

Голові спеціалізованої вченої ради

ДФ 206.204.006

в Інституті проблем математичних машин і систем  
НАН України

доктору фізико-математичних наук, професору  
КЛИМЕНКУ Віталію Петровичу

## ВІДГУК

офіційного опонента **ШОСТАКА Ігоря Володимировича**, доктора технічних наук, професора кафедри інженерії програмного забезпечення Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут» Міністерства освіти і науки України на дисертаційну роботу **ПАНТІНА Максима Андрійовича** «Інформаційна технологія оцінювання радіаційного забруднення ЧАЕС на основі даних дистанційного зондування», подану на здобуття ступеня доктора філософії у галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»

### 1. Актуальність теми дослідження

Сучасні інформаційні технології підтримки прийняття рішень функціонують в умовах постійного зростання обсягів, різноманітності та просторової розподіленості даних. Для значного класу складних технічних об'єктів принциповою проблемою є неможливість отримання повного набору первинної інформації, внаслідок чого актуальним стає розроблення методів оброблення неповних та нерегулярно розподілених спостережень, які забезпечують формування просторово узгодженого подання стану об'єкта.

Особливо виразно зазначена проблема проявляється під час інформаційного забезпечення робіт на ядерно та радіаційно небезпечних об'єктах. Можливість

проведення безпосередніх вимірювань на таких об'єктах обмежується вимогами радіаційного захисту, доступністю окремих ділянок і характеристиками технічних засобів. У результаті мережа спостережень є нерегулярною та неповною, а кількість фактичних вимірювань може бути суттєво меншою за кількість просторових елементів, для яких необхідно отримати оцінку.

Характерним прикладом є об'єкт «Укриття» Чорнобильської АЕС. Складна геометрія об'єкта, високі рівні іонізуючого випромінювання та обмежені можливості проведення прямих обстежень зумовлюють необхідність використання засобів дистанційного зондування і методів відновлення просторового розподілу радіаційних характеристик за неповними даними. Застосування традиційної просторової інтерполяції за таких умов має обмеження, оскільки ґрунтується переважно на просторових співвідношеннях між вимірюваннями і безпосередньо не враховує механізм формування поля, геометрію об'єкта та екранування окремих його ділянок.

Тому перехід від безпосередньої інтерполяції виміряних значень до реконструкції просторового розподілу на основі математичної моделі та апріорної інформації є обґрунтованим напрямом досліджень. У такій постановці проблема виходить за межі суто візуального представлення виміряних даних і набуває характеру задачі автоматизованого отримання нової інформації за неповними спостереженнями.

У цьому контексті тема дисертаційної роботи М. А. Пантіна є актуальною та відповідає сучасним завданням розвитку методів, алгоритмів та інформаційних технологій оброблення неповних просторово розподілених даних.

## **2. Зв'язок теми дисертаційної роботи з науковими планами, програмами, фундаментальними та прикладними дослідженнями**

Дисертаційне дослідження пов'язане з виконанням науково-дослідних робіт Інституту проблем математичних машин і систем НАН України у сфері створення автоматизованих систем радіаційної розвідки, а окремі результати отримано під час виконання міжнародного проєкту НАТО G-5913 «Enhanced radiation detection for

nuclear security and incident response» у співпраці з Університетом Брістоля та Інститутом проблем безпеки АЕС НАН України, що відповідає прикладній спрямованості та змісту дисертаційної роботи.

### **3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій та їхня достовірність**

Мета роботи та поставлені завдання логічно пов'язані між собою і відповідають сформульованій науковій проблематиці. Автором послідовно виконано аналіз існуючих підходів до цифрового радіаційного картографування, сформульовано обернену задачу реконструкції, розроблено метод її розв'язання на основі еволюційного алгоритму, запропоновано метод формування початкової популяції з урахуванням апріорної інформації, розглянуто використання історичних даних, розроблено інформаційну технологію та проведено експериментальну перевірку. Методичну основу становлять системний і порівняльний аналіз, математичне моделювання, методи теорії обернених задач, еволюційні обчислення, статистичний і регресійний аналіз, функціональне моделювання та об'єктно-орієнтоване проєктування.

Важливою особливістю роботи є коректне виділення алгоритмічного ядра задачі. Просторовий розподіл подано через сукупність модельних джерел, а вимірюване значення — як суперпозицію їх внесків. Оскільки кількість невідомих суттєво перевищує кількість наявних вимірювань, задача зводиться до пошуку розв'язку невизначеної системи лінійних рівнянь із заданими обмеженнями. Для її розв'язання використано еволюційну схему з дійснозначним поданням змінних, локальною мутацією та елітарним відбором. Оператори алгоритму сформовано таким чином, щоб зберігати допустимість кандидатних розв'язків. Окремо обґрунтовано формування початкової популяції на основі апріорної інформації про залежність внеску джерела від відстані, що дає змогу спрямувати пошук в область фізично обґрунтованих рішень.

Достовірність результатів підтверджено експериментально з використанням реальних даних об'єкта «Укриття». Принципово важливо, що оцінювання

кінцевого результату виконано на 91 незалежній контрольній точці дозиметричних вимірювань, які не використовувалися для формування цільової функції алгоритму. Найкращий результат отримано для еволюційного алгоритму з фізично обґрунтованою початковою популяцією: середня абсолютна похибка становила 0,173, середньоквадратична — 0,237, частка грубих помилок — 6,6 %. Для класичної просторової інтерполяції відповідні значення становили 0,360, 0,551 та 24,2 %. Таким чином, основні положення роботи мають належне методичне обґрунтування, а ефективність запропонованих рішень підтверджено результатами незалежної експериментальної перевірки.

#### **4. Новизна наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації**

Аналіз матеріалів дисертації дає підстави позитивно оцінити сформульовані автором положення наукової новизни. Вони стосуються як методів розв'язання сформульованої оберненої задачі, так і їх інтеграції в інформаційну технологію оброблення неповних просторово розподілених даних.

Насамперед заслуговує на увагу запропонована інформаційна технологія оцінювання радіаційного забруднення складних об'єктів за неповними даними дистанційного зондування, у якій перехід від вихідних вимірювань до цифрової карти здійснюється шляхом розв'язання оберненої задачі з фізичними обмеженнями. На відміну від підходів, орієнтованих переважно на просторову інтерполяцію, запропонована технологія передбачає реконструкцію модельного розподілу, що формує спостережуване поле. Це розширює можливості використання даних, отриманих за нерегулярною схемою спостережень.

Науковий інтерес становить метод формування початкової популяції еволюційного алгоритму на основі апіорної фізичної інформації. У цьому випадку відома закономірність предметної області вводиться безпосередньо до процедури пошуку і використовується для формування початкового наближення. Експериментальне порівняння трьох способів ініціалізації показало, що саме фізично обґрунтоване початкове наближення забезпечує найкращі показники на

незалежній контрольній вибірці. При цьому використання інтерпольованих значень як початкового наближення не забезпечило аналогічного ефекту, що підтверджує важливість узгодженості апріорної інформації з математичною моделлю задачі.

Подальшого розвитку набув метод еволюційного пошуку розв'язків невизначених систем лінійних рівнянь з обмеженнями шляхом адаптації операторів відбору та мутації до структури задачі. Особливість отриманого результату полягає не у використанні еволюційного підходу як такого, а у проблемно-орієнтованому формуванні функції пристосованості, допустимої області, способу мутації, відбору та початкового наближення, що в сукупності забезпечує розв'язання конкретного класу задач.

Окремий результат пов'язаний із використанням історичних даних радіаційного контролю. Запропоновано здійснювати їх попередню статистичну актуалізацію з урахуванням часової динаміки та використовувати актуалізовані значення для часткової фіксації змінних або формування початкового наближення. Такий підхід дає змогу розглядати накопичені результати попередніх спостережень як додаткове джерело інформації для поточного розрахунку.

Сукупність наведених результатів утворює цілісну інформаційну технологію, у межах якої взаємопов'язані математична модель, еволюційний метод, процедури підготовки та актуалізації даних і програмні засоби реалізації. Сформульовані положення наукової новизни відповідають змісту дисертаційної роботи та підтверджуються наведеними результатами досліджень.

## **5. Теоретична цінність і практична значущість наукових результатів**

Теоретична цінність отриманих результатів полягає у розвитку методів автоматизованого оброблення неповних просторово розподілених даних на основі оберненої постановки та еволюційного пошуку в умовах невизначеності й обмежень на невідомі. Запропонований метод використання апріорної предметної інформації для формування початкової популяції демонструє можливість цілеспрямованого включення знань про властивості досліджуваного процесу до

процедури еволюційної оптимізації. Додаткову теоретичну цінність має підхід до використання актуалізованих історичних даних як складової процесу розв'язання задачі.

Практичним результатом є програмно реалізована інформаційна технологія, яка охоплює приймання та підготовку вхідних даних, їх зберігання, виконання реконструкції, збереження отриманих результатів та формування цифрової карти. Функціональну структуру технології описано засобами IDEF0, програмну архітектуру — UML-моделями; реалізація передбачає розподіл між вебрівнем, асинхронним обчислювальним модулем та засобами зберігання даних. Така побудова забезпечує відокремлення ресурсомісткої обчислювальної процедури від засобів взаємодії з користувачем і створює передумови для включення розробленого модуля до більш складних інформаційно-аналітичних систем.

Практична придатність реалізації підтверджується можливістю виконання розрахунків на персональних обчислювальних засобах за час, прийнятний для прикладного використання. Результати дослідження впроваджено в Інституті проблем безпеки АЕС НАН України та на ДСП «Чорнобильська АЕС». Перспективним є використання розробленої технології як функціонального модуля систем підтримки прийняття рішень та її подальша інтеграція з робототехнічними і безпілотними системами дистанційної радіаційної розвідки.

## **6. Повнота викладення наукових результатів дисертації в опублікованих працях**

За темою дисертаційної роботи опубліковано 9 наукових праць, серед яких 6 статей та 3 публікації у матеріалах конференцій. Чотири статті опубліковано у виданнях, що індексуються базою Scopus і належать до кuartилів Q1–Q4, дві — у фахових виданнях України категорії «Б». У публікаціях представлено основні результати дисертаційного дослідження, пов'язані з опрацюванням експериментальних даних, еволюційною реконструкцією просторового розподілу, використанням історичних даних та застосуванням дистанційних засобів радіаційного моніторингу. Результати роботи апробовано на міжнародних і

всеукраїнських наукових конференціях. Для праць, виконаних у співавторстві, в дисертації визначено особистий внесок М. А. Пантіна. Отже, основні наукові положення та результати дисертації достатньо повно відображені у публікаціях здобувача.

## **7. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності**

За результатами ознайомлення з дисертаційною роботою та науковими публікаціями здобувача ознак академічного плагіату, фабрикації або фальсифікації результатів не виявлено. Використані положення та результати інших авторів супроводжуються відповідними посиланнями, для спільних публікацій визначено особистий внесок здобувача. У дисертації також наведено декларацію щодо використання засобів штучного інтелекту для редакційного, структурного та мовного опрацювання тексту із зазначенням характеру такого використання. Наведені відомості дають підстави вважати, що під час виконання та оформлення дисертаційного дослідження дотримано принципів академічної доброчесності.

## **8. Дискусійні положення та зауваження до дисертації**

Позитивно оцінюючи дисертаційну роботу в цілому, вважаю за необхідне висловити такі зауваження.

1. У роботі достатньо детально обґрунтовано вибір еволюційного підходу до розв'язання сформульованої оберненої задачі, однак експериментальне порівняння виконано переважно з класичним методом просторової інтерполяції. Розширення порівняльного аналізу іншими методами розв'язання сформульованої задачі дало б змогу точніше окреслити область ефективного застосування запропонованого підходу.

2. Ефективність еволюційних методів залежить від параметрів пошуку. У дисертації параметри алгоритму визначено з урахуванням специфіки задачі, однак окремого аналізу чутливості результату до параметрів мутації, критеріїв завершення та параметрів формування початкової популяції не наведено. Такий аналіз дав би змогу повніше оцінити стійкість запропонованого методу.

3. У роботі наведено перевірку відтворюваності програмної реалізації на різних обчислювальних платформах. Водночас для стохастичного алгоритму доцільним було б окремо дослідити статистичну варіабельність показників якості при серії незалежних запусків із різними початковими реалізаціями випадкових параметрів. Наведення середніх значень, розкиду або довірчих інтервалів дало б змогу додатково охарактеризувати стійкість результату саме як результату стохастичного пошуку.

4. Запропонований підхід до статистичної актуалізації історичних даних є перспективним складником інформаційної технології, однак його вплив на кінцеву точність реконструкції та обчислювальну ефективність досліджено менш детально, ніж основний еволюційний алгоритм. Доцільним було б навести відповідну кількісну оцінку.

5. Для програмної реалізації наведено результати вимірювання часу обчислень на декількох апаратних платформах. Водночас не досліджено залежність обчислювальних витрат від розмірності задачі — кількості вимірювань, кількості невідомих та просторового кроку дискретизації. Такий аналіз був би корисним для оцінювання масштабованості розробленої інформаційної технології.

6. У тексті дисертації трапляються окремі редакційні та оформлювальні неточності, зокрема друкарські помилки та неузгодженості в нумерації окремих елементів тексту, які доцільно було б усунути під час остаточного оформлення роботи.

Наведені зауваження не ставлять під сумнів достовірність основних наукових результатів і не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

## **9. Загальна оцінка дисертаційної роботи, її відповідність встановленим вимогам**

Дисертаційна робота має логічну структуру та складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг становить 186 сторінок, з яких 152 сторінки основного тексту; список використаних джерел налічує 138 найменувань. Оформлення роботи відповідає

вимогам Наказу Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Дисертаційна робота Пантіна Максима Андрійовича «Інформаційна технологія оцінювання радіаційного забруднення ЧАЕС на основі даних дистанційного зондування» є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому розв'язано актуальне наукове завдання в галузі комп'ютерних наук щодо розроблення інформаційної технології оцінювання просторового розподілу радіаційних характеристик складних об'єктів за неповними даними дистанційного зондування. Отримані наукові результати мають належне теоретичне обґрунтування, підтверджені експериментально на реальних та незалежних контрольних даних, опубліковані у наукових виданнях, апробовані на наукових конференціях і мають практичне впровадження. За характером поставлених та розв'язаних завдань, використаними методами і змістом отриманих результатів робота відповідає спеціальності 122 «Комп'ютерні науки». Дисертаційна робота відповідає вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44 зі змінами, а її автор — Пантін Максим Андрійович — заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

**Офіційний опонент:**

доктор технічних наук,

професор кафедри інженерії програмного забезпечення

Національного аерокосмічного університету

«Харківський авіаційний інститут»

МОН України

Ігор Володимирович ШОСТАК

ПІДПИС *Ігор Шостак*  
ЗАСВІДЧУЮ

Учений секретар університету



*Болурич*

*Ш*