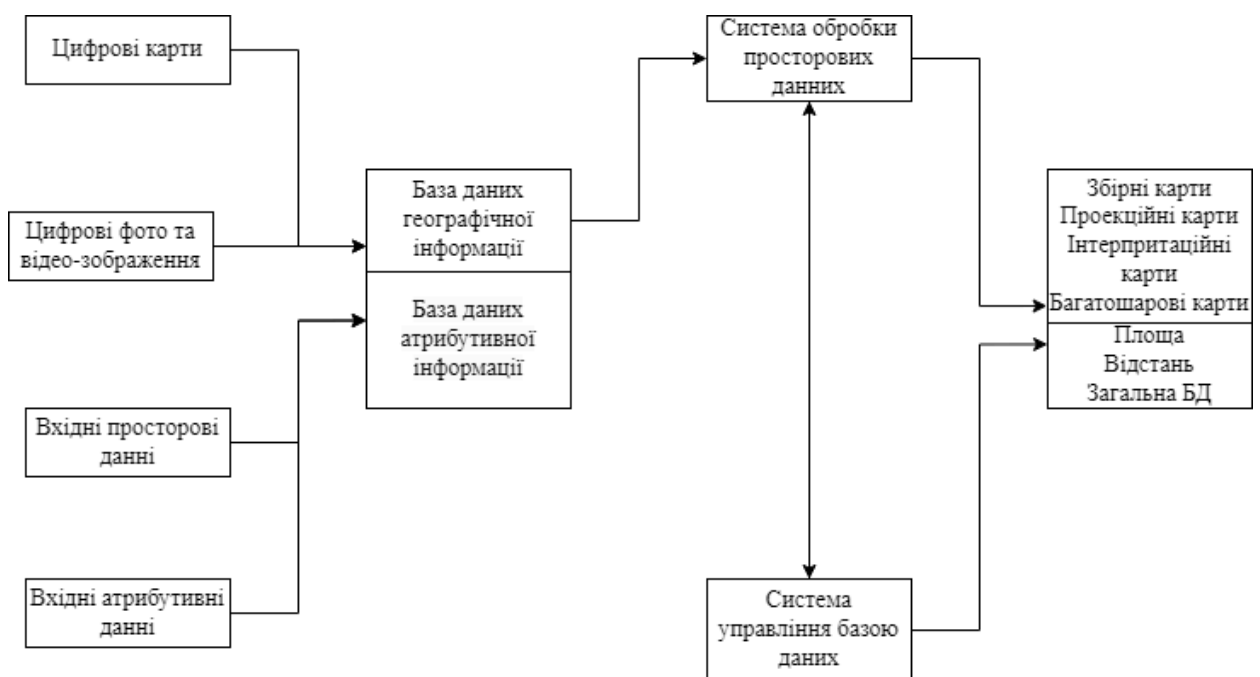


Рис. 2.2. Схематичне представлення процесів збору, обробки, аналізу і виведення даних ГІС

Інтегрований підхід передбачає використання реляційних систем управління базами даних (СУБД) для зберігання як просторової, так і атрибутивної інформації. У цьому випадку ГІС виступає як надбудова над СУБД. Об'єктний підхід є третім підходом, і він визначається легкістю опису складних структур даних та взаємин між об'єктами. Цей підхід дозволяє створювати ієрархічні ланцюжки об'єктів і вирішувати різноманітні завдання моделювання. Об'єктно-реляційний підхід, що є синтезом першого і третього підходів, набув особливої популярності в останні роки.

Важливо відзначити, що в ГІС існують різні форми представлення об'єктів, такі як нерегулярна мережа точок, регулярна мережа точок та представлення у вигляді ізоліній. Нерегулярна мережа точок описує довільно розташовані точкові об'єкти з атрибутами, які мають значення в конкретних точках поля.

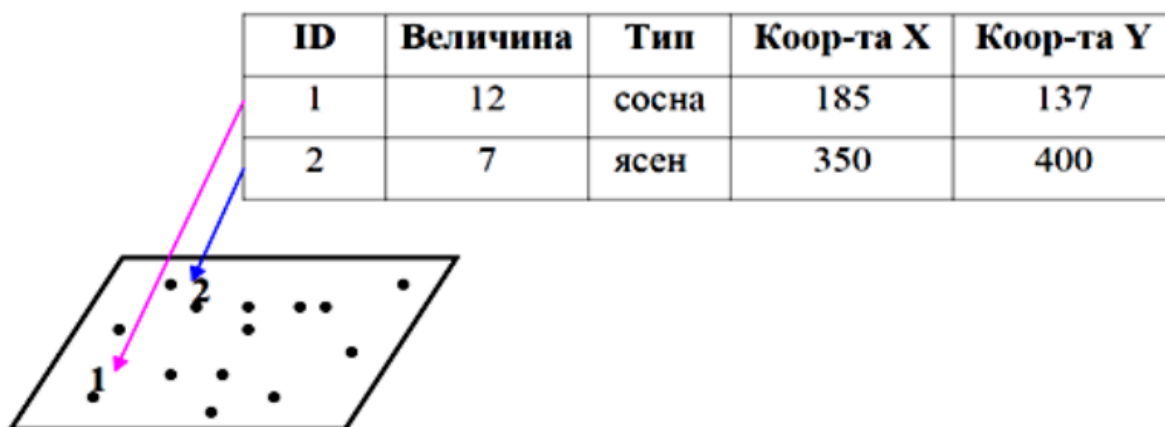


Рис. 2.3. Приклад форми представлення об'єктів у вигляді нерегулярної мережі точок

Представлення у вигляді регулярної мережі точок означає рівномірно розташовані в просторі точки з достатньою густині. Це може бути результатом інтерполяції з нерегулярних точок або вимірювань по регулярній мережі. Найбільш

поширеною формою представлення в картографії є застосування ізоліній. Однак недоліком цього методу є відсутність інформації про об'єкти між ізолініями. Цей спосіб представлення не завжди є оптимальним для аналізу. У зображенні на рис. 2.4 показано приклад цієї форми представлення.

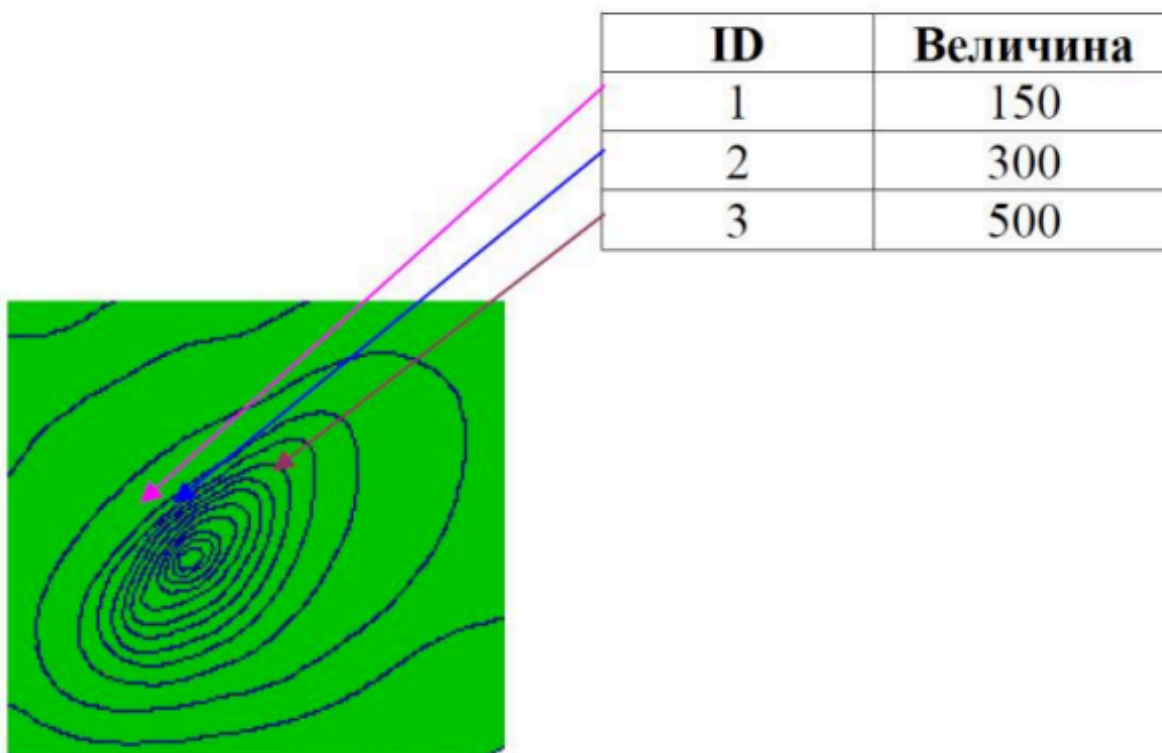


Рис. 2.4. Моделі організації просторових даних

Пошарова модель є найпоширенішою моделлю організації даних, її суть в тому, що об'єкти розділяються на тематичні шари, і об'єкти, які належать до одного шару, зберігаються в окремому файлі з власною системою ідентифікаторів. Кожен тематичний шар представляє собою окремий набір об'єктів, з яким можна взаємодіяти як із самостійною одиницею. На рис. 2.5 видно, що різні шари включають індустриальні райони, торгові центри, автобусні маршрути, дороги та ділянки обліку населення. Іноді тематичний шар може бути поділений горизонтально на окремі частини, що відбувається, наприклад, для полегшення адміністрування бази даних та уникнення роботи з великими файлами даних.

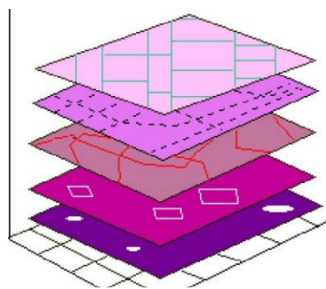


Рис. 2.5. Приклад пошарової організації даних

У рамках пошарової моделі існують дві конкретні реалізації: векторно-топологічна і векторно-нетопологічна моделі. Основи цих моделей були розглянуті в першому розділі, коли аналізувалася ГІС на основі векторної моделі представлення даних. Векторно-топологічна реалізація (рис. 2.6) має обмеження, так як в одному листі тематичного шару не можна помістити об'єкти всіх геометричних типів одночасно. Наприклад, в системі *ARC/INFO* в одному покритті можна вміщувати тільки точкові, лінійні, або полігональні об'єкти, виключаючи комбінації «точкові + полігональні» та три типи об'єктів одночасно.

Векторно-нетопологічна модель організації даних є більш гнучкою, проте часто в один шар включаються тільки об'єкти одного геометричного типу. Кількість шарів при пошаровій організації даних може бути значною і залежить від конкретної реалізації. При цьому організації даних в пошаровому підході зручно маніпулювати великими групами об'єктів, які представлені шарами, розглядаючи їх як єдине ціле. Наприклад, можна вмикати та вимикати шари для візуалізації, визначати операції, що базуються на взаємодії між шарами.

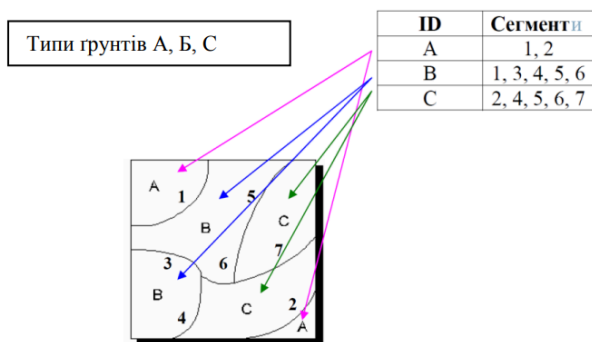




Рис. 2.6. Векторно-топологічна модель організації даних

Важливо відзначити, що пошарова модель організації даних має абсолютну перевагу у порівнянні з растровими моделями даних. Разом із пошаровою моделлю часто використовується об'єктно-орієнтована модель. У цій моделі використовується ієрархічна сітка (топографічний класифікатор), зображена на рис. 2.7.



Рис. 2.7. Приклад топографічного класифікатора

### 2.3. Організація інформації в ГІС

Як вже зазначалося, в інформаційних системах географічної інформації дані поділяються на просторові та атрибутивні, і розглянемо принципи організації цих даних на прикладі векторної моделі просторового представлення.

Будь-який графічний об'єкт можна розглядати як набір геометричних примітивів, кожен з яких має свої координати вершин, що можуть бути визначені у будь-якій системі координат. Геометричні примітиви можуть варіюватися залежно від конкретного ГІС, але базовими є точка, лінія, дуга та полігон. Наприклад, для точкового об'єкта, такого як вугільна шахта, розташування можна описати парою координат  $(x, y)$ . Для об'єктів, що є лініями або полігонами, такими як річки, лінії електропередачі або ділянки сільськогосподарських полів, використовується набір

координат  $(x_1, y_1; \dots; x_n, y_n)$ , де  $n$  - кількість вершин, та можливо оформлення у вигляді замкненого набору координат  $(x_1, y_1; \dots; x_n, y_n; x_1, y_1)$  для площинних об'єктів. Векторна модель є найбільш підходящою для опису окремих об'єктів, але менш ефективною для відображення параметрів, які змінюються безперервно.

Крім координатної інформації, що описує положення об'єктів, просторова база даних також може містити інформацію, яка визначає зовнішнє оформлення цих об'єктів. Така інформація включає параметри, такі як товщина, колір і тип ліній, а також тип і колір штрихування для полігональних об'єктів, а також товщину, колір і тип межі. Кожному геометричному примітиву призначається атрибутивна інформація, яка описує його кількісні та якісні характеристики. Ця інформація зберігається в полях табличних баз даних, які призначені для зберігання різних типів даних: текстових, числових, графічних, відео, аудіо. Група геометричних примітивів та відповідна їм атрибутивна інформація утворюють простий об'єкт.

Сучасні об'єктно-орієнтовані ГІС опрацьовують цілі класи та групи об'єктів, що дозволяє користувачеві отримати більш повне уявлення про властивості цих об'єктів та їх внутрішні закономірності.

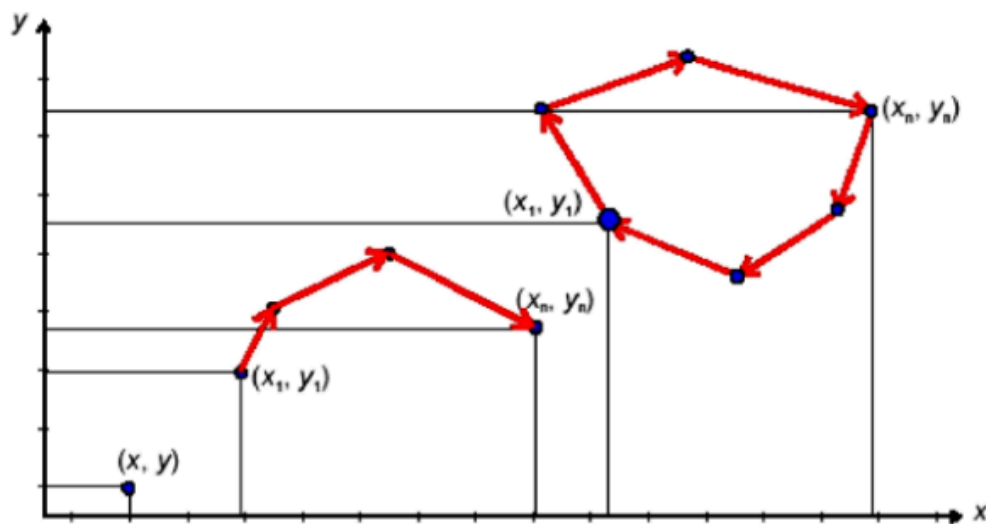


Рис. 2.8. Приклад використання векторної моделі для опису геооб'єктів

Зв'язок між зображенням об'єкта та його атрибутивною інформацією можна встановити за допомогою унікальних ідентифікаторів, які існують у будь-якій геоінформаційній системі у явній або неявній формі. В багатьох ГІС просторова

інформація представлена у вигляді прозорих шарів, які містять зображення географічних об'єктів. Організація об'єктів на шарах залежить від конкретних особливостей кожної ГІС та вирішуваних завдань. Зазвичай дані на окремому шарі складаються з таблиці бази даних, іноді шари формуються з об'єктів, які складаються з однорідних геометричних примітивів, таких як точки, лінії або полігони. Шари також можуть формуватися за тематичними властивостями об'єктів, наприклад, шари залізничних ліній, водойм або природних копалин. Користувачі можуть керувати шарами, визначаючи їх видимість, можливість редагування та доступність. Крім того, можливе збільшення інформаційної насиченості цифрової карти шляхом відображення значень атрибутів просторових об'єктів на екрані. Деякі ГІС використовують растрові зображення як базовий шар або підкладку для векторних шарів, що підвищує якість візуалізації.

#### 2.4. Введення інформації в ГІС

Процедура введення даних в ГІС включає три основні етапи, а саме:

- Збір даних: здійснюється збір вихідних даних.
- Редагування і очищення даних: включає в себе редагування та очищення даних, а також створення метаданих. Метадані містять інформацію, таку як дату отримання, точність позиціонування, точність класифікації, міру повноти та використаний метод отримання та кодування даних.
- Географічне кодування даних: одна з частин попередньої обробки даних, що включає в себе прив'язку даних до географічних координат та визначення їх місцезнаходження на карті.

Щодо способів введення даних, один із них – введення інформації за допомогою клавіатури, яке частіше за все використовується для атрибутивних даних та може поєднуватися із ручним оцифруванням.

Ще одним способом є ручне оцифрування за допомогою дигітайзера. Цей метод широко застосовується для введення просторових даних, зазвичай з традиційних карт. Ефективність та якість оцифрування залежать від якості

програмного забезпечення та вправності оператора, але вимагає значних зусиль та може супроводжуватися помилками.

Інший метод - сканування карт для отримання цифрового зображення. Сучасні високодозвільні сканери можуть забезпечити дуже деталізовані знімки. Після сканування зображення потребує обробки та можливого перетворення у векторний формат.

Також можливе введення даних через існуючі цифрові файли. Багато установ та організацій вже мають обширні бази даних географічної інформації, які можна використовувати в ГІС, що дозволяє ефективно заповнювати систему даними.

## 2.5. Введення даних у ГІС з растровою моделлю даних

Модель зображення у вигляді растру виявляється оптимальною для роботи з безперервними характеристиками об'єктів. Растрове зображення представляє собою набір значень для окремих елементів, таких як растри, осередки або пікселі. Кожен окремий растр характеризується координатами та глибиною кольору (у випадку кольорових растрів), градацією сірого відтінку (у випадку сірої шкали) або чорним та білим кольорами (в чорно-білих зображеннях). Растрова картина може бути отримана як результат сканування традиційних паперових карт або аеро- та космічного фотознімку земної поверхні.

Роздільна здатність растрового зображення, вимірювана в *dpi* (точок на дюйм), показує, скільки пікселів розташовано в одному дюймі зображення. Висока роздільна здатність вказує на якісне та інформативне зображення, але слід враховувати, що збільшення роздільної здатності призводить до збільшення розміру файлу растрового зображення. Зазвичай у ГІС використовують растрові зображення з роздільною здатністю в діапазоні від 200 до 600 *dpi*, хоча для аеро- та космічних знімків ця здатність може досягати декількох тисяч *dpi*.

## 2.6. Аналіз інформації в ГІС

Можна створювати запити в ГІС шляхом простого кліку мишею на об'єкті або скориставшись розвинутими аналітичними інструментами. В групі аналітичних засобів, які використовують стандартну мову структурованих запитів *SQL (Structured Query Language)*, ГІС надає користувачеві потужні та настроювані інструменти для обробки та управління інформацією. Давайте визначимо основні функції ГІС, пов'язані з аналізом просторово-атрибутивної інформації. Можливості непросторового (атрибутивного) аналізу:

- запит за атрибутами і їх відображення;
- пошук цифрових карт і їх візуалізація;
- класифікація непросторових даних;
- картографічні виміри (відстань, напрям, площа);
- статистичні функції.

Можливості просторового аналізу :

- «оверлейні» операції;
- аналіз близькості;
- мережний аналіз;
- пошук об'єктів;
- аналіз видимості/невидимості;
- прогнозування;
- картометричні функції;
- інтерполяція;
- зонування;
- створення контурів;
- декомпозиція і об'єднання об'єктів;
- буферизація;
- перекласифікація.

Методи аналізу картографічних даних у ГІС майже не відрізняються від традиційних методів аналізу інформації на паперових картах. Вимірювання кількісних параметрів об'єктів та їх математична обробка є загальноприйнятими. За допомогою швидких розрахунків можна перевіряти величезну кількість припущень і

гіпотез за короткі інтервали часу та вибирати найбільш відповідні з них. Просторове розташування об'єктів вивчається за допомогою операцій аналізу розміщення, взаємозв'язків та інших геопросторових взаємин об'єктів і їх атрибутів. До таких операцій можна віднести буферизацію, аналіз близькості, оверлейний і мережний аналіз, районування тощо.

Комбінуючи ці операції, можна вирішувати складні просторові завдання. У наступному розділі ми детально розглянемо деякі з найбільш цінних функцій аналізу просторового розташування об'єктів, оскільки функції обробки описової інформації в ГІС (такі як сортування, групування, пошук значень, калькуляція, статистика і інші) схожі на функції, що використовуються у звичайних системах управління базами даних, визначення точки дотику лінійного об'єкта тощо.

## 2.7. Оверлейні операції

Операція оверлею, або оверлейна операція, включає в себе накладання одного або декількох шарів один на одного. Результатом цієї операції може бути графічна композиція використовуваних шарів, що відома як графічний оверлей, або новий результуючий шар. Останній містить просторові об'єкти початкових шарів, їх топологію та атрибути, що визначаються від значень атрибутів вихідних об'єктів в топологічному оверлеї чи векторній моделі представлення просторових об'єктів. До оверлейних належать операції:

- визначення приналежності точки полігона;
- визначення приналежності лінії полігона;
- визначення приналежності полігона;
- накладення двох полігональних шарів;
- знищення меж однойменних класів полігонального шару з породженням нового шару;
- визначення ліній перетину об'єктів;
- об'єднання (комбінування) об'єктів одного типу;

Прикладом оверлейної операції може бути операція топологічного оверлею «точка-в-полігон» (*point-in-polygon*), яку зображено на рис. 2.14. По суті, відбувається накладення двох шарів, унаслідок чого створюється новий шар.

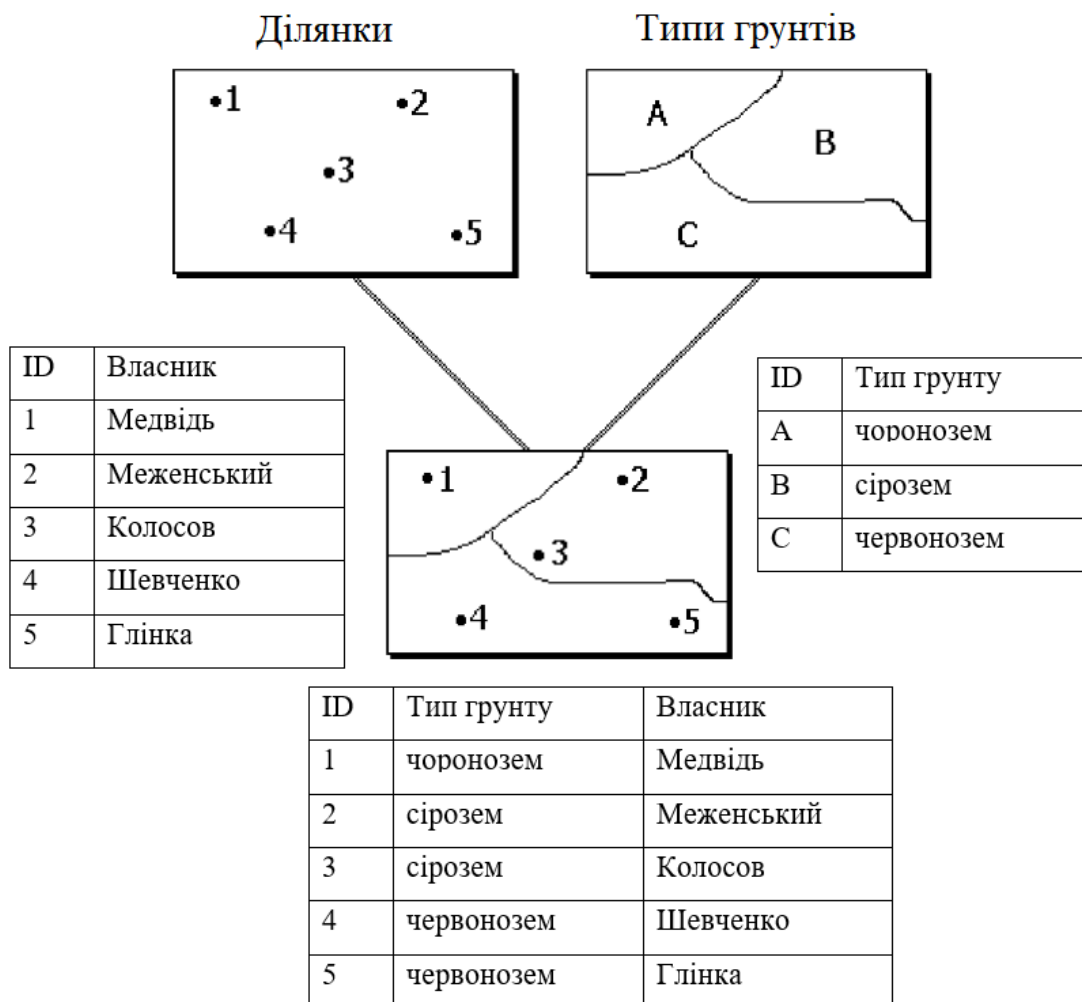


Рис. 2.9. Оверлейна операція «точка-в-полігон»

Операція накладення двох полігональних шарів за методом вирізування використовується для відділення частини одного шару, використовуючи форму іншого шару. Цей процес призводить до створення нового шару, де об'єкти обох вихідних шарів накладаються один на одного.

Один із шарів має бути полігонального типу та використовується як форма для визначення області відсікання. Утворений шар містить лише ті об'єкти початкового шару, які перетинаються з областю відсікання. Тип об'єктів нового шару

збігається з типом об'єктів початкового шару, який може бути полігонами, лініями або точками. Результатом є нова атрибутивна таблиця для нового шару, що містить аналогічні поля до наявних в атрибутивній таблиці початкового шару.

Крім операцій топологічного оверлею, існують операції логічного або булевого оверлею. Усі чотири операції базуються на елементарних логічних функціях: логічному І, АБО, НІ і виключаюче АБО (див. рис. 2.16).

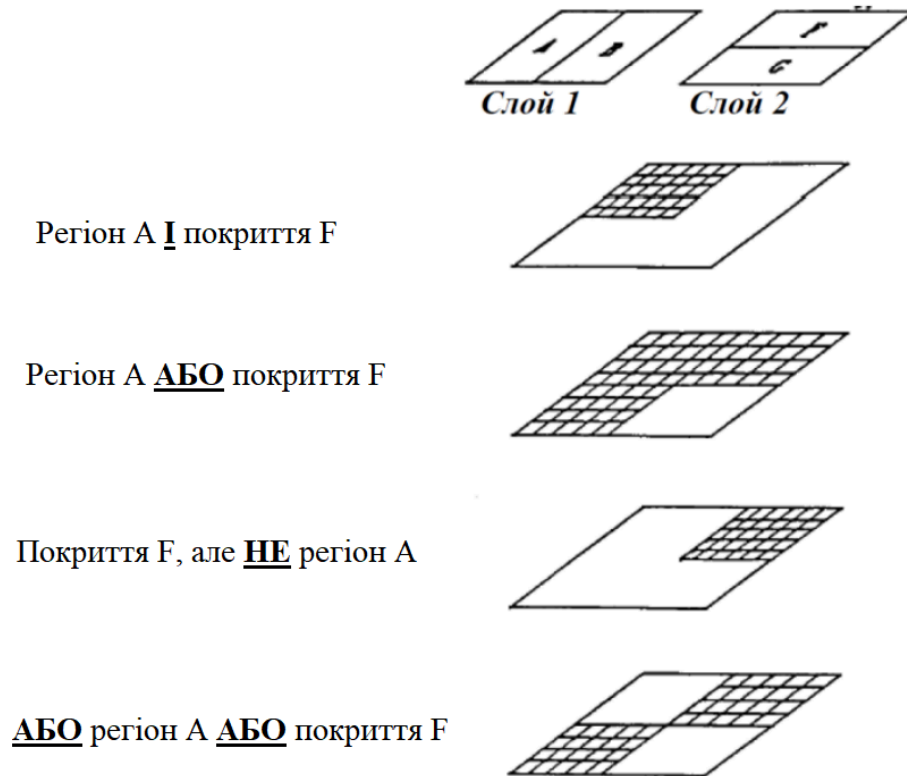


Рис. 2.16. Операції логічного оверлею

## 2.8. Перекласифікація

Перекласифікація є аналітичною операцією, спрямованою на зміну структури шару карти за заданою умовою. Наприклад, на карті можуть бути виділені різні типи ґрунтів у сільгоспугідді, а також вказані рослинні культури, що ростуть на цій ділянці землі. Операція перекласифікації дозволяє об'єднати однорідні ґрунтові зони в єдину область, не звертаючи уваги на види сільгоспкультур, які на них ростуть. У цьому випадку критерієм перекласифікації є належність до одного типу ґрунту.



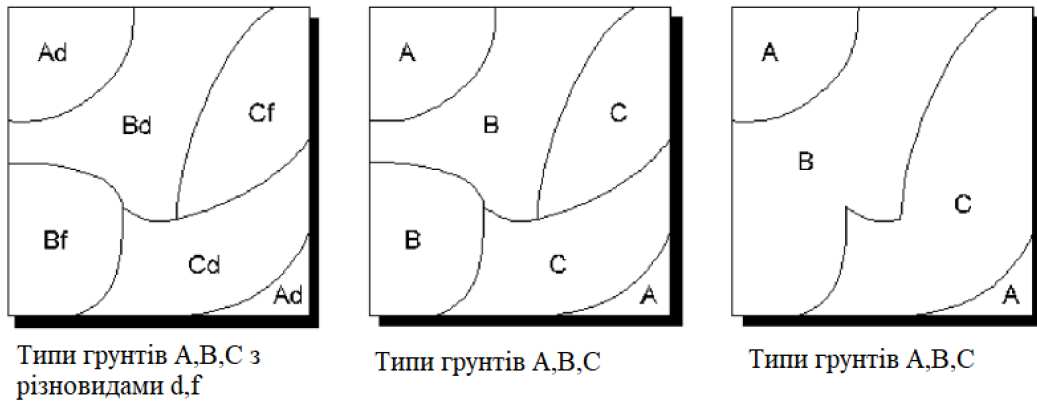


Рис. 2.18. Приклад аналітичної операції перекласифікації

Існує кілька основних умов для проведення перекласифікації. По-перше, може бути використана умова відсікання об'єктів, які не відповідають заданому просторовому положенню (див. рис. 2.19). Другою умовою може бути збереження об'єктів, які розташовані лише на північному сході.

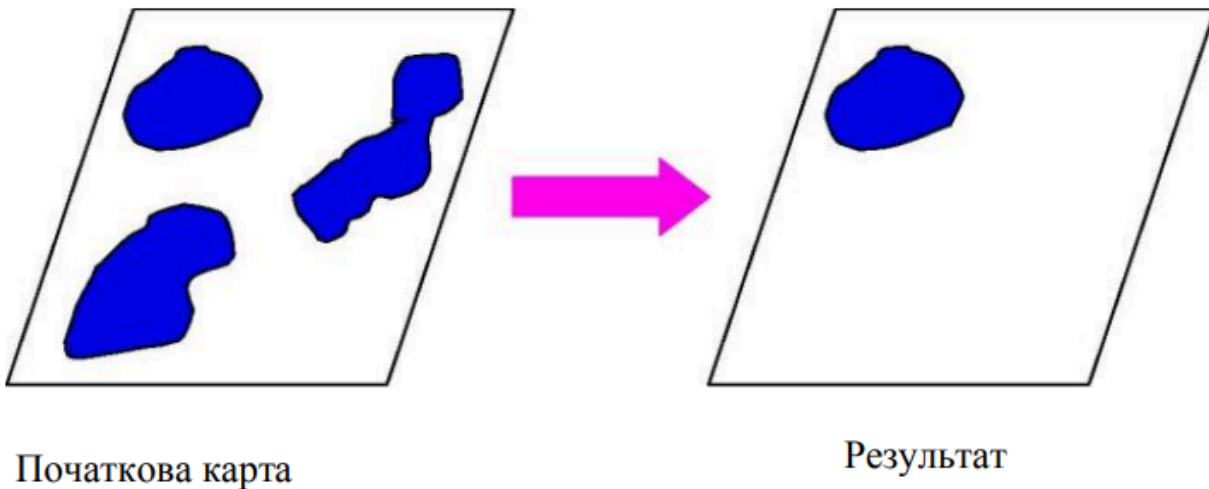


Рис. 2.19. Позиційна перекласифікація

Третій умовою для проведення перекласифікації може бути зміна значення певної величини (наприклад, висота над рівнем моря, зональна температура, кількість опадів), щоб ці дані відображались на карті в інших одиницях вимірювання. Наприклад, на карті може бути необхідно змінити висоту з футів на метри (див. рис. 2.20).

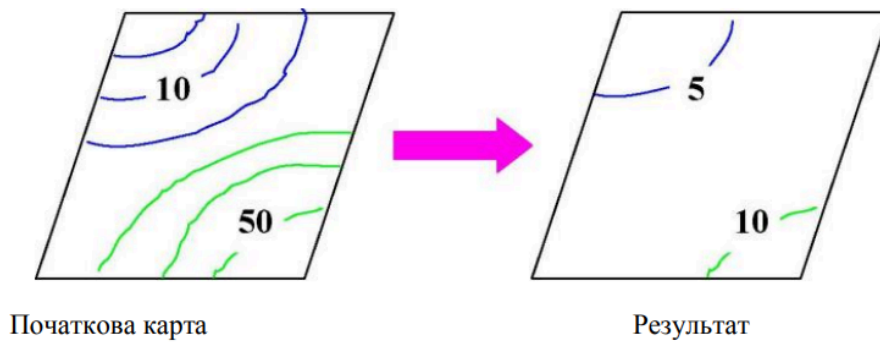


Рис. 2.20. Перекласифікація за значенням величини

Перекласифікація часто проводиться відповідно до розміру об'єктів на карті. Наприклад, на шарі карти може бути необхідно видалити об'єкти, площа яких менше або більше заданого значення (див. рис. 2.21). Іншим випадком може бути обмеження області, що має площу менше  $50 \text{ км}^2$ .

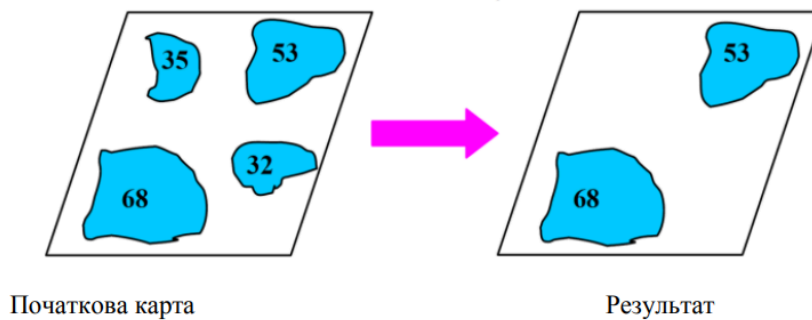


Рис. 2.21. Перекласифікація за розміром об'єктів

Перекласифікація використовується для розбиття класу об'єктів на індивідуальні об'єкти, оскільки з ними зручніше працювати (рис. 2.22).

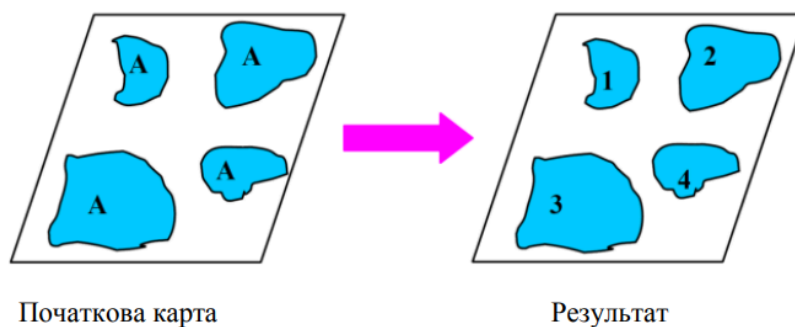


Рис. 2.22. Перекласифікація єдиного класу об'єктів в індивідуальні об'єкти

## 2.9. Висновки до розділу

У другому розділі було висвітлено ключові аспекти проектування геоінформаційної системи для сільськогосподарської авіації. Наочно деталізовано різні моделі даних у геоінформаційних системах, зокрема їхню роль та застосування у контексті сільськогосподарської авіації. Великий акцент був приділений обробці та організації інформації у ГІС, де розглянуті різні методи та підходи до забезпечення ефективного управління просторовою і атрибутивною інформацією.

Організація інформації в ГІС була представлена через концепцію шарів та їх взаємодії, розкриваючи різні типи об'єктів та їх властивості. Окремий акцент було зроблено на введенні інформації в ГІС, розглядаючи різні методи, такі як клавіатурне введення, ручне оцифрування, сканування карт та використання існуючих цифрових файлів.

Додатково, розгляд впливу змін клімату та екологічних факторів на сільськогосподарську авіацію в контексті геоінформаційних систем набуває важливості. Інтеграція кліматичних даних та моделей у ГІС дозволяє проводити прогнозування та визначати оптимальні стратегії використання авіаційних ресурсів з урахуванням змін у природних умовах. Це стає ключовим компонентом у створенні стійких та ефективних систем для сільськогосподарського сектору, які можуть адаптуватися до змін в навколишньому середовищі та мінімізувати вплив негативних факторів на виробництво.

Важливим аспектом виявився аналіз інформації в ГІС, де розглядалися різні методи та можливості проведення аналітичних операцій, таких як оверлейні операції

та перекласифікація. Оверлейні операції визначають взаємне розташування об'єктів, що дозволяє отримати нові дані на основі взаємодії шарів. Перекласифікація, з свого боку, надає можливість змінювати та адаптувати шар карти за заданими умовами.

Аналіз інформації в ГІС, оверлейні операції та перекласифікація є важливими засобами для глибокого аналізу та прийняття обґрунтованих рішень. У цьому контексті, система геоінформації в сільському господарстві стає ключовим інструментом для управління ресурсами та вирішення комплексних завдань авіаційного сектору.

Введення геоінформаційної системи для сільськогосподарської авіації визначає перехід до нового рівня оптимізації та ефективності. Застосування моделей даних, обробка та організація інформації дозволяють зробити систему більш гнучкою та адаптованою до реальних умов. Введення даних з растровою моделлю розширює можливості системи та покращує точність результатів. Аналіз інформації, використання оверлейних операцій та перекласифікація сприяють розширенню знань і прийняттю інформованих рішень.

Цей розділ надав загальний огляд і ключові висновки щодо підходів та методів, які використовуються у геоінформаційних системах для сільськогосподарської авіації. Це становить основу для подальших розділів, де розглядатимуться конкретні практичні застосування та виклики впровадження геоінформаційних систем в даній галузі.

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА ГІС ДЛЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ АВІАЦІЇ

У даному розділі вивчається важливий аспект розробки геоінформаційної системи для сільськогосподарської авіації. При проектуванні та створенні цієї системи враховуються специфічні вимоги та потреби, що впливають із здійснення авіаційних операцій в аграрному секторі. Детально розглядається моделювання даних у ГІС, організація та обробка інформації, введення даних, аналіз геопросторової інформації, включаючи важливі операції, такі як оверлейні операції та перекласифікація.

Першочерговим завданням є розгляд моделей даних, які визначають спосіб представлення та організації інформації про геопросторові об'єкти. Також вивчається важливість правильної організації та обробки отриманих даних, щоб забезпечити їх ефективне використання в системі. Детально розглядаються методи введення різноманітних видів даних у ГІС, включаючи растрові дані.

Окрема увага приділяється аналізу геопросторової інформації, в тому числі використанню оверлейних операцій для накладання та аналізу різних шарів даних. Також досліджується процес перекласифікації, який є важливою аналітичною операцією для перетворення та узгодження даних з урахуванням конкретних вимог та умов.

#### 3.1. Опис архітектури та функціональних вимог до програмного модуля

Основним архітектурним рішенням для додатку було обрано мікросервісну архітектуру, що полягає в створенні набору невеликих та самостійних сервісів, що працюють разом як єдина система. Це рішення дозволяє високо структуровано організувати роботу, забезпечуючи незалежність кожного компонента та покращену масштабованість.

Кожен мікросервіс відповідає за конкретну функціональність, таку як зберігання геоданих, аналіз просторової інформації чи інтерфейс користувача. Такий підхід полегшує розгортання, моніторинг та управління окремими частинами системи.

Для ізоляції та забезпечення консистентності кожен мікросервіс упаковано в контейнер з використанням технології *Docker*. Це дозволяє однаково налаштовувати середовище для розробки, тестування та продуктивного використання, зменшуючи можливі проблеми через різницю в середовищах.

Окрім того, використання *Docker* спрощує розгортання нових версій сервісів, а також забезпечує легку інтеграцію з іншими інструментами, такими як *Kubernetes*, для оркестрації контейнерів та автоматичного масштабування. Така архітектура дозволяє нам побудувати гнучку, стійку та легко розширювану геоінформаційну систему для сільськогосподарської авіації.

Наша мета – розробити продукт, що перевершує конкурентів у сфері геоінформаційних систем. Однією з ключових вимог є створення інтуїтивно зрозумілого та легкого в користуванні інтерфейсу, який дозволить користувачам ефективно взаємодіяти з програмою, навіть якщо вони не є професійними ГІС-користувачами.

Провідним аспектом нашого продукту буде вищий рівень функціональності порівняно з іншими ГІС на ринку. Ми спрямовані на розробку широкого спектру аналітичних інструментів, які включатимуть в себе глибокий просторовий аналіз, ефективний облік ресурсів та інші високотехнологічні можливості. Такий підхід дозволить нашим користувачам ефективно вирішувати різноманітні завдання, пов'язані з геоінформацією, і забезпечить їм значний конкурентний перевагу.

Додатково, ми прагнемо до інтеграції з передовими сервісами та інструментами, такими як публічні *API* картографічних сервісів та інші інноваційні технології. Це дозволить нашому продукту бути більш гнучким та готовим до використання в різних галузях та сферах, що відкриє нові перспективи для наших користувачів.

Особливий акцент буде зроблено на інтерактивну візуалізацію геоданих, впроваджуючи новаторські рішення, такі як 3D-карти, анімації та інтерактивні шари. Це створить більш ефективний та захоплюючий спосіб представлення інформації та дозволить нашому продукту виходити за рамки стандартних ГІС-застосувань.

В цілому, наш продукт має на меті визначити нові стандарти у сфері геоінформаційних систем, надаючи користувачам потужний, інтуїтивно зрозумілий та інноваційний інструмент для роботи з геоданими.

### 3.2. Вибір технологій

У цьому розділі розглядається вибір технологій для реалізації Геоінформаційної Системи для Сільськогосподарської Авіації. Важливим етапом є обрання ефективних і потужних інструментів для розробки та взаємодії з геоданими.

*Electron* обрано як основний фреймворк для створення кросплатформених десктопних додатків. *Electron* дозволяє використовувати веб-технології для розробки десктопних застосунків, що полегшує створення інтерфейсу користувача та забезпечує широку сумісність.

*React* обраний в ролі фреймворку для розробки інтерфейсу користувача веб-додатків, забезпечуючи ефективне взаємодію з *Electron*, *Node.js*, *Leaflet* та *MySQL*. *React* дозволяє створювати компонентну архітектуру, що сприяє простоті та модульності в розробці користувацького інтерфейсу.

У виборі *React* підкреслено його зручність у роботі зі станом додатку та його відмінну підтримку реактивного підходу. За допомогою *React* можна легко організувати компоненти для відображення та взаємодії з геоданими, які надходять від *Node.js* та *MySQL*.

Для реалізації інтерактивності з географічними даними використовується *Leaflet*, і *React* допомагає ефективно інтегрувати його функціонал у веб-додаток. Використання компонентів *React* для керування елементами інтерфейсу спрощує розробку та управління станом додатку.

Також, *React* сприяє підтримці адаптивного дизайну, що робить його ідеальним для забезпечення відмінного користувацького досвіду на різних платформах, що є важливим аспектом у кросплатформенних додатках на базі *Electron*.

*Node.js* виступає в ролі серверного середовища для виконання *JavaScript*-коду на стороні сервера. Завдяки подійно-орієнтованій архітектурі *Node.js* ідеально підходить для реалізації серверної частини додатку, обробки запитів та взаємодії з базою даних.

*Leaflet* є легким та гнучким *JavaScript*-фреймворком для роботи з інтерактивними картами. Вибір *Leaflet* зумовлений його простотою використання та багатофункціональністю, що полегшує відображення геоданих та взаємодію з ними.

*MySQL* обрано в якості системи управління базами даних (СУБД) для зберігання та організації геоданих. Його висока продуктивність та надійність роблять його оптимальним вибором для ефективного зберігання та опрацювання великої кількості геоінформації.

Використання *Electron* та *Node.js* забезпечує кросплатформенність додатку, дозволяючи використовувати один код для *Windows*, *macOS* та *Linux*. *Leaflet* буде використовуватися для відображення та інтерактивного взаємодії з геоданими на клієнтській стороні. *MySQL* виступатиме в ролі потужної та надійної бази даних для зберігання та організації географічної інформації.

Далі поговоримо про кожен з них окремо.

### 3.2.1. *JavaScript*

Кожен веб-розробник наближається до виконання завдань від роботодавця індивідуально, враховуючи конкретні вимоги. Незважаючи на індивідуальність підходів, існує загальна шаблонна схожість. Будь-який веб-сайт повинен відповідати вимогам клієнта та виглядати привабливо та зручно для користувачів.

*JavaScript* є однією з ефективних мов програмування для досягнення цих цілей. Використання *JavaScript* передбачає глибше розуміння структурних елементів веб-сторінок. Зазвичай веб-сторінка складається з п'яти основних елементів:



зображення, заголовки, зміст, навігація та інформація про сторінку. Скриптові мови програмування дозволяють створювати інтерактивні об'єкти на сайті для поліпшення сприйняття користувачами, а *JavaScript* виступає ефективним інструментом у цьому контексті.

Серед основних форм елементів, які реалізуються за допомогою *JavaScript*, можна виділити форму реєстрації, анімацію фотографій, створення презентацій та інші інтерактивні компоненти. Ці елементи можна розмістити на веб-сторінці, використовуючи різні фреймворки *JavaScript*, такі як *Angular.js*, *React.js*, *Vue.js*, *Ember.js*, *Meteor.js* та інші.

Мова *JavaScript* надає можливість обробки вихідних даних, що представлені за допомогою різних елементів управління, створення тестових програм, забезпечення контролю за введеними даними та вирішення різноманітних завдань. За допомогою *JavaScript* можна розробляти як ітеративні, так і рекурсивні сценарії, використовуючи процедурний тип даних для вирішення різних класів завдань, опрацьовувати стандартні об'єкти, обробляти текстову інформацію та виконувати інші функції.

Мова програмування *JavaScript* була розроблена компанією *Netscape* у співпраці з *Sun Microsystems* та призначена для створення інтерактивних *HTML*-документів. Основні області застосування *JavaScript* включають:

- створення динамічних сторінок, де зміст може змінюватися після завантаження документа;
- перевірка правильності заповнення користувацьких форм перед їх відправленням на сервер;
- розв'язання "локальних" задач за допомогою сценаріїв.

*JavaScript* дозволяє створювати додатки, які виконуються як на стороні клієнта, так і на стороні сервера. При розробці додатків обох типів використовується ядро, яке містить визначення стандартних об'єктів. Клієнтські додатки виконуються в браузері на машині користувача. Програми або сценарії на мові *JavaScript* обробляються вбудованим інтерпретатором, який входить у склад браузера.

Мова програмування *JavaScript* лідирує серед найпопулярніших та широко використовуваних мов програмування. Кількість доступних готових рішень і компонентів для спрощення та прискорення процесу розробки постійно зростає. Бібліотеки представляють собою набір готових методів, класів і рішень для вирішення типових задач, в той час як фреймворки включають в себе бібліотеки і надають готовий шаблон додатку, реалізуючи патерни проектування, такі як *MVVC*, *MVC* тощо.

*JavaScript* набуває зростаючої популярності як інструмент для візуалізації даних на веб-сайтах. Використання *JavaScript* для візуалізації даних робить інформацію цікавою, інтерактивною та легко сприйнятною для користувача. Для досягнення цього мета допомагає велика кількість різних бібліотек *JavaScript* для візуалізації даних, таких як *Chart.js*, *D3.js*, *RawCraphs* та інші. Ці бібліотеки широко використовуються для візуалізації бізнес-інформації, подання статистичних даних та відображення різних процесів.

### 3.2.2. *JavaScript*-бібліотека *React*

*React.js* представляє собою фреймворк для *JavaScript*, ідеально підходить для розробки веб-додатків, де дані можуть часто змінюватися. Цей фреймворк славиться своєю легкістю в написанні коду, завдяки простому синтаксису. Його висока гнучкість дозволяє розробникам ефективно працювати з ним. *React.js* підтримує віртуальну об'єктну модель документа (*DOM*), яка дозволяє упорядковувати документи в форматах *HTML*, *XHTML* або *XML* у вигляді дерева при аналізі елементів веб-додатка. Однією з переваг є також підтримка міграції між версіями.

Важливо відзначити, що *React.js* не є повноцінним фреймворком, а скоріше бібліотекою *JavaScript*, яка відповідає за ефективний рендеринг веб-сторінок. Його основний принцип полягає в використанні віртуальної об'єктної моделі веб-документа (*Virtual DOM*).

Навколо *React.js* сформувалася стійка екосистема, яка включає в себе значну кількість компонентів і бібліотек. Це дозволяє деяким розробникам розглядати

*React.js* як повноцінний інструмент з типовими рішеннями, подібно до фреймворків *JavaScript*.

В результаті порівняльного аналізу між *React.js* і іншими популярними фреймворками *JavaScript* можна прийти до висновку, що на даний момент *React.js* є найбільш відповідним вибором для реалізації даного програмного продукту. Це обумовлено кількома ключовими особливостями *React.js*:

- ієрархічною структурою компонентів, де всі компоненти вкладені в єдиний кореневий компонент;
- простою і зрозумілою моделлю обміну даними між незалежними компонентами через властивості (*props*) ;
- високою продуктивністю рендерингу;
- наявністю значної кількості готових компонентів і бібліотек;
- широкою поширеністю і популярністю серед розробників в середовищі *JavaScript*.

### 3.2.3. *Leaflet*

На сьогоднішній день, *Leaflet*, нарівні з *OpenLayers* і *Google Maps API*, є однією з найбільш визнаних та популярних картографічних бібліотек, широко використовуваних на великих веб-сайтах, таких як *Flickr*, *Foursquare*, *Craigslist*, *Data.gov*, а також у проектах Вікімедіа та *OpenStreetMap*. *Leaflet* представляє собою *JavaScript* бібліотеку для відображення карт на веб-сайтах. Вона спрощує завдання розробки, дозволяючи легко відображати растрові карти, що складаються з малих фрагментів, так званих тайлів, з можливістю додавання додаткових шарів над основним зображенням.

*Leaflet* підтримує різні типи шарів, такі як *Web Map Service (WMS)*, *GeoJSON*, а також векторні та растрові шари. Існує багато інших типів шарів, які можна додати за допомогою додаткових модулів. Бібліотека включає в себе різноманітні типи об'єктів, включаючи растрові (*TileLayer* і *ImageOverlay*), векторні (*Path*, *Polygon*, а

також спеціальні типи, такі як *Circle*), групові (*LayerGroup*, *FeatureGroup* і *GeoJSON*) та елементи керування (*Zoom*, *Layers*).

Існує безліч плагінів, які були створені спеціально для бібліотеки *Leaflet* і розширюють її можливості. Один з таких плагінів – *Leaflet.markercluster*, спрямований на кластеризацію маркерів на карті. Цей плагін дозволяє налаштувати стиль маркерів та їх анімацію. Особливість плагіна полягає в тому, що він автоматично вирішує проблему перевантаження карти символами. При зменшенні масштабу відбувається об'єднання близько розташованих маркерів, а числа всередині кластерів вказують кількість об'єднаних маркерів. Такий підхід значно покращує зручність використання, а самі дані рішення легкі для сприйняття будь-яким користувачем.

Бібліотека *Leaflet* також дозволяє використовувати елемент керування шарами, що володіє простим синтаксисом і високою продуктивністю. Вона може легко розширюватися за допомогою різноманітних плагінів, завдяки відкритому вихідному коду, що дозволяє розробникам налаштувати бібліотеку під власні потреби.

#### 3.2.4. *Node.js*

*Node.js* - це програмна платформа, що ґрунтується на двигуні *V8*, розробленому компанією *Google*, який перекладає *JavaScript* у машинний код. Історія цієї платформи розпочалася у 1996 році, коли компанія *Netscape* намагалася створити серверний *JavaScript*, але технологія не отримала широкого поширення. У 2009 році, після двох років експериментів із серверними вебкомпонентами, розробник Раян Даль створив *Node.js* і під час експериментів визначив, що традиційна модель паралелізму на основі потоків не є вдалою для подальшого розвитку. Замість цього він використовував системи подвійної орієнтації. Вибір цієї моделі був обумовлений її простотою, низькими витратами порівняно з ідеологією "один потік на кожне з'єднання" і високою продуктивністю.

Мета Раяна Даля при створенні *Node.js* була простою – запропонувати більш простий спосіб побудови масштабованих мережних серверів. Сучасний стан *Node.js*

серед веб-серверних платформ можна побачити у звіті *StackOverflow* за 2019 рік, де він зайняв перше місце і набув великої кількості прихильників. Це свідчить про те, що спільнота *Node.js* лише розширюється, що стимулює швидкий розвиток платформи і вивід застарілих технологій.

Завдяки прогресу платформи, на ній вже успішно впровадили свої веб-сервери великі компанії, такі як:

- *Walmart* – мережа роздрібної торгівлі;
- *Netflix* – найбільша світова платформа для потокового відео та серіалів;
- *LinkedIn* – соціальна мережа;
- *Uber* – додатки для пошуку, виклику та оплати таксі;
- *Paypal* – найбільша дебетова електронна платіжна система;
- *eBay* – інтернет-аукціон і інтернет-магазин.

Однією з причин, чому *Node.js* викликав такий інтерес серед розробників, є ідея використання однієї мови як для клієнтської, так і для серверної частини, що є однією з основних переваг *Node.js*.

До інших переваг входять:

- Легкість та швидкість написання коду.
- *NPM* - величезна пакетна екосистема, що дозволяє завантажувати бібліотеки.
- *Node.js* має відкритий вихідний код і є повністю безкоштовним, використовується тисячами розробників по всьому світу. Він приносить безліч переваг, що робить його кращим вибором порівняно з іншими серверними платформами, такими як *Java* або *PHP*.
- *Node.js* - це крос-платформенне середовище *JavaScript*, яке має бібліотеку для запуску веб-додатків поза браузером клієнта.
- *Node.js* використовує асинхронне програмування: всі *API* бібліотеки *Node.js* є асинхронними (тобто неблокуючими), тому сервер на основі *Node.js* не чекає повернення даних *API*. Сервер викликає *API*, і у випадку, якщо дані не повертаються, сервер переходить до наступного *API*. Модуль *Events* в *Node.js*

допомагає серверу отримати відповідь від попереднього виклику *API*. Це також сприяє швидкодії *Node.js*.

– Висока масштабованість. Сервер *Node.js* реагує неблокуючим чином, що полегшує його масштабування порівняно з традиційними серверами, які створюють обмежені потоки для обробки запитів.

### 3.2.5. *Electron*

*Electron* – це фреймворк для створення кросплатформених програм, які можуть бути встановлені та використовуватися безпосередньо на комп'ютерах. Він використовує платформу *Node.js* для свого запуску та доповнює її багатьма новими можливостями. *Electron* надає основу для розробки настільних додатків з використанням сучасних технологій, таких як *JavaScript*, *HTML* та *CSS*. Основна ідея полягає в тому, щоб система *Electron* брала на себе складності, дозволяючи розробникам зосередитися на ядрі програми та вдосконаленні її дизайну.

*Electron* є відкритим фреймворком, який об'єднує найкращі веб-технології та забезпечує кросплатформенність, тобто легку сумісність з операційними системами *Mac*, *Windows* та *Linux*. Він постачається з автоматичними оновленнями, власними меню, сповіщеннями і повідомленнями про аварійне завершення роботи, а також інструментами для налагодження та профілювання.

Основні особливості включають розширення стандартної бібліотеки *Node.js* функціями, що відповідають за різноманітні події під час взаємодії користувача зі звичайними програмами на комп'ютері.

### 3.2.6. *MySQL*

*MySQL* – це найбільш поширена відкрита реляційна система управління базами даних (СУБД), яку створила та підтримує шведська компанія *MySQL AB*. З технічної точки зору, *MySQL* - це програма, яка управляє файлами, що складають

базу даних, і забезпечує її функціонування. Термін "база даних" також може вказувати як на саму програму, так і на зберігані в ній дані.

Реляційна база даних у *MySQL* містить інформацію, організовану у декількох таблицях. Цей підхід виник на початку сімдесятих років і відмінно від попередніх концепцій баз даних, що нагадували великі електронні таблиці. Хоча проектування реляційних баз даних може вимагати більше зусиль, воно забезпечує підвищену надійність та цілісність даних.

*MySQL* складається з різних компонентів, включаючи сервер *MySQL* (який управляє базою даних), клієнт *MySQL* (який надає інтерфейс для взаємодії з сервером) і різноманітних службових утиліт для обслуговування бази даних. Робота з *MySQL* може вести через різноманітні мови програмування.

*MySQL* написана мовами програмування *C* і *C++*, і вона підтримує різні операційні системи. В деяких операційних системах *MySQL*, починаючи з версії 3.23, може обробляти таблиці об'ємом до 8 мільйонів *терабайт*, а загальний обмежений об'єм становить 4 *ГБ*.

Розглянемо основні характеристики, завдяки яким *MySQL* здобула популярність:

- Відкритий код: *MySQL* є системою управління базами даних з відкритим вихідним кодом. Будь-хто може завантажити програму безкоштовно з сайту розробника та, за необхідності, внести зміни. Існує значна кількість безкоштовних додатків *MySQL*, розроблених сторонніми програмістами. Однак для використання *MySQL* у комерційних додатках потрібно придбати комерційну ліцензовану версію від компанії *MySQL AB*.

- Крос-платформенність: *MySQL* є крос-платформеною системою, її можна використовувати на різних операційних системах, таких як *Windows*, *Linux*, *Mac OS*, *Solaris*, *HP-UX* і інші.

- Багато *API*: *MySQL* підтримує широкий спектр програмних інтерфейсів (*API*), що дозволяє додаткам, написаним на мовах програмування *C/C++*, *Java*, *Perl*, *PHP*, *Python*, *Tcl*, *ODBC*, *NET* і *Visual Studio*, підключатися до бази даних *MySQL*.

- Технічні переваги: *MySQL* володіє високою технічною ефективністю, підтримкою багатопотоковості, швидкодією та масштабованістю. Її розроблено так, щоб забезпечити ефективну роботу в умовах великої кількості користувачів.
- Система безпеки та розмежування доступу: *MySQL* володіє розвиненою системою безпеки і можливістю обмеження доступу на основі системи привілеїв, що забезпечує захист даних та конфіденційність інформації.

### 3.3. Архітектура мікросервісів ГІС

Сервіс для зберігання геоданих є ключовим компонентом архітектури мікросервісів у геоінформаційній системі для сільськогосподарської авіації. Його основною функцією є ефективне та безпечне зберігання всіх видів географічної інформації, такої як геодезичні дані, картографічні шари, аеро- та космічні знімки, топографічні дані та інші важливі геодані.

Цей сервіс використовує сучасні бази даних, такі як *MySQL*, для забезпечення стійкості та надійності зберігання. Дані зберігаються у структурованому форматі, що дозволяє ефективно взаємодіяти з ними за допомогою інших мікросервісів системи.

Основні функції сервісу для зберігання геоданих включають:

- забезпечення безпеки даних: здійснюється шифрування та ідентифікація доступу для забезпечення конфіденційності та цілісності геоданих.
- версіонування даних: забезпечується можливість ведення різних версій геоданих, що робить систему більш гнучкою та відповідною до змін в часі.
- інтеграція з іншими сервісами: забезпечується легка інтеграція з іншими мікросервісами системи для обміну та обробки геоданих в різноманітних контекстах.
- забезпечення резервного копіювання: здійснюється автоматичне резервне копіювання геоданих для запобігання можливим втратам та відновлення даних у випадку непередбачуваних ситуацій.



Сервіс для аналізу просторової інформації спеціалізується на обробці та аналізі геопросторової інформації, надаючи користувачам широкий набір інструментів для взаємодії з геоданими та отримання цінної інформації.

Основні характеристики сервісу для аналізу просторової інформації включають:

- геопросторовий аналіз: забезпечує різноманітні методи аналізу геоданих, такі як буферизація, аналіз близькості, оверлейні операції, районування та інші, для отримання детальної інформації про розташування об'єктів на карті.

- інтерактивні інструменти: надає користувачам можливість взаємодії з картографічним інтерфейсом за допомогою простих та ефективних інтерактивних інструментів, включаючи вибір областей, відображення деталей та перегляд аналітичних результатів.

- візуалізація даних: здійснює візуалізацію результатів аналізу у вигляді картографічних шарів, графіків та діаграм, що дозволяє легко сприймати та розуміти геопросторові взаємозв'язки.

- інтеграція з сервісом зберігання геоданих: взаємодіє з сервісом для зберігання геоданих для отримання доступу до необхідних геоданих та забезпечення консистентності даних.

- аналіз трендів та прогнозування: надає функціонал для аналізу трендів розвитку та прогнозування змін в геопросторових даних для оптимізації прийняття рішень.

- швидкість та масштабованість: забезпечує високу швидкість обробки та аналізу великих обсягів геоданих для ефективного використання ресурсів та задоволення потреб користувачів.

Сервіс для інтерфейсу користувача (*UI*) в мікросервісній виконує ключову роль у взаємодії користувачів з системою та надає зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для роботи з географічними даними. Його основні функції та характеристики включають:

- графічний інтерфейс: сервіс *UI* надає графічний інтерфейс, який включає в себе картографічний візуалізатор, інструменти навігації та можливості взаємодії з геоданими. Це забезпечує користувачам зручний доступ до інформації та засобів аналізу.

- Багатокористувацька підтримка: система має можливість обробки багатьох користувачів одночасно, забезпечуючи персоналізований інтерфейс та контроль доступу до різних рівнів функціональності.

- Інтерактивні інструменти аналізу: сервіс *UI* надає інтерактивні інструменти для виконання аналізу геоданих, такі як вимірювання відстаней, областей, а також можливості створення та редагування шарів на мапі.

- Інтеграція з іншими сервісами: взаємодія з іншими мікросервісами для отримання та відображення геоданих у реальному часі, обмін даними та інтеграція з різноманітними джерелами інформації.

- Адаптивний та респонсивний дизайн: інтерфейс адаптується до різних пристроїв та розмірів екранів, забезпечуючи комфортне користування на різних пристроях.

- Інтегрована довідкова система: наявність довідкової системи та навігаційних вказівок спрощує використання системи для нових користувачів та надає деталізовану інформацію щодо функціональності.

Основним завданням сервісу для аутентифікації та авторизації є контроль доступу користувачів, перевірка їхньої ідентичності та надання прав доступу відповідно до їхніх ролей у системі, ефективне управління доступом та захист від потенційних загроз роблять цей сервіс ключовим для забезпечення безпеки та конфіденційності в усій системі. Функції Сервісу для Аутентифікації та Авторизації:

- Реєстрація та аутентифікація користувачів: сервіс надає можливість реєстрації нових користувачів та здійснення процесу аутентифікації. Для забезпечення безпеки, паролі зберігаються у хешованому вигляді.

- Видача та керування токенами: після успішної аутентифікації користувача, генерується токен, який використовується для подальшої авторизації

під час взаємодії з іншими мікросервісами системи. Сервіс відповідає за видачу, оновлення та валідацію цих токенів.

- Керування ролями та правами: адміністратор системи має можливість призначати користувачам ролі та визначати їхні права доступу. Це забезпечує гнучкість у налаштуванні прав для різних категорій користувачів.

- Моніторинг та логування: сервіс веде журнал подій для моніторингу входів, помилкових спроб авторизації та інших важливих подій щодо безпеки системи.

- Захист від атак: застосовуються заходи безпеки, такі як обмеження кількості невдалих спроб входу, застосування тайм-аутів та шифрування комунікацій для захисту від можливих атак.

- Інтеграція з сервісами: сервіс для аутентифікації та авторизації інтегрується з іншими мікросервісами системи, забезпечуючи централізоване керування безпекою.

### 3.4. Детальне проектування

Детальне проектування слідує за створенням структури. Це підготовка проекту до реалізації. Серед головних задач проектування системи є:

- компоненти та їх взаємозв'язки;
- розробка баз даних;
- розробка вимог до системи.

Діаграма класів (рис. 3.1.) зображує статичний вигляд програми. Він представляє типи об'єктів, що знаходяться в системі, і зв'язки між ними. Клас складається зі своїх об'єктів, а також він може успадковуватися від інших класів. Діаграма класів використовується для візуалізації, опису, документування різних аспектів системи, а також для створення виконуваного програмного коду. Основна мета діаграм класів – побудувати статичний вигляд програми. Це єдина діаграма, яка широко використовується для побудови, і її можна відобразити за допомогою об'єктно-орієнтованих мов. Це одна з найпопулярніших діаграм *UML*.

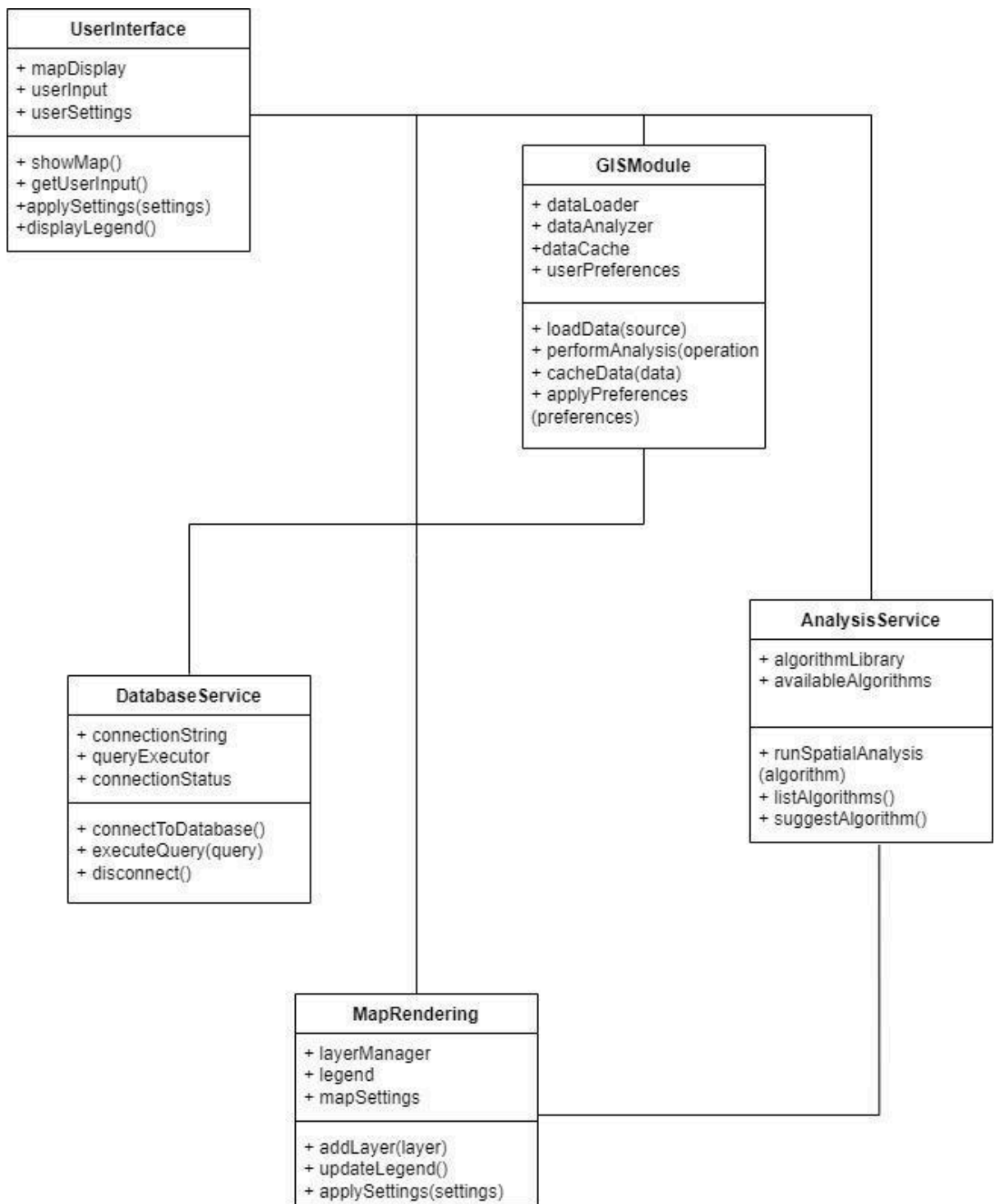


Рис. 3.1. Діаграма класів застосунку

*UserInterface* (Інтерфейс користувача): Цей клас відповідає за взаємодію користувача з системою. Він має атрибут *mapDisplay* для відображення мапи та *userInput* для зберігання введених даних користувача. Метод *showMap()* відображає мапу на інтерфейсі, а *getUserInput()* збирає введені користувачем дані.

*GISModule* (Модуль ГІС): Цей клас відповідає за обробку геоданих. Він має атрибути *dataLoader* та *dataAnalyzer* для завантаження та аналізу геоданих відповідно. *dataCache* використовується для тимчасового зберігання даних, а *userPreferences* дозволяє враховувати налаштування користувача.

*DatabaseService* (Сервіс бази даних): Цей клас взаємодіє з базою даних для забезпечення зберігання та отримання геоданих. Він має атрибут *connectionString* для підключення до бази даних та *queryExecutor* для виконання *SQL*-запитів.

*AnalysisService* (Сервіс аналізу): Цей клас відповідає за виконання аналітичних операцій на геоданих. Він має атрибут *algorithmLibrary* для використання різних алгоритмів. Метод *runSpatialAnalysis(algorithm)* запускає просторовий аналіз з використанням конкретного алгоритму.

*MapRendering* (Відображення мапи): Цей клас відповідає за відображення мапи. Він має атрибути *layerManager* для управління різними шарами на мапі та *legend* для відображення легенди. Метод *addLayer(layer)* додає новий шар на мапу, а *updateLegend()* оновлює легенду.

### 3.5. Клієнтська частина

Мова програмування *JavaScript* використовується для створення клієнтської частини веб-системи, і для цього використана бібліотека *React.js*. Функціональність клієнтської частини зорієнтована на взаємодію з сервером, забезпечуючи відправку та отримання даних. Організація файлів клієнтської частини представлена у визначеній структурі, яка ілюструється на рисунку 3.2.

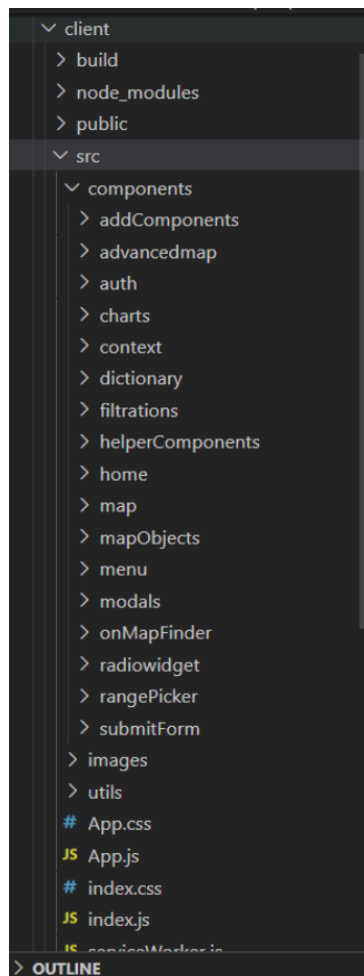


Рис. 3.2. Розміщення файлів на клієнті

Файли в системі організовані за логічним принципом: Компоненти (у папці *components*) включають:

- *regions.jsx* (у папці *mapObjects*) для відображення регіонів та їхнього коліру відповідно до нормування;
- *dateRangePicker.jsx* для вибору актуальної дати;
- *onMapFinder.jsx* для пошуку за адресою або координатами та переходу до обраного об'єкта на мапі;
- *menu.jsx* як компонент головного меню для взаємодії з додатком.

У папці *images* розташовані зображення, які не можна отримати з бази даних запитом, наприклад, зображення для слайдера. Папка *utils* включає файли, що використовуються в різних частинах системи, такі як *helpers.jsx*, який обчислює за формулами та виконує пошук максимальних та мінімальних значень в різних середовищах, а також інші файли для роботи із сервером та клієнтом.

Для правильної роботи *React.js* та уникнення помилок використовуються файли *App.js* та *index.js*, які створені для кореневого компоненту. У випадку хостингу на віддаленому сервері використовуються згенеровані файли з папки *public*. Для забезпечення нормальної роботи додатку створено папку *node\_modules*, яка містить всі необхідні бібліотеки та файли. *README.md* містить інструкції та допомагає розробникам вирішити можливі проблеми під час збірки або запуску проекту.

Компонент, що відповідає за відображення мапи, легенди, кнопок та інших елементів, має назву *LeafletMap* і виглядає так:

```
<div>
  <LeafletMap
    center={MAP_CENTER_COORDS}
    zoom={6}
    maxZoom={15}
    attributionControl={true}
    zoomControl={true}
    doubleClickZoom={true}
    scrollWheelZoom={true}
    dragging={true}
    animate={true}
    easeLinearity={0.35}
    ref={MapRef}
    preferCanvas={true}
    onclick={addGeographicalObjectToMap}
  >
    <TileLayer url={OPEN_STREET_MAP_URL} />
  </LeafletMap>

  <UpButton show={SetSettingsShow} />
</div>
```

Для відображення геометричних об'єктів на карті, таких як точки, криві, ламані лінії, геометричні фігури і т. д., були створені наступні поля:

- Поле центру (*center*): Визначає географічні координати, які користувач побачить при відкритті карти вперше.
- Поля для керування масштабом карти: *Zoom* та *maxZoom*.
- Поля для візуальної взаємодії з картою (анімація): *easeLinearity*, *dragging*, *animate*.

Також був створений компонент "*Legend*", який вбудований у структуру компонента *LeafletMap*. Цей компонент відображає легенду на карті та дозволяє користувачеві взаємодіяти з нею, натискати на кнопки та вибирати режими "Точки" або "Області".

Розглянемо докладніше один з компонентів, що відповідають за зображення геометричних об'єктів на мапі – *Point*:

```
const Point = ({
  id,
  coordinates,
  Name_object,
  description,
  image,
  emissions,
  owner_type,
  handleClick,
  setComparePointId,
  isPointsNonEditable,
  EnvironmentAttachment,
  emissionsStats,
  isAdvanced
}) => {
  const [isCompare, setCompare] = useState(false);
```

Щоб описати точку на карті, необхідно отримати масив даних з сервера на клієнт та розмістити їх у власних полях, таких як:

- Унікальний ідентифікатор (*id*) для кожної точки в базі даних.
- Координати точки на карті (*coordinates*), що включають поля *lat* (широта) та *lng* (довгота).
- Поле, в яке записується назва точки при створенні або редагуванні експертом (*Name\_object*).
- Поле, створене для зберігання характеристик точки, яке експерт, що його створив або відредагував, вводить (*description*).
- Поле для зберігання зображення, яке завантажується з бази даних і відображається на мапі замість точки (*image*).



- Поле *emissions*, що містить інформацію про точку: назву, максимальні, мінімальні та середні дані про викиди, дату викиду тощо.
- *handleClick* – обробник події при натисканні на точку.
- *setComparePointId* – додає ідентифікатори об'єктів, які потрібно порівняти між собою.
- *isPointsNonEditable* – додатковий параметр для перевірки можливості редагування точки.
- *EnvironmentAttachment* – використовується на *Advanced* мапі для зберігання списку середовищ, які були вибрані.
- *emissionsStats* – підраховані значення, які впливають на відображення маркеру.
- *isAdvanced* – визначає, чи знаходиться маркер на *Advanced* мапі чи на звичайній.

---

Початок форми

---

### 3.6. Серверна частина

Для втілення серверної частини веб-системи використано мову програмування *JavaScript* за допомогою *Node.js*. Сервер володіє наступними функціональностями:

- обробляє запити, що надходять від клієнтської частини додатку;
- здійснює взаємодію з базою даних;
- динамічно завантажує зображення для додатку.

Файли серверної частини системи розташовані у вигляді, який зображено на рисунку 3.3.

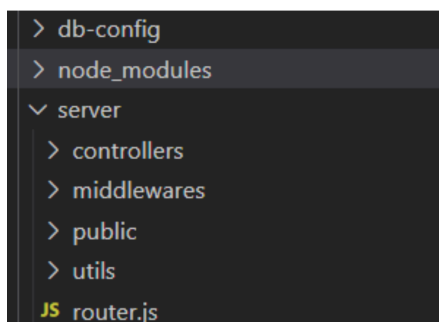


Рис. 3.3 Розміщення файлів серверної частини

Розміщення файлів у такій структурі є необхідним для чіткого відокремлення логічних компонентів системи:

- *db-config* включає файли, які містять конфігураційні параметри для доступу до бази даних додатку.
- Для забезпечення нормального функціонування додатку була створена папка *node\_modules*, яка містить всі необхідні бібліотеки та файли, що встановлені на серверній частині для правильної роботи сайту.
- *server* включає кілька папок, в яких зберігається практично все, що необхідно для належної комунікації між сервером та клієнтом.
- *controllers* включає файли, які відокремлюють код для обробки запитів від коду, що відповідає за *HTTP*-запити.
- *public* містить необхідні статичні файли для використання "*/public*", наприклад, для завантаження зображень маркерів, сервер повинен звертатися до цієї папки та витягувати будь-які необхідні дані.
- *utils* містить файли, які використовуються в різних частинах створеної системи, такі як компонент (*helpers.js*), який визначає діапазон нормування і в залежності від цього змінює колір маркера відповідно до цього діапазону.
- *router.js* містить опис реакції кінцевих точок програми (*URI*) на запити клієнтської частини.

### 3.7. База даних

Модуль геопросторового аналізу даних використовує лише ті таблиці з бази даних, які необхідні для розробки даного модулю, інші таблиці можуть бути використані в інших модулях або в десктоп версії системи *KEEM*. Розглянемо приклад різних таблиць, які використовувалися в розробці модулю, наприклад, "*poi*" (рисунок 3.4). Ця таблиця має наступні поля:

- "*id*": це поле призначене для запису унікального ідентифікатора *poi* (точки) в базі даних.

- "id\_of\_user": поле, яке використовується для запису ідентифікатора користувача, який створив конкретну *poi* (точку).
- "type": поле, призначене для запису типу *poi* (точки).
- "Coord\_Lat": поле для збереження значення широти координати.
- "Coord\_Lng": поле для збереження значення довготи координати.
- "description": поле для збереження характеристик та опису *poi* (точки).
- "Name\_Object": поле для збереження зображення для *poi* (точки), яке відображається на карті.

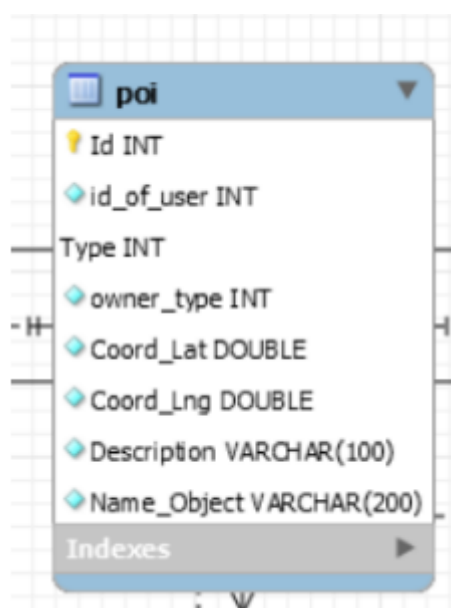


Рис. 3.4 – Таблиця *poi*

Розглянемо таблицю, яка використовується для збереження інформації про полігони (рисунок 3.5):

- "id\_of\_polygon": це поле призначене для запису унікального ідентифікатора полігону в базі даних.
- "brush\_color\_r", "brush\_color\_g", "brush\_color\_b", "brush\_color\_alpha": ці поля використовуються для запису числових значень каналів RGB та альфа-каналу в кольоровій моделі, що визначає колір тла та його прозорість на карті.
- "line\_color\_r", "line\_color\_g", "line\_color\_b", "line\_alpha": ці поля використовуються для запису числових значень каналів RGB та альфа-каналу в кольоровій моделі, що визначає колір контуру та його прозорість на карті.

- "*line\_thickness*": це поле використовується для запису значення, яке визначає товщину контуру полігону.
- "*name*": поле, яке містить назву, введену користувачем при створенні або редагуванні полігону.
- "*id\_of\_user*", "*id\_of\_expert*": ці поля використовуються для запису ідентифікаторів користувача і експерта, які створили полігон, та вони є унікальними.
- "*description*": це поле використовується для запису характеристик та опису полігону.

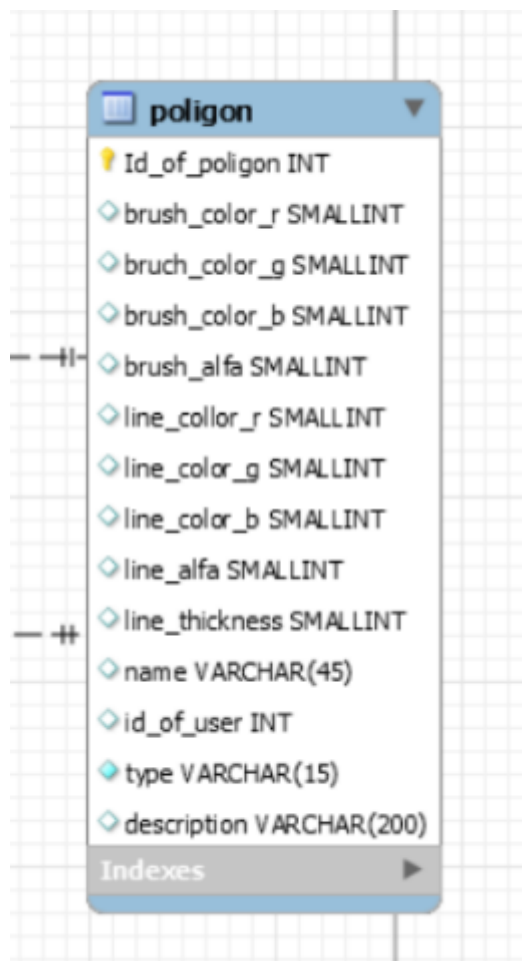


Рис. 3.5 Таблиця *polygon*

Розглянемо таблицю, яка використовується для збереження інформації про маркери, що відображаються на карті (*type\_of\_object*, рисунок 3.6):

- "id": це поле використовується для запису унікального ідентифікатора маркера в базі даних.
- "name": це поле призначене для запису назви маркера.
- "image": це поле використовується для збереження зображення іконки маркера.
- "image\_name": це поле використовується для запису назви іконки маркера, щоб правильно відобразити його на карті.

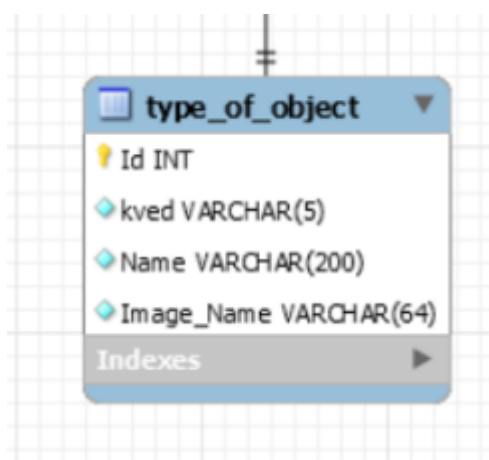


Рис. 3.6 – Таблиця *type\_of\_object*

### 3.8. Висновки до розділу

Розділ "Розробка ГІС для сільськогосподарської авіації" є ключовим у визначенні структури та функціоналу геоінформаційної системи. Опис архітектури та функціональних вимог до програмного модуля надає зрозумілу картину проєкту та визначає його основні характеристики. Вибір технологій є критичним етапом, оскільки від цього залежить ефективність та надійність роботи системи. Архітектура мікросервісів ГІС дозволяє розподілити функціонал на невеликі, автономні компоненти, полегшуючи розвиток та підтримку системи.

Детальне проєктування розглядається як стратегічний крок у визначенні структури та взаємодії всіх компонентів системи. Клієнтська та серверна частини, а також база даних, стають основними елементами, що визначають функціонал та

продуктивність системи. Забезпечуючи зручний інтерфейс користувача та оптимізовану обробку даних на сервері, система стає більш доступною та ефективною для користувачів.

Таким чином, розділ дозволяє глибше розібратися у внутрішній структурі та функціоналі геоінформаційної системи для сільськогосподарської авіації.

У цьому розділі була проведена детальна розробка геоінформаційної системи для сільськогосподарської авіації, що включала в себе опис архітектури та функціональних вимог до програмного модуля, вибір технологій, розробку архітектури мікросервісів ГІС, а також детальне проектування, включаючи клієнтську та серверну частини, а також базу даних.

Архітектура системи розроблена з урахуванням вимог сільськогосподарського сектору та специфіки авіаційного використання. Вибір технологій базується на найсучасніших розробках у галузі та забезпечує оптимальні характеристики системи. Архітектура мікросервісів гарантує гнучкість та масштабованість, що є критичними вимогами для великих та динамічних застосувань.

Детальне проектування включає в себе створення зручного та ефективного інтерфейсу користувача для забезпечення зручності використання системи. Клієнтська та серверна частини оптимізовані для швидкої та надійної обробки даних.

Отже, цей розділ став ключовим кроком у розробці сучасної та продуктивної геоінформаційної системи для потреб сільськогосподарської авіації.

## РОЗДІЛ 4

### АНАЛІЗ СИСТЕМИ ТА ЇЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ

#### 4.1. Результат розробки

Програмне забезпечення для моніторингу сільськогосподарських полів за допомогою геоінформаційних систем варіюється залежно від визначених завдань. Різні інструменти можуть відображати різноманітні аспекти, такі як види сільськогосподарських культур або рівень вологості ґрунту. Загалом використання геоінформаційних систем дозволяє підняти сільське господарство будь-якого типу на новий якісний рівень розвитку. Крім того, таке програмне забезпечення може бути корисним в суміжних галузях, наприклад, для аналізу економічної ефективності та витрат в лісозаготівлі.

Наша платформа (приклад рисунок 4.1.) є прикладом застосування ГІС-технологій в сільському господарстві. Наша платформа містить історичні дані щодо продуктивності поля, аналітику на основі вегетаційних індексів, точні прогнози погоди на 14 днів. До функціонала цієї платформи також входить:

- Інструмент скаутингу, що оптимізує управління завданнями та дозволяє скаутам створювати та висилати звіти в режимі реального часу, і журнал польових робіт, який сприяє плануванню, координації та контролю всіх польових операцій, представляють собою інтегровану платформу.

- Наявність всіх цих функцій в одному місці сприяє розвитку сільського господарства та взаємодії з організаціями, що займаються ним.

Платформа може обробляти ГІС-дані для сільського господарства із зовнішніх джерел. Наприклад, інструмент *Data Manager* дозволяє інтегрувати інформацію з датчиків сільськогосподарської техніки до бази платформи. При цьому система взаємодіє з форматами файлів *SHP* та *ISO-XML*, що є двома найбільш поширеними. Отримана інформація надає можливість оцінювати врожайність конкретної сільськогосподарської культури, аналізувати ефективність використання добрив та

розробляти стратегії для довгострокового виробництва та розвитку сільськогосподарських підприємств.

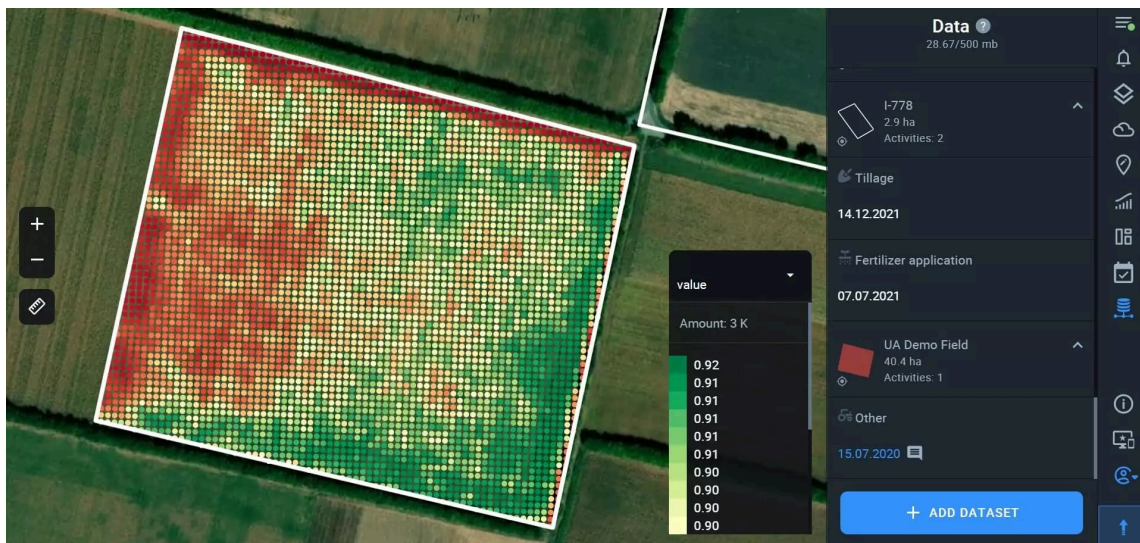


Рис. 4.1. Приклад використання платформи

Отже, функціонал, який пропонує платформа наочно підкреслює значущість впровадження ГІС-технологій в агросекторі.

#### 4.2. Основні напрямки використання ГІС в сільському господарстві

Останнім часом, завдяки технологічному прогресу, зростає кількість можливостей використання ГІС-технологій у сільському господарстві. Розглянемо кілька ключових сфер застосування геоінформаційних систем у сільському господарстві.

##### Точне сільське господарство

ГІС-технології дозволяють створювати докладні карті вегетації та продуктивності сільськогосподарських полів, що сприяє оптимізації управлінських рішень в галузі сільського господарства. Використовуючи інструменти ГІС у сфері агрономії, можна аналізувати стан рослинності на всьому полі чи на конкретних



ділянках (рисунок 4.2.). Інформація, зібрана за допомогою ГІС-технологій, використовується для внесення коригувань у процеси посіву, внесення поживних речовин, застосування гербіцидів та добрив.

Платформа також надає можливість створювати карти продуктивності полів на основі даних з попередніх років. Ці карти допомагають ідентифікувати продуктивні та менш продуктивні ділянки, що може вимагати додаткових заходів, наприклад, внесення калійно-фосфорних добрив.



Рис. 4.2. Карта продуктивності на основі історичних даних із визначенням більш і менш продуктивних ділянок поля

### Картування полів

Застосування геоінформаційних систем в агрономії значно спрощує аналіз стану ґрунту та сільськогосподарських культур. Зокрема, ГІС-технології дозволяють створювати карти продуктивності та вегетації на основі індексу *NDVI* та інших вегетаційних показників. Крім того, картографування полів сприяє оптимізації моніторингу посівів та управління сільськогосподарським виробництвом загалом.

Аналіз стану сільськогосподарських культур у конкретні дні дозволяє вивчити вплив різних факторів на врожайність. Функція розділеного екрана (*Split View*) на

платформі дозволяє порівнювати поточний стан поля з даними за попередній тиждень, місяць або навіть рік. Також можна перевірити продуктивність поля в конкретний день на основі двох різних вегетаційних індексів(рисунк 4.3).

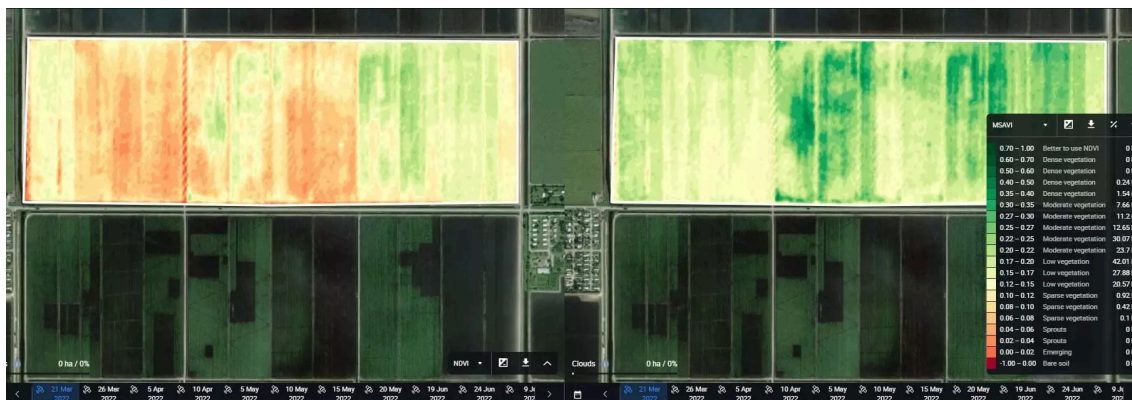


Рис. 4.3. Порівняння індексів *NDVI* та *MSAVI* для оцінки стану посівів на ранньому етапі розвитку.

За даними індексу *NDVI* на поданій карті, деякі ділянки полів можуть вимагати повторного посіву через нерівномірний виріст насіння. Тим не менше, розроблений спеціально для відстеження сходів індекс *MSAVI* свідчить про рівномірний розподіл рослинності по всій площі поля.

### Моніторинг стану посівів

Ручна перевірка стану посівів на великій площі є повільним та витратним методом контролю, який може стати викликом. Вирішення цієї проблеми надходить за допомогою дистанційного зондування та використання геоінформаційних систем в сільському господарстві.

Застосування ГІС-технологій в точному сільському господарстві дозволяє точно визначити, які саме рослини на полі вимагають особливого догляду. З використанням датчиків на супутниках та літаках можна моніторити температуру сільськогосподарських культур. Високі показники температури можуть вказувати на наявність хвороби, атаку шкідників або дегідратацію рослин.

ГІС-технології вирішують проблему ефективності та точності, дозволяючи сільському господарю зосередитися на конкретних ділянках, де потрібен особливий втручання. Вони дозволяють автоматизувати процес виявлення проблем та вчасно реагувати на них. Такий підхід полегшує ведення сільськогосподарських робіт та забезпечує підвищену продуктивність виробництва.

### Моніторинг випасу худоби

Використання геоінформаційних систем виявляється ефективним і в сфері відстеження руху тварин в сільському господарстві. Фермери можуть використовувати інструменти ГІС-технологій для контролю за випасом худоби та відстеження її стану, розвитку, плодючістю і харчуванням. Цей підхід дозволяє фермерам забезпечувати оптимальні умови для тварин та підтримувати їхнє здоров'я.

Для використання відповідної програми фермерам потрібно встановлювати трекери на тваринах та використовувати портативний пристрій для отримання та відображення даних з цих трекерів. Такий підхід дозволяє фермерам отримувати реальні дані щодо місцезнаходження та активності тварин. Інформація про випас худоби, їхню фізичну активність та інші аспекти стає легко доступною та аналізованою завдяки ГІС-технологіям.

Застосування таких технологій дозволяє фермерам не лише ефективніше використовувати пасовища, але й забезпечувати індивідуальний підхід до кожної тварини, вдосконалюючи управління худобою в сільському господарстві.

### Боротьба з комахами та шкідниками

Перевірка великих сільськогосподарських полів на предмет наявності шкідників вимагає великої витрати ресурсів та часу, а обстеження всіх площ часто стає неефективним. ГІС-технології для сільського господарства, ґрунтуючись на

супутникових даних та використанні алгоритмів глибокого навчання, значно спрощують цей процес(рисунок 4.3.)

Шляхом використання вегетаційних індексів на платформі можна виявляти різноманітні загрози на полях, від забур'янення посівів до захворювань рослин. Завдяки можливостям ГІС-технологій в сільському господарстві на індексній карті можна виділити конкретні ділянки з низькою вегетацією, що дозволяє скаутам уникати інспекції всього поля.



Рис. 4.3. Визначення ділянок низької рослинності на полі для мінімізації площі для інспектування

### Управління іригацією

Тривала посуха та обильні дощі однаково впливають на зниження врожайності. Завдяки ГІС-технологіям в сільському господарстві фермери можуть оцінити рівень водного стресу для кожної культури та візуалізувати ознаки надлишку або дефіциту вологи для подальшого налаштування систем зрошення (рисунок 4.4).

Зазвичай водний стрес визначають за допомогою індексів *NDWI* та *NDMI*, при цьому останній є стандартним проектом. Індекс *NDMI* операційний в діапазоні від -1

до 1, що робить процес інтерпретації даних досить інтуїтивно зрозумілим. Негативні значення (близько до -1) вказують на дефіцит води, а позитивні (близько до 1) – на її надлишок.

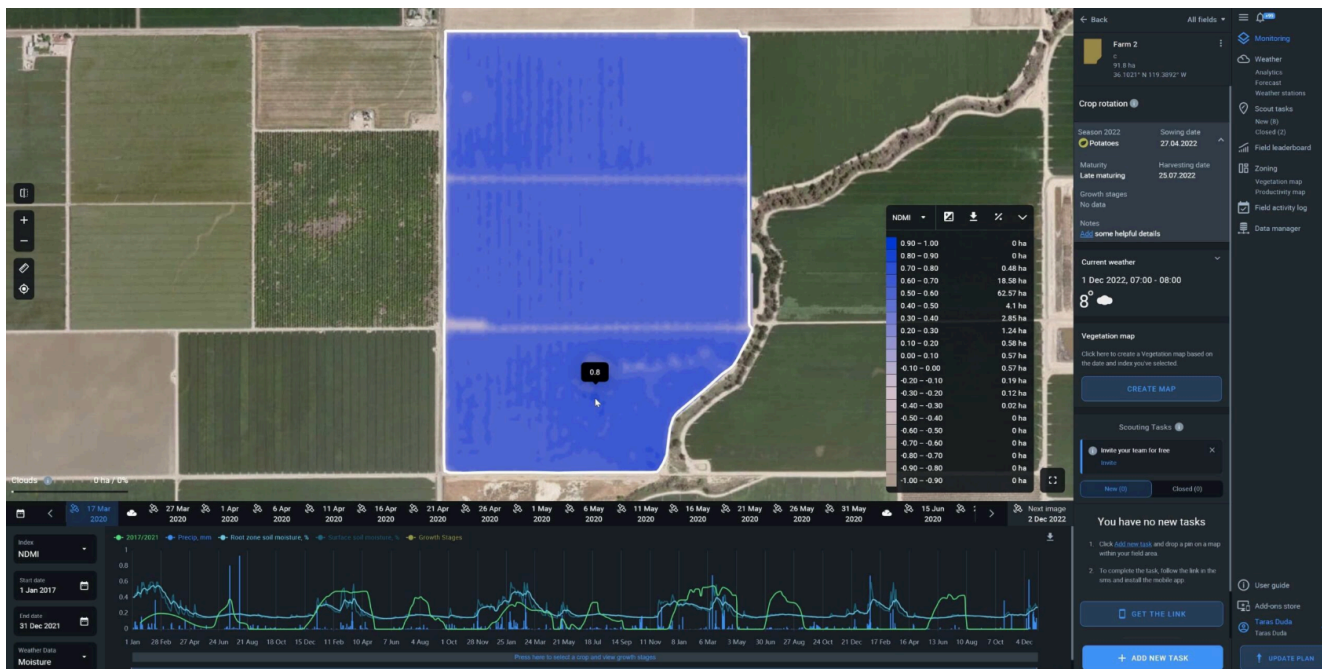


Рис. 4.4. Ідентифікація дефіциту води за допомогою індексу *NDMI*

## Розподіл поживних речовин

В сільському господарстві також можна використовувати ГІС-технології для визначення наявності та обсягу поживних речовин у ґрунті. Якщо виявляється дефіцит поживних речовин, агрономи можуть своєчасно внести додаткові добрива.

## Прогнозування врожайності сільськогосподарських культур

Оцінка врожайності має важливе значення для урядових організацій і приватних компаній, які забезпечують надійне постачання продовольства, а також для прогнозування прибутку та складання бюджету. Розвиток ГІС-технологій для сільського господарства, які включають супутникову аналітику, дистанційне зондування, великі дані та штучний інтелект, сприяє зростанню ефективності цього

процесу. Продукти *EOSDA* використовують історичні та актуальні супутникові дані для прогнозування врожайності з точністю понад 90%.

Сільське господарство – це лише одна з багатьох галузей, де можна використовувати ГІС-технології. Також ці технології застосовуються для охорони навколишнього середовища, управління знелісненням та лісовідновленням, розбудови міст, ліквідації наслідків стихійних лих та інших сфер діяльності.

### Використання ГІС-технологій у різних галузях агросектору

Необхідність впровадження ГІС в агросфері визначається перевагами та можливостями оптимізації виробничих та управлінських процесів, які користуються попитом не лише серед сільгоспвиробників, але і серед інших підприємств агросфери. Розглянемо детальніше переваги використання ГІС-технологій у різних галузях.

#### 4.3. Висновки до розділу

У розділі "Аналіз системи та її характеристики" проведено вивчення результатів розробки геоінформаційної системи для сільського господарства, а також визначено основні напрямки використання ГІС в цій галузі.

Результати розробки підтверджують високий рівень функціональності та ефективності геоінформаційної системи, яка дозволяє здійснювати точний аналіз та управління сільськогосподарськими процесами. Здобуті дані та характеристики системи вказують на його здатність оптимізувати виробничі та управлінські процеси в сільському господарстві, сприяючи підвищенню продуктивності та ефективності.

Основні напрямки використання ГІС в сільському господарстві визначаються можливістю впровадження системи для точного контролю та управління виробничими ресурсами, моніторингу росту та розвитку рослин, аналізу ґрунтових умов та визначення оптимальних областей для ведення сільськогосподарської діяльності.

Отже, аналіз системи та її характеристик свідчить про перспективність та практичну цінність використання ГІС у сільському господарстві, що може призвести до покращання результативності та стійкості агросектору.

Отримані результати свідчать про значний потенціал ГІС для розширення функціоналу та підвищення точності прийняття управлінських рішень у сільському господарстві.

Основні напрямки використання ГІС визначають перехід до точного землеробства, де вірний аналіз просторових та атрибутивних даних дозволяє сільгоспвиробникам ефективно використовувати ресурси, зменшуючи витрати та максимізуючи врожайність. Окрім того, ГІС забезпечує підтримку сталого розвитку, допомагаючи зменшити вплив сільськогосподарської діяльності на навколишнє середовище.

Узагальнюючи, результати аналізу демонструють, що впровадження ГІС в сільському господарстві є важливим етапом у модернізації галузі, сприяючи підвищенню ефективності виробництва та створенню стійкої та конкурентоспроможної агросистеми.

## ВИСНОВКИ

В Україні тема "Геоінформаційна система для сільськогосподарської авіації" має велике значення в зв'язку з постійним розвитком сільського господарства та потребою вдосконалення методів його управління. На сьогоднішній день існують деякі готові варіанти геоінформаційних систем, але вони не підходять для використання в авіаційній сфері сільського господарства з різних причин. Наприклад, деякі системи можуть бути недостатньо адаптовані до специфічних потреб авіаційного сільськогосподарського виробництва, інші можуть не забезпечувати необхідної точності та швидкості обробки великих обсягів геопросторових даних, що є важливим для авіаційних вимірювань.

Опис архітектури та функціональних вимог до програмного модуля включає в себе розгляд структури системи, вимоги до її функціональності та можливостей. Вибір технологій вимагає обґрунтування вибору технологій, що лягли в основу розробки геоінформаційної системи. Архітектура мікросервісів ГІС передбачає детальний опис архітектури мікросервісів, їх взаємодію та спільність, а також переваги такого підходу до побудови геоінформаційної системи. Детальне проектування вимагає розгляду конкретного проектування системи, розробки діаграм класів, послідовності, станів тощо.

Клієнтська та серверна частини, база даних потребують розгляду аспектів розробки цих складових геоінформаційної системи. Моделі даних у ГІС включають вибір та опис моделі даних, яка використовується в геоінформаційній системі для представлення геопросторової і атрибутивної інформації. Обробка і організація інформації у ГІС передбачає детальний розгляд процесів обробки та організації геопросторових даних в межах геоінформаційної системи. Введення інформації в ГІС, введення даних у ГІС з растровою моделлю даних передбачає опис процесів введення інформації в геоінформаційну систему, включаючи дані з растровою моделлю.



Аналіз інформації в ГІС, оверлейні операції, перекласифікація включають розгляд аналізу геопросторових даних, проведення різних операцій над ними та їх класифікацію. Загальний висновок: в ході дослідження було виявлено, що існуючі геоінформаційні системи не відповідають вимогам сільськогосподарської авіації через обмежену точність, швидкість обробки великих обсягів даних та недостатню адаптованість до специфіки авіаційного виробництва. Розроблена геоінформаційна система враховує всі ці вимоги та може ефективно використовуватися в сільському господарстві з використанням авіаційних технологій.

У результаті проведеного дослідження та розробки було досягнуто значних результатів. В першу чергу, була ретельно проаналізована проблематика існуючих геоінформаційних систем і їх непридатність для використання в авіаційній сфері сільського господарства. На основі цього аналізу були визначені основні вимоги до нової системи, яка мала б враховувати специфіку сільськогосподарської авіації, зокрема, потребу в точності, швидкості обробки даних та адаптивності до вимог авіаційного виробництва.

Після цього було проведено детальне проектування геоінформаційної системи, включаючи вибір технологій, розробку архітектури мікросервісів, моделі даних, обробку та організацію інформації, аналіз даних та багато іншого. В цьому процесі було враховано всі вимоги до системи, що були визначені на попередніх етапах.

Основним досягненням роботи стало створення геоінформаційної системи, яка відповідає всім поставленим вимогам. Нова система забезпечує необхідну точність та швидкість обробки великих обсягів геопросторових даних, а також адаптована до специфіки авіаційного виробництва. Таким чином, була досягнута мета розробки геоінформаційної системи для сільськогосподарської авіації, що відповідає потребам галузі та є ефективним інструментом для управління сільським господарством з використанням авіаційних технологій.

## СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Положення про дипломні роботи (проекти) випускників Національного Авіаційного Університету. Київ: НАУ, 2017.
2. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. ДСТУ 3008-95. Київ.
3. Ви не знаєте *JS* (серія книг) – [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://github.com/azat-io/you-dont-know-js> (дата звернення: 15.10.2023)
4. Особливості розвитку авіаційної галузі на міжнародному та національному рівні в умовах глобалізації [Електронний ресурс] – режим доступу: [https://ev.nmu.org.ua/docs/2017/4/EV20174\\_092-099.pdf](https://ev.nmu.org.ua/docs/2017/4/EV20174_092-099.pdf) (дата звернення: 4.10.2023)
5. Форум науково-технічних статей по *IT* технологіях [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://medium.com/> (дата звернення: 6.10.2023)
6. *Addressing Time Windows in Periodic Vehicle Routing Problems* [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://www.transportationjournal.com/addressing-time-windows-periodic-vehicle-routing-problems> (дата звернення: 16.10.2023)
7. *Allen, Richard. "Cross-Platform UI Widgets: A Practical Guide for Developers." Development Insights, 2020, с. 78-94.*
8. *Adapting to Dynamic and Stochastic Demands in Vehicle Routing: A State-of-the-Art Review* [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://www.researchinlogistics.com/adapting-dynamic-stochastic-demands-vehicle-routing-review> (дата звернення: 23.10.2023)
9. *Brown, Emily. "Mobile App Design Principles: A Guide to Creating Engaging User Interfaces." DesignHub. [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://www.designhub.com/mobile-app-design-principles> (дата звернення: 4.11.2023)*
10. *Comprehensive Catalog of UI Widgets for Cross-Platform Development* [Електронний ресурс] – режим

доступу: <https://www.uicatalog.dev/comprehensive-catalog-ui-widgets-cross-platform-development> (дата звернення: 4.11.2023)

11. *Dart: Revolutionizing Cross-Platform Development* [Електронний ресурс] – режим

доступу: <https://www.dartrevolution.com/dart-revolutionizing-cross-platform-development> (дата звернення: 1.11.2023)

12. *Disruptive Technologies in Logistics: A Comprehensive Review* [Електронний ресурс] – режим

доступу: <https://www.logisticsinsights.com/disruptive-technologies-logistics-comprehensive-review> (дата звернення: 6.11.2023)

13. *Evolution of Vehicle Routing Optimization: A Comprehensive Review* [Електронний ресурс] – режим

доступу: <https://www.journaloflogistics.com/evolution-vehicle-routing-optimization-comprehensive-review> (дата звернення: 20.10.2023)

14. *Future Perspectives in Vehicle Routing and Backhauling Strategies* [Електронний ресурс] – режим

доступу: <https://www.logisticsfuture.com/future-perspectives-vehicle-routing-backhauling-strategies> (дата звернення: 10.10.2023)

15. Garcia, Maria. "Comparative Analysis of UI Frameworks for Cross-Platform Mobile Development." *Journal of Mobile App Development*, 2021, vol. 8, no. 3, с. 112-128.

16. *Hybrid Metaheuristic Algorithms for Dynamic Vehicle Routing Problems* [Електронний ресурс] – режим

доступу: <https://www.journalofoperations.com/hybrid-metaheuristic-algorithms-dynamic-vehicle-routing-problems> (дата звернення: 10.10.2023)

17. *Integrating Sustainable Practices in Fleet Management for Waste Collection* [Електронний ресурс] – режим

доступу: <https://www.sustainabilityinlogistics.com/integrating-sustainable-practices-fleet-management-waste-collection> (дата звернення: 21.10.2023)

18. *New benchmark instances for the Capacitated Vehicle Routing Problem.* *European Journal of Operational Research* [Электронный ресурс] – режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/306069468\\_New\\_Benchmark\\_Instances\\_for\\_the\\_Capacitated\\_Vehicle\\_Routing\\_Problem](https://www.researchgate.net/publication/306069468_New_Benchmark_Instances_for_the_Capacitated_Vehicle_Routing_Problem) (дата звернения: 8.10.2023)
19. *Novel Approaches to Optimizing Vehicle Routes in Urban Environments* [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://www.logisticsjournal.com/novel-approaches-optimizing-vehicle-routes-urban-environments> (дата звернения: 10.10.2023)
20. *Hybrid Metaheuristic Algorithms for Dynamic Vehicle Routing Problems* [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://www.journalofoperations.com/hybrid-metaheuristic-algorithms-dynamic-vehicle-routing-problems> (дата звернения: 10.10.2023)
21. *Tactical Time Slot Management in Distribution Networks: Insights and Perspectives* [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://www.distributionjournal.com/tactical-time-slot-management-distribution-networks-insights-perspectives> (дата звернения: 23.10.2023)
22. *Optimization Models for Dynamic Drone Routing with Adaptive Depots* [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://www.droneresearch.com/optimization-models-dynamic-drone-routing-adaptive-depots> (дата звернения: 23.10.2023)
23. *The Power of Flutter in Building Versatile Cross-Platform Apps* [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://www.crossplatformpower.com/power-flutter-building-versatile-cross-platform-apps> (дата звернения: 3.11.2023)
24. *UML 2 Use Case Diagramming Guidelines* [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://agilemodeling.com/style/useCaseDiagram.htm> (дата звернения: 9.11.2023)
25. *"User Experience Trends in Cross-Platform Development."* *UX Trends Magazine.* [Электронный ресурс] – режим доступа:

*<https://www.uxtrendsmag.com/user-experience-trends-cross-platform-development>* (дата звернення: 14.10.2023)