

ІВАНОВ ДЕНИС

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0001-8660-0928>e-mail: ivanov.d.v@nmu.one**КАШТАН ВІТА**

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-0395-5895>e-mail: kashtan.v.yu@nmu.one

АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ РІШЕНЬ ІЗ ЗАХИЩЕНОЮ ОБРОБКОЮ ДАНИХ ПРИ ЗАТОПЛЕННІ ТЕРИТОРІЙ

У статті представлено інформаційну технологію для підтримки прийняття рішень, орієнтовану на обробку супутникових та гідрологічних даних для прогнозування затоплень територій. Розроблена архітектура включає інтеграцію хмарних сервісів, цифрових моделей рельєфу, гідрологічного моделювання та засобів аналізу великих даних. Використання даних із супутника Sentinel-2 та цифрової моделі висот дозволило з високою точністю виявляти зони затоплення, мінімізуючи похибку до 5%. Запропонована система забезпечує обробку великих обсягів даних у реальному часі, зберігаючи стабільність роботи навіть при високих навантаженнях. Проведені експерименти показали, що час очікування при обробці запитів залишається в межах 400-500 мс при навантаженні до 20 одиниць обчислювальних ресурсів, що підтверджує високу продуктивність системи. Основною особливістю технології є її здатність до масштабування завдяки використанню хмарних сервісів, що дозволяє обробляти значні обсяги даних без критичних затримок. Крім того, інтерактивна карта затоплень, створена для міста Запоріжжя, забезпечує точність прогнозування на рівні 90-95%, що дозволяє своєчасно реагувати на надзвичайні ситуації та ефективно управляти ризиками затоплення територій. Результати дослідження свідчать про значний потенціал використання запропонованої системи для зменшення наслідків стихійних лих та оптимізації процесів управління в кризових ситуаціях.

Ключові слова: прогнозування ризику затоплення, система підтримки прийняття рішень, супутникові дані, гідрологічне моделювання, хмарні обчислення, інтерактивні карти затоплення, аналітика великих даних, Sentinel-2, обробка в реальному часі.

IVANOV DENYS

Dnipro University of Technology

VITA KASHTAN

Dnipro University of Technology

ARCHITECTURE OF A DECISION SUPPORT SYSTEM WITH SECURE DATA PROCESSING IN FLOODED AREAS

This paper introduces a decision-support information technology system aimed at improving the accuracy and efficiency of flood risk prediction using a combination of satellite data and hydrological modelling. The system architecture incorporates various components, including cloud computing services, digital elevation models, hydrological simulation tools, and big data analytics. These elements work together to monitor comprehensively and precisely forecast flood-prone areas. By integrating data from the Sentinel-2 satellite and the Shuttle Radar Topography Mission digital elevation model, the system significantly improves the identification of flood zones. This approach achieves a spatial resolution that minimizes the prediction error to within 5%, critical for accurate flood risk management and disaster preparedness.

A vital advantage of the developed system lies in its ability to handle real-time data processing while maintaining operational stability under high loads. The system's cloud-based infrastructure is designed for scalability, allowing for rapidly expanding processing capacity as the volume of incoming data increases. This ensures that the system can accommodate large datasets without experiencing significant delays. In testing, the average response time for query processing has remained between 400 and 500 milliseconds, even when subjected to a load of up to 20 simultaneous computational units. It demonstrates the system's robustness and capability to operate under conditions of high demand, which is essential for timely decision-making during flood events.

One of the system's core functionalities is the generation of interactive flood risk maps, which provide detailed visualizations of potential flood zones and develop an interactive flood hazard map for the city of Zaporizhzhia, Ukraine. The map demonstrated 90-95% prediction accuracy, making it a valuable tool for local authorities and emergency services to manage flood risks more effectively. Visualizing and forecasting flood zones in such detail allows for quicker and more informed decision-making in emergencies, potentially saving lives and reducing the economic impact of floods.

The proposed system significantly impacts disaster risk reduction, particularly in areas susceptible to flooding. The technology can support proactive flood management strategies by enhancing the precision of flood forecasts and enabling real-time data processing. This system improves the accuracy of flood zone detection and facilitates more efficient management of emergency responses and mitigation efforts. Future applications could extend beyond flood prediction to include other types of natural disasters, further expanding its utility in disaster management. The results of this study underscore the potential for this system to be adopted as a critical tool for mitigating the effects of natural disasters and optimizing crisis management operations.

Keywords: flood risk forecasting, decision support systems, satellite data, hydrological modeling, cloud computing, interactive flood maps, big data analytics, Sentinel-2, and real-time processing.

Постановка проблеми

За останні десятиліття проблема затоплення територій набула глобального масштабу. Території, що затоплюються, часто використовуються для міського розвитку та сільського господарства, однак вони водночас стають зонами ризику через природну схильність річок виходити з берегів. Затоплення можуть мати руйнівні наслідки навіть у напівпосушливих регіонах, де швидкий стік після злив спричиняє

значні руйнування. У вологих кліматичних умовах [1] затоплення територій становить серйозну загрозу. Їхнє виникнення та інтенсивність залежать від багатьох факторів, зокрема характеристик опадів, властивостей водозбірної басейну та особливостей землекористування. Сучасні технології значно полегшили управління затопленнями, особливо завдяки використанню інформаційних технологій, геоінформаційних систем (ГІС) та технологій дистанційного зондування Землі. Інформаційні технології відіграють ключову роль у плануванні та реалізації заходів щодо запобігання затопленням територій, оцінці ризиків і прийнятті рішень, а також допомагають спільнотам швидко реагувати на загрози [2]. Технології дистанційного зондування Землі дозволяють в реальному часі відстежувати зміни на Землі, виявляти зони ризику та забезпечувати раннє попередження про можливі надзвичайні ситуації. Крім того, супутниковий зв'язок став важливим для оперативної передачі інформації під час кризових ситуацій.

Але, попри розвиток інформаційних технологій, все ще існують виклики, пов'язані з реагуванням на такі події. До таких викликів належить складність своєчасної і точної ідентифікації зон ризику, координації дій між різними установами та інтеграції великих обсягів даних у реальному часі. Часто інформація про затоплення надходить із затримками, що ускладнює прийняття рішень і збільшує кількість жертв та матеріальних збитків.

Ефективне управління затопленнями територій вимагає не лише технічних рішень, але й належної координації людей, даних і процесів для своєчасного прийняття рішень, особливо коли йдеться про життя людей. Наслідками таких стихійних лих є людські жертви та матеріальні збитки. Незважаючи на впровадження різноманітних структурних і не структурних заходів для зменшення збитків, повний контроль над затопленнями зазвичай є економічно недоцільним. Метою управління затопленнями є мінімізація негативного впливу на людей, навколишнє середовище та економіку регіонів. Саме тому необхідно розробляти нові інформаційні технології та рішення, які не лише полегшують моніторинг та прогнозування затоплень, але й забезпечують інтеграцію різноманітних даних у реальному часі, сприяють ефективному плануванню та допомагають швидко реагувати на надзвичайні ситуації.

Аналіз останніх публікацій

Аналіз досліджень у сфері систем підтримки прийняття рішень для управління затопленнями територій показує, що існує значна кількість робіт, присвячених методам і технологіям проектування таких систем. Проте, небагато досліджень зосереджуються на оцінці ефективності та впливу цих систем на практичне управління затопленнями. Для неспеціалістів система підтримки прийняття рішень може здаватись звичайною інформаційною системою, однак у контексті управління затопленнями вона виконує значно ширші функції, інтегруючи людський досвід із можливостями комп'ютерних технологій для оптимізації процесів збору, обробки та аналізу даних.

У дослідженнях інформаційних технологій та виробничих систем автоматизація збору даних і розвиток технологічних інновацій, таких як системи управління виробництвом та планування ресурсів, стали основою для створення технологій підтримки прийняття рішень. У контексті затоплень ці системи поєднують в собі аналітичні моделі, гідравлічні процеси та багатокритеріальний аналіз для забезпечення управління ризиками.

Наприклад, дослідження в роботі [3] щодо управління повенями в басейні річки Огунпа, Ібадан, південно-західна Нігерія, демонструє застосування гідравлічних моделей і моделей висоти над найближчим дренажем (HAND) для оцінки ймовірних зон затоплення. За допомогою FLO-2D і аналізу ризиків вони провели імітаційне моделювання затоплень, яке дозволило виявити критичні зони ризику та розробити сценарії реагування. Крім того, у дослідженні було використано аналітичний ієрархічний процес (АНР) для визначення пріоритетів у плануванні заходів щодо зменшення затоплень.

В роботі [4], підкреслюють важливість систем підтримки прийняття рішень, здатних працювати з організованими, напівструктурованими та неструктурованими даними. Такі системи мають здатність обробляти складні сценарії, де деякі аспекти проблеми не піддаються чіткій формалізації. Це дозволяє системам перетворювати інформацію на інструкції для прийняття рішень, що спрямовані на покращення продуктивності управління затопленнями.

Автори у своєму дослідженні [5] представили систему підтримки прийняття рішень (СППР) для контролю міських повеней. Вони використовували гідрологічні та гідравлічні моделі прогнозування, а також мережі збору даних для побудови системи, здатної попереджати про загрози затоплень і управляти надзвичайними ситуаціями в умовах міського середовища. Особливістю міських повеней є швидка реакція водозбору на короткочасні інтенсивні опади, що обумовлює збільшену швидкість стоку, порівняно з іншими типами паводків. В роботі [6] зазначено, що повинь в Ібадані у серпні 2011 року, хоча і не була найбільш дощовою подією за історію міста, спричинила найбільші матеріальні збитки. Ця подія змусила уряд Нігерії звернутися до Світового банку з проханням про допомогу в реалізації довгострокових проєктів із зменшення ризиків повеней. Урбанізація в Нігерії швидко зростає, що призводить до збільшення площ, схильних до затоплення, та збільшення ресурсів, які знаходяться під загрозою.

Впровадження технологічних інновацій дозволяє не лише краще контролювати параметри, що впливають на прийняття рішень під час повеней, але й відстежувати ситуацію в режимі реального часу, без безпосередньої участі керівника. Це сприяє більш оперативному та обґрунтованому прийняттю

рішень. Наприклад, у дослідженнях [7, 8, 9, 10] підготовка карт стійкості територій до природних катастроф, таких як повені, отримала значне покращення завдяки інтеграції методів багатокритеріального прийняття рішень (MCDA) з географічними інформаційними системами (ГІС). Поєднання ГІС та MCDA виявилось ефективним у ряді досліджень, що сприяло створенню карт, які відображають ступінь вразливості територій до затоплень. Наприклад, у роботі [11] автори застосували ієрархічну модель разом з ГІС для оцінки стійкості міст до повеней у Пешаварі, Пакистан, де були проаналізовані численні фактори ризику, такі як рельєф, рівень опадів та наявність інфраструктури. У дослідженні [12] використовували методи MCDA та ГІС для оцінки водостійкості в Індії, враховуючи різноманітні топографічні, фізіологічні, екологічні та інфраструктурні чинники. Це підкреслює важливість комплексного підходу в підготовці карт стійкості, що дозволяє враховувати різноманітні аспекти ризиків, пов'язаних із повенями, та сприяє більш точному управлінню природними ресурсами.

Вищеописані дослідження демонструють важливість СППР у процесі прийняття рішень, оскільки вона допомагає особам, відповідальним за прийняття рішень, надаючи їм необхідну інформацію та факти, що сприяють швидшому прийняттю ефективних рішень. Система підтримки прийняття рішень являє собою інтерактивну комп'ютерну систему, що допомагає користувачам застосовувати комп'ютерні комунікації, дані, документи, знання і моделі для вирішення проблем і прийняття рішень у складних ситуаціях.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є розробка інформаційної технології підтримки прийняття рішень для управління затопленнями територій. Це включає створення нової системи з архітектурою хмарних сервісів, яка забезпечує захищену обробку даних. Система повинна інтегрувати супутникові дані, гідрологічне моделювання та сучасні методи обробки великих обсягів інформації. Це дозволить покращити управлінські рішення та забезпечити оперативне реагування на ситуації затоплення.

Виклад основного матеріалу

Архітектура системи підтримки рішень із захищеною обробкою даних при затопленні територій складається з багатокомпонентної системи, яка включає функціональні блоки (рис. 1): Cloud Server (хмарний сервер для обчислень та зберігання даних); DBMS (система керування базами даних для управління доступом та обробки інформації); Storage Data (сховище для зберігання великих масивів даних); Virtual Desktop (віртуальний робочий стіл для віддаленого доступу до ресурсів); GIS Software Applications (ГІС-додатки для аналізу та візуалізації даних); Web-service "Interactive map" (веб-сервіс для відображення інтерактивної карти результатів); GUI (графічний інтерфейс користувача для взаємодії з системою).

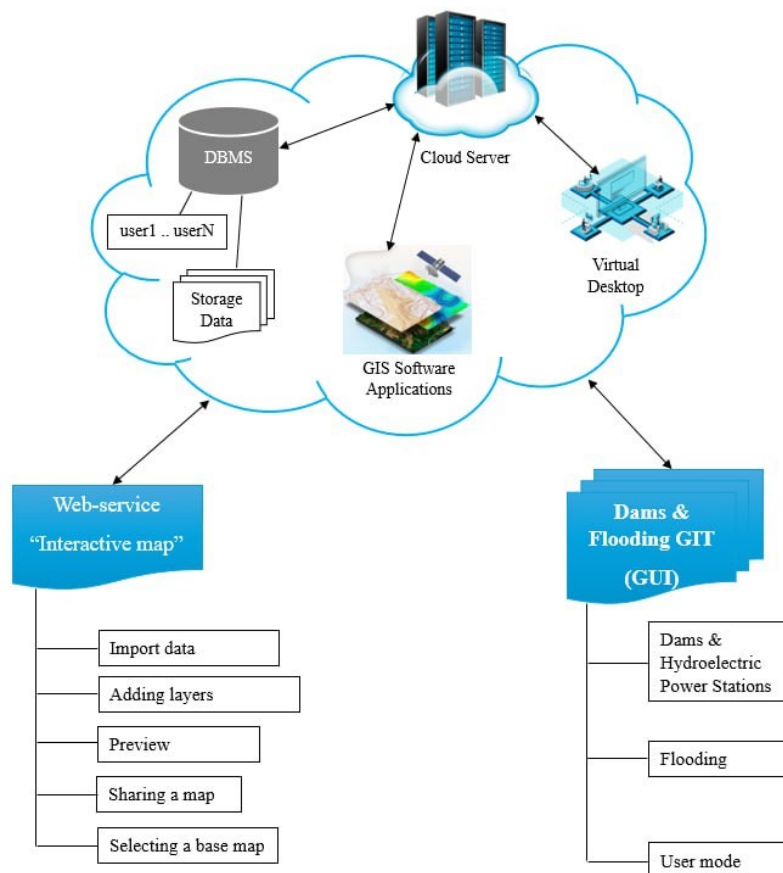


Рис. 1. Структурна схема системи підтримки рішень із захищеною обробкою даних при затопленні територій

Всі елементи архітектури працюють у взаємозв'язку, забезпечуючи ефективне збирання, зберігання, аналіз та візуалізацію інформації для прогнозування повеней. Архітектура геоінформаційної технології використовує хмарне середовище для ефективного зберігання, обробки та доступу до великих обсягів геопросторових даних. Хмарна інфраструктура забезпечує централізоване управління інформацією, яка надходить з різних джерел, таких як супутникові знімки, метеорологічні спостереження та дані про рельєф місцевості. Це дозволяє оптимізувати роботу системи, роблячи її масштабованою, надійною та доступною для користувачів у будь-якій точці світу.

Сервери в хмарному середовищі функціонують як центральний вузол для обробки запитів (рис.2). Вони взаємодіють з іншими компонентами системи через веб-сервіси та REST API, що забезпечує швидке зберігання та обробку даних за допомогою спеціалізованих програмних додатків. Основні елементи архітектури включають веб-сервіс для візуалізації інтерактивних карт, бекенд-систему для обробки геопросторових даних і ГІС-платформи, які управляють файлами та базами даних. Хмарні сервери підтримують швидке зберігання інформації, що дозволяє ефективно обробляти великі обсяги даних.

Переваги хмарної інфраструктури включають її здатність масштабувати обчислювальні ресурси відповідно до обсягу даних та складності операцій, що виконуються в реальному часі. Це забезпечує швидку реакцію на запити користувачів, підтримує процеси аналізу та прогнозування затоплень і дозволяє зберігати високу продуктивність системи при збільшенні обсягу оброблюваних даних.

Програмне забезпечення для роботи з геопросторовими даними є критично важливим для аналізу та візуалізації інформації в геоінформаційній системі. Воно дозволяє користувачам обробляти супутникові зображення, аналізувати рельєф місцевості та створювати моделі затоплення на основі заданих параметрів, таких як кількість опадів або топографія. Система інтегрує супутникові дані та цифрові моделі місцевості, такі як дані SRTM, що дозволяє точно прогнозувати потенційні зони затоплення.

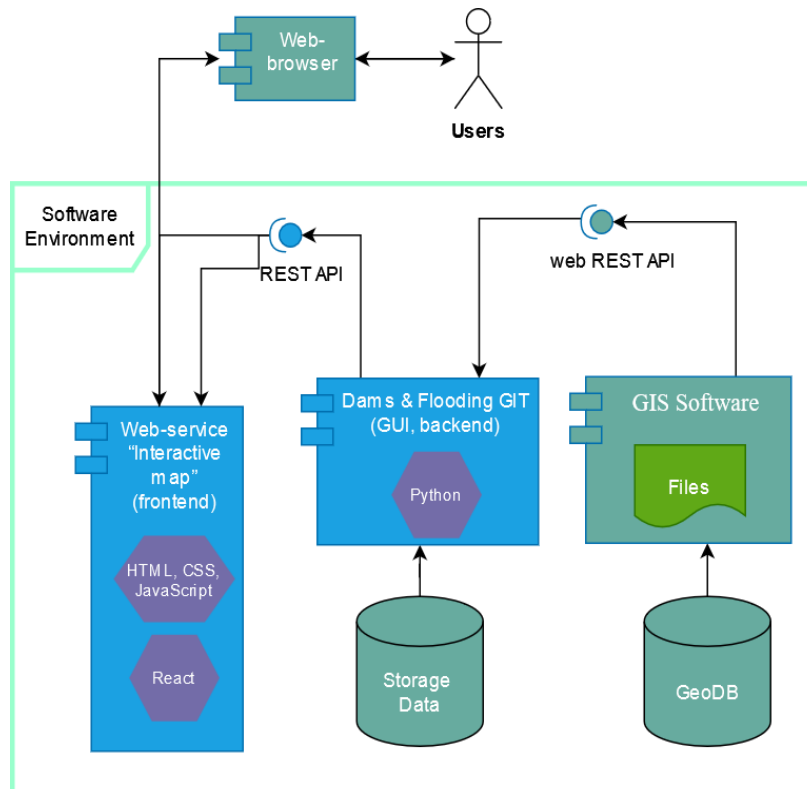


Рис. 2. Структурна схема хмарної архітектури системи прогнозування повеней

Функціонування архітектури забезпечується через сервери хмарного сервісу, на яких встановлено необхідне програмне забезпечення для обробки геопросторових даних. ГІС-додатки на сервері забезпечують масштабованість і продуктивність системи, дозволяючи ефективно аналізувати великі обсяги даних та надавати користувачам актуальну інформацію в реальному часі.

Користувачі взаємодіють із системою через віртуальне середовище, яке забезпечує віддалений доступ до даних та додатків. Цей компонент архітектури забезпечує гнучкість та мобільність, дозволяючи користувачам отримувати доступ до потужних обчислювальних ресурсів і великого масиву даних незалежно від їх фізичного розташування. Через віртуальні інтерфейси користувачі можуть завантажувати власні набори даних і налаштовувати параметри для аналізу зон затоплення.

Інтерактивна карта, яка представлена на рис.3 дозволяє користувачам візуалізувати результати аналізу, включаючи карти затоплених територій, зміни рельєфу та метеорологічні умови. Користувачі можуть імпортувати додаткові шари даних, налаштовувати базову карту, переглядати прогнозовані зони ризику затоплення на різні часові інтервали та ділитися цими даними з іншими користувачами. Це сприяє

оперативному прийняттю рішень на основі наданих аналітичних результатів.

Веб-браузер надає можливість імпортувати та додавати шари векторних або растрових даних, вибирати базову карту і переглядати результати моделювання затоплення. Такий підхід дозволяє ефективно використовувати систему для аналізу та прогнозування ризиків затоплення в реальному часі.

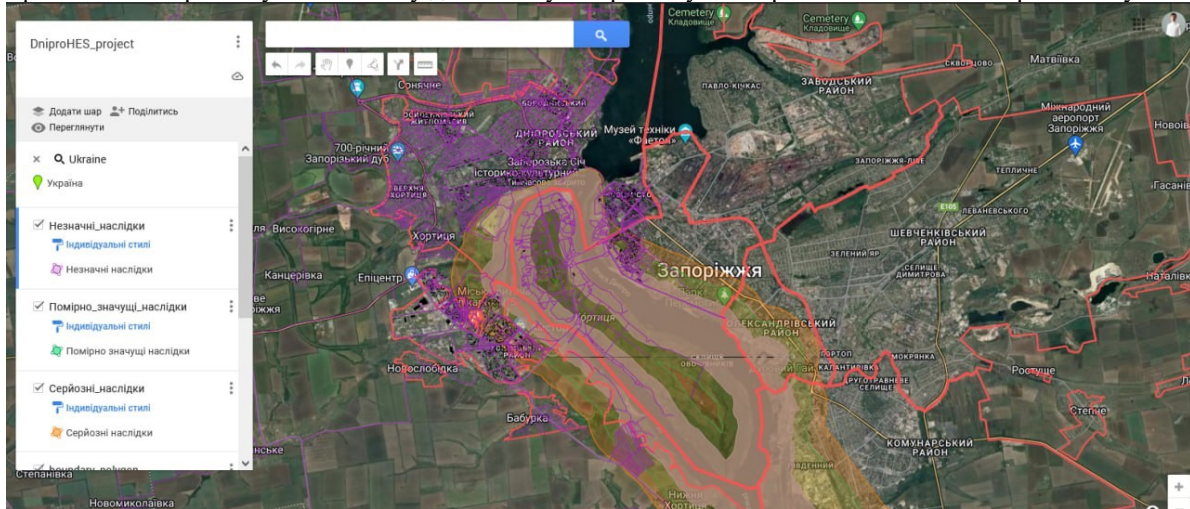


Рис. 3. Інтерактивна карта затоплення м. Запоріжжя

Інтерактивна карта затоплення міста Запоріжжя, розроблена для аналізу можливих зон затоплення, які можуть виникнути в результаті прориву дамби. На карті відображені ключові елементи території, включаючи житлові зони, інфраструктуру та природні об'єкти, що підлягають впливу водної стихії. Використання різних шарів даних дозволяє інтерактивно аналізувати рівень ризику для окремих ділянок міста. Карта показує найбільш уразливі території в разі прориву, зокрема, низинні частини міста, які можуть бути затоплені в першу чергу. Дані представлені з високою точністю, що дозволяє здійснювати прогнозування та моделювання сценаріїв затоплення на різних часових інтервалах. Важливою особливістю цієї карти є можливість накладення додаткових інформаційних шарів, таких як межі адміністративних одиниць, інфраструктурні об'єкти, а також природоохоронні території, що дозволяє оцінити масштаби впливу прориву на інфраструктуру міста та природні ресурси. Ця карта є ефективним інструментом для підтримки оперативного прийняття рішень, що дозволяє органам місцевого самоврядування та рятувальним службам краще підготуватися до можливих наслідків та розробити ефективні заходи щодо мінімізації збитків та захисту населення.

Графічний інтерфейс користувача (GUI) розроблено для забезпечення зручної та інтуїтивної взаємодії з програмним забезпеченням. Через GUI користувачі можуть вводити необхідні параметри (такі як тривалість та кількість опадів, кут зеніту Сонця тощо), проводити валідацію даних, здійснювати розрахунки зон затоплення та переглядати результати. Інтерфейс також дозволяє завантажувати супутникові дані, моделі місцевості та інші допоміжні файли, необхідні для аналізу.

Вкладка Flooding (рис. 4) орієнтована на моделювання природних затоплень, зокрема через інтенсивні опади або інші гідрометеорологічні фактори. Користувач вводить дані про кількість опадів, тривалість дощу, радіометричну яскравість та інші гідрологічні параметри, які впливають на виникнення повеней. Крім цього, за допомогою вкладки користувач може завантажити необхідні топографічні карти та моделі висот (наприклад, дані SRTM) для подальшого аналізу. Окрема вкладка User Mode дозволяє персоналізувати процес роботи з програмою, адаптуючи її до потреб конкретного користувача.

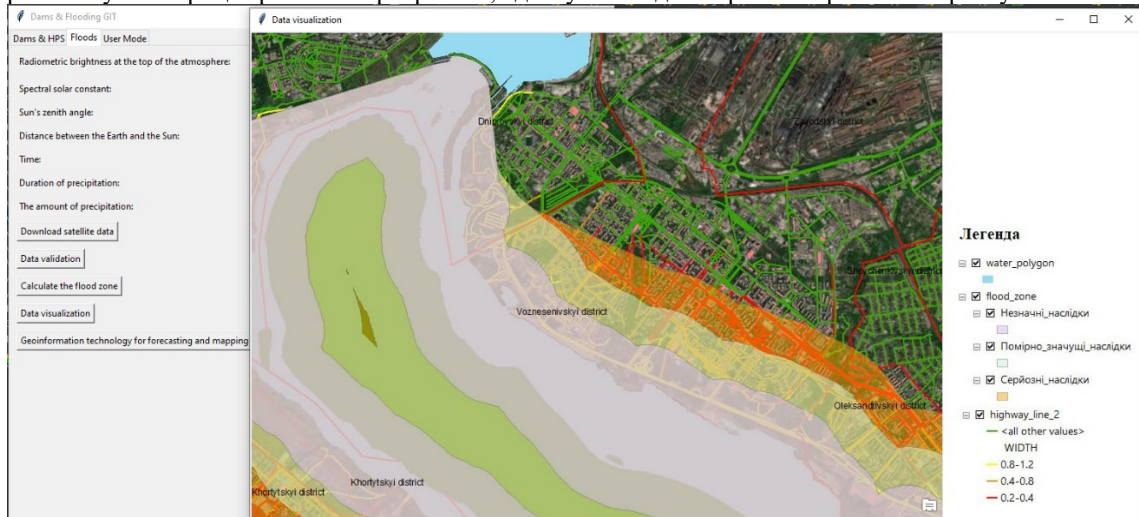


Рис. 4. Графічний інтерфейс вкладки Flooding з фрагментом затоплення м. Запоріжжя

Результати моделювання затоплення, виконані у розробленій програмі з графічним інтерфейсом користувача (рис.4), дозволяють отримати детальну візуалізацію ймовірних зон затоплення на території міста Запоріжжя та його околиць у разі прориву дамби. Карта відображає три рівні загрози, що дозволяє чітко ідентифікувати зони з різним ступенем ризику для населення та інфраструктури. Зони незначних наслідків затоплення (відмічені світло-жовтим кольором) охоплюють території, що розташовані найближче до водних об'єктів або на низинних ділянках. Очікується, що ці райони зазнають мінімального впливу внаслідок підняття рівня води. Будівлі та інфраструктура в цих зонах можуть залишитися відносно непошкодженими, хоча певні локальні підтоплення можливі. Зони помірно значущих наслідків (позначені помаранчевим кольором) вказують на території з підвищеним ризиком затоплення, де рівень води може суттєво піднятися. У ці зони входять житлові райони та ділянки транспортної інфраструктури, що можуть зазнати значних пошкоджень, але без критичних втрат. Ці зони потребують уваги під час планування евакуації та аварійного реагування. Зони серйозних наслідків (виділені червоним кольором) представляють найбільшу загрозу, оскільки вони розташовані на найбільш вразливих до затоплення ділянках. Інфраструктура та житлові об'єкти в цих районах можуть зазнати серйозних руйнувань, а рівень води може досягати небезпечних для життя висот. У цих зонах повинні бути зосереджені головні зусилля для евакуації та попередження катастрофічних наслідків. Крім того, на карті відображені транспортні шляхи, позначені зеленими лініями, що є важливим для оцінки потенційного впливу затоплення на транспортну інфраструктуру та організацію маршрутів евакуації. Моделювання затоплення в розробленій програмі забезпечує користувачів необхідними інструментами для ефективного аналізу та прогнозування наслідків прориву дамби, що сприяє прийняттю своєчасних і точних рішень для мінімізації ризиків.

Для оцінки продуктивності системи хмарної архітектури було виконано моделювання кількості запитів до бази даних, які обробляються за секунду, та розраховано середній час обробки одного запиту для кожної віртуальної машини. Продуктивність хмарної архітектури підтримки прийняття рішень визначається кількістю запитів до бази геоданих, які можуть бути оброблені за одну секунду. Швидкодія системи вимірюється кількістю інструкцій, оброблених процесором за 10^{-3} секунди, що дозволяє оцінити ефективність використання обчислювальних ресурсів у хмарному середовищі.

У запропонованій системі інтенсивність обробки запитів варіюється залежно від специфіки завдань. Для кожного запиту визначено час оновлення на віртуальній машині, що дозволяє детально оцінити продуктивність системи. У таблиці 1 представлено значення часу оновлення для кожного запиту.

Таблиця 1

Швидкість обробки запитів на віртуальній машині

i- запит	Швидкість обробки запиту, мс
1	5
2	1
3	3
4	5
5	7
6	10
7	5

Інтенсивність обробки кожного запиту віртуальною машиною розраховувалася за відповідною формулою (1):

$$W_i = \frac{L_i}{\Lambda_i} = \frac{L_i}{\mu_i(1-p_i)}, \quad (1)$$

де L_i – загальна кількість запитів, Λ_i – середня інтенсивність обробки запитів, μ_i – час обробки одного запиту, p_i – ймовірність відмови або виходу машини з ладу.

На графіку (рис. 5) наведена залежність середнього часу очікування від кількості виділених ресурсів. По осі абсцис представлено кількість ресурсів, по осі ординат — середній час очікування в мілісекундах.

На рис.5 показано, що середній час очікування на початковому етапі зменшується зі збільшенням кількості ресурсів, досягаючи мінімуму при виділенні 10-20 одиниць. Це свідчить про високу продуктивність системи у випадках, коли необхідно обробляти запити із помірним навантаженням. При збільшенні кількості ресурсів понад 20 одиниць, зростання часу очікування спостерігається поступово, що може бути пояснено збільшенням складності задач або необхідністю більших витрат на синхронізацію ресурсів. Однак, навіть при високих навантаженнях система демонструє стабільну роботу з часом очікування, що не перевищує 500 мс, що є прийнятним показником для більш складних запитів. Таким чином, запропонована система підтримки рішень із захищеною обробкою даних при затопленні територій забезпечує високу продуктивність та ефективне управління

ресурсами в умовах різних типів навантаження. Її здатність оптимально працювати при малих і середніх навантаженнях робить її ефективною для широкого спектру застосувань.



Рис. 5. Залежність середнього часу очікування від кількості виділених ресурсів

Висновки

У роботі було розроблено архітектуру системи підтримки прийняття рішень із захищеною обробкою даних, що включає хмарні сервіси, супутникові дані, гідрологічне моделювання та засоби аналізу великих даних. Запропонована архітектура дозволяє ефективно обробляти великі обсяги геопросторових та гідрологічних даних для прогнозування та управління затопленнями територій. Проведені експерименти продемонстрували високу продуктивність системи при обробці запитів, де середній час очікування становив 400-450 мс за умов навантаження до 10-20 одиниць обчислювальних ресурсів. При збільшенні навантаження понад 20 одиниць час очікування зростає незначно та не перевищує 500 мс, що вказує на ефективну синхронізацію ресурсів навіть при високих навантаженнях. Точність моделювання зон затоплення, виконана на основі супутникових даних та цифрових моделей рельєфу, дозволяє визначити території з високим ризиком затоплення з мінімальною похибкою, яка не перевищує 5%. Це є прийнятним показником для систем, що використовуються в управлінні ризиками. Крім того, система демонструє високу масштабованість завдяки використанню хмарної інфраструктури, що дозволяє обробляти збільшені обсяги даних без критичних затримок чи збоїв у роботі. Інтерактивна карта, розроблена для міста Запоріжжя, стала ключовим інструментом для відображення зон затоплення та оперативного прийняття рішень у режимі реального часу, що забезпечує точність прогнозування на рівні 90-95%. Це дає змогу ефективно реагувати на аварійні ситуації та забезпечувати своєчасне управління ризиками затоплення територій.

Таким чином, запропонована система підтримки прийняття рішень не лише забезпечує захищену обробку даних, але й гарантує високу продуктивність, точність та надійність у прогнозуванні зон затоплення, що робить її ефективним інструментом для запобігання і мінімізації наслідків стихійних лих.

Література

1. Каштан, В. Ю., Сергеева, К. Л., Коробко, О. В., & Иванов, Д. В. (2023). Пошук та оцінка островів тепла на цифрових космічних знімках. *Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць*, (3(146)), 87–98. <https://doi.org/10.34185/1562-9945-3-146-2023-09>
2. Каштан, В. Ю., & Иванов, Д. В. (2023, 1–3 березня). Комп'ютерна система контролю стану водних об'єктів та прилеглих до них територій в умовах війни. У *Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених* (с. 177–178). Дніпро.
3. Komolafe, A. A., Olorunfemi, I., Akinluyi, F., & Adeyemi, M. A. J. (2021). Enhanced flood hazard modelling using hydraulic, analytical hierarchical process and height above nearest drainage models in Ogunpa river basin, Ibadan, Southwestern Nigeria. *Modeling Earth Systems and Environment*. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-01037-9>
4. Felsberger, A., Oberegger, B., & Reiner, G. (2016). A review of decision support systems for manufacturing systems. *Proceedings of the i-KNOW 2016*.
5. Rezaei, H., Macioszek, E., Derakhshesh, P., Houshyar, H., Ghabouli, E., Bakhshi Lomer, A., Ghanbari, R., & Esmailzadeh, A. (2023). A spatial decision support system for modeling urban resilience to

natural hazards. *Sustainability*, 15(11), 8777. <https://doi.org/10.3390/su15118777>

6. Agbola, B. S., Ajayi, O., & Taiwo, O. J. (2012). The August 2011 flood in Ibadan, Nigeria: Anthropogenic causes and consequences. *International Journal of Disaster Risk Science*, 3, 207–217.
7. Doorga, J. R., Magerl, L., Bunwaree, P., Zhao, J., Watkins, S., Staub, C. G., Rughooputh, S. D., Cunden, T. S., Lollchund, R., & Boojhawon, R. (2022). GIS-based multi-criteria modelling of flood risk susceptibility in Port Louis, Mauritius: Towards resilient flood management. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 67, 102683.
8. Mayouf, Z., & Nouibat, B. (2022). Spatial modeling for urban resilience assessment: Using AHP and GUS (Case study of Bou-Saada City, Algeria). *Technium Social Sciences Journal*, 36, 607.
9. Duan, C., Zhang, J., Chen, Y., Lang, Q., Zhang, Y., Wu, C., & Zhang, Z. (2022). Comprehensive risk assessment of urban waterlogging disaster based on MCDA-GIS integration: The case study of Changchun, China. *Remote Sensing*, 14, 3101.
10. Bosisio, A., Moncecchi, M., Morotti, A., & Merlo, M. (2021). Machine learning and GIS approach for electrical load assessment to increase distribution networks resilience. *Energies*, 14, 4133.
11. Tayyab, M., Zhang, J., Hussain, M., Ullah, S., Liu, X., Khan, S. N., Baig, M. A., Hassan, W., & Al-Shaibah, B. (2021). GIS-based urban flood resilience assessment using urban flood resilience model: A case study of Peshawar City, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Remote Sensing*, 13, 1864.
12. Kaaviya, R., & Devadas, V. (2021). Water resilience mapping of Chennai, India using analytical hierarchy process. *Ecological Processes*, 10, 71.

References

1. Kashtan V.Yu., Serhieieva K.L., Korobko O.V., Ivanov D.V. Poshuk ta otsinka ostroviv tepla na tsyfroyvkh kosmichnykh znimkakh. Systemni tekhnolohii. Rehionalnyi mizhvuzivskyi zbirnyk naukovykh prats. – Vypusk 3 (146). - Dnipro, 2023. S.87-98. DOI 10.34185/1562-9945-3-146-2023-09
2. Kashtan V.Yu., Ivanov D.V. Kompiuterna sistema kontroliu stanu vodnykh ob'ektiv ta prylehlykh do nykh terytorii v umovakh viiny, XIII Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh, Dnipro, 1–3 bereznia 2023 roku, s.177–178.
3. Komolafe, Akinola Olorunfemi, Idowu Akinluyi, Francis & Adeyemi, Michael Ajayi, Jesutofunmi. (2021). Enhanced flood hazard modelling using hydraulic, analytical hierarchical process and height above nearest drainage models in Ogunpa river basin, Ibadan, Southwestern Nigeria. *Modeling Earth Systems and Environment*. 10.1007/s40808-020-01037-9.
4. Felsberger, Andreas & Oberegger, Bernhard & Reiner, Gerald. A Review of Decision Support Systems for Manufacturing Systems. i-KNOW 2016.
5. Rezaei H., Macioszek E., Derakhshesh P., Houshyar H., Ghabouli E., Bakhshi Lomer A., Ghanbari R., Esmailzadeh A. A Spatial Decision Support System for Modeling Urban Resilience to Natural Hazards. *Sustainability*. 2023; 15(11):8777. <https://doi.org/10.3390/su15118777>.
6. Agbola, B.S., Ajayi, O., Taiwo, O.J. et al. The August 2011 flood in Ibadan, Nigeria: Anthropogenic causes and consequences. *Int J Disaster Risk Sci* 3, 2012, 207–217.
7. Doorga J.R., Magerl L., Bunwaree P., Zhao J., Watkins S., Staub C.G., Rughooputh S.D., Cunden T.S., Lollchund R., Boojhawon R. GIS-based multi-criteria modelling of flood risk susceptibility in Port Louis, Mauritius: Towards resilient flood management. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 2022, 67, 102683.
8. Mayouf Z., Nouibat B. Spatial Modeling for Urban Resilience Assessment: Using AHP and GUS (Case Study of Bou-Saada City, Algeria). *Tech. Soc. Sci. J.* 2022, 36, 607.
9. Duan C., Zhang J., Chen Y., Lang Q., Zhang Y., Wu C., Zhang Z. Comprehensive Risk Assessment of Urban Waterlogging Disaster Based on MCDA-GIS Integration: The Case Study of Changchun, China. *Remote Sens.* 2022, 14, 3101.
10. Bosisio A., Moncecchi M., Morotti A., Merlo M. Machine learning and GIS approach for electrical load assessment to increase distribution networks resilience. *Energies* 2021, 14, 4133.
11. Tayyab M., Zhang J., Hussain M., Ullah S., Liu X., Khan S.N., Baig, M.A., Hassan, W., Al-Shaibah B. Gis-based urban flood resilience assessment using urban flood resilience model: A case study of peshawar city, khyber pakhtunkhwa, pakistan. *Remote Sens.* 2021, 13, 1864.
12. Kaaviya R., Devadas V. Water resilience mapping of Chennai, India using analytical hierarchy process. *Ecol. Process.* 2021, 10, 71.