

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук

Кафедра Програмної інженерії

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 121– Інженерія програмного забезпечення

(код і повна назва)

Освітньо-професійна програма Програмне забезпечення систем

(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

« ____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ

НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

Студентові Славгородському Станіславу Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження методів візуалізації контурів для інтелектуальної

ГІС

затверджена наказом по університету від « ____ » _____ 2019 р № Стз

заповнюється вручну після отримання наказу

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії

10 грудня 2019 р.

3. Вихідні дані до роботи проаналізувати існуючі алгоритми, що використовуються для вимог підтримки прийняття рішень, базові алгоритми побудови складних форм, математичні методи роботи з геометричними об'єктами, графічні карти різної складності, пояснювальна записка

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі мета роботи, аналіз проблемної галузі і постановка задачі, опис запропонованих варіантів оптимізації, використовувані методи та алгоритми, опис розробленої програмної системи, опис застосованих оптимізацій, аналіз можливих застосувань

5. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посаду, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
Спецчастина	проф. Шостак І.В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз предметної галузі	10 жовтня 2019 р.	
2.	Огляд існуючих методів	27 жовтня 2019 р.	
3.	Проектування та розробка ПЗ	15 листопада 2019 р.	
4.	Підготовка пояснювальної записки	25 листопада 2019 р.	
5.	Спецчастина	26 листопада 2019 р.	
6.	Підготовка презентації та доповіді	30 листопада 2019 р.	
7.	Попередній захист	10 грудня 2019 р.	
8.	Нормоконтроль, рецензування	11 грудня 2019 р.	
9.	Занесення диплома в електронний архів	12 грудня 2019 р.	
10.	Допуск до захисту в зав. кафедри	14 грудня 2019 р.	
* заповнюється вручну після виконання чергового пункту			

Дата видачі завдання 2019 р.Студент _____
(підпис)Керівник роботи _____ проф. Шостак І.В. _____
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ / ABSTRACT

Пояснювальна записка до атестаційної роботи: 92 сторінки, 37 рис., 31 джерел, 4 додатки.

АПРОКСИМАЦІЯ, АСОЦІАТИВНІСТЬ, АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА, ГІС СИСТЕМА, ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ, ЛОКУС ЗАБРУДНЕННЯ, ІНТЕРЛОКАЦІЯ ЛАГРАНЖА, ФУНКЦІЯ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ, R-ФУНКЦІЇ.

Об'єктом дослідження є система екологічного моніторингу та аналізу побудови складних границь територій за допомогою математичних методів.

Метою роботи є розробка програмного забезпечення для побудови границь будь-якої складності за заданими даними та визначення територій розповсюдження осередків забруднення.

У результаті роботи зроблена програмна реалізація побудови границь осередків займання будь-якої складності.

APPROXIMATION, ASSOCIATION, ATTESTATION WORK, GIS SYSTEM, ECOLOGICAL MONITORING, LOCATION OF POLLUTION, INTERLOCATION OF LAGRANGE, INTERPOLATION FUNCTION, R-FUNCTIONS.

The object of the research is the system of ecological monitoring and analysis of the construction of complex boundaries of territories with the help of mathematical methods.

The purpose of the work is to develop software for building the boundaries of any complexity by the given data and definition of areas of distribution of pollution centers.

The development methods use the C# programming language, two development environments: Visual Studio and Unity, and additional tools for Visual Studio Tools.

As a result of the work the software implementation of the construction of the boundaries of any complexity was made.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Аналіз існуючих ГІС і постановка задач дослідження.....	8
1.1 Розповсюджені геоінформаційні системи	8
1.2 Геоінформаційні системи спеціального призначення	14
1.3 Класифікація процесів поширення пожеж по ступеню рухливості	17
1.4 Постановка цілей дослідження	19
2 Аналітичні моделі поширення лісової пожежі на площині	21
2.1 Початкові обмеження систем	21
2.2 Моделювання руху контурів лісових пожеж	22
2.3 Індикатриси швидкостей фронтів	24
2.4 Нейронечіткий класифікатор	28
3 Алгоритми інтелектуальної геоінформаційної системи	30
3.1 Проектування бази даних	30
3.2 Ядро додатка	34
3.3 Компоненти візуалізації й контролю системи	39
4 Опис розробленої програмної системи	50
4.1 Вибір технологій зберігання даних	50
4.2 Побудова ядра та компонентів візуалізації і контролю	51
4.3 Інтерфейс інтелектуальної геоінформаційної системи	52
5 Опис можливості використання отриманих результатів.....	60
Висновки	65
Перелік джерел посилання	66
Додаток А Листінг	69
Додаток Б Слайди презентації	78
Додаток В Апрбація.....	87
Додаток Г Рецензії	

ВСТУП

Прогрес в інформаційних технологіях і мережі Інтернет привів до великого розвитку різних автоматизованих інформаційних систем. З кожним днем вони усе більше охоплюють різні частини нашої діяльності. Системи редагування й зберігання даних давно влилися в наше життя, і багато хто вже не уявляють свою роботу без їхнього використання. Безліч засобів забезпечує доступ до бібліотечних ресурсів, соціальних мереж, сервісів миттєвих повідомлень і пошти.

Особливе місце серед популярних у сучасному суспільстві систем займають геоінформаційні системи як загального користування, так і спеціального призначення. Більшість із них надають мінімальний набір функцій для зберігання й відображення географічних даних. Однак існують і специфічні геоінформаційні системи, що здійснюють функції автоматизованих систем прийняття рішень, наприклад, побудова маршрутів.

У зв'язку з великою небезпекою техногенних катастроф, системи моделювання й попередження пожежної активності стають усе більш актуальними. Одним з найбільш необхідних представників таких систем є засоби, сполучені з геоінформаційним інтерфейсом. Вони дозволяють моделювати природні процеси залежно від заданих параметрів у простому для сприйняття людиною вигляді. На жаль, кількість таких систем украй мала, а найчастіше про них просто невідомо користувачькому співтовариству.

Науково-технічна революція, що почалася в середині ХХ століття, обумовила одночасно й ріст ризику виникнення аварій і катастроф. Щорічні втрати від аварій і катастроф техногенного й природного характеру вимірюються тисячами людських життів і непоправною шкодою природному середовищу. На увазі цього, попередження виникнення й розвитку техногенних і природних пожеж стає одним з актуальних напрямків дослідницької діяльності.

На світовому ринках геоінформаційні системи з моніторингу й попередженню лісових і степових пожеж представлені такими продуктами, як:

FIRMS, СКАНЕКС, і ін. Однак системи, що володіють функціями моделювання динаміки контурів пожеж, або відсутні, або не доступні для масового користувача.

У зв'язку з вищесказаним актуальною є розробка інтелектуальної геоінформаційної системи, що надає функції з моделювання контурів лісових пожеж, яка буде недорогим і тиражованим засобом з попередження наслідків пожежної активності, дозволить провести обробку гео- і метеоданих, а також провести побудову контурів пожеж з урахуванням наданих даних, забезпечувати підтримку прийняття рішень по гасінню областей, підданих горінню лісових мас.

Вищесказане визначає практичне завдання – зниження тимчасових витрат на прийняття рішень в області оцінки розвитку й наслідків пожеж, для рішень якого необхідно розглянути наукове завдання, що полягає в розробці моделей: аналітичні прийняття, що забезпечують оперативність, рішень, що дозволяють класифікувати моделі побудови контурів залежно від якісних характеристик навколишнього середовища й вогнища загоряння, і процедурні роботи, що описують поведінку системи.

Метою атестаційної роботи є зниження часових витрат на оцінку поширення лісових пожеж за допомогою інтелектуальної геоінформаційної системи на основі аналітичних і процедурних моделей візуалізації контурів розвитку лісових пожеж.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

- проаналізувати існуючі геоінформаційні системи;
- побудувати аналітичні й процедурні моделі динаміки контурів лісових пожеж;
- розробити концепцію й структуру геоінформаційної системи і побудувати UML моделі основних її елементів;
- створити графічний інтерфейс користувача й провести експериментальну оцінку можливостей розробленої системи.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Розповсюджені геоінформаційні системи

Більша небезпека техногенних катастроф, системи моделювання й попередження пожежної активності стають усе більш актуальні. Одним з найбільш необхідних представників таких систем є засоби, сполучені з геоінформаційним інтерфейсом. Вони дозволяють моделювати природні процеси залежно від заданих параметрів у простому для сприйняття людиною виді. На жаль, кількість таких систем украй мала, а найчастіше про них просто невідомо користувачькому співтовариству.

До геоінформаційних систем загального користування відносяться такі програмні засоби, як Google Maps [1], Яндекс.Карты [2], Openstreetmap [3], Wikimapia [4], Google Earth [5], SAS.Планета [6], QGIS [7], 2GIS [8] і ін. Головним їхнім плюсом є доступність для користувачів і відсутність плати за використання даних сервісів.

Геоінформаційна система Google Maps [1] (Рисунок 1.1) була розроблена компанією Google в 2005 році. Вона містить набір додатків, побудованих на базі безкоштовного картографічного сервісу, який являє собою карту й супутникові знімки планети Земля (а також супутникові знімки Місяця й Марса). Для багатьох регіонів доступні знімки з повітря (250-500м над землею) у високій якості, для деяких - з можливістю перегляду під кутом 45° із чотирьох сторін світла. У сервіс впроваджена підсистема *Google Street View* [9], що дозволяє «побродити» по тривимірній проекції міста або деяких його вулиць, не виходячи з будинку. Крім основних інформаційних функцій, *Google Maps* має можливості системи прийняття рішень про прокладання маршрутів. На жаль, дана система не має функції загальнодоступного редагування даних, а також можливостями моделювання різних процесів, у тому числі природних і техногенних. Відсутня можливість підгрузки сторонніх растрових і векторних шарів.

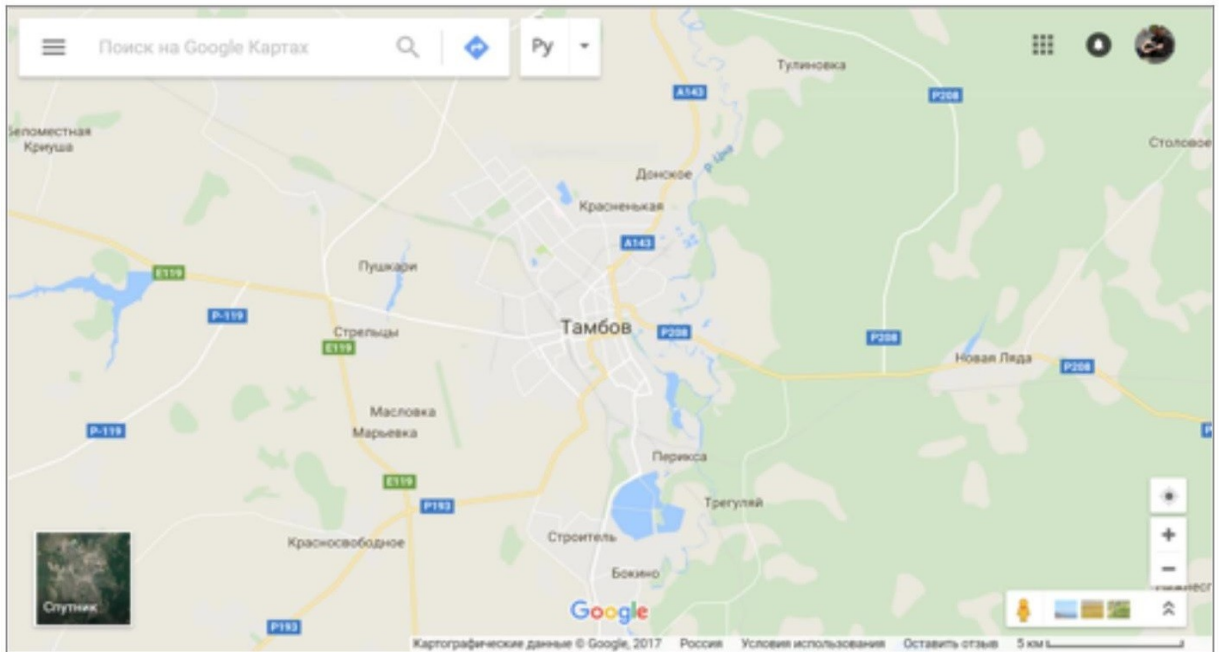


Рисунок 1.1 – Интерфейс геоінформаційної системи *Google Maps*

Геоінформаційна система *Openstreetmap* [3] (рис. 1.2) заснована в 2004 році. Сервіс є некомерційним веб-картографічним проектом, створеним силами співтовариства учасників – користувачів Інтернету докладної вільної й безкоштовної географічної карти миру.

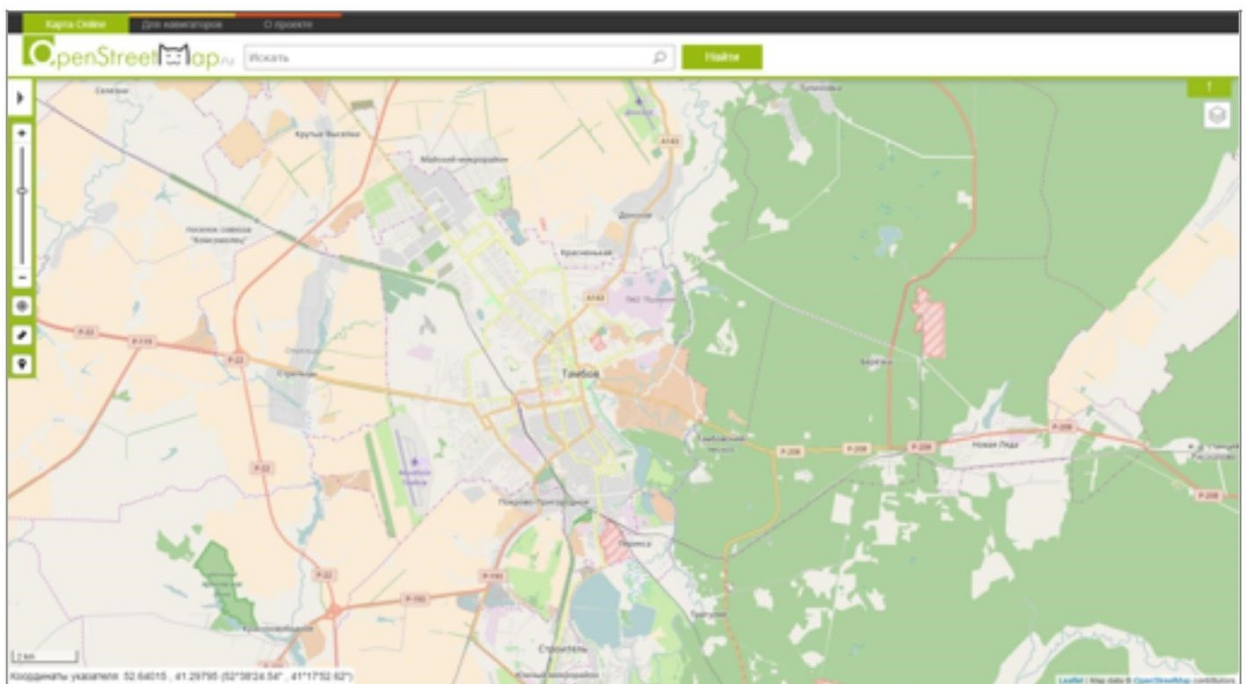


Рисунок 1.2 – Интерфейс геоінформаційної системи *Openstreetmap*

Для створення карт використовуються дані з персональних Gps-трекерів, аерографії, відеозаписи, супутникові знімки й панорами вулиць, надані деякими компаніями, а також знання людини, що малює карту. Проект підтримується некомерційною організацією *Openstreetmap Foundation*, використовує сторонні растрові й векторні шари, а також моделює різні процеси на місцевості.

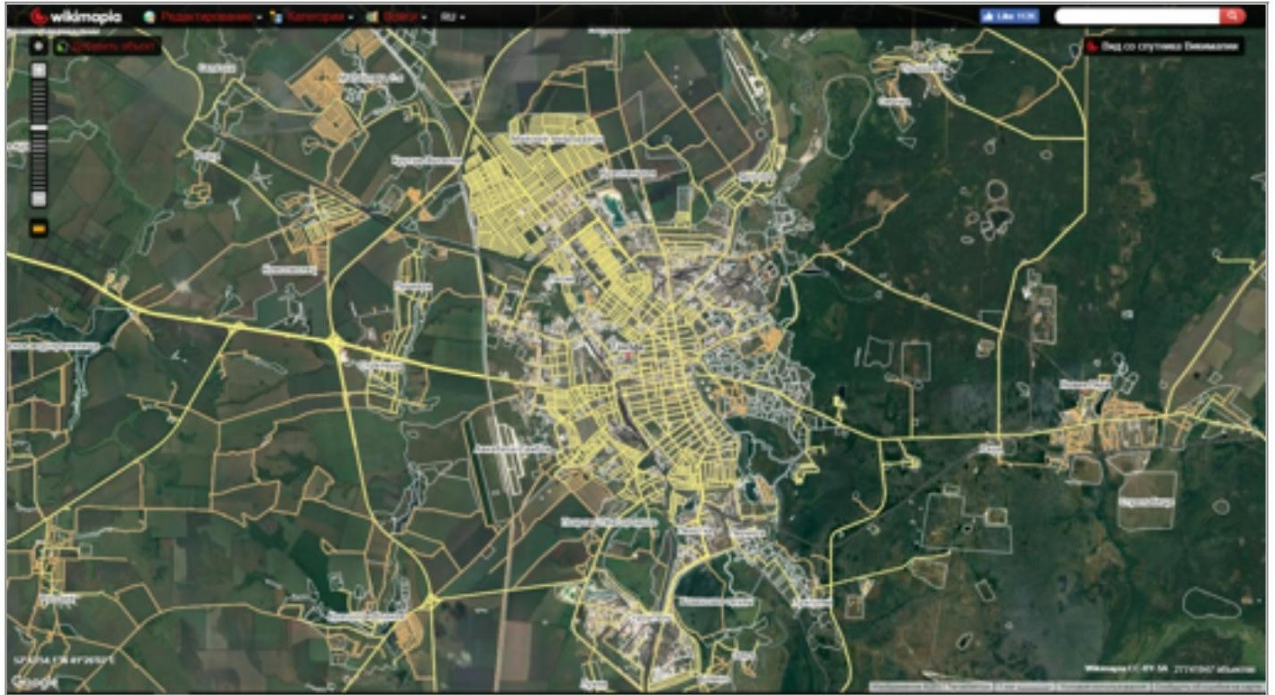


Рисунок 1.3 – Інтерфейс геоінформаційної системи *Wikimapia*

Геоінформаційна система *Wikimapia* [4] (рис. 1.4) заснована в 2006 році. Сервіс є міжнародним безкоштовним веб-сайтом, географічною онлайн енциклопедією, мета якої полягає в тому, щоб відзначити й описати всі географічні об'єкти на Землі. Вікімапія сполучає в собі інтерактивну карту із принципом вільного редагування «вики». Усі дані Вікімапії доступні для загального користування під ліцензією *Creative Commons Attribution –Sharealike 3.0*. Недоліками системи є можлива непідтвердженість даних, що додаються великим, найчастіше анонімним, співтовариством, відсутність системи моделювання процесів, а також використання тільки власних растрових і векторних шарів.

Геоінформаційна система *Google Earth* [5] є настільною версією *Google Maps* і здійснює усі її функції в повному обсязі. Сервіс існує у двох варіантах: веб-додаток (рис. 1.5); настільний додаток з розширеним функціоналом (рис. 1.6).



Рисунок 1.4 – Веб-інтерфейс геоінформаційної системи *Google Earth*

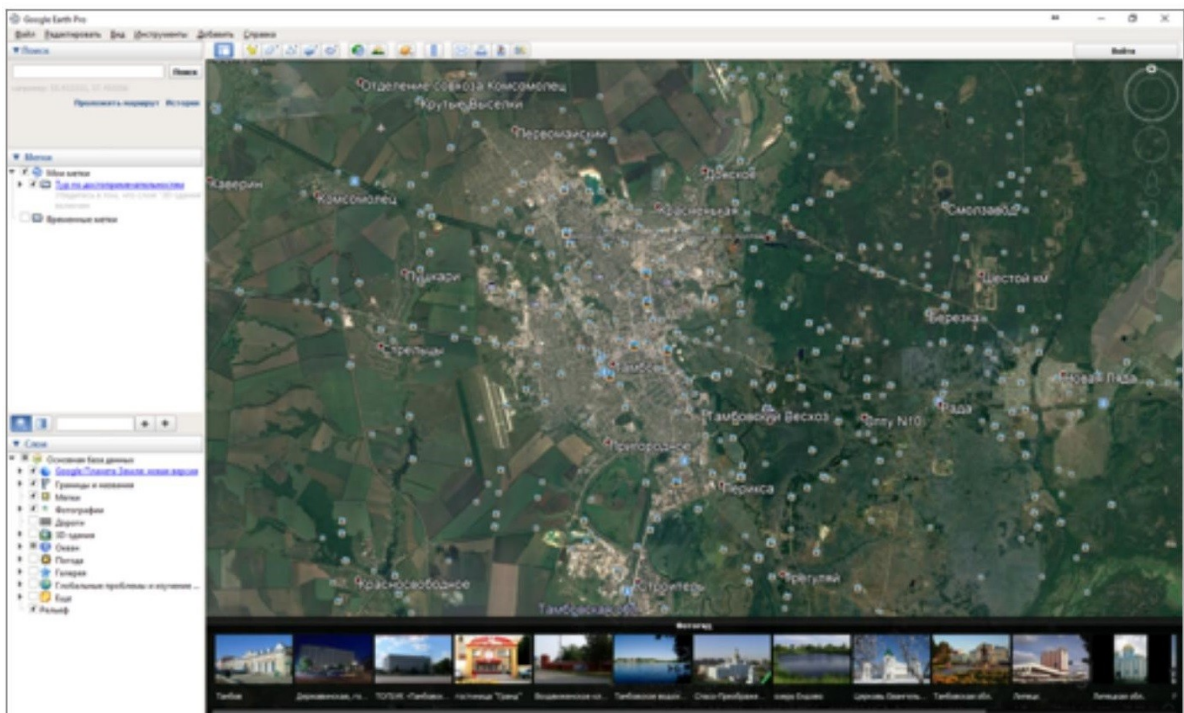


Рисунок 1.5 – Інтерфейс геоінформаційної системи *Google Earth*

Відмітною особливістю системи є використання тривимірної моделі всієї земної кулі для візуалізації підсумкового зображення. Сервіс надає шар «3D будинку» із тривимірними моделями, що додаються розробниками або самими користувачами за допомогою сервісу *3D Warehouse*. Недоліками даної системи є велика вага геоданих системи, відсутність можливості використовувати сторонні растрові й векторні шари, розширювати систему власними геоданими, неможливість моделювання різних процесів на місцевості.

Геоінформаційна система *SAS.планета* [6] (рис. 1.6) поєднує в собі можливість завантаження й перегляду карт і супутникових фотографій земної поверхні великої кількості картографічних сервісів. Завантаження карт здійснюється як виділенням деякої області (можливо непрямокутної), так і в процесі переміщення по карті. Карти часто оновлюються – програма дозволить вам завантажити тільки найбільш нові. Недоліками даної системи можна назвати відсутність функцій пошуку інформації, а також неможливість моделювання природних і техногенних процесів.

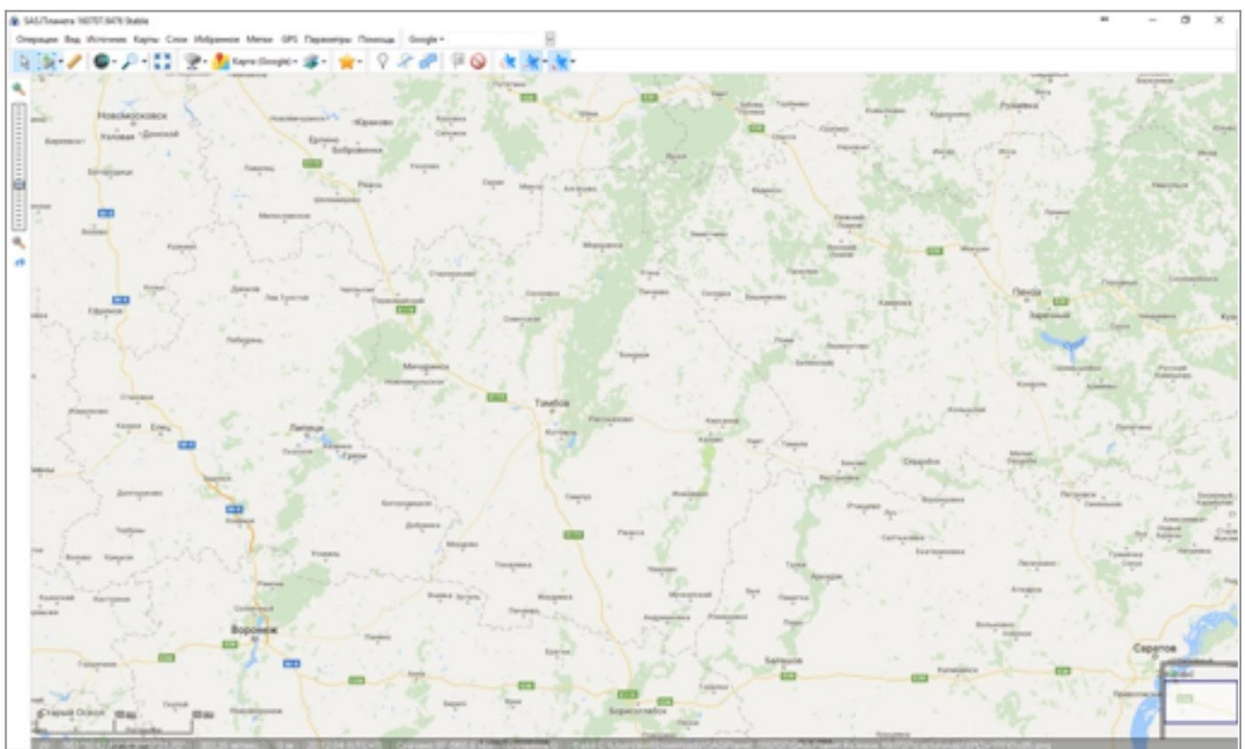


Рисунок 1.6 – Інтерфейс геоінформаційної системи *SAS.планета*

Міжнародна геоінформаційна система *2GIS* [7] (див. рис. 1.7) створена в 1999 році. Особливість даного сервісу в наданні довідкової інформації про підприємства й організації багатьох міст України, а також декількох міст за кордоном – у Казахстані, Італії, Чехії, Чилі, ОАЕ, Киргизії, на Кіпрі. Основним недоліком є відсутність можливості використання сторонніх геоданих, а також неможливість підтримки функції моделювання процесів на місцевості.

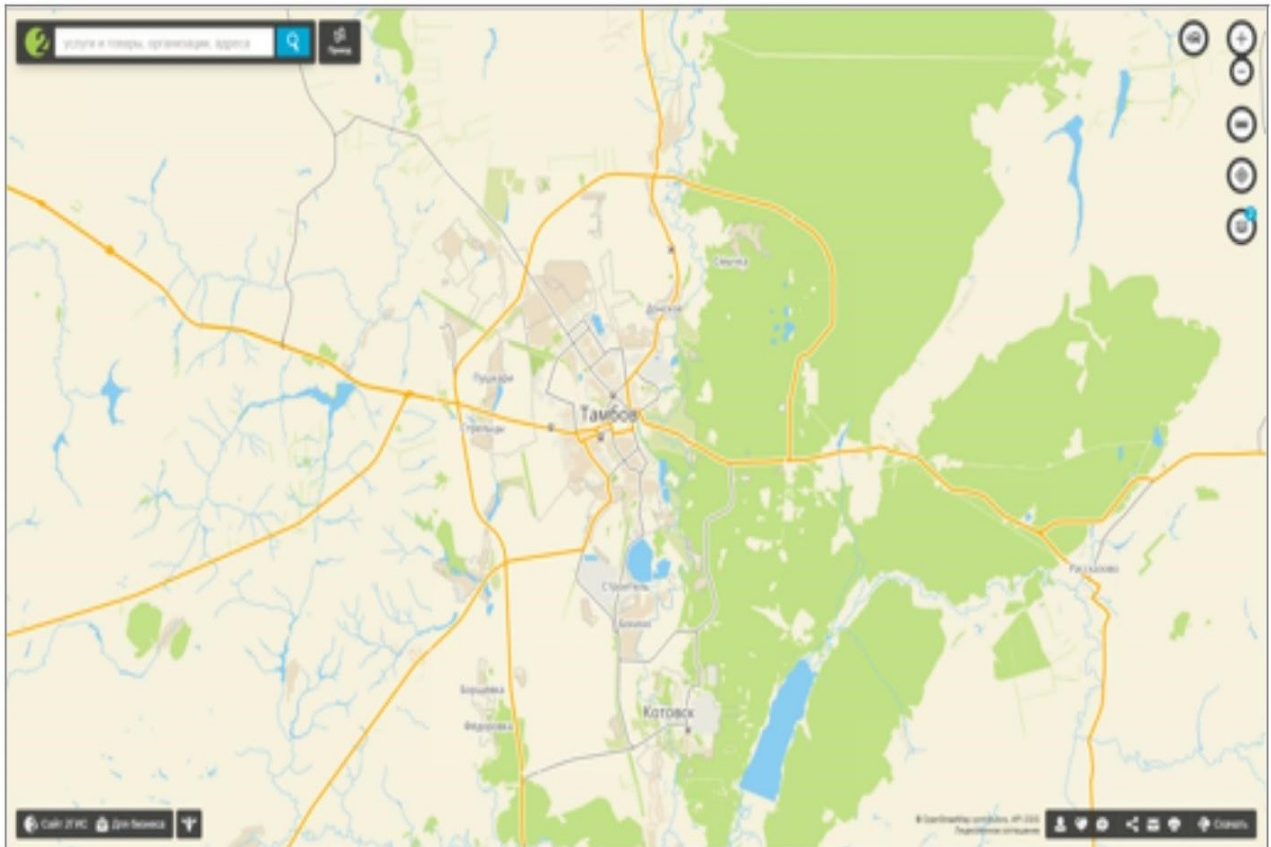


Рисунок 1.7 – Інтерфейс геоінформаційної системи *2GIS*

QGIS [8] (рис. 1.8) – вільна кросплатформена геоінформаційна система. Вона дозволяє переглядати й накладати один на одного векторні й растрові дані в різних форматах і проекціях без перетворення у внутрішній або загальний формат. За допомогою зручного графічного інтерфейсу можна створювати карти й досліджувати просторові дані. На жаль, дана система не дозволяє робити пошук геоінформації, будувати маршрути, а також моделювати різні процеси на місцевості.

Програма *gvSIG* [11] (див. рис. 1.11) – вільне програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом для побудови геоінформаційних систем, розроблюване з 2006 року. Має низькі системні вимоги й забезпечує кросплатформену роботу. Засіб підтримує всі необхідні функції геоінформаційної

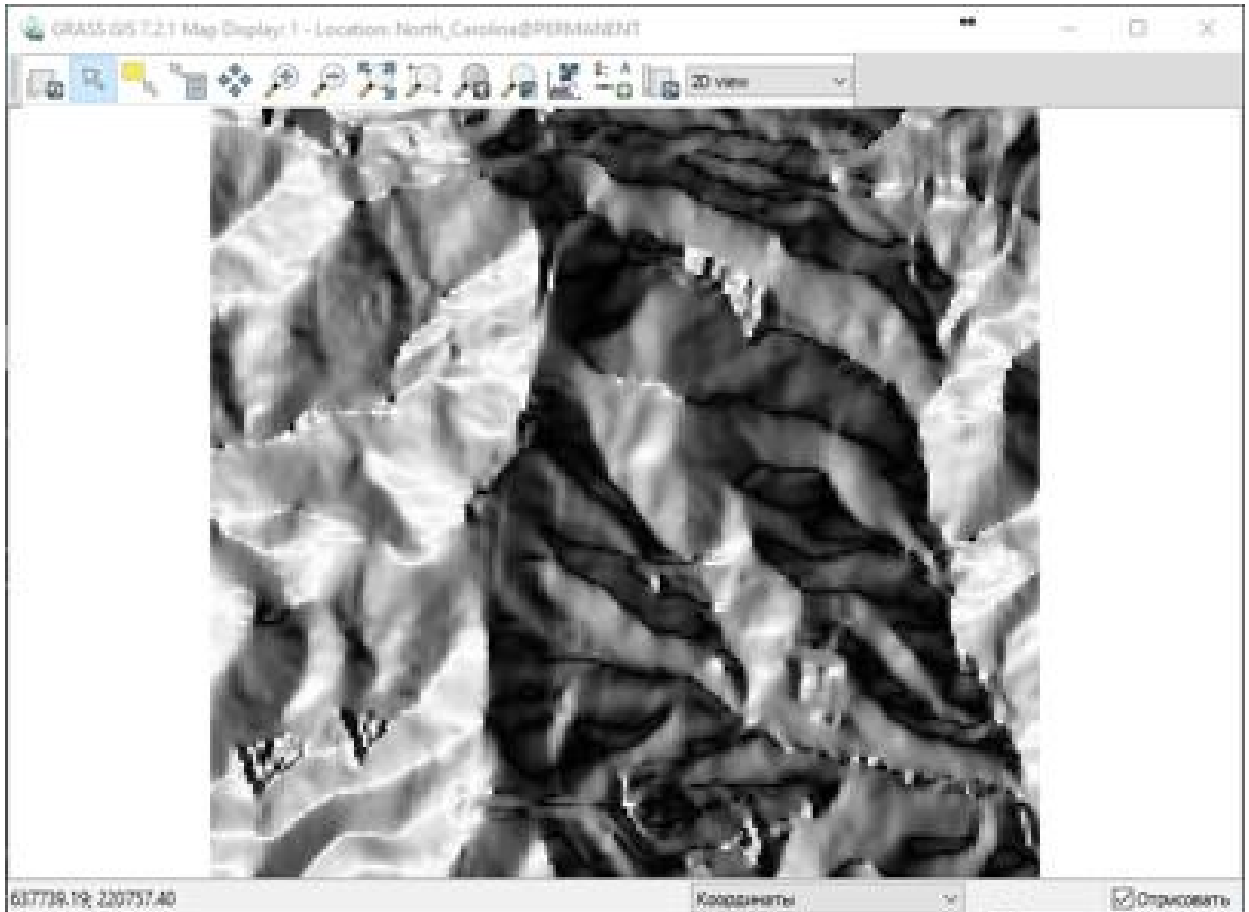


Рисунок 1.9 – Інтерфейс візуалізації *GRASS*

системи: роботу із шарами, масштабування карти, підтримку збереження ресурсів, автоматичні розрахунки відстані між об'єктами, розміщення об'єктів, створення професійних карт для наступної печатки. Система підтримує велику кількість форматів растрових і векторних даних, а також велика різноманітність систем керування базами даних.

Основними недоліками є відсутність можливості використання загальнодоступних онлайн геоданих, системи побудови маршрутів, функцій моделювання природних і техногенних процесів.

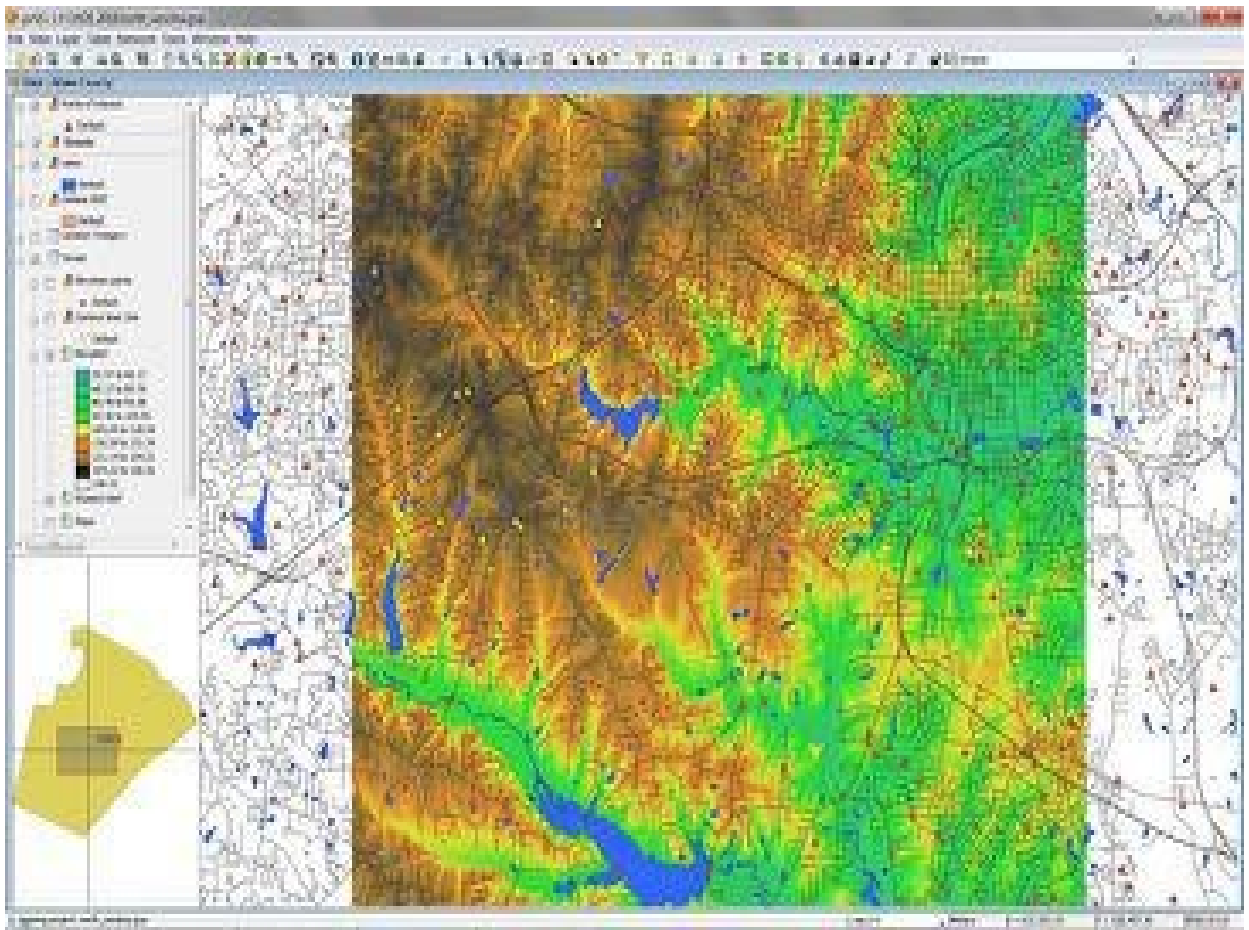


Рисунок 1.11 – Інтерфейс геоінформаційної системи *gvSIG*

Система *SAGA GIS* [12] (рис. 1.12) – вільна кросплатформена геоінформаційна система з відкритим вихідним кодом, розроблювальна з 2004 року. Стандартними модулями системи є доступ до файлів, фільтри шарів, геостатика, шар ґрат і інструменти роботи з ним, класифікатор зображень, система проєкцій, моделювання динамічних процесів, ландшафтний аналіз, векторні інструменти.

Очевидною перевагою даного засобу є наявність широкого *API* для керування геоданими, а також моделювання процесів поширення азоту, ерозії, ландшафтного розвитку й ін. Недоліками системи є неможливість завантаження онлайн геоданих, а також складний процес налаштування моделювання процесів на місцевості.

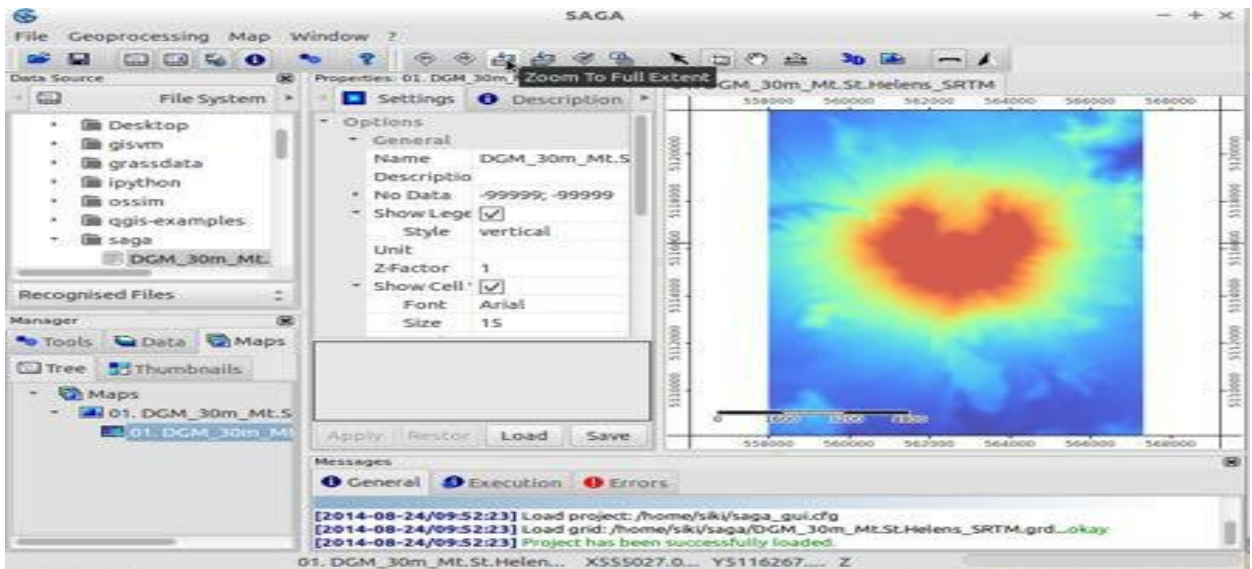


Рисунок 1.12 – Інтерфейс геоінформаційної системи SAGA GIS

Аналіз показує, що переважна більшість систем не має можливості завантажувати растрові й векторні шари з відкритих джерел, а також моделювати природні й техногенні процеси на місцевості.

1.3 Класифікація процесів поширення пожеж по ступеню рухливості

Розглянуто різні типи конфігурації фронтів пожежі, які характеризуються своєрідними «ступенями волі» руху фронту [6]. Розглянемо поширення процесу горіння по тонкому однорідному шару з початкового вогнища $D(0)$ кругової форми. Залежно від умов горіння цей процес може розвиватися по-різному, що ілюструється в першому стовпці таблиці 2.1 конфігурацією фронтів у послідовні моменти часу [5].

У другому стовпці таблиці 1.1 показані півосі, уздовж яких може поширюватися процес і визначальні тип конуса швидкостей [9].

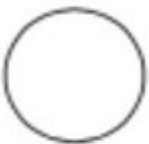
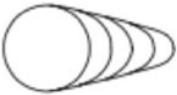
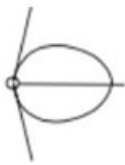







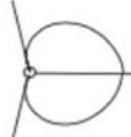
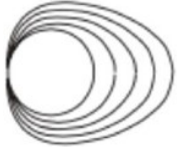
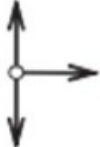
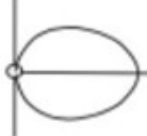
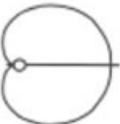


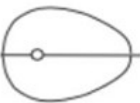
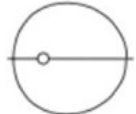
В третьому стовпці зазначене число ступенів волі, а в четвертому – тип конуса напрямків швидкостей & для кожного сімейства контурів. У показнику типу конуса & індекс m означає розмірність підпростору швидкостей, а індекс r – кількість півосей, по яких заборонено поширення [10].



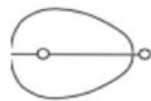
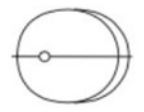
Розглянуті в таблиці 1.1 типи режимів розташовуються в порядку збільшення числа «ступенів волі».

Особливих пояснень вимагає другий рядок, відповідно до загасаючого процесу. Оскільки в цьому випадку поширення спочатку відбувається в одному напрямку, а потім припиняється, то цьому типу процесу поширення приписується число ступенів волі $\frac{1}{4}$, а конус швидкостей стає комплексним.

В наступному стовпці схематично показані конуси швидкостей руху крапок контуру й індикатриси цих швидкостей. Ми розглядаємо тільки такі індикатриси, які містять початок координат (крапки $O(x)$).

Таблиця 1.1 – Класифікація процесів поширення

№	Вид	Характер руху фронтів	Припустимі напрямки поширення	Число ступенів волі	Вид індикатрис	Вид фігуротрис
1	Без поширення			0		
2	Згасаюче		–	$3/2$	–	
3	Незатухаюче в одному напрямку					
4	В межах кута					
5	В межах кута					
6	У всіх напрямках			2		

7	3 новими вогнищами			2s		
---	-----------------------	---	---	----	---	---

Осередкі надзвичайних ситуацій, а саме лісові пожежі, що розвиваються в умовах ярусної структури горючих матеріалів, можуть характеризуватися комбінацією типів поширення.

1.4 Постановка задач дослідження

Таким чином в атестаційній роботі проведено дослідження аналітичних і процедурних моделей візуалізації контурів розвитку осередків надзвичайних ситуацій, зокрема, лісових пожеж для інтелектуальної геоінформаційної системи підтримки прийняття рішень.

Для вирішення задачі потрібно провести аналіз:

- аналітичної моделі класифікації пожеж, яка відрізняється нейронечіткою обробкою якісних характеристик навколишнього середовища й вогнища загоряння для класифікації пожеж;
- аналітичних моделей побудови контурів пожеж, які відрізняються використанням якісної інформації про навколишнє середовище (швидкість вітру, напрямок вітру, кут нахилу рельєфу й ін.) і джерела загоряння (причина загоряння, тип горючих матеріалів і ін.);
- процедурної моделі побудови й візуалізації контурів лісових пожеж, яка відрізняється згладжуванням підсумкового фронту шляхом наближення правильного багатокутника, описаного навколо контуру, до окружності.

Теоретична частина роботи полягає в розвитку методів математичного моделювання за допомогою побудованих аналітичних і процедурних моделей динамічних процесів, що використовують якісні характеристики навколишнього

середовища й вогнища загоряння при розробці інтелектуальних геоінформаційних систем.

Практична частина роботи полягає в розробці інтелектуальної геоінформаційної системи для підтримки прийняття рішень, що здійснює моделювання контурів, що рухаються.

2 АНАЛІТИЧНІ МОДЕЛІ ПОШИРЕННЯ ЛІСОВОЇ ПОЖЕЖІ НА ПЛОЩИНІ

2.1 Початкові обмеження ситем

Актуальною задачею є розвиток геометричної теорії руху фронтів лісових пожеж. При цьому пожежа розглядається як процес поширення на площині, що поширюється в неоднорідній і анізотропній двовимірному середовищі [9]. Передбачається, що цей процес формується за допомогою двох моделей: моделі процесу горіння, яка визначає швидкість фронту пожежі на основі даних про лісовий палне й зовнішньому середовищу, а також геометричної моделі контурів, яка будує контури пожежі в послідовні моменти часу, використовуючи швидкості, розраховані першої моделлю. Разом з тим виникає складність моніторингу параметрів навколишнього середовища безпосередньо в районі вогнища загорання. Це обумовлене відсутністю метеостанцій у районі загорання, неможливістю визначити кількісні характеристики через далекість вогнища від населених пунктів, а також небезпекою для людського життя. У такий спосіб необхідно ввести в розгляд структуру аналітичної моделі, що використовує якісні характеристики, представлені на рис. 2.1, яка містить блоки:

- блок класифікації, що одержує якісну інформацію про навколишнє середовище й джерелі загорання, а, що також повертає інформацію про клас пожежі;
- блок моделювання процесу горіння, що ухвалює дані про клас пожежі й виробляючий розрахунок швидкості поширення фронту пожежі;
- блок моделювання контуру пожежі, що ухвалює швидкість фронту набір, що й повертає, крапок на поверхні фронту в декартовій системі координат;
- блок формування геоданих, що одержує результати моделювання контуру пожежі, що й розраховує геокоординати крапок.

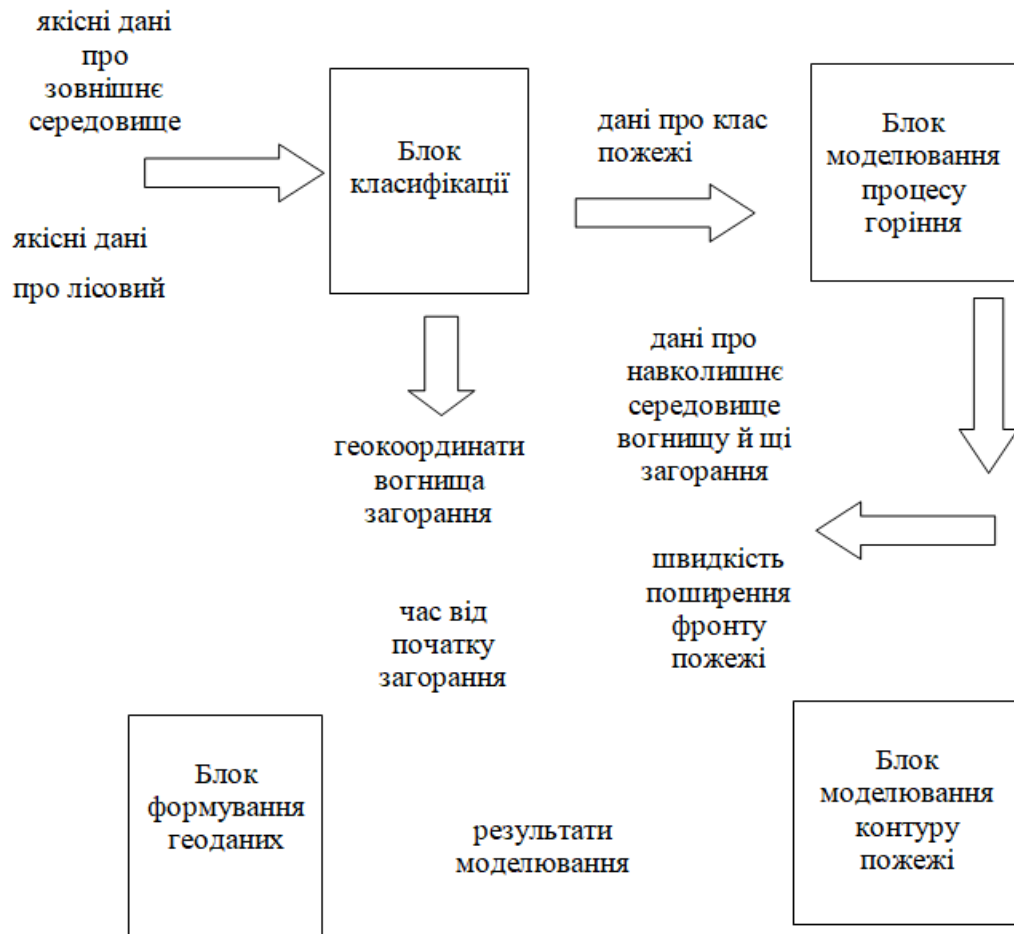


Рисунок 2.1 – Аналітична модель поширення лісової пожежі на контурі, що описує пожежу, з урахуванням масштабу й часу від початку загорання

При цьому введемо в розгляд наступну систему допущень, не розглядаючи ряд особливостей реальних пожеж: переходу вогню через перешкоду, розльоту палаючих часток, взаємодії процесів горіння ярусів та ін. У той же час вона проста й забезпечує оперативність прийняття рішень.

2.2 Моделювання руху контурів лісових пожеж

Розглянутий нижче опис руху контурів безпосередньо виведене з рівнянь Гамильтона-Якоби [9]. При цьому використовується ряд припущень:

Одержанні моделі руху контурувиходячи з того, що кожна крапка контуру переміщається на площині незалежно від сусідніх крапок у напрямку зовнішньої нормалі до лінії контуру. При цьому їх швидкість залежить як від властивостей пального, швидкості вітру, нахилу місцевості, так і від кутів, утворених нормаллю до лінії контуру з напрямком вітру й з напрямком найбільш крутого підйому місцевості. Моделі, побудовані на основі даного припущення, дозволяють одержувати порівняно прості аналітичні вираження для розрахунку контурів і супутніх характеристик – довжини зовнішньої крайки горіння й величини площі, пройденої вогнем.

Дані моделі працюють тільки при описі опуклих контурів. Для ділянок контурів, увігнутих у бік руху вогню, припущення про незалежність переміщення кожної крапки контуру приводить до результатів, що суперечать фізичному змісту: на розраховані по цій моделі контурах, можуть утворюватися особливості у вигляді зламів і петель.

Також одержанні моделі руху контуру, що враховує взаємодії сусідніх крапок залежно від кривизни контуру. Модель, у якій швидкість руху фронту пожежі залежить від кривизни, за аналогією з теорією нестационарного горіння [11] називають моделлю Маркштейна. Урахування цієї залежності дозволяє створити модель, що описує рух як опуклих, так і увігнутих контурів. Дана модель складніше математично й не дозволяє виписувати рівняння контуру в простій аналітичній формі. За певних умов розрахунок контуру на основі моделі Маркштейна зводиться до послідовного рішення найпростіших рівнянь [12].

Конттури пожежі представлено як хвиля, що біжить. Аналогічно принципу Гюйгенса в оптиці, кожна точка крайки пожежі є елементарним джерелом (вогнищем) поширення вогню. Горіння з кожної крапки крайки поширюється в околиці цієї крапки у всіх напрямках, де є пальне, причому швидкість поширення в певному напрямку залежить від кута, утвореного даним напрямком з напрямком вітру й (або) схилу. Положення зовнішньої межі крайки в наступні моменти часу визначається, що обгинає до всіх елементарних збільшень, побудованих з кожної

крапки крайки пожежі. Це припущення приводить до рівнянь руху, трохи відмінним від рівнянь, отриманих на основі гіпотези нормального поширення.

2.3 Індикатриси швидкостей фронтів

Усі виписані в попередньому параграфі рівняння руху фронтів в якості єдиного параметра, що враховує фізичні процеси горіння, містять вектори швидкостей або. Тому розглянуті моделі повинні доповнюватися співвідношеннями, що визначають ці швидкості як функції всіх параметрів, для всіх режимів поширення процесу горіння. У справжньому параграфі ми розглянемо типові види анізотропії для лісових і степових пожеж за результатами роботи [12].

Нормальна швидкість v_n у деякій крапці фронту залежить від кута α між напрямками вітру й нормаллю до фронту в даній точці. Таким чином, якщо 1 – вектор градієнта (тобто найбільш крутого підйому) місцевості, то швидкість поширення вогню залежить від кута: $\gamma = \arctg \frac{v_n^T s}{|v_n| |s|}$.

Розглянемо спершу завдання нормальних швидкостей. У цьому випадку згадані множники є функціями поточного кута α і величин $|0|$, швидкість руху фронту пожежі в напрямку вітру:

$$v_n(x, y, t, w, \alpha) = v_{0w}(x, y, t, s) \chi_{nw}(\alpha - \alpha_w, w); \quad (2.1)$$

Швидкість руху пожежі нагору по схилу.

$$v_n(x, y, t, s, \alpha) = v_{0s}(x, y, t, s) \chi_{ns}(\alpha - \alpha_s, s), \quad (2.2)$$

При обліку спільного впливу вітру й ухилу місцевості результуюча швидкість може бути прийнята як векторна сума швидкостей [Доррер, 284]

$$v_n(x, y, t, \alpha) = v_{0w}(x, y, t, w) \chi_{nw}(\alpha - \alpha_w, w) + v_{0s}(x, y, t, s) \chi_{ns}(\alpha - \alpha_s, s), \alpha \in [0, 2\pi]. \quad (2.3)$$

В подальшому, щоб не захаращувати виклад, будемо розглядати тільки одну фігуротрису – для вітру, позначаючи її просто $\chi(\alpha, w)$ або $\chi(\alpha)$, якщо вітер уважати постійним. Фізично це відповідає розгляду горизонтального шару пального, коли $s = 0$. Отримані нижче результати узагальнюються на випадок $s \neq 0$. Розглянуто специфічні особливості фігуротрис швидкостей, що залежать від вітру.

$$\begin{aligned}\chi_n(0, w) &= 1, \\ \chi_n(\alpha, w) &\leq 1 \text{ при } w > 0, \alpha \neq 0, \\ \chi_n(\alpha, w) &= \chi_n(-\alpha, w) \text{ при } 0 \leq \alpha \leq \pi, \\ \chi_n(\alpha, w) &\equiv 1 \text{ при } -\pi \leq \alpha \leq \pi.\end{aligned}\tag{2.4}$$

Перші два з відзначених властивостей говорять про те, що фігуротриса максимальна в напрямку вітру й убуває для інших напрямків. Третя властивість визначає симетричність фігуротриси щодо напрямку вітру. Четверта властивість визначає умова поширення для безвітряної погоди: середовище стає ізотропною, фронт рухається в усі сторони з однаковою швидкістю.

При аналітичному розрахунку контурів для одержання розумних рішень фігуротриса, крім перерахованих властивостей, повинна задовольняти ще вимогам, пов'язаним з опуклістю цієї функції по аргументу α .

Відзначимо, що фігуротриса визначає нормальну швидкість переміщення локальної ділянки фронту в кожній крапці контуру й у загальному випадку не повторює форму контуру пожежі.

Розглядаючи повну швидкість руху контуру, приходимо до поняття індикатриси.

$$\begin{aligned}v(x, y, t, w, \alpha) &= v_{0w}(x, y, t, w)\chi_w(\alpha - \alpha_w, w), \\ v(x, y, t, s, \alpha) &= v_{0s}(x, y, t, s)\chi_s(\alpha - \alpha_s, s),\end{aligned}\tag{2.5}$$

де $\chi_w(\alpha - \alpha_w, w)$ – індикатриса швидкості для схилу,

$\chi_s(\alpha - \alpha_s, s)$ – індикатриса швидкості для схилу,

$\alpha \in [0, 2\pi]$ – поточний напрямок поширення.

Розрахунок індикатрис аналітичними або чисельними методами можливий на основі теорії горіння [12]. Інший шлях одержання індикатрис – рішення

завдань ідентифікації швидкостей поширення лісових пожеж на основі їх аерокосмічних знімків [13]. При цьому індикатриса апроксимуються аналітичними виразами.

Ґрунтуючись на результатах, отриманих у роботі [13] формули, що дозволяють розрахувати контури лісових пожеж, мають вигляд:

$$\begin{aligned}x(\omega, t) &= r_0 \cos \omega + v_0 t \left(-\frac{\partial \chi_n}{\partial \omega} \sin \omega + \chi_n \cos \omega \right), \\y(\omega, t) &= r_0 \sin \omega + v_0 t \left(\frac{\partial \chi_n}{\partial \omega} \cos \omega + \chi_n \sin \omega \right),\end{aligned}\tag{2.6}$$

де ω – кут обходу контуру,

r_0 – радіус початкового контуру пожежі,

v_0 – швидкість вітру,

χ_n – індикатриса нормальної швидкості вітру.

Формули (2.6) дозволяють у принципі розраховувати контури пожеж для будь-яких аналітично або графічно заданих індикатрис. Однак виявляється, що не будь-які фігуротриса призводять до фізично з'ясовних результатів.

При $r_0 \rightarrow 0$ контур, що розвивається, подібний індикатриса $\gamma(N)$. Іншими словами, конфігурація пожежі, що розвивається із крапкового вогнища по однорідному горизонтальному шару пального під впливом вітру, у будь-який момент часу повторює індикатрису повної швидкості. Звідси випливає практичний спосіб визначення таких індикатрис для конкретних лісових і погодних умов, який полягає у фіксації контурів експериментальних пожеж, що поширюються із крапкового вогнища через певні проміжки часу з наступною їхньою апроксимацією підходящими аналітичними виразами.

Вивчення конфігурацій невеликих пожеж ведеться вже давно, і до теперішнього часу є ряд публікацій, що містять аналітичні вираження для опису форми контурів пожеж [14].

Розглянемо деякі із цих виразів і виведемо формули індикатрис і фігуротрис.

У ряді робіт контур пожежі апроксимується еліпсом, причому крапка, з якої поширюється горіння, розташована в одному з його фокусів. В цьому виразі

єдиний параметр – ексцентриситет еліпса, що залежить від умов горіння: властивостей пального, швидкості вітру і т.д. Загальний висновок, який міститься в таких роботах, що при відсутності вітру $e = 0$, $\chi \equiv 1$, тобто еліпс вироджується в окружність, а зі збільшенням швидкості вітру ексцентриситет збільшується, що приводить до витягування індикатрисі в напрямку вітру.

Також запропоновано описувати форму пожежі у вигляді фігури, що полягає із двох напівеліпсів, що мають загальну вісь. Якщо вогнище розташоване в центрі еліпсів, то рівняння індикатрис, що задають такий контур, мають такий вигляд. Величина параметрів визначається умовами горіння й швидкістю вітру; З урахуванням умов нормування (2.1) вираження для індикатрисі має вигляд:

$$\chi_r = (\varphi, w) = \exp\{a(w)(\cos \varphi - 1)\}. \quad (2.7)$$

Залежний від швидкості вітру параметр може бути визначений на основі експериментальних даних. На рис. 2.2 показане сімейство індикатрис, побудоване за формулою (2.7) для даних про вплив вітру на форму пожежі.

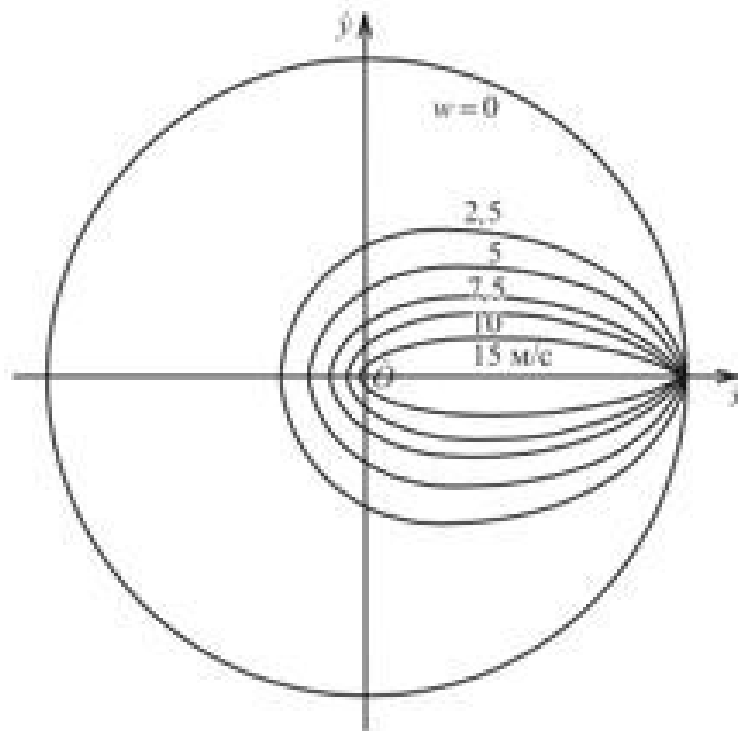


Рисунок 2.2 – Сімейство індикатрис

Усі розглянуті формули порівняно прості, вимагають визначення всього двох-одного-двох невідомих параметрів і дають, як правило, достатню для

практики точність, зрозуміло, у рамках тих умов, при яких вони отримані. Якщо буде потреба слід застосовувати й більш складні вираження для індикатрис, що містять більше число параметрів і дозволяють більш детально враховувати особливості форми пожеж для тих або інших умов.

Необхідно, однак, пам'ятати, що контур реальної пожежі дуже швидко відхиляється від правильної форми під впливом різних збурювань, і тому безглуздо вимагати занадто великої точності від виражень для індикатрис.

2.4 Нейронечіткий класифікатор

Для підвищення точності моделювання контурів пропонується використовувати гібридну нечітку мережу [18] класифікацію, що здійснює, параметрів джерела горіння й навколишнього середовища з метою вибору оптимальної аналітичної моделі.

Традиційний підхід до класифікації образів заснований на попередній кластеризації навчальних прикладів і віднесення їх до заданих класів. Складність і обмеження при здійсненні цього попереднього етапу у великому ступені обумовлені недостатньою ефективністю визначення границь між кластерами. У відмінності від традиційного підходу, нечітка класифікація допускає безперервність границі між двома сусідніми класами з накладенням областей, у кожній з яких об'єкт, що класифікується, характеризується своїм ступенем приналежності.

Допустимо, що задана множина параметрів навколишнього середовища у вигляді тривимірних чітких векторів, що описують напрямок і швидкість вітру, вологість повітря, які відносяться до трьох класів. Правило для заданого вхідного образа формується так, щоб у комбінації нечітких множин кожне з них давало найбільший ступінь приналежності для відповідної вхідної ознаки. Якщо ця

комбінації неідентична антецедентам уже існуючого правила, то створюється нове правило.

На основі запропонованої [19] архітектури рішення завдань нечіткої класифікації побудована структура гібридного нейронечіткого класифікатора (рис. 2.3).

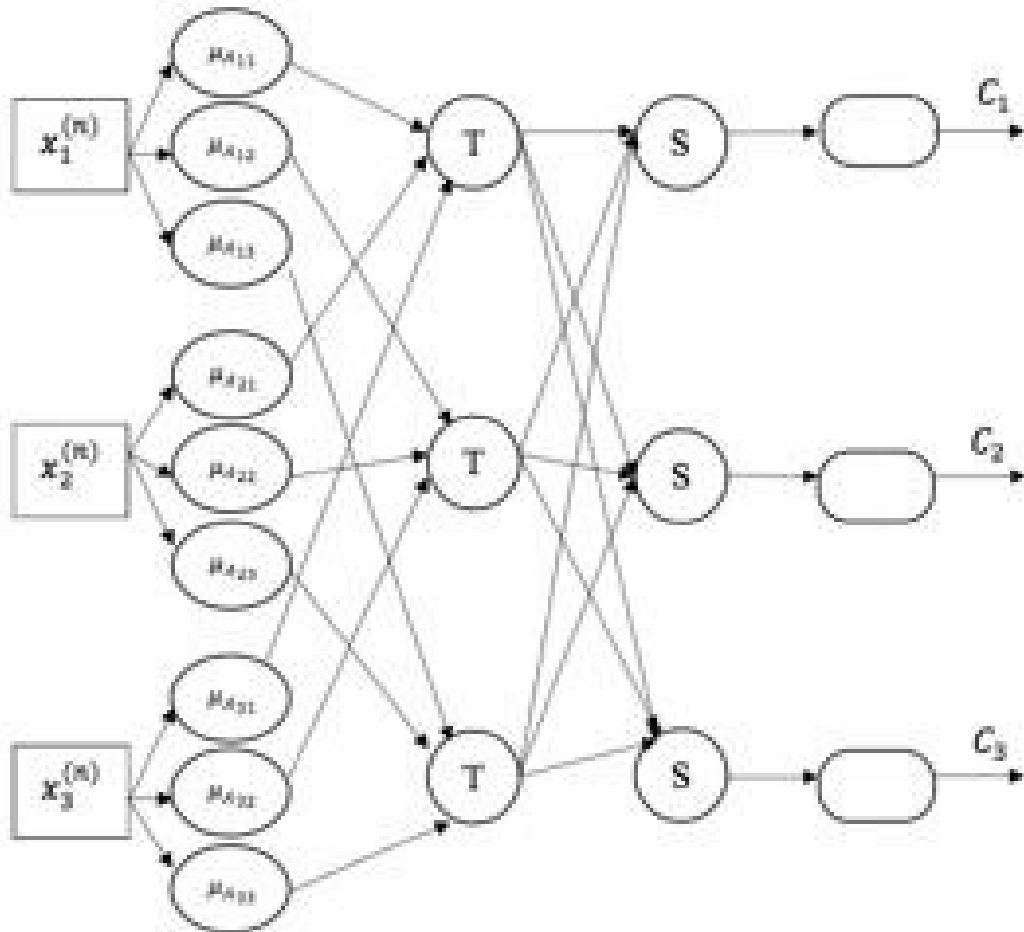


Рисунок 2.3 – Структура гібридного нейронечіткого класифікатора

Шар 1. На виході елементів цього шару формуються ступені приналежності вхідних змінних до певних для них нечітким множинам.

Шар 2. Кожний елемент цього шару є розглянутим раніше нечітким нейроном «И», вихідний сигнал якого представляє «силу» спрацьовування нечіткого правила відносно образу, що класифікується.

Шар 3-4. Елементи цих шарів призначені для зваженого підсумовування значення виходів елементів попереднього шару. А значення на виходах елементів шару 4 формуються з використанням активаційних функцій.

3 АЛГОРИТМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Проектування бази даних

Перший етап розробки, пропонованої інтелектуальної геоінформаційної системи (рис. 3.1).

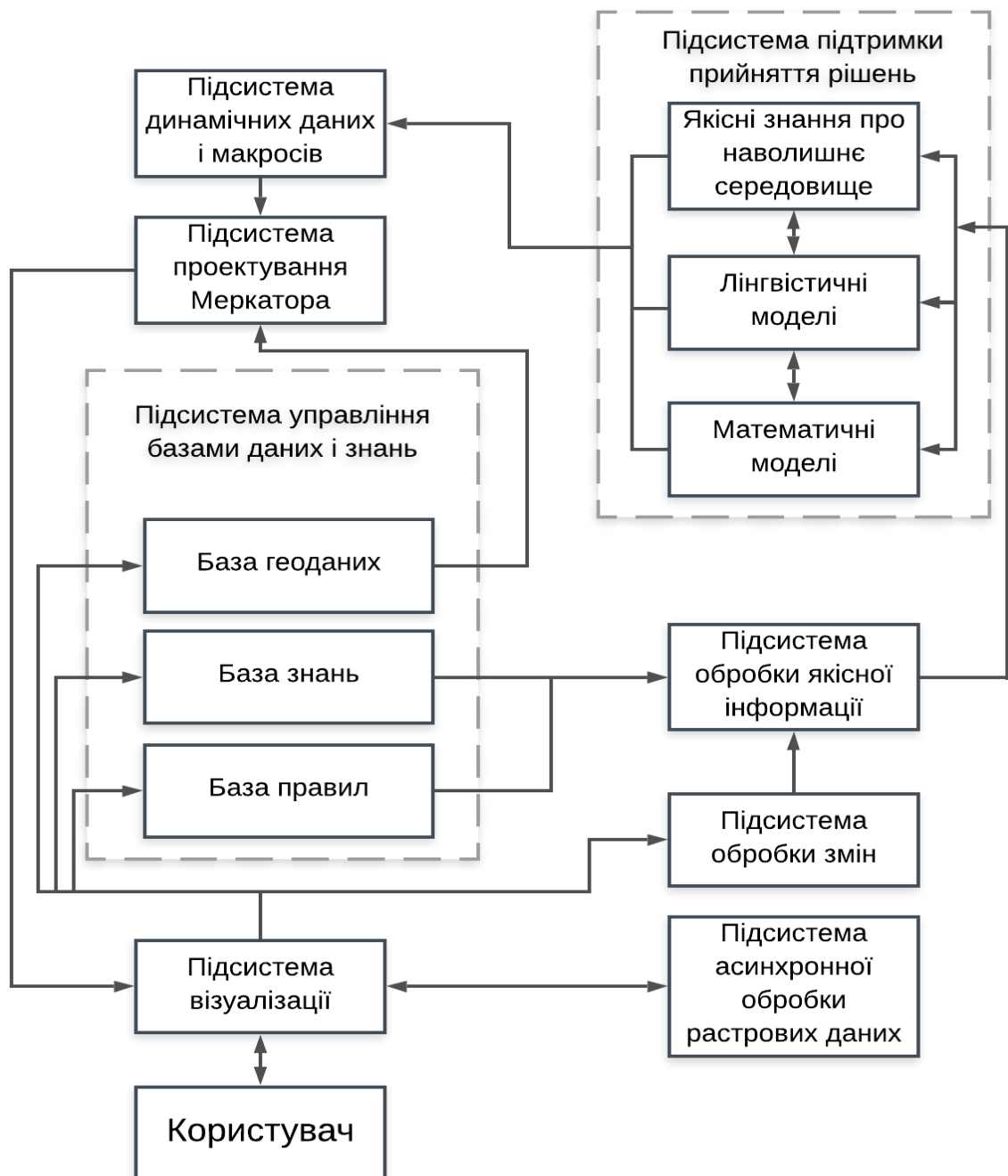


Рисунок 3.1 – UML-модель ІГІС

У першу чергу розглядаються види вистави інформації, а також описується спосіб зберігання всіх використовуваних системою даних. За отриманою схемою взаємодії даних у базі розробляється ядро – основний набір класів, що описують поведінку додатка. Кожний клас ядра системи розглядається як окрема самостійна інформаційна модель. Описуються властивості й поведінка кожного описуваного елемента. Розроблене ядро розширюється компонентами візуалізації й контролю. Також описуються схеми взаємодія всіх класів, що беруть участь у роботі системи.

Одним з найбільш важливих процесів у розробці пропонованої інтелектуальної геоінформаційної системи є побудова бази даних (Рисунок 3.2), що зберігає інформацію про всі використовувані геооб'єкти у системі, а також про дані математичні моделі, що описують усі можливі, побудови контурів пожеж. Для розподілу навантаження, можливості багаторазового використання тих самих моделей у різних розрахунках, а також підвищення мобільності системи, було ухвалене рішення розділити базу даних на дві складові:

- внутрішня база, призначена для збору відомих моделей розподілу пожеж і можливих параметрів системи, з метою подальшого використання в декількох розрахунках;

- зовнішнє подання (проект), що описує одну або кілька конкретних ситуацій окремо від інших розрахунків, для зменшення можливого навантаження на електронно-обчислювальну техніку.

Внутрішня база являє собою набір із двох таблиць:

- `parameters` – список можливих параметрів (змінних і констант, що приймають участь у процесах моделювання);

- `methods` – набір методів (функцій, що описують моделі побудови контурів пожеж).

Таблиця `parameters` описується наступними полями:

- `id` – унікальний первинний ключ;
- `name` – унікальний ненульовий рядок, що описує назву параметра, зрозумілого людині;

- `math_name` – унікальний ненульовий рядок, що описує математичне позначення параметра;

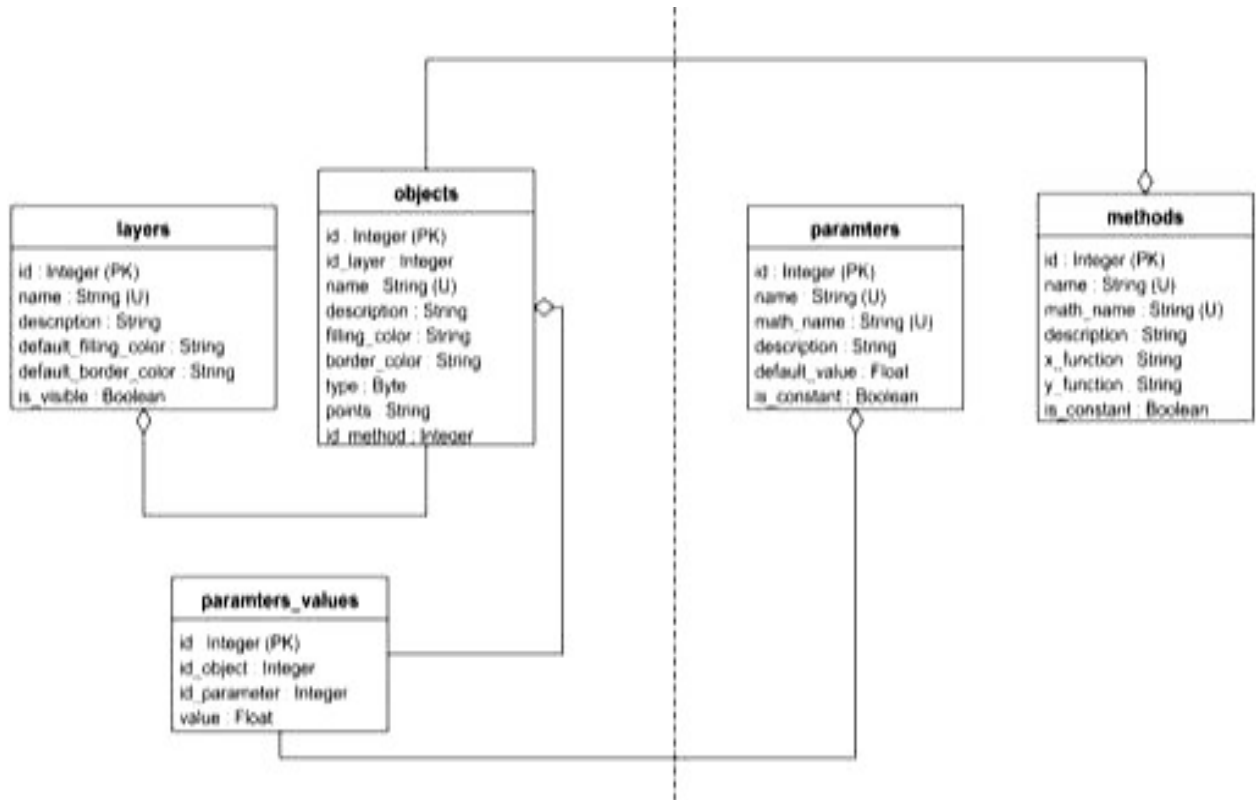


Рисунок 3.2 – Uml-Модель бази даних

- `description` – рядок, що задає опис (коротке пояснення) заданого параметра;

- `default_value` – раціональне число, що описує значення за замовчуванням;

- `is_constant` – логічна величина, що показує можливість зміни параметра в ході розрахунку моделюючої функції.

Таблиця `methods` описуються наступними полями:

- `id` – унікальний первинний ключ;

- `name` – унікальний не нульовий рядок, що описує назву функції, зрозуміле людині;

- `math_name` – унікальний ненульовий рядок, що описує математичне позначення функції;

- `description` – рядок, що задає опис (коротке пояснення) заданої функції;

- `x_function` – ненульовий рядок, що описує x-складову функції, що моделює контур;
- `y_function` – ненульовий рядок, що описує y-складову функції, що моделює контур;
- `is_constant` – логічна величина, що показує, чи є дана функція самостійної або ж допоміжної.

Зовнішня база представлено трьома таблицями:

- `layers` – список описаних у проекті шарів (безліч об'єктів, об'єднане по деякому принципу);
- `objects` – список об'єктів, що перебувають на шарах (географічні елементи, що вимагають розміщення на карті);
- `parameters_values` – таблиця відповідностей об'єктів, змінних і їх значень.

Таблиця `layers` описується наступними полями:

- `id` – унікальний первинний ключ;
- `name` – унікальний ненульовий рядок, що описує назву шару, відображуваного в системі;
- `description` – рядок, що описує пояснення (короткий опис) шару;
- `default_filling_color` – ненульовий рядок, що задає колір заповнення об'єктів шару при відображенні за замовчуванням;
- `default_border_color` – ненульовий рядок, що задає колір границі об'єктів шару при відображенні за замовчуванням;
- `is_visible` – логічна величина, що вказує на необхідність відображення об'єктів заданого шару.

Таблиця `objects` описується наступними полями:

- `id` – унікальний первинний ключ;
- `id_layer` – ненульовий ключ, що вказує на приналежність до заданого шару;
- `name` – унікальна (у межах одного шару) ненульовий рядок, що описує назву об'єкта, відображуваного в системі;
- `description` – рядок, що описує пояснення (короткий опис) об'єкта;

- `filling_color` – ненульовий рядок, що задає колір заповнення об'єкта при відображенні;
- `border_color` – ненульовий рядок, що задає колір границь об'єкта при відображенні;
- `type` – числовий атрибут, що вказує на тип (геометрію) об'єкта (0 – NONE/порожній; 1 – POINT/крапка; 2 – LINE/незамкнута ліній; 3 – POLYGON/замкнений багатокутник; 4 – LIVE/«живий» об'єкт);
- `points` – рядок, що описує геокоординати крапок, по яких будується об'єкт;
- `id_method` – ключ, що вказує на метод, використовуваний при побудові об'єкта.

Таблиця `parameters_values` описується наступними полями:

- `id` – унікальний первинний ключ;
- `id_object` – ключ об'єкта, якому відповідає значення параметра;
- `id_parameter` – ключ параметра, якому задається значення;
- `value` – раціональне число, що описує значення заданого параметра для заданого об'єкта.

Для обробки й збору даних бази пропонується будувати «ядро» системи по моделі.

3.2 Ядро додатка

Ядро системи (див. рис. 3.3) пропонується організувати так, щоб забезпечити найбільш гнучку роботу основних елементів систем. Воно представляє із себе набір, що полягає з 15 класів, відповідальних за завантаження і вивантаження даних бази, що забезпечують взаємодію між наявними геооб'єктами, що надають доступ до мінімального функціонала всієї системи на рівні текстового командного рядка:

- Cmethod – клас, що описує й виконує математичні моделі, використовувані в системі, агрегує об'єкти Cpointlist і Cparameterlist;
- Cmethodlist – клас (спадкоємець List) індексований доступ, що надає, до агрегованих об'єктів Cmethod;
- Cparametervalue – клас, що описує значення параметрів системи;
- Cparametervaluelist – клас (спадкоємець List) індексований доступ, що надає, до агрегованих об'єктів Cparametervalue;
- Cobject – клас, що визначає гео-об'єкти, агрегує об'єкти Cparametervaluelist і Cpointlist;
- Cobjectlist – клас (спадкоємець List) індексований доступ, що надає, до агрегованих об'єктів Cobject;
- Claye – клас, що описує використовувані в системі шари, агрегує об'єкти Cobjectlist;
- Clayelist – клас (спадкоємець List) індексований доступ, що надає, до агрегованих об'єктів Claye.

Клас Sqlite (див. рис. 3.4) описується наступними полями й методами.

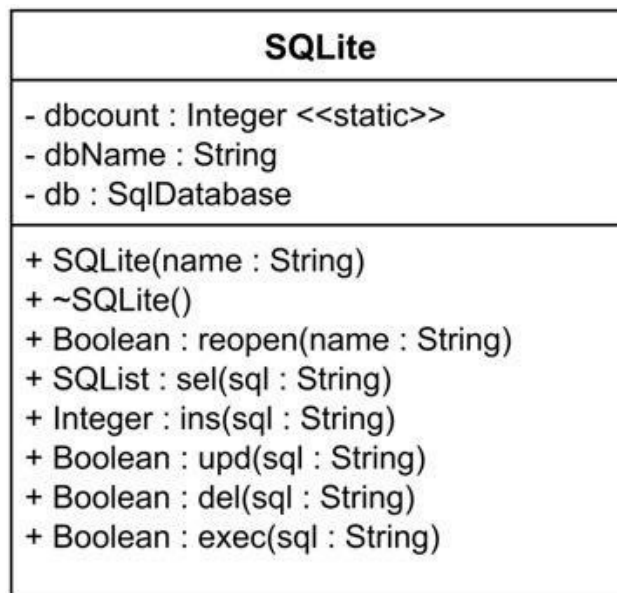


Рисунок 3.4 – Модель класу *Sqlite*

- dbcount – поле, що відбиває кількість активних з'єднань на даний момент;
- dbname – ім'я бази даних, до якої підключений даний екземпляр класу;
- db – об'єкт-драйвер підключення до бази даних;

- Sqlite – конструктор екземпляра класу, що ухвалює ім'я бази даних, створює драйвер і встановлює з'єднання з базою;
- ~sqlite – деструктор екземпляра класу, закриває з'єднання з базою даних;
- sel – метод вибірки даних по переданому запиту, формує результат в асоціативні масиви;
- ins – метод вставки даних, повертає ідентифікатор нового запису;
- upd – метод відновлення даних, повертає прапор успішності виконання запиту;
- del – метод видалення даних, повертає прапор успішності виконання запиту.

Клас Mercatorprojection (рис. 3.5) описується наступними полями й



Рисунок 3.5 – Модель класу *Mercatorprojection*

методами:

- D_R – поле, що відбиває відношення r до 180 градусів;
- R_D – поле, що відбиває відношення 180 градусів до r ;
- R_MAJOR – найбільший радіус Землі;
- R_MINOR – найменший радіус Землі;
- RATIO – відношення найменшого радіуса Землі до найбільшого;
- ECCENT – ексцентриситет Землі;
- COM – половина ексцентриситету Землі;

- TILE_SIZE – розмір мінімального елемента карти;
 - pixelorigin – опорна крапка;
 - pixelsperlondegree – кількість пікселів на градус довготи;
 - pixelsperlonradian – кількість пікселів на радіан довготи;
 - earthradius – радіус Землі;
 - bound – метод «обмежник» даних по заданому діапазону;
 - degreestoradians – метод перекладу градусів у радіани;
 - radianstodegrees – метод перекладу радіан у градуси;
 - fromgeotopoint – метод перекладу географічних координат в декартові;
 - frompointtogeo – метод перекладу декартових координат у географічні;
 - fromgeotopixels – метод перекладу географічних координат у декартові із заданим масштабом;
 - frompixelstogeo – метод перекладу декартових координат у цілочисельні із заданим масштабом;
 - fromgeotometers – метод перекладу географічних координат у метричні;
 - frommeterstogeo – метод перекладу метричних координат у географічні.
- Клас Spoint (рис. 3.6.) описується наступними полями й методами:
- defaultlat– поле, щомістить значення широти за замовчуванням;
 - defaultlon– поле, щомістить значення довготи за замовчуванням;
 - scale – поле, що відбиває значення масштабу в цей момент;
 - lastscale – поле, що зберігає значення масштабу при попередніх розрахунках;
 - worldx – декартова координата по осі X для заданої крапки;
 - worldly – декартова координата по осі Y для заданої крапки;
 - meterx – метрична координата по осі X для заданої крапки;
 - metery – метрична координата по осі Y для заданої крапки;
 - lat – широта заданої крапки;
 - lon – довгота заданої крапки;
 - needmeterupdate – прапор необхідності відновлення метричних координат;

- getscale – метод одержання масштабу в даний моменту часу;
- setscale – метод установки масштабу в цей момент часу.

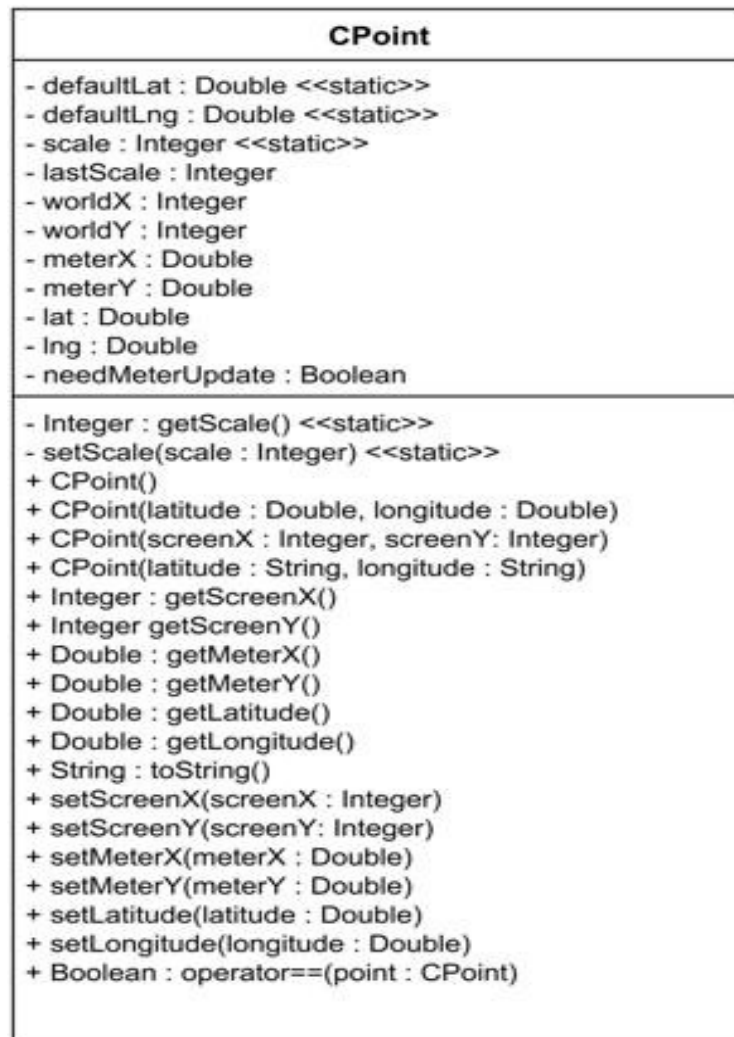


Рисунок 3.6 – Модель класу *Cpoint*

3.3 Компоненти візуалізації й контролю системи

Наступним кроком у проектуванні системи стала розробка концепції компонентів візуалізації й контролю системи.

Розширена діаграма класів описує наступні елементи:

- `Cmainwindow` – описує головне вікно додатка, робить початкове налаштування, організує з'єднання із внутрішньою базою, надає необхідні інтерфейс користувачеві;
- `Mapwidget` – описує об'єкт користувацького інтерфейсу, що візуалізує статичні й динамічні гео-дані;
- `Mappointer` – візуалізатор окремих гео-об'єктів;
- `Staticmap` – компоновщик загальнодоступних растрових гео-даних;
- `Filedownloader` – організує асинхронне завантаження необхідних загальнодоступних растрових гео-даних

Клас `Staticmap` (рис. 3.7) описується наступними полями й методами:

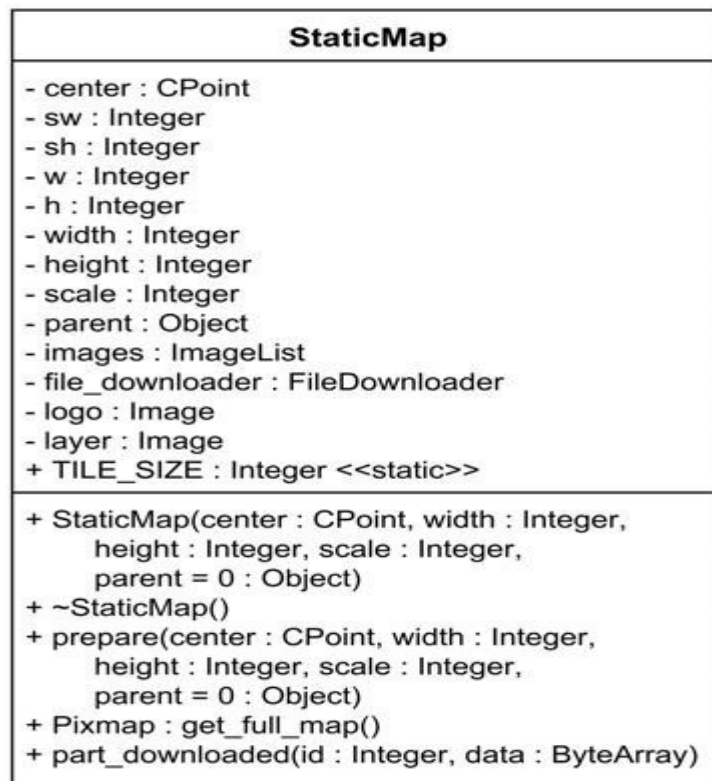


Рисунок 3.7 – Модель класу `Staticmap`

- `center` – центр карти в цей момент;
- `sw` – позиція початку компонування растрових даних по осі X;
- `sh` – позиція початку компонування растрових даних по осі Y;
- `w` – кількість елементів компонування растрових даних по осі X;
- `h` – кількість елементів компонування растрових даних по осі Y;
- `width` – ширина області компонування в цей момент;

- height – висота області компонування в цей момент;
- scale – масштаб у цей момент;
- parent – об'єкт «батько» (Mapwidget);
- images – список підготовлених елементів компонування;
- file_downloader – список завантажників елементів компонування;
- logo – зображення логотипа відкритої системи, що надає растрові гео-дані;
- layer – «задник» з логотипом відкритої системи, що надає растрові гео-дані;
- TILE_SIZE – розмір елементів компонування;
- Staticmap – конструктор компоновщика;
- ~staticmap – деструктор компоновщика;
- prepare – метод підготовки елементів до компонування;
- get_full_map – одержання скомпонованого растрового шару;
- part_downloaded – відгук на завершення завантаження необхідного елемента;

Клас Filedownloader (рис. 3.8) описується наступними полями й методами:

- center – центр карти в цей момент;
- image_url – адреса файлу, що завантажувється;
- m_web_ctrl – контролер мережного з'єднання;
- m_downloaded_data – завантажені дані;
- id – ідентифікаторзавантажника;
- Filedownloader – конструктор завантажника;
- ~filedownloader – деструктор завантажника;
- downloaded_data – отримання завантажених даних;
- get_id – одержання ідентифікатора завантажника;
- set_id – установка ідентифікатора завантажника;
- run – запуск завантаження даних;
- file_downloaded – відгук на завершення завантаження даних.

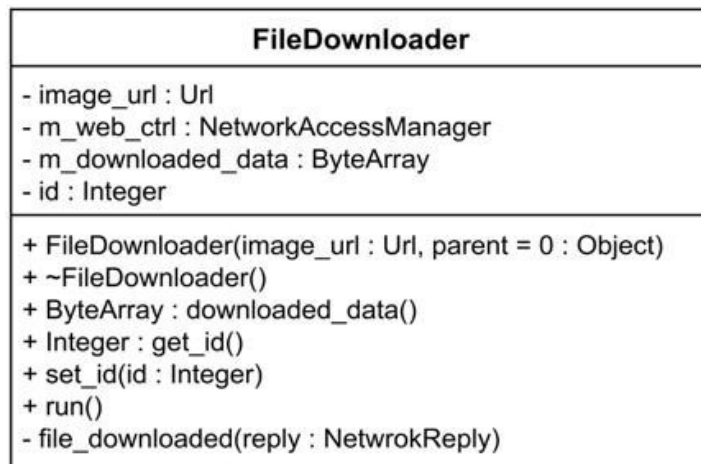


Рисунок 3.8 – Модель класу FileDownloader

Клас Aboutdialog (рис. 3.9) описується наступними полями й методами:

- ui – об'єкт, що описує статичний інтерфейс вікна;
- Aboutdialog – конструктор вікна;
- ~aboutdialog – деструктор вікна;
- on_ok_clicked – реакція на натискання кнопки ок;

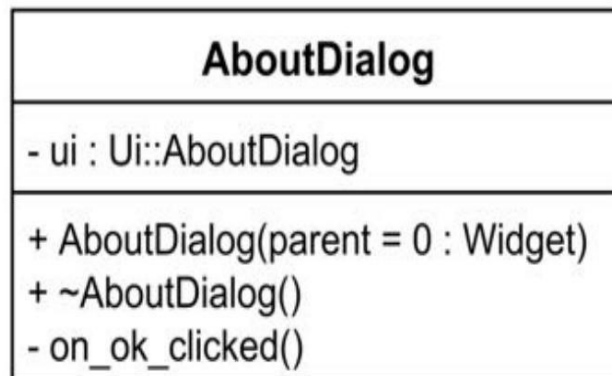


Рисунок 3.9 – Модель класу Aboutdialog

Клас Dictanorydialog (рис. 3.10) описується наступними полями й методами:

- parameter_list – список параметрів системи;
- method_list – список методів системи;
- selected_parameter – номер обраного параметра;
- selected_method – номер обраного методу;
- parameter_dialog – екземпляр форми редагування/створення параметра;
- method_dialog – екземпляр форми редагування/створення методу;
- ui – об'єкт, що описує статичний інтерфейс вікна;

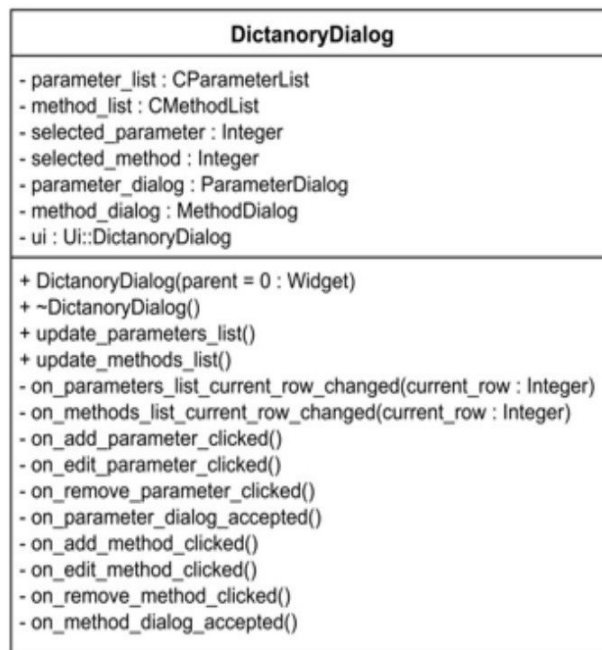


Рисунок 3.10 – Модель класу Dictanorydialog

- Dictanorydialog – конструктор;
- ~dictanorydialog – деструктор;
- update_parameters_list – метод відновлення списку параметрів;
- update_methods_list – метод відновлення списку методів;
- on_parameters_list_current_row_changed – відгук на зміну обраного параметра;
- on_methods_list_current_row_changed – відгук на зміну обраного методу;
- on_add_parameter_clicked – відгук на створення нового параметра;
- on_edit_parameter_clicked – відгук на редагування обраного параметра;
- on_remove_parameter_clicked – відгук на запит видалення обраного параметра;
- on_parameter_dialog_accepted – відгук на завершення редагування/створення параметра;
- on_add_method_clicked – відгук на створення нового методу;
- on_edit_method_clicked – відгук на редагування обраного методу;
- on_remove_method_clicked – відгук на запит видалення обраного методу;
- on_method_dialog_accepted – відгук на завершення редагування/створення методу.

Клас Methoddialog (рис. 3.11) описується наступними полями й методами:

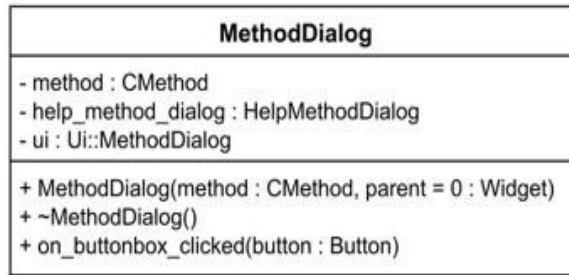


Рисунок 3.11 – Модель класу Methoddialog

- method – що редагується/створюваний метод;
- help_method_dialog – екземпляр довідника вбудованих методів системи;
- ui – об'єкт, що описує статичний інтерфейс вікна;
- Methoddialog – конструктор;
- ~methoddialog – деструктор;
- on_buttonbox_clicked – редагування/створення методу.

Клас Helpmethoddialog (рис. 3.12) описується наступними полями й методами:

- defined – список заданих стандартних методів системи;
- ui – об'єкт, що описує статичний інтерфейс вікна;
- Helpmethoddialog – конструктор;
- ~helpmethoddialog – деструктор.

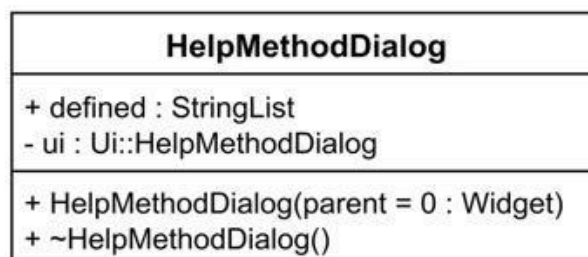


Рисунок 3.12 – Модель класу Helpmethoddialog

Клас Parameterdialog (рис. 3.13) описується наступними полями й методами:

- parameter – що редагується/створюваний параметр;
- ui – об'єкт, що описує статичний інтерфейс вікна;
- Parameterdialog – конструктор;
- ~parameterdialog – деструктор;

- `on_buttonbox_clicked` – відгук на завершення редагування/створення параметра.

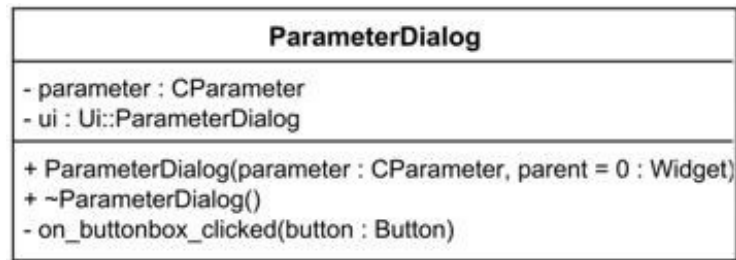


Рисунок 3.13 – Модель класу Parameterdialog

Клас `Aboutlayerdialog` (рис. 3.14) описується наступними полями й методами:

- `Aboutlayerdialog` – конструктор;
- `~aboutlayerdialog` – деструктор.

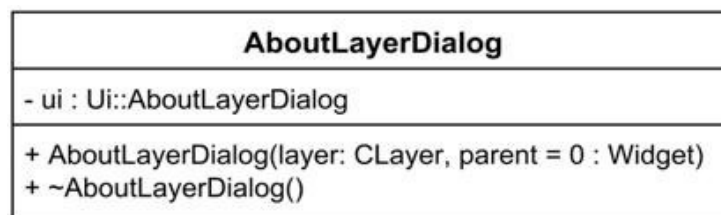


Рисунок 3.14 – Модель класу Aboutlayerdialog

Клас `Layerdialog` (рис. 3.15) описується наступними полями й методами:

- `ui` – об'єкт, що описує статичний інтерфейс вікна;
- `layer` – що редагується/створюваний шар;
- `filling_color` – колір тла при відображенні об'єктів шару за замовчуванням;
- `border_color` – колір границі при відображенні об'єктів шару за замовчуванням;

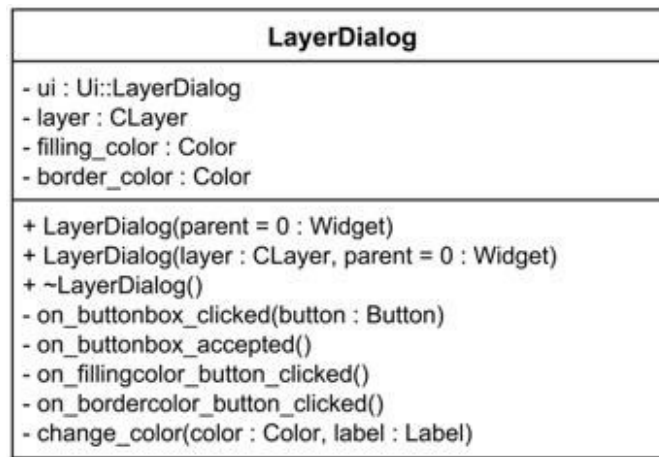


Рисунок 3.15 – Модель класу Layerdialog

- Layerdialog – конструктори;
- ~layerdialog – деструктор;
- on_buttonbox_clicked – відгук на завершення редагування/створення шару;
- on_buttonbox_accepted – відгук на сприятливе завершення редагування/створення шару;
- on_fillingcolor_button_clicked – відгук на зміну кольору тла відображення об'єктів шару за замовчуванням;
- on_bordercolor_button_clicked – відгук на зміну кольору границі відображення об'єктів шару за замовчуванням;
- change_color – зміна кольору елемента інтерфейсу.

Клас Objectdialog (рис. 3.16) описується наступними полями й методами:

- ui – об'єкт, що описує статичний інтерфейс вікна;
- latitude_list – список об'єктів інтерфейсу, що описують широтикрапок;
- longitude_list – список об'єктів інтерфейсу, що описують довготи крапок;
- latlon_list – об'єднаний список об'єктів інтерфейсу, що описують крапки;
- method_list – список доступних у системі методів;
- object – що редагується/створюваний об'єкт;
- current_value – обраний параметр;
- parameter_value_dialog – екземпляр форми редагування значень параметрів даного об'єкта;

- old_parameters – резервна версія значень параметрів;
- need_downdate_parameters – прапор необхідності повернення резервної версії значень параметрів;

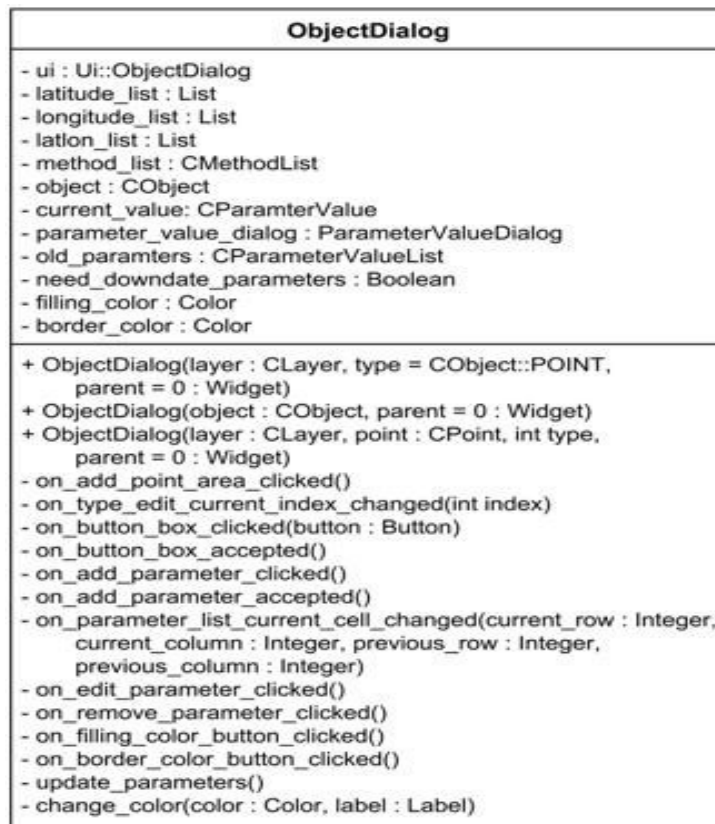


Рисунок 3.16 – Модель класу Objectdialog

- filling_color – колір тла об'єкта при відображенні;
- border_color – колір границі об'єкта при відображенні;
- Objectdialog – конструктори;
- add_point_area_clicked – додавання об'єктів інтерфейсу для опису ще однієї крапки;
- on_type_edit_current_index_changed – відгук на зміну типу об'єкта;
- on_buttonbox_clicked – відгук на завершення редагування/створення об'єкта;
- on_buttonbox_accepted – відгук на сприятливе завершення редагування/створення об'єкта;
- on_add_parameter_clicked – відгук на завдання величини для нового параметра;

- `on_add_parameter_accepted` – відгук на завершення завдання величини для нового параметра;
- `on_parameter_list_current_cell_changed` – відгук на зміну обраного параметра;
- `on_edit_parameter_clicked` – відгук на зміну величини для обраного параметра;
- `on_remove_parameter_clicked` – відгук на запит видалення значення для обраного параметра;
- `on_filling_color_button_clicked` – відгук на зміну кольору тла об'єкта при відображенні;
- `on_border_color_button_clicked` – відгук на зміну кольору границі об'єкта при відображенні;
- `update_parameters` – відновлення списку параметрів об'єкта;
- `change_color` – метод зміна кольору елемента інтерфейсу.

Клас `ParameterValuedialog` (описується наступними полями й методами):

- `ui` – об'єкт, що описує, статичний інтерфейс вікна;
- `parameters_list` – список доступних параметрів системи;
- `object` – об'єкт;
- `value` – установлюване значення параметра;
- `ParameterValuedialog` – конструктори;
- `~parameterValuedialog` – деструктори;
- `on_parameter_box_current_index_changed` – відгук на зміну параметра;

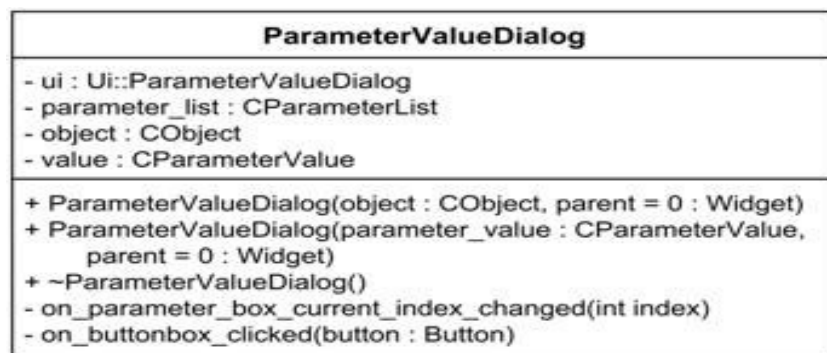


Рисунок 3.17 – Модель класу `ParameterValuedialog`

- `on_buttonbox_clicked` – відгук на завершення редагування/створення значення параметра.

4 ОПИС РОЗРОБЛЕНОЇ ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ

4.1 Вибір технологій зберігання даних

Вибір технологій розробки інформаційної системи, моделі якої розглядалися, важливий і відповідальний процес. На основі запропонованих схем і моделей елементів пропонованої системи складаються критерії оцінки програмних засобів і технологій. Також розглядаються елементи інтерфейсу розроблювальної інтелектуальної геоінформаційної системи, приводяться приклади роботи описаних у другому розділі математичних моделей динамі контурів лісових пожеж.

У третьому розділу була детально вивчена схема бази даних пропонованої інтелектуальної геоінформаційної системи. Для її реалізації слід виділити критерії відбору програмних засобів реалізації. Існує велика безліч різних критеріїв відбору систем керування базами даних, націлених на різні області розробки додатків. Найчастіше із цієї безлічі виділяється кілька критеріїв, що підходять для конкретної інформаційної системи. Оцінивши запропоновані схеми даних, були виділені власні критерії відбору програмних продуктів, що організують збір, зберігання й обробку даних:

- можливість переносу збережених даних з однієї електронно-обчислювальної машини на іншу;
- невелика вага бази даних;
- висока швидкість завантаження/вивантаження даних з сховища;
- гнучка система запитів до бази даних;
- вільна програмна платформа.

На основі обраних критеріїв відбору, опираючись на запропоновану схему бази даних, були обрано кілька популярних систем керування базами даних:

- Microsoft Office Access – реляційна система керування базами даних (СКБД) корпорації Microsoft. Входить до складу пакета Microsoft Office. Має

широкий спектр функцій, включаючи зв'язані запити, зв'язок із зовнішніми таблицями й базами даних;

- MySQL – вільна реляційна система керування базами даних. Продукт поширюється як під GNU General Public License, так і під власною комерційною ліцензією.

- Sqlite – компактна реляційна база, що вбудовується, даних. Вихідний код бібліотеки переданий у суспільне надбання.

- Postgresql – вільна об'єктно-реляційна система керування базами даних (СКБД). Із проведеного оцінювання було ухвалене рішення про використання СКБД Sqlite.

4.2 Вибір технологічного рішення для побудови ядра й компонентів візуалізації й контролю

Оцінка програмних засобів реалізації інформаційних систем – довгий і трудомісткий процес. При розробці великих додатків звичайно складається специфічний список критеріїв, що відповідають усім вимогам майбутньої системи. У випадку запропонованої вузьконаправленої геоінформаційної системи було ухвалене рішення про створення власної шкали оцінювання програмних платформ розробки:

- об'єктно-орієнтований підхід до розробки;
- відносно гнучка робота з базами даних;
- система побудови візуального інтерфейсу;
- вільна програмна платформа;
- висока швидкість роботи й низьке споживання пам'яті;
- кросплатформена розробка.

На основі обраних критеріїв і описаних у третьому розділі моделей будови додатка, були обрано кілька платформ, що відповідають тем або іншим вимогам майбутньої системи:

- Microsoft Visual C++ – інтегроване середовище розробки додатків мовою C++, розроблена корпорацією Microsoft, що й поставляється або як частина комплекту Microsoft Visual Studio, або окремо у виді безкоштовного функціонально обмеженого комплекту Visual C++Express Edition;

- Microsoft Visual C# – інтегроване середовище розробки додатків мовою C#, розроблена корпорацією Microsoft, що й поставляється або як частина комплекту Microsoft Visual Studio;

- Java – сильно типізований об'єктно-орієнтована мова програмування, розроблений компанією Sun Microsystems (надалі придбаною компанією Oracle);

- Python/Python3 – високорівнева мова програмування загального призначення, орієнтований на підвищення продуктивності розроблювача й читаності коду. Синтаксис ядра Python мінімалістичний. У той же час стандартна бібліотека включає великий обсяг корисних функцій;

- Qt – кросплатформений інструментарій розробки ПО мовою програмування C++;

- Delphi – імперативна, структурована, об'єктно-орієнтована мова програмування зі строгою статичною типізацією змінних.

Із проведеного оцінювання було ухвалене рішення про використання програмної платформи Qt на основі мови програмування C++.

4.3 Інтерфейс інтелектуальної геоінформаційної системи

Інтерфейс програмного додатку (див. рис. 4.1.) має модульну структуру, меню, що містить різні функції, націлені на керування зовнішнім і внутрішнім сховищами, а також динамікою моделювання «живих» об'єктів. Для зручності

використання системи ядро додатка при завантаженні намагається визначити гео-локаційні дані по наявному *ip* адресі електронно-обчислювальної машини й автоматично переносить центр карти в отримані координати. У випадку неможливості визначити положення машини центром карти за замовчуванням вважає крапку з координатами 0,0, 0,0°.

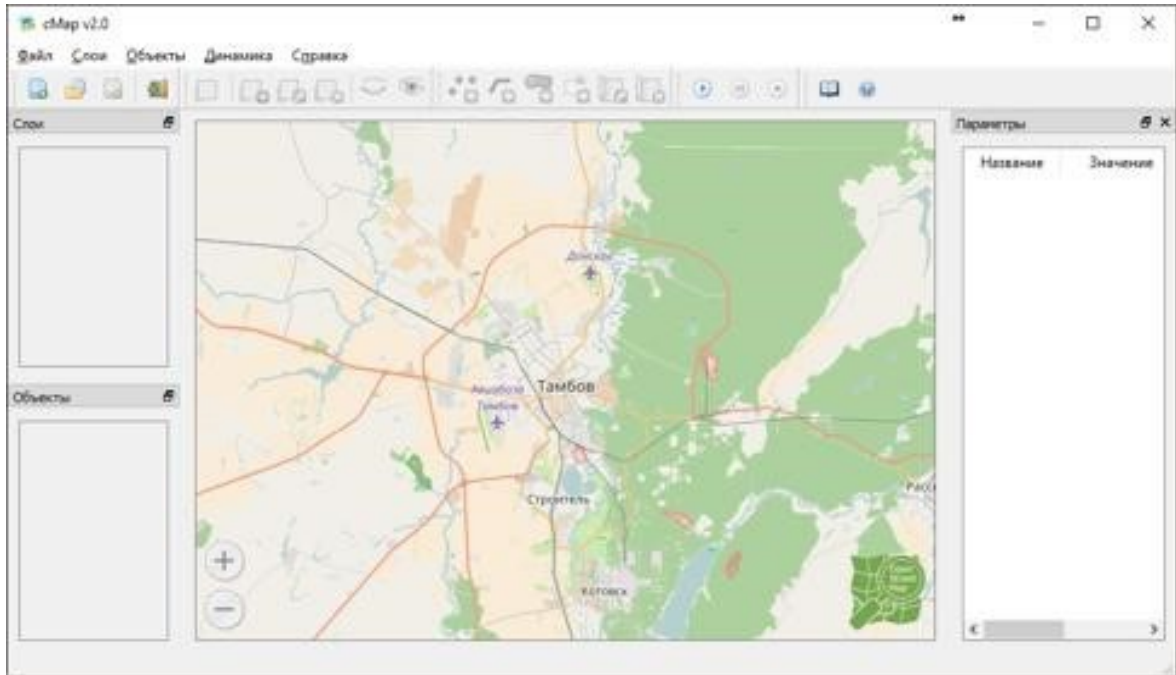


Рисунок 4.1 – Головне вікно додатка в режимі відключеного зовнішнього сховища даних

Меню керування підключенням до зовнішнього сховища (рис. 4.2.) складається з 4 елементів:

- **НОВИЙ ПРОЕКТ** – створює порожнє зовнішнє сховище й відразу пропонує зберегти його у файл на диску;
- **ВІДКРИТИ ПРОЕКТ** – відкриває вже існуюче зовнішнє сховище з файлу на диску;
- **ЗАКРИТИ ПРОЕКТ** – розриває з'єднання з відкритим раніше зовнішнім сховищем;
- **ВИХІД** – робить запит на завершення роботи. У випадку позитивної відповіді – робить збереження всіх останніх змін, розриває з'єднання з відкритим раніше сховищем і завершує роботу системи.

Для спрощення роботи системи в операційній системі електронно-обчислювальної машини додаток робить збереження зовнішніх даних у файли розширення *.smar, що дозволяє виділяти їх серед інших файлів на диску.

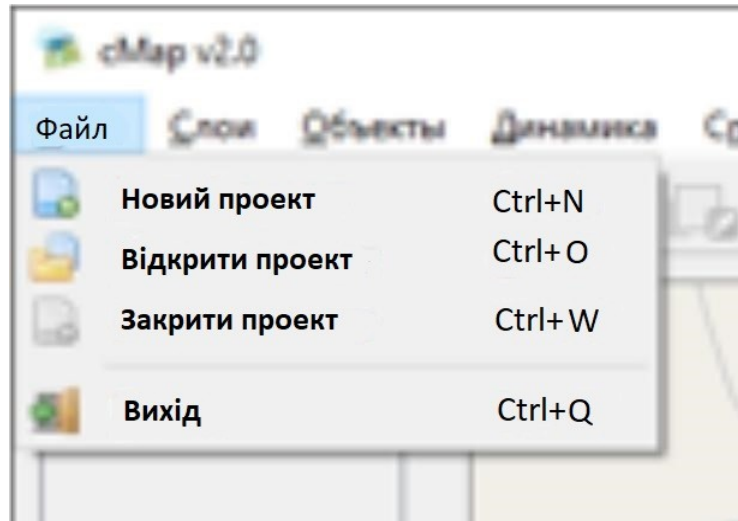


Рисунок 4.2 – Меню файл

Меню керування шарами (рис. 4.3), збереженими в обраному зовнішньому сховищі, складається з 6 елементів:

- ОПИС – викликає вікно з інформацією про обраний шар;
- ДОДАТИ – викликає форму додавання нового шару;

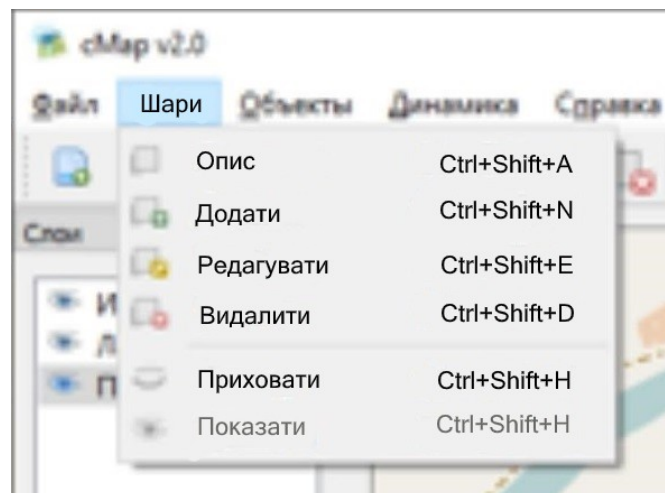


Рисунок 4.3 – Меню шари

Меню керування об'єктами (рис. 4.4) обраного шару складається з 3 елементів:

- СТВОРИТИ – підменю, що поєднує елементи, що викликає форми створення нових об'єктів типів: крапка, шлях (лінія), область (багатокутник) і «живий» (модельований);
- ЗМІНИТИ – викликає форму редагування обраного об'єкта;
- ВИЛУЧИТИ – робить запит на видалення обраного об'єкта.

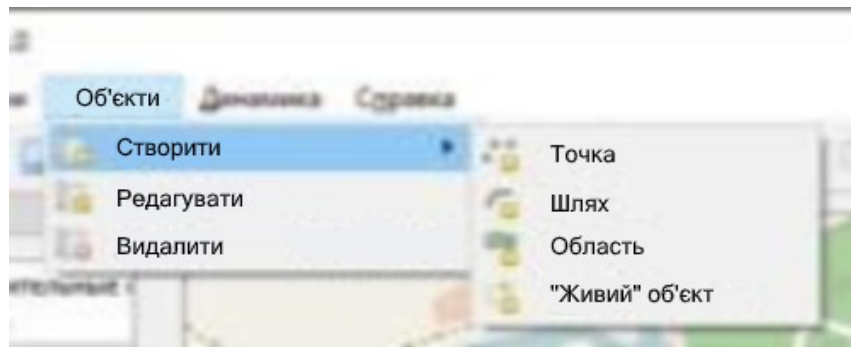


Рисунок 4.4 – Меню об'єкти

У випадку позитивної відповіді користувача видаляє обраний об'єкт і всі значення параметрів, задані для нього.

Меню керування процесом моделювання «живих» об'єктів складається з 5 елементів:

- СТАРТ – запускає процес моделювання «живих» об'єктів;
- ПАУЗА – припиняє процес моделювання «живих» об'єктів;
- СТОП – повністю зупиняє процес моделювання «живих» об'єктів;
- ШВИДКІСТЬ – підменю, утримуюче елементи, регулюючі швидкість моделювання: x1 – нормальна швидкість; x2 – подвійне прискорення; x4 – четверне прискорення; x8 – восьмикратне прискорення;
- ЗАДАТИ ЧАС – викликає форму завдання часу моделювання, припиняє процес моделювання «живих» об'єктів.

Довідкове меню (рис. 4.5) містить 2 елемента:

- СЛОВНИК – викликає вікно керування внутрішнім сховищем системи;
- ПРО ПРОГРАМУ – викликає інформаційне вікно з інформацією про систему.

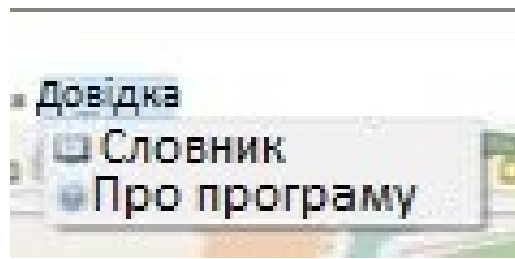


Рисунок 4.5 – Меню довідка

Шари, описані в підключенім зовнішньому сховищі, відображаються в вікні «шари», що стикується (рис. 4.6). Кожний шар супроводжується піктограмою, що описує, чи є він схованим чи ні.

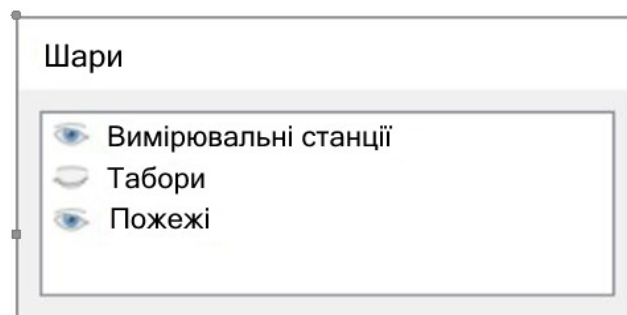


Рисунок 4.6 – Вікно, що стикується

Об'єкти обраного шару відображаються в вікні «об'єкти», що. Кожний об'єкт супроводжується піктограмою, що відображає його тип. Значення параметрів у центральній крапці карти динамічно розраховуються й відбиваються в вікні параметрів, що стикується (рис. 4.7).

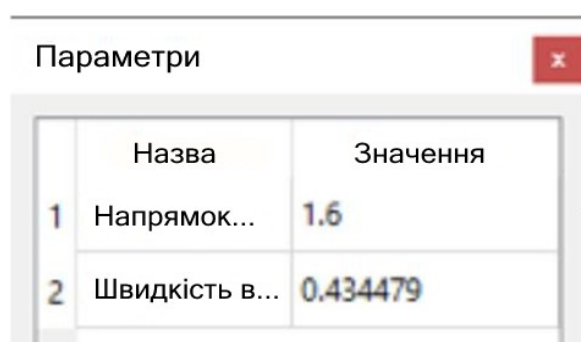


Рисунок 4.7 – Вікно, що стикується – Параметри

Основним елементом системи є карта (рис. 4.8), що складається з відкритих растрових даних, надаваних сервісом Openstreetmap, і об'єктів, описаних у системі. Завантаження растрових даних проводиться за допомогою асинхронних

мережних Get-Запитів до сервісу. Після завантаження дані кешується на жорсткому диску електронно-обчислювальної машини, що дозволяє зменшити кількість запитів до мережних ресурсів. Кешовані дані ідентифікуються із присвоєнням кожному елементу растрового шару унікального ключа, по яким елемент може бути отриманий у майбутньому.

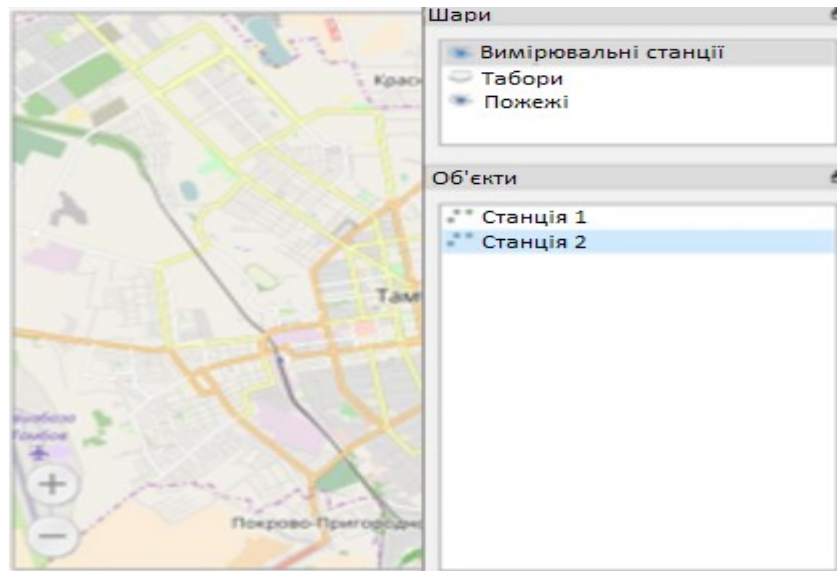


Рисунок 4.8 – Карта із завантаженим растровим шаром

Елемент, що відображає карту, має власний допоміжний інтерфейс. У лівому нижньому куті розміщені кнопки керування масштабом карти. Так само передбачене контекстне меню, викликуване клацанням правої кнопки миші, що працює в декількох станах:

- НОРМАЛЬНИЙ СТАН – у цьому режимі контекстне меню надає можливість створення об'єкта крапка в позиції виклику меню, початку створення об'єктів шлях (лінія), область (багатокутник) і «живий» (модельований), а також вибрати об'єкт у вікні, що стикується ОБ'ЄКТИ або викликати процес його редагування на карті по положенню миші на карті й обраному шару;

- СТАН СТВОРЕННЯ/РЕДАГУВАННЯ ШЛЯХИ– дозволяє додавати, переміщати або видаляти крапки зі шляху;

- СТАН СТВОРЕННЯ/РЕДАГУВАННЯ ОБЛАСТІ – дозволяє додавати, переміщати або видаляти крапки з області;

- СТАН СТВОРЕННЯ/РЕДАГУВАННЯ «ЖИВОГО» ОБ'ЄКТА – дозволяє управляти крапкою початку моделювання й областю виміру параметрів моделювання.

Система має виділений модуль керування даними внутрішнього сховища інформації – словником. Модуль являє собою віконну форму, розділену на 2 панелі: панель керування параметрами й панель керування методами.

Створення й редагування параметрів системи здійснюється окремою формою. Вона включає поля редагування назви параметра, його математичного позначення, короткого опису, значення за замовчуванням і прапора постійності.

Створення й редагування методів системи здійснюється окремою формою. Вона містить у собі поля редагування назви методу, його математичного позначення, короткого опису, функцій поведінки контуру по осях X і Y, а також прапора, що показує несамотійність даного методу. Форма керування настроюваннями шару (рис. 4.9) містить у собі поля редагування назви, опису, квітів заливання й границь за замовчуванням, а також прапора видимості об'єктів шару на карті.

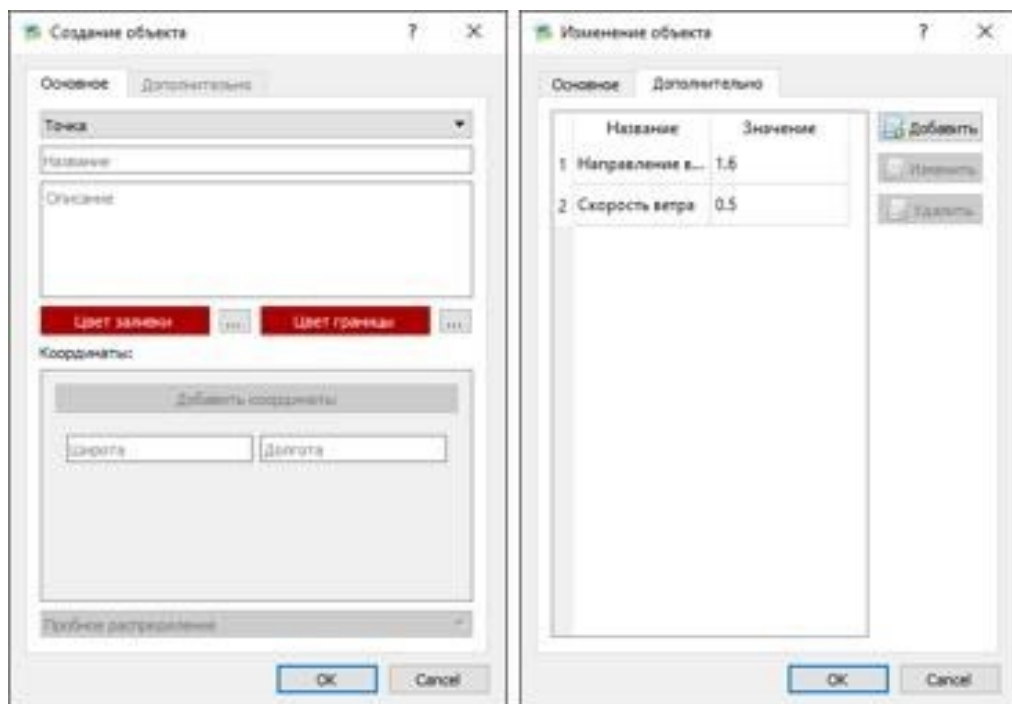


Рисунок 4.9 – Форма редагування об'єкта. Ліворуч панель основних настроювань об'єкта. Праворуч – настроювань параметрів об'єкта

Форма редагування об'єкта розділена на дві панелі. Ліва містить поля редагування: типу об'єкта, назви об'єкта, короткого опису об'єкта, квітів заливання й границі, а також поле вибору методу моделювання об'єкта типу «живий». Праворуч – список параметрів, закріплених за даним об'єктом, а також кнопки керування даним списком редагування, що викликають форму, значення параметра.

5 ОПИС МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Розглянуто роботу розробленої ІГІС на прикладі лісової пожежі, вказаної в відкритих інтернет-джерелах – за даними відкритого сервісу «Карта пожеж», площа, охоплена пожежею, мала вигляд, представлений на рис. 5.1.

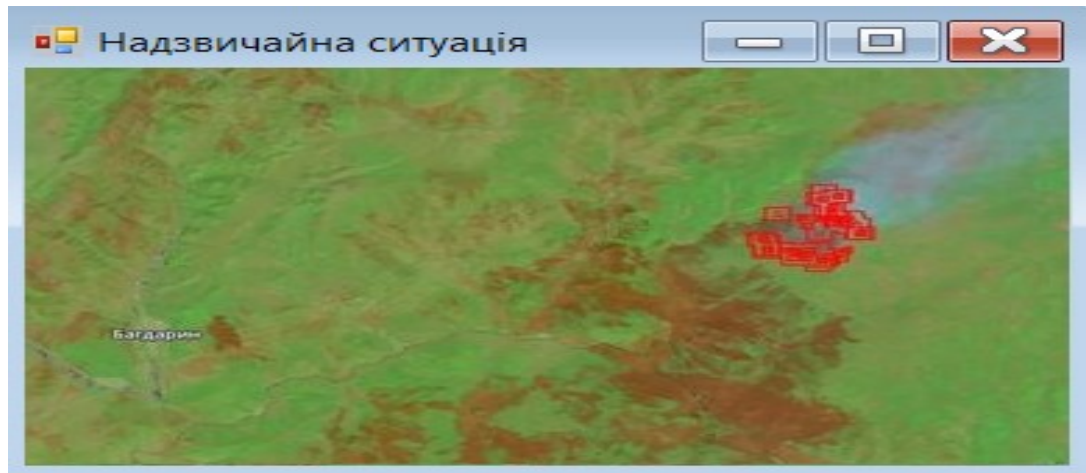


Рисунок 5.1 – Супутниковий знімок пожежі

Аналіз інформації про навколишнє середовище й джерелі загоряння, дозволяє зробити моделювання контуру пропонованого пожежі. Виходячи з характеру горіння лісових мас, розглянуто 4 набори фігуротрис:

Рівномірне поширення, на рис. 5.2 представлені результати моделювання, що описують контур пожежі через 2 доби після початку загоряння.

Наклавши рис. 5.1 і 5.2 один на одного, одержано рис. 5.3. Аналіз рисунку 5.3 дозволяє зробити висновок про те, що рівномірний розподіл описує контур, ширше реального, отже, воно не підходить для даного виду осередка надзвичайної ситуації.

На рис. 5.4 представлені результати моделювання, що описують контур пожежі через 2 доби після початку загоряння.

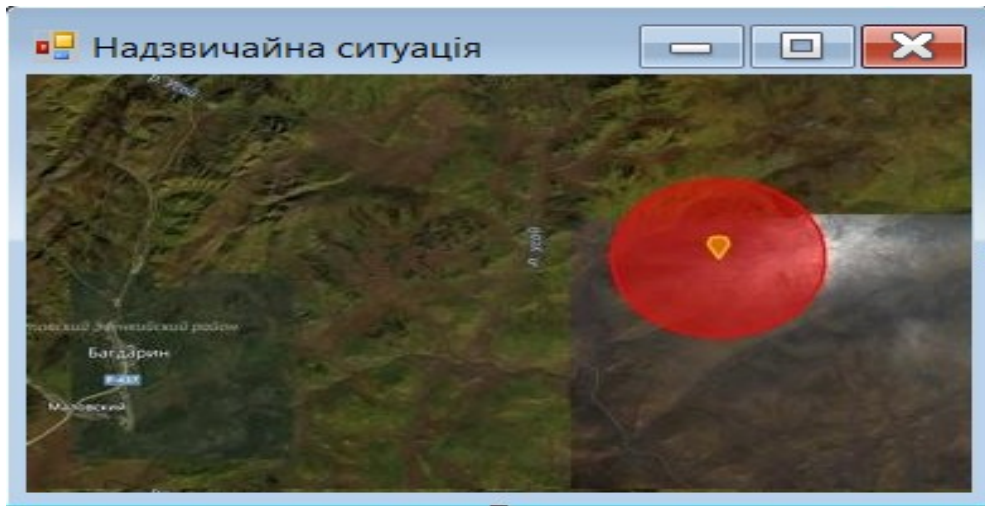


Рисунок 5.2 – Рівномірний розподіл пожежі

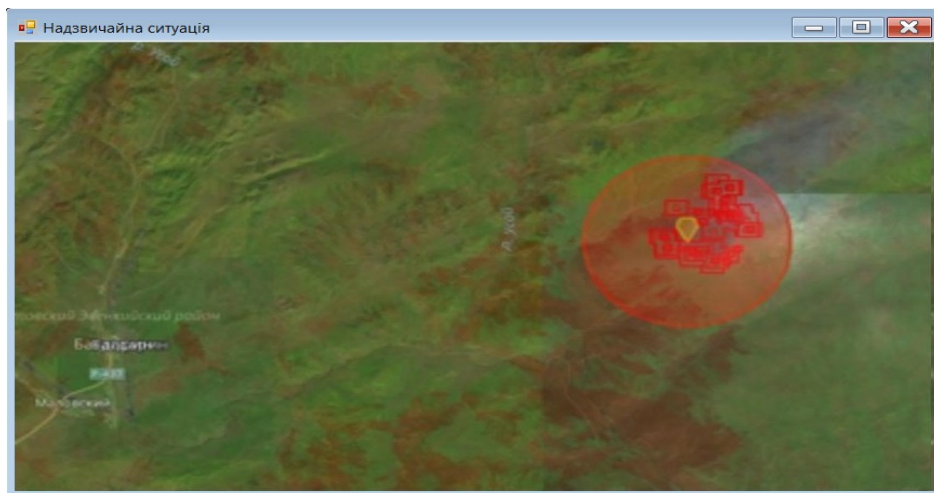


Рисунок 5.3 – Сполучені зображення 5.1 і 5.2

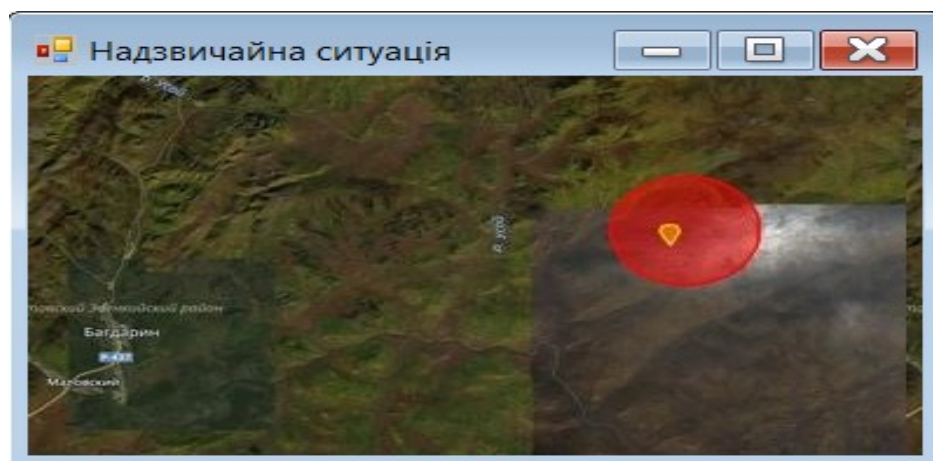


Рисунок 5.4 – Рівномірне поширення з центром, що зміщується

Наклавши рис 5.1 і 5.4 один на одного, одержано рис. 5.5.

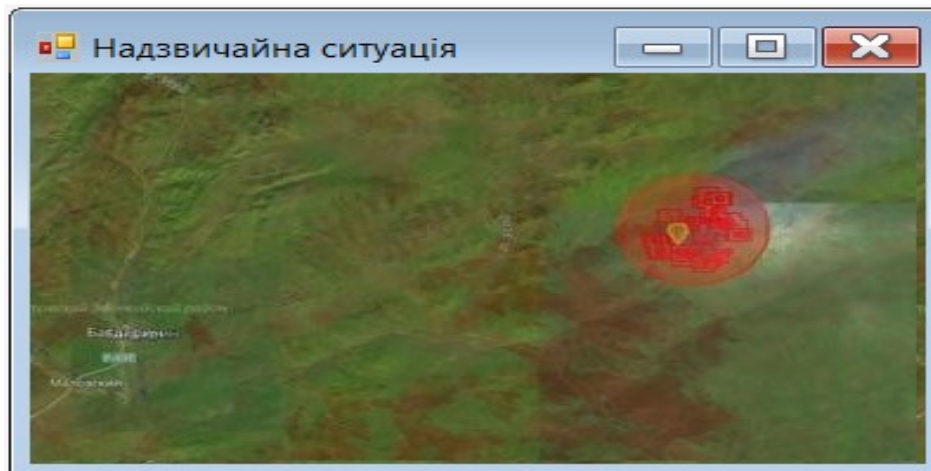


Рисунок 5.5 – Сполучені зображення 5.1 і 5.4

Аналіз екранної форми 5.5 дозволяє зробити висновок про те, що рівномірний розподіл із центром, що зміщається, описує контур, що є ширше реального, отже, такий метод може розглядатися для даного пожежі.

Еліптичне поширення,

На рис 5.6 представлені результати моделювання, що описують контур пожежі через 2 доби після початку загоряння.

Наклавши слої ГІС 5.1 і 5.6 один на одного, одержано екранну форму 5.7.

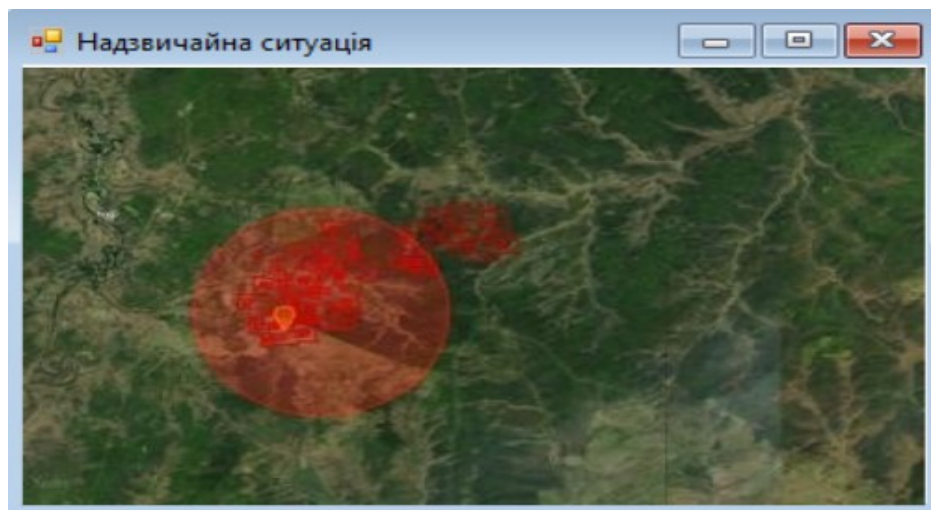


Рисунок 5.7 – Сполучені зображення 5.1 і 5.6

Аналіз рис. 5.7 дозволяє зробити висновок про те, що рівномірний розподіл із центром, що зміщається, описує контур, що не повністю охоплює реальний, отже, воно не може розглядатися для даного прикладу.

Наклавши рис 5.1 і 5.8 один на одного, одержимо форму 5.9.

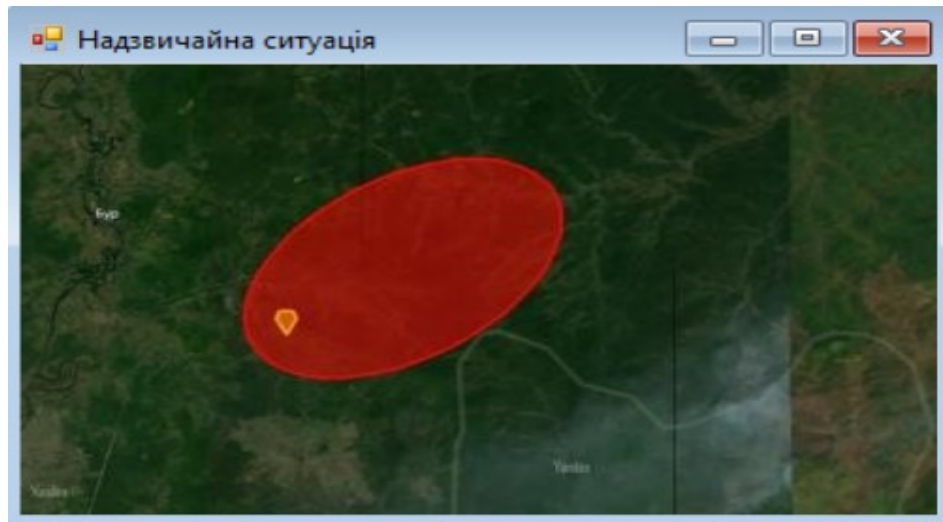


Рисунок 5.8 – Еліптичне поширення

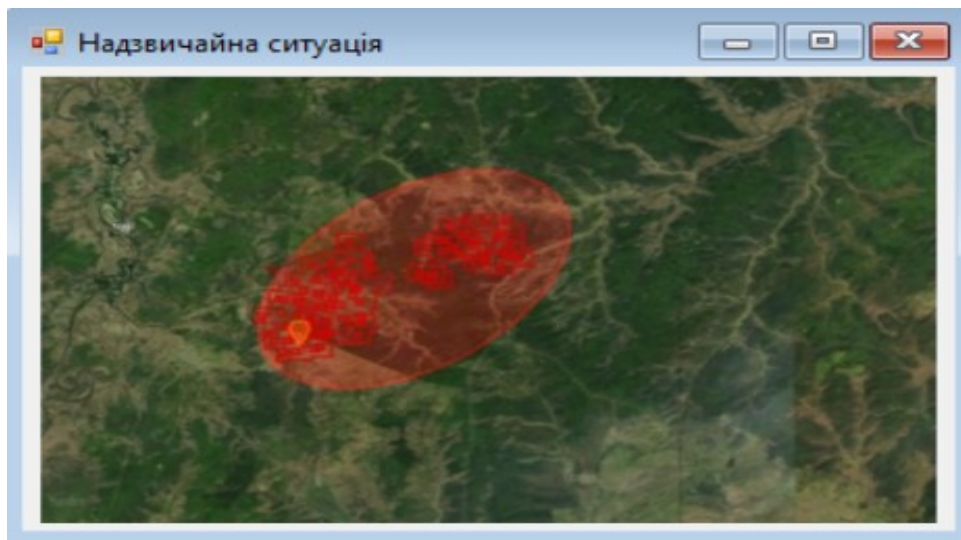


Рисунок 5.9 – Сполучені зображення 5.1 і 5. 8

Аналіз екранної форми 5.9 дозволяє зробити висновок про те, що еліптичне поширення описує контур деяким більший реального, отже, воно може розглядатися для даного пожежі.

На рис 5.10 представлені результати моделювання, що описують контур пожежі через 2 доби після початку загоряння.

Наклавши рис. 5.1 і 5.10 один на одного, одержимо рис. 5.11.

Аналіз рис 5.11 дозволяє зробити висновок про те, що розподіл із завихренням описує контур, набагато ширше реального, отже, воно не підходить для даного типу пожежі.

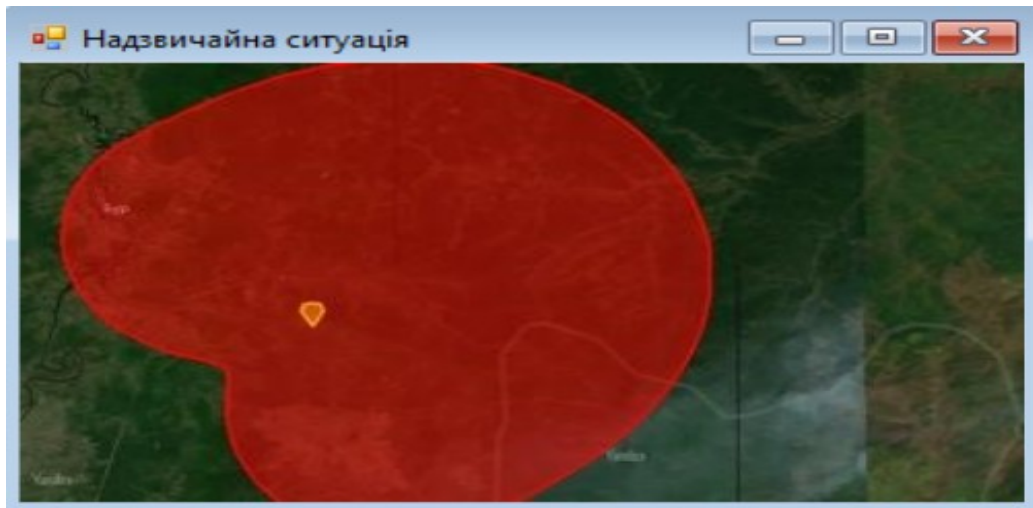


Рисунок 5.10 – Поширення із завихренням

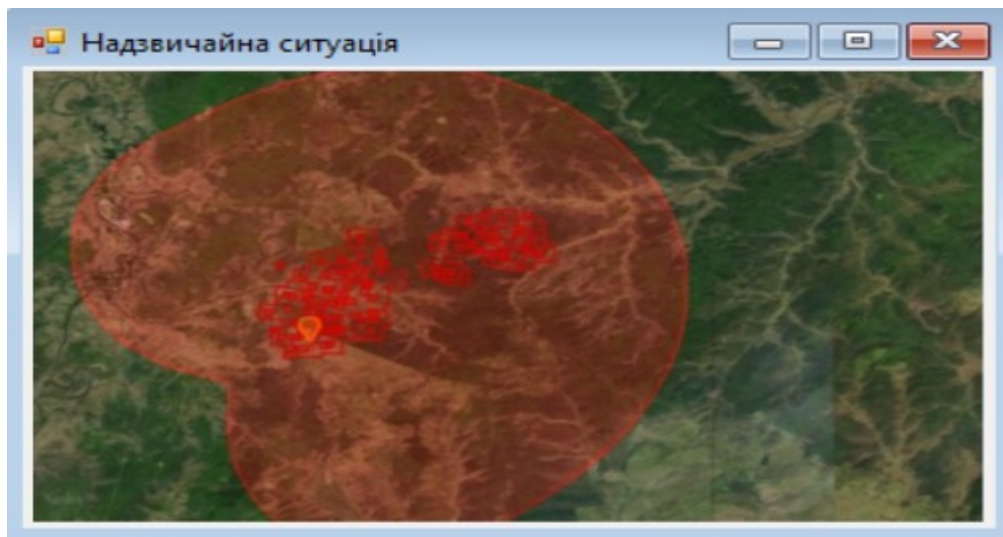


Рисунок 5.11 – Сполучені зображення 5.1 і 5.10

Таким чином на прикладах з відкритих джерел показано спроможність програмної системи до вирішення поставлених завдань, а саме, до розробки пропонованої інтелектуальної геоінформаційної системи. Обрані критерії оцінки систем керування баз даних, що забезпечують оптимальний вибір програмної платформи організації бази даних, а також критерії вибору програмних середовищ і фреймворків.

ВИСНОВКИ

У результаті дослідження побудовані аналітичні моделі динаміки контурів лісових пожеж, що дозволяє робити моделювання процесів горіння у вигляді руху геометричних контурів на площині ґрунтуючись на якісній і кількісній інформації про навколишнє середовище; побудовано процедурні моделі обробки й відображення гео- і метеоданих, що дозволяють робити візуалізацію контурів одержуваних у процесі моделювання;

Розроблені процедурні моделі побудови й візуалізації контурів лісових пожеж, що дозволяє зменшити тимчасові витрати при використанні інтелектуальної геоінформаційної системи на 18-24% (з 18-12 до 13-9 хвилин).

У магістерській роботі вирішене завдання – побудовані аналітичні й процедурні моделі для інформаційного супроводу оцінки поширення контурів лісових пожеж за допомогою інтелектуальної геоінформаційної системи. Мета була досягнута – часові витрати скорочені.

Був проведений докладний опис користувацького інтерфейсу й функцій інтелектуальної системи, а також зроблені імітації деяких моделей, описаних у другому розділі. Аналіз результатів імітаційних досліджень дає можливість зробити висновок, що розроблена інтелектуальна геоінформаційна система дозволяє одержати географічно точну візуалізацію динаміки руху контурів лісових пожеж, представлених у вигляді математичних моделей руху на площині.

Рекомендації й перспективи подальшої розробки теми. Розроблену в ході виконання атестаційної роботи інтелектуальну геоінформаційну систему доцільно застосовувати в установах нагляду над лісовим господарством і пожежною активністю. Подальший розвиток інформаційної системи може бути пов'язаний з динамічним збором метеоданих контрольних крапок, а також аналізом інфрачервоних аерокосмічних знімків реального часу.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Мороженко В. Стан навколосезонного простору. Екологія Землі, її зв'язок з проблемами озоносфери й зміни клімату// Вісник НКА України. - 2001. -№1. - С. 50-59.
2. Некіс В.Е. Основи загальної екології й неоекології. - Харків: Торнадо, 1999.-189с.
3. Марчук Г.І., Кондратьев К.Я. Пріоритети глобальної екології. М.: Наука, 1992. 264 с.
4. Марчук Г. І. Математичне моделювання в проблемі навколишнього середовища. М.: Наука, 1982. 324 с.
5. Багнюк В. Якою буде наша енергетична стратегія? Аргументи проти атомної енергетики // Вісн. НАН України. - 2001. - № 9. - С. 29 – 37.
6. Самарська Е.А., Сузан Д.В., Тишкин В.Ф. Побудова математичної моделі поширення забруднень в атмосфері //Математичне моделювання. 1997. Т.9, №11. С.59-71.
7. Тютюнник Ю.Г. Ландшафтний підхід до вивчення полів атмосферного забруднення міст важкими металами // Географія й природні ресурси. 1993. №1. С.54-59.
8. Берлянд М.Е., Геніхович Е.Л., Грачова І.Г., Оникул Р. І., Філатова Е.Н., Худшудян Л.Г. Про вдосконалення методів розрахунку забруднення атмосфери //Праці ГГО. 1987. Вип. 511. С. 3-23.
9. ESRI Marine and Coast Community // Shannon Lab, USA, 2008. p. 771 [HTML] (www.esri.com/industries/marine/index.html). -2008. - С.6-7.
10. Використання геоінформаційних систем (ГІС) // Vol. 9, № 1, 2017., [HTML] (<https://geographica.com/en/blog/how-gis-has-been-used-2017>). - 2017. - Вип. 12. - С. 10 – 14.

11. Клименко Е.Г. Програмно-алгоритмічні засоби інтелектуального аналізу даних // Радіоелектроніка й інформатика. - 2001. - № 3. - С. 64-67.
12. Шапот М. Інтелектуальний аналіз даних у системах підтримки прийняття рішень// Відкриті системи, 1998, №1, С. 30-35.
13. Coastal Resources Center GIS and Remote Sensing pages [HTML] (www3.csc.noaa.gov/CSCweb/genericPage.asp?bin=7) // Computer Week - М. 2010, №14-15. С. 32-39.
14. Бурів до виявлення знань у сховищах даних // Відкриті системи. 1999. №5-6. [HTML] (<http://www.osp.ru/os/1999/05-06/14.htm>).
15. Уотермен Д. Посібник з експертних систем. М.: Мир, 1989.- 280с.
16. Вирішальна роль 3D даних у реагуванні на надзвичайні ситуації // [HTML] (<https://esriaustralia.com.au/esri-australia-blog/the-crucial-role-of-3d-data-in-emergency-response-blg-186>).
17. Коновалова Н.В., Капралів Е,Г Введення в ГИС. М.: Мир, 1997.160с.
18. Квіток В. Я. Геоінформаційні системи й технології. М.: Фінанси й статистика, 1998.-288с.
19. С.Ю. Желтов, і ін. Особливості реалізації 3D ГИС // Інформаційний бюлетень Гис-Асоціації. 1997. № 5(12). С. 12-14.
20. Richards G.D. Numerical Simulation of Forest Fires // Int. J. for Numerical Methods in Engineering. - 1988. - Vol. 25. - P. 625 – 633.
21. Акименко В.В., Казанків Д. В., Симоненко А.Б. Засобу комп'ютерної графіки в завданні аналізу й контролю екологічного стану атмосфери регіону // Програм. продукти й системи. 1995. №3. С. 10-12.
22. Розширене дистанційне зондування: видобування та застосування наземної інформації: <http://edutechsoft.blogspot.com/2018/09/advanced-remote-sensing-terrestrial.html>), 2018. - 248 с.
23. Препарату Ф., Шеймос М. Обчислювальна геометрія. М.: Мир, 1089. - 478с.

24. Уваров Р.А. Моделювання екологічної обстановки з урахуванням турбулентного руху в атмосфері // Радіоелектроніка й інформатика. - 2001. - № 3. - С. 129 – 134.

25. Уваров Р.А. Математичне моделювання екологічної обстановки в Україні // Радіоелектроніка й інформатика. - 2000. - № 4. - С. 125 - 129.

26. Дискретні періодичні сплайни з векторними коефіцієнтами і поверхні Кунса // [PDF] (www.math.spbu.ru/mmeh/AspDok/pub/2010/Chashnikov.pdf)

27. Маніфест що таке карта з плаваючою формою // IEEE 2015, 10с. – [HTML](www.floatingsheep.org/2015/12/what-would-floating-sheep-map-manifesto.html)

28. Галак О.В., Козирєв А.Д., Орлов Я.В., Шубін І.Ю. Інформаційна технологія визначення зон ураження під час надзвичайних ситуацій/ Тези доповідей XXVII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2019, 15–17 травня 2019 р.: у 5 ч. Ч. V. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ “ХПІ”. – С 37.

29. The 9th International conference —Science and society\ (February 1, 2019) Accent Graphics Communications & Publishing, Hamilton, Canada. 2019. 1359 p..

30. Дискретні періодичні сплайни з векторними коефіцієнтами і геометричне моделювання // [PDF] (<http://dha.spb.ru/PDF/discreteSplines.pdf>)

31. Калиткин Н.Н. Чисельні методи. - М.: Наука, 1978. - 512 с.