

В І Д Г У К
офіційного опонента
на дисертаційну роботу Іванова Дениса Валерійовича
«Геоінформаційна технологія прогнозування та оцінки затоплення
територій при надзвичайних ситуаціях»
поданої до спеціалізованої вченої ради 08.080.07 на здобуття наукового
ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю
05.13.06 – Інформаційні технології

Актуальність теми дослідження.

Дисертацію Д.В. Іванова присвячено розв'язанню важливої науково-прикладної задачі підвищення точності прогнозування та оцінки наслідків затоплення територій в умовах надзвичайних ситуацій за допомогою геоінформаційної технології, що включає моделювання, картографування та аналіз на основі супутникових даних і методів машинного навчання.

Затоплення належать до найбільш розповсюджених та деструктивних природних явищ, що мають суттєвий вплив на соціально-економічні системи та інфраструктуру. Відповідно до даних ООН, повені призводять до значних людських втрат, економічних збитків і руйнування критично важливих об'єктів. Вплив антропогенних змін клімату, підвищення рівня Світового океану та екстремальні метеорологічні явища, зокрема інтенсивні опади та тропічні циклони, сприяють зростанню частоти та масштабності цих катастрофічних процесів. Для підвищення ефективності управління ризиками затоплень на глобальному рівні застосовуються сучасні методи аналізу просторових даних, зокрема геоінформаційні системи, технології дистанційного зондування Землі та гідродинамічне моделювання. Наприклад, у США та країнах Європейського Союзу активно впроваджуються ГІС-платформи для моніторингу паводків, тоді як у Японії функціонують автоматизовані системи раннього попередження, що базуються на обробці супутникових даних із використанням алгоритмів штучного інтелекту.

Геоінформаційні технології відіграють ключову роль у прогнозуванні та оцінці затоплення територій, особливо в умовах глобальних змін клімату та зростання частоти екстремальних гідрометеорологічних явищ. Враховуючи збільшення площ затоплених територій у світі, що спричиняє значні соціально-економічні збитки, впровадження сучасних методів моделювання та аналізу ризиків є необхідною складовою управління надзвичайними ситуаціями.

В Україні проблема затоплення набуває особливої актуальності у зв'язку з частими паводками в басейнах Дністра, Тиси та Дніпра, що зумовлено як природними чинниками, так і антропогенним впливом. Використання геоінформаційних технологій дозволяє оперативно аналізувати просторові дані, прогнозувати наслідки затоплення та розробляти ефективні заходи для

мінімізації ризиків. Застосування цифрових моделей рельєфу, супутникових даних та алгоритмів машинного навчання сприяє підвищенню точності прогнозування та забезпеченню ефективного управління водними ресурсами.

Однак сучасні підходи до прогнозування повеней мають низку технічних і методологічних обмежень, зокрема недостатню деталізацію локальних моделей, труднощі з обробкою значних обсягів супутникової інформації та фрагментарність інтеграції різнорідних джерел даних. У зв'язку з цим подальше вдосконалення методів прогнозування та оцінки затоплень за допомогою інноваційних геоінформаційних технологій є одним із пріоритетних завдань світової наукової спільноти.

Таким чином, інтеграція геоінформаційних технологій у систему моніторингу та прогнозування надзвичайних ситуацій в Україні є стратегічно важливим напрямом для забезпечення екологічної та соціально-економічної безпеки держави.

Обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 215 сторінок, обсяг основної частини – 182 сторінки. Робота проілюстрована 51 рисунками, містить 6 таблиць, 142 літературних джерела.

Характеристика роботи, новизна розроблених наукових положень.

У *вступі* автором дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність обраної теми, її зв'язок з науковими програмами, визначені мета та задачі дослідження, визначено об'єкт і предмет дослідження, розкрито методи дослідження, показано наукова новизна, практичне значення та апробація одержаних результатів. Наведено публікації автора за темою роботи.

В *першому розділі* дисертації автором здійснено аналіз сучасного стану проблеми моделювання та прогнозування затоплення територій у разі надзвичайних ситуацій. Аналіз наукових джерел виявив низку актуальних науково-прикладних проблем, які залишаються невирішеними. Зокрема, існуючі методологічні засади прогнозування та оцінки наслідків затоплень не забезпечують комплексного врахування динамічних змін гідрологічних процесів, зумовлених впливом екстремальних метеорологічних явищ, антропогенної трансформації ландшафтів, глобальних кліматичних змін і зростаючої інтенсивності урбанізаційних процесів. У цьому контексті набуває актуальності розроблення інноваційних підходів до оперативного моделювання та кількісного аналізу просторово-часових параметрів затоплення. Використання таких методів сприятиме підвищенню точності прогнозування та ефективності заходів із запобігання і мінімізації його негативних соціально-економічних та екологічних наслідків.

Другий розділ роботи присвячений розробленню методу комп'ютерного моделювання процесів затоплення територій у разі виникнення надзвичайної

ситуації на гідроелектростанції. Запропонований автором підхід базується на використанні імітаційного моделювання в поєднанні з геометричними та гідрологічними методами. Зокрема, він передбачає чисельний розрахунок параметрів хвилі прориву шляхом визначення її висоти та ін. Реалізація цього підходу дозволяє здійснювати чисельний розв'язок одновимірних і двовимірних систем рівнянь Сен-Венана, що забезпечує комплексне дослідження просторово-часової динаміки затоплення на різних масштабних рівнях – від локального до макрорівня. Важливим елементом методики є триангуляційна дискретизація поверхні, яка підвищує точність просторового моделювання гідродинамічних процесів. Результати комп'ютерного моделювання дозволяють ідентифікувати потенційні зони затоплення та оцінити їхній вплив на прилеглі території. Отримані чисельні дані стали основою для побудови тривимірної моделі затоплення, що була використана для моделювання розвитку надзвичайної ситуації на Середньодніпровській ГЕС.

У розділі також проведено аналіз методів і технологій для оцінки ризику затоплення територій.

У *третьому розділі* роботи автором запропонована розробка геоінформаційної технології моделювання й оцінки наслідків затоплення територій. Автором представлено геоінформаційну технологію прогнозування та картографування загроз затоплення в умовах антропогенних надзвичайних ситуацій. Описано методологію визначення глибини затоплення залежно від відстані від гідроелектростанції, що базується на застосуванні алгоритмів моделювання хвилі прориву та методів оцінки гідродинамічних характеристик водного потоку. Запропоновано метод нейромережевого виявлення затоплених зон, який складається з попередньої обробки даних, векторизації супутникових знімків та інтеграції цифрової моделі рельєфу. Це дозволяє підвищити точність прогнозування зон затоплення. Запропонований підхід до моделювання затоплення територій ґрунтується на чисельному розв'язанні одновимірних і двовимірних рівнянь Сен-Венана, які описують нестационарний рух води у відкритих руслах і слугують фундаментальним інструментом для прогнозування динаміки гідрологічних процесів.

У розділі автором також розроблено геоінформаційну технологію ідентифікації потенційно затоплених територій у разі природних надзвичайних ситуацій. Запропоновано методологію цифрового картографування зон затоплення, що базується на комплексному використанні напівкерованого машинного навчання та геоінформаційної системи QGIS. Такий підхід забезпечує високоточне визначення меж затоплення та створення детальних карт паводкових ризиків. Розроблено метод нейромережевого аналізу затоплених територій, який включає етапи попередньої обробки вхідних даних, векторизації супутникових знімків та інтеграції цифрової моделі рельєфу. Запропонована технологія використовує синергію методів неконтрольованого

навчання, згорткових нейронних мереж та геоінформаційних систем, що сприяє підвищенню точності просторового прогнозування зон затоплення та оптимізації процесів управління ризиками природних катастроф.

У розділі розроблено архітектуру геоінформаційної системи для прогнозування та моделювання затоплених територій, яка забезпечує інтеграцію хмарних сервісів, баз даних та інструментів для обробки великих обсягів інформації. Запропонована архітектура забезпечує автоматизацію процесів геопросторового аналізу та візуалізації зон затоплення, що сприяє ефективному управлінню даними та інтерактивному доступу до результатів. Вона базується на розподіленій системі, що включає:

- хмарну обчислювальну платформу для виконання складних аналітичних операцій та зберігання даних;
- систему управління реляційними базами даних для контролю доступу та обробки структурованої інформації;
- геопросторове сховище даних для зберігання та управління великими обсягами растрових та векторних даних;
- інфраструктуру віртуальних робочих столів для забезпечення віддаленого доступу до обчислювальних ресурсів та аналітичних інструментів.

Крім того, система містить ГІС-додатки для виконання просторового аналізу та візуалізації даних, веб-сервіс для динамічного відображення картографічних результатів з використанням інтерактивного інтерфейсу, а також графічний інтерфейс користувача для забезпечення взаємодії з системою.

Четвертий розділ роботи присвячений практичному використанню запропонованих моделей і методів. Здобувачем проведено гідродинамічне моделювання сценарію катастрофічного затоплення території, прилеглої до Середньодніпровської ГЕС, з використанням розрахунків хвилі прориву. Розроблено програмний алгоритм для визначення глибини затоплення в залежності від відстані, результати якого візуалізовано у вигляді тривимірних моделей рельєфу. Це дозволило автору здійснити просторовий аналіз потенційних зон затоплення та оцінити можливий вплив аварії на інфраструктуру та прилеглі території. Методологія комп'ютерного моделювання затоплення базується на чисельному розрахунку висоти хвилі прориву та геометричному поділі площі поперечного перерізу річкового русла. Отримані дані використано для побудови 3D-моделі та прогнозування зони затоплення на основі даних дистанційного зондування.

Автором у розділі реалізовано геоінформаційну технологію для детектування та моделювання зон затоплення в містах Дубай та Мукачево, що базується на методах напівкерованого машинного навчання. Крім того, Івановим Д.В. проведено експериментальну валідацію технології детектування та моделювання зон затоплення, викликаних природними катастрофами, на основі застосування згорткових нейронних мереж. Спочатку для отримання бінарних масок було проведено класифікацію пікселів, де водні об'єкти були

позначені як 1, а суша – як 0. Це дозволило створити бінарні маски, які наочно відображають присутність водних об'єктів на супутникових знімках. Після отримання бінарних масок було створено знімки з чіткою класифікацією територій як суші або води. На цих знімках водні об'єкти були виділені червоним кольором, що дозволяє візуально ідентифікувати контури затоплених територій. На зображеннях після обробки машинного навчання чітко видно зміну класів у затоплених територіях, що підтверджує ефективність застосованої методики класифікації. Результати, отримані внаслідок класифікації земної поверхні з використанням нейронних мереж, верифікують ефективність запропонованої в даному дослідженні технології детектування зон затоплення.

У додатках поданий список опублікованих праць автора за темою роботи, документи які підтверджують впровадження результатів дисертації, результати роботи програмної реалізації геоінформаційної системи та фрагменти коду програмної реалізації геоінформаційної технології.

Наукова цінність роботи.

У дисертаційній роботі Д.В. Іванова розв'язана важлива науково-прикладна задача підвищення точності прогнозування та оцінки наслідків затоплення територій в умовах надзвичайних ситуацій за допомогою геоінформаційної технології, що включає моделювання, картографування та аналіз на основі супутникових даних і методів машинного навчання. Виконані дослідження дозволили отримати такі основні наукові результати:

- розроблено метод комп'ютерного моделювання та картографування затоплення територій при надзвичайних ситуаціях, спричиненої руйнуванням дамби на гідроелектростанції, що на відміну від існуючих методів, забезпечує підвищену просторову деталізацію зон затоплення територій на основі цифрових моделей рельєфу та розрахунку гідродинамічних параметрів проривної хвилі. Ефективність методу підтверджено шляхом його апробації на прикладі Середньодніпровської ГЕС та Дніпровської ГЕС, що дозволило оцінити потенційні наслідки та підвищити точність прогнозування затоплення територій в реальному часі;
- розроблено геоінформаційну технологію прогнозування та картографування небезпеки затоплення при антропогенних надзвичайних ситуаціях, що дозволяє своєчасно оцінювати потенційні наслідки таких ситуацій для територій;
- на базі запропонованих методів і алгоритмів розроблено автоматизовану геоінформаційну технологію для виявлення та моделювання зон затоплення на основі різночасових супутникових зображень, використовуючи архітектуру напівкерованого машинного навчання та згорткових нейронних мереж, що дозволяє визначати та прогнозувати зони затоплення;

- проведено порівняння результатів технології виявлення та моделювання затоплених зон за допомогою напівкерованого машинного навчання та згорткових нейронних мереж з метою визначення найбільш ефективного підходу для автоматизованого виявлення затоплених територій з використанням супутникових зображень;
- запропоновано рішення у вигляді програмної реалізації геоінформаційної системи для інтеграції різних методів картографування і моделювання затоплень в умовах реального часу.

Відповідність паспорту спеціальності.

Тематика виконаних наукових досліджень відповідає паспорту спеціальності 05.13.06 - «Інформаційні технології» за пунктами:

- розроблення інформаційних технологій для побудови і впровадження автоматизованих систем технічного діагностування, геоінформаційних систем різного призначення та комп'ютерних систем електронного бізнесу;
- розроблення інформаційно-пошукових і експертних систем обробки інформації для прийняття рішень, а також знання орієнтованих систем підтримки рішень в умовах ризику та невизначеності як інтелектуальних інформаційних технологій;
- розроблення наукових і методологічних основ створення та застосування інформаційних технологій та інформаційних систем для автоматизованої переробки інформації й управління;
- розроблення моделей і методів автоматизації виконання функцій і завдань виробничого й організаційного управління у звичайних і багаторівневих структурах на основі створення та використання нових інформаційних технологій;
- дослідження та побудова інформаційних технологій для розроблення та впровадження баз і сховищ даних, баз знань і систем комп'ютерної підтримки рішень в автоматизованих системах і мережах.

Прикладна цінність дисертації.

Запропоновані автором методи та технології являють собою геоінформаційну систему для інтеграції різних методів картографування і моделювання затоплень територій в умовах реального часу. Практична значущість отриманих результатів полягає в розробці геоінформаційної системи для моделювання, прогнозування та оцінки ризиків затоплення територій. Система забезпечує інтеграцію даних дистанційного зондування Землі, хмарну обробку даних, візуалізацію результатів у вигляді інтерактивних картографічних матеріалів та інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс користувача для проведення аналізу та підтримки прийняття рішень у ситуаціях надзвичайного характеру, з мінімізацією часових та ресурсних витрат.

Практичне значення результатів підтверджується впровадженням розробленої геоінформаційної технології у практику робіт ТОВ «КОМПАНІЯ ГЕОНІКС» (Київська обл., Бучанський р-н, смт. Клавдієво-Тарасове) та ТОВ ФІРМА «ГЕОРА» (м. Дніпро), а також впровадженням у освітній процес Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Рекомендації щодо впровадження результатів.

На мій погляд, основні результати дисертаційної роботи Іванова Дениса Валерійовича можуть бути використані також підприємствами та науково-дослідними установами, які спеціалізуються на прогнозуванням та оцінкою наслідків затоплення територій в інтересах низки галузей – застосування методів дистанційного зондування для аналізу надзвичайних ситуацій на гідроелектростанціях, оцінки потенційних наслідків інфільтрації територій при техногенних та природних катастрофах, детектування зон затоплення, прогнозування та обробка даних супутникових зображень для картографічного відображення затоплень, дозволяє службам екстреного реагування ефективно планувати евакуаційні маршрути в умовах затоплення територій.

Зв'язок роботи з науковими програмами.

Робота Іванова Д.В. виконана відповідно до закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2001, № 48, ст.253), і стосується напряму «інформаційні та комунікаційні технології» (стаття 3). Обраний напрямок досліджень пов'язаний із виконанням науково-дослідної роботи кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» «Моделі й інформаційні технології обробки та аналізу даних в складних комп'ютерних системах і мережах» (реєстраційний номер 0121U114523, 2022-2024 рр.) та кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем НТУ «Дніпровська політехніка» «Методи, моделі та технології обробки даних в комп'ютерних системах загального та спеціального призначення» (державний реєстраційний номер 0121U113718), «Високопродуктивні багатопроцесорні системи: особливості конструювання, дослідження оцінок ефективності, застосування до розв'язування прикладних задач» (державний реєстраційний номер 0122U201569).

Загальна оцінка дисертаційної роботи.

Дисертація Іванова Д.В. являє собою завершену наукову працю, виконану на високому науковому рівні. Робота добре оформлена та ілюстрована, викладена ясною мовою, відзначається точними формулюваннями. Для дисертації характерний тісний логічний зв'язок окремих питань дослідження. Сутність дисертації відбиває всі етапи дослідження – від аналізу існуючих методів та геоінформаційних технологій моніторингу та картографування

затоплених територій до розробки геоінформаційної технології прогнозування та оцінки затоплення територій при надзвичайних ситуаціях із застосуванням напівкерованого машинного навчання та згорткових нейронних мереж. Зміст та результати досліджень викладено лаконічно та аргументовано. Усі наукові положення та результати, що подано до захисту, опубліковані у необхідному обсязі.

Робота достатньо апробована. За темою дисертації опублікована 13 наукових праць: 2 праці – у наукових виданнях, що індексуються у НМБД Scopus, 5 статей – у наукових виданнях, включених до переліку фахових видань України, а також опубліковано 6 тез та доповідей у матеріалах науково-практичних міжнародних конференціях.

Анотування із достатньою повнотою розкриває зміст дисертації.

Зауваження по роботі.

Незважаючи на актуальність обраної теми, глибоке дослідження поставлених задач, дисертаційна робота не позбавлена деяких недоліків:

1. Не повністю розкриті потенційні можливості та обмеження запропонованого автором у другому розділі методу комп'ютерного моделювання процесів затоплення територій у разі виникнення надзвичайної ситуації на гідроелектростанції.
2. Як відомо, у хмарних середовищах окремою проблемою є абсолютний масштаб хмарного комп'ютингу, оскільки, наприклад, сучасні SQL-орієнтовані системи баз геоданих не можуть масштабуватись на тисячі вузлів при розміщенні в хмарному контексті. Але ці питання залишені автором поза увагою.
3. З тексту роботи не зрозуміло, як саме при застосуванні алгоритму геометричної корекції зображень (п.3.1.1) обирається початкове значення функції перетворення, що залежить від типу можливих «спотворень», наявності точок прив'язки і т.п., та як цей вибір впливає на точність результату.
4. Поза увагою залишені питання числової стійкості та необхідних обчислювальних ресурсів розроблених автором моделей та методів при їхній комп'ютерній реалізації.
5. У тексті дисертації зустрічаються деякі термінологічні некоректності та стилістичні огріхи.

Однак, перераховані вище недоліки не змінюють загальної позитивної оцінки всієї роботи, яка виконана на високому науковому рівні і має практичну цінність.

Висновок про відповідність дисертації вимогам Департаменту атестації кадрів вищої кваліфікації та ліцензування Міністерства освіти і науки України.

Розглянувши дисертаційну роботу Іванова Дениса Валерійовича «Геоінформаційна технологія прогнозування та оцінки затоплення територій при надзвичайних ситуаціях», автореферат, опубліковані здобувачем наукові праці та додаткові матеріали, можна стверджувати, що за актуальністю теми, науковою новизною, ступенем обґрунтованості отриманих наукових результатів, науково-прикладною цінністю, повнотою викладення матеріалів за темою дослідження у працях здобувача, оформленням, дисертаційна робота Іванова Д.В. «Геоінформаційна технологія прогнозування та оцінки затоплення територій при надзвичайних ситуаціях», повністю відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567 зі змінами, затвердженими Постановами Кабінету Міністрів України №656 від 19 серпня 2015 р., №1159 від 30 грудня 2015 р., №567 від 27 липня 2016 р., №943 від 20 листопада 2019 р. та №607 від 15 липня 2020 р., які висуваються до кандидатських дисертацій, а її автор – Іванов Денис Валерійович – заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.13.06 – Інформаційні технології.

Офіційний опонент

кандидат технічних наук,
доцент кафедри інформаційних
технологій і систем
Українського державного
університету науки і
технологій, м. Дніпро



Кавац Ю.В.

Засвідчую про це кожен

Усім секретарям



Генерал Раров

Відрук отримано

25 березня 2020

Великий секретар

спеціалізованої

ради 2.08.080

Мова 17.08.2020

