

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

РЕЦЕНЗІЯ

ОКСАНИЧ Ірини Миколаївни, кандидата технічних наук, старшого наукового співробітника відділу № 220 Інституту проблем математичних машин і систем Національної академії наук України на дисертацію **ПАНТІНА Максима Андрійовича «Інформаційна технологія оцінювання радіаційного забруднення ЧАЕС на основі даних дистанційного зондування»**, подану на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»

1. Актуальність теми дослідження

Забезпечення сталого та безпечного функціонування об'єктів критичної інфраструктури суттєво залежить від можливості оперативного отримання достовірної інформації про їх поточний стан, її автоматизованого оброблення та надання особам, які приймають рішення. Особливе місце серед таких об'єктів посідають ядерні установки та об'єкти поводження з радіоактивними матеріалами, для яких недостатня повнота або достовірність інформації може безпосередньо впливати на безпеку персоналу та планування технологічних операцій. Додаткового значення ця проблема набуває в умовах повномасштабної збройної агресії, коли можливості безпосереднього доступу до окремих об'єктів критичної інфраструктури можуть бути суттєво обмежені.

Особливо складними є процеси інформаційного забезпечення об'єктів, що перебувають на етапі зняття з експлуатації. Значна тривалість відповідних робіт, зміна конфігурації об'єкта, наявність зон підвищеної радіаційної

небезпеки та обмеження щодо перебування персоналу зумовлюють необхідність широкого застосування дистанційних засобів моніторингу, робототехнічних комплексів і безпілотних платформ. Отримані при цьому дані характеризуються просторовою нерівномірністю та неповнотою, оскільки вимірювання здійснюються лише у доступних точках або за маршрутами, що визначаються можливостями технічних засобів.

Характерним прикладом є об'єкт «Укриття» Чорнобильської АЕС, де складна геометрія та високі рівні іонізуючого випромінювання не дають змоги сформувати регулярну і достатньо щільну мережу безпосередніх вимірювань. Традиційні методи просторової інтерполяції за таких умов не завжди забезпечують необхідну якість результату. Тому актуальним є розроблення методів автоматизованого оброблення неповних просторово розподілених даних, які дозволяють використовувати не лише наявні вимірювання, а й апіорну інформацію про досліджуваний процес.

З огляду на зазначене, розроблення інформаційної технології, що забезпечує оцінювання просторового розподілу радіаційних характеристик за неповними та нерегулярними даними дистанційного зондування, є актуальним науковим завданням у галузі комп'ютерних наук. Тема дисертаційної роботи ПАНТІНА Максима Андрійовича відповідає сучасним тенденціям розвитку інформаційних технологій для об'єктів критичної інфраструктури та систем підтримки прийняття рішень.

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

Дослідження виконувалося у безпосередньому зв'язку з науковими роботами ІПММС НАН України зі створення засобів автоматизованої радіаційної розвідки із застосуванням дистанційно керованих платформ. Окремі результати отримано під час реалізації 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. Такий контекст роботи є принциповим: розроблювана технологія від початку орієнтована не на абстрактну тестову задачу, а на оброблення даних, які можуть надходити від реальних систем дистанційного контролю радіаційно небезпечних об'єктів.

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

Обґрунтованість отриманих результатів забезпечується послідовністю проведеного дослідження та відповідністю застосованих методів поставленим завданням. У роботі використано системний і порівняльний аналіз, методи математичного моделювання та теорії обернених задач, еволюційні обчислення, статистичний і регресійний аналіз, функціональне та об'єктно-орієнтоване моделювання. Задачу реконструкції формалізовано як невизначену систему лінійних рівнянь із фізично обґрунтованими обмеженнями. Для її розв'язання розроблено еволюційний алгоритм, оператори якого адаптовано до структури задачі, а для формування початкового наближення використано апріорну інформацію про закономірність зменшення інтенсивності випромінювання з відстанню. Запропоновані алгоритмічні рішення реалізовано у складі інформаційної технології, що свідчить про системність виконаного дослідження.

Достовірність результатів підтверджено обчислювальними експериментами з використанням фактичних дозиметричних даних об'єкта «Укриття» та незалежної вибірки з 91 контрольної точки, що не використовувалися при формуванні цільової функції алгоритму. Проведено порівняння класичного методу просторової інтерполяції та еволюційного алгоритму з різними способами формування початкової популяції. Найкращі результати отримано для фізично обґрунтованої ініціалізації: середня абсолютна похибка становила 0,173, середньоквадратична — 0,237, частка грубих помилок — 6,6 % проти 24,2 % для класичної інтерполяції.

Використання незалежних контрольних вимірювань дає змогу оцінювати не лише ступінь узгодження алгоритму з вихідними даними, а й якість отриманого результату в точках, які не використовувалися під час розрахунку. Це дає підстави вважати основні наукові положення та висновки дисертації достатньо обґрунтованими і достовірними, що підтверджено відповідними актами впровадження.

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

Наукова новизна дисертаційного дослідження полягає у розробленні нових та вдосконаленні існуючих методів оброблення неповних просторово розподілених даних радіаційного контролю та їх реалізації в інформаційній технології цифрового радіаційного картографування.

Уперше запропоновано інформаційну технологію оцінювання радіаційного забруднення складних об'єктів на основі даних дистанційного зондування з використанням вдосконаленого еволюційного алгоритму. Особливістю технології є формалізація задачі реконструкції у вигляді невизначеної системи лінійних рівнянь із фізичними обмеженнями. На відміну від підходів, що ґрунтуються переважно на просторовій інтерполяції вимірних значень, запропонований підхід забезпечує оцінювання за неповних даних, отриманих на нерегулярній мережі спостережень.

Уперше запропоновано метод формування початкової популяції еволюційного алгоритму з використанням апріорної інформації про фізичний закон зменшення інтенсивності випромінювання залежно від відстані від точки вимірювання до джерела. Такий підхід забезпечує формування початкового наближення в області фізично обґрунтованих розв'язків. Експериментально показано, що використання саме фізично обґрунтованої ініціалізації забезпечує кращий кінцевий результат порівняно як із випадковою ініціалізацією, так і з використанням результатів просторової інтерполяції як початкового наближення.

Удосконалено методологію використання статистичних методів оброблення даних радіаційного контролю шляхом застосування регресійного аналізу для врахування часової динаміки радіаційного поля. Це створює можливість залучення історичних даних до процесу оцінювання після їх попередньої актуалізації та зменшення розмірності простору пошуку за рахунок часткової фіксації змінних.

Подальшого розвитку набув метод еволюційного пошуку розв'язків невизначених систем лінійних рівнянь з обмеженнями на абсолютні значення змінних шляхом адаптації операторів відбору та мутації до специфіки розв'язуваної задачі. Важливим є те, що отримані наукові результати не є ізольованими, а поєднані в межах єдиної інформаційної технології, яка забезпечує послідовне перетворення первинних даних дистанційного зондування у цифрове просторове представлення радіаційного стану об'єкта. Наведені положення наукової новизни відповідають змісту дисертаційної роботи.

5. Теоретична цінність і практична значущість наукових результатів

Теоретична цінність роботи полягає у розвитку методів автоматизованого оброблення неповних просторово розподілених даних шляхом формалізації задачі реконструкції у вигляді невизначеної системи лінійних рівнянь із фізичними обмеженнями та застосування проблемно-орієнтованого еволюційного алгоритму для її розв'язання. Запропонований підхід дає змогу перейти від безпосередньої інтерполяції виміряних значень до відновлення модельного просторового розподілу, узгодженого з наявними вимірюваннями, а також використовувати апріорну предметну інформацію при формуванні початкового наближення та актуалізовані історичні дані у процесі обчислень.

Практична значущість полягає у створенні програмно реалізованої інформаційної технології, що охоплює процеси отримання, підготовки, зберігання та оброблення вхідних даних і формування цифрової карти.

Функціональну структуру технології формалізовано засобами IDEF0, програмну архітектуру — UML-моделями; реалізація включає вебрівень, асинхронний обчислювальний модуль та засоби зберігання інформації. Обчислювальні процедури можуть виконуватися на типових персональних комп'ютерах без спеціалізованої високопродуктивної інфраструктури. Результати дослідження впроваджено в Інституті проблем безпеки АЕС НАН України та на ДСП «Чорнобильська АЕС». Перспективним є подальше використання технології спільно з робототехнічними та безпілотними засобами дистанційного моніторингу та її інтеграція до існуючих інформаційно-аналітичних систем.

6. Повнота викладення наукових результатів дисертації в опублікованих працях

За темою дисертаційної роботи опубліковано 9 наукових праць, серед яких 6 наукових статей та 3 публікації у матеріалах конференцій. Чотири статті опубліковано у виданнях, що індексуються базою Scopus і належать до квінтілів Q1–Q4, дві — у наукових фахових виданнях України категорії «Б». Публікації відображають основні напрями дисертаційного дослідження: результати радіаційних вимірювань об'єкта «Укриття», розроблення еволюційного підходу до реконструкції гамма-поля, аналіз історичних даних та застосування робототехнічних і безпілотних систем радіаційного моніторингу. Особистий внесок здобувача у публікації, виконані у співавторстві, визначено в дисертації. Кількість, рівень та зміст опублікованих праць достатньо повно відображають основні результати дисертаційного дослідження.

7. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

Ознайомлення з текстом дисертації та науковими публікаціями здобувача дає підстави зробити висновок про дотримання ПАНТІНИМ Максимом Андрійовичем принципів академічної доброчесності. Використані

результати інших авторів супроводжуються посиланнями на відповідні джерела, а особистий внесок здобувача у праці, опубліковані у співавторстві, визначено окремо. У дисертації також наведено декларацію щодо використання засобів штучного інтелекту із зазначенням характеру такого використання; автор зазначає, що вони застосовувалися для редакційного, структурного та мовного опрацювання тексту, тоді як наукові положення, висновки та результати є власним інтелектуальним внеском здобувача. Ознак академічного плагіату, фабрикації або фальсифікації результатів не виявлено.

8. Дискусійні положення та зауваження до дисертації

Принципових зауважень щодо структури, основних наукових положень та загальної концепції дисертаційної роботи ПАНТІНА Максима Андрійовича немає. Позитивно оцінюючи наукове та практичне значення отриманих результатів, можна відзначити окремі зауваження та рекомендації.

В актуальності роботи однією з проблем визначено використання різномірних засобів вимірювання та форматів даних, а розроблена інформаційна технологія передбачає можливість отримання інформації з різних джерел. Водночас у роботі недостатньо детально розкрито механізми приведення таких даних до єдиного внутрішнього представлення, структуру необхідних метаданих та правила контролю їх сумісності. Більш детальний опис цього етапу посилив би саме інформаційно-технологічну складову роботи.

У дисертації зазначено можливість використання розробленої технології як складової існуючих систем підтримки прийняття рішень. Однак питання практичної інтеграції з такими системами розглянуто переважно на архітектурному рівні. Доцільно було б більш детально визначити вимоги до міжсистемного інформаційного обміну, форматів повідомлень та програмних інтерфейсів, необхідних для такої інтеграції.

Запропонована інформаційна технологія орієнтована на формування цифрової карти як інформаційного продукту для подальшого прийняття

рішень. Разом із тим у роботі можна було б більш детально описати сценарії використання результатів різними категоріями користувачів, зокрема фахівцями з радіаційної безпеки, планування робіт та операторами дистанційних робототехнічних систем.

Якість результату реконструкції безпосередньо залежить від якості первинних даних. У роботі розглянуто окремі процедури попереднього опрацювання фактичних вимірювань, однак у моделі інформаційної технології доцільно було б чіткіше виділити процедури автоматизованого контролю повноти, коректності, просторової прив'язки та допустимості вхідних даних до початку обчислювальної реконструкції.

У роботі достатньо повно розглянуто програмну архітектуру технології, однак питання її функціонування при регулярному надходженні нових вимірювань розкрито переважно як напрям подальшого розвитку. Доцільно було б конкретизувати механізм актуалізації вже побудованої цифрової карти при надходженні нового набору даних та визначити, у яких випадках необхідний повний повторний розрахунок.

У тексті дисертації зустрічаються окремі редакційні та оформлювальні недоліки: друкарські помилки, окремі граматичні неточності та неузгодженості в нумерації елементів тексту. Зазначені недоліки не впливають на зміст і загальну оцінку дисертаційного дослідження.

Наведені зауваження мають переважно рекомендаційний характер, не стосуються принципів положень дисертації та не знижують наукової новизни і практичного значення отриманих результатів.

9. Загальна оцінка дисертаційної роботи, її відповідність встановленим вимогам

Дисертаційна робота ПАНТИНА 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 у галузі

комп'ютерних наук. Отримані результати мають наукову новизну, теоретичну цінність і практичне значення, їх достовірність підтверджено результатами експериментальної перевірки на реальних даних та незалежних контрольних вимірюваннях; результати опубліковані у наукових виданнях, апробовані на наукових конференціях та мають практичне впровадження. За своїм змістом дисертація відповідає спеціальності 122 «Комп'ютерні науки», поставлене наукове завдання виконано, мети дослідження досягнуто, а здобувач продемонстрував належний рівень володіння методологією наукової діяльності та професійними компетентностями. Вважаю, що дисертаційна робота відповідає встановленим вимогам МОН України до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії, а її автор ПАНТІН Максим Андрійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Рецензент:

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
науково-дослідного відділу № 220
Інтелектуальних інформаційно-аналітичних систем
Інституту проблем математичних машин і систем
Національної академії наук України

Ірина ОКСАНИЧ



Підпис к.т.н. ОКСАНИЧ І. М. **ЗАВІРЯЮ**

Учений секретар ІПММС Національної академії наук України

к.т.н., с.н.с.



М.Г. ІЄВЛЄВ