

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

БЕГУНА Василя Васильовича, доктора технічних наук, доцента, завідувача науково-дослідного відділу 120 «Інтегрованих автоматизованих систем спеціального призначення» Інституту проблем математичних машин і систем Національної академії наук України, на дисертаційну роботу **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

Практична значущість задачі отримання достовірної інформації про радіаційну обстановку об'єкта «Укриття» Чорнобильської АЕС не потребує додаткових доказів. Демонтаж нестабільних конструкцій, поводження з радіоактивними матеріалами, застосування дистанційно керованої техніки та інші роботи в межах Нового безпечного конфайнменту мають виконуватися за умови максимально можливого обмеження перебування персоналу в зонах підвищених рівнів іонізуючого випромінювання. Для планування таких робіт необхідна актуальна просторово деталізована інформація про радіаційний стан об'єкта.

Водночас для самого об'єкта «Укриття» отримання такої інформації традиційним шляхом є складним. Геометрія споруди, радіаційні умови та обмеження доступу не дозволяють створити регулярну мережу вимірювань необхідної щільності. У реальних обстеженнях вимірювання виконуються в доступних точках або вздовж можливих маршрутів переміщення вимірювального засобу. Тому рішення щодо безпеки доводиться приймати на основі інформації, яка за своєю природою є неповною.

З позицій управління безпекою цінність інформаційної технології визначається не кількістю накопичених вимірювань як такою, а можливістю на їх основі сформулювати достатньо повне уявлення про стан об'єкта. Запропонований М. А. Пантіним підхід спрямований саме на таке перетворення даних: результати окремих вимірювань використовуються для реконструкції просторового розподілу, що формує спостережуване радіаційне поле. Таким чином, вихідним результатом є вже не набір точок контролю, а новий інформаційний продукт — цифрове просторове представлення стану об'єкта.

Особливо актуальним такий підхід є в умовах розвитку робототехнічних і безпілотних засобів радіаційної розвідки. Їх застосування дає змогу перенести значну частину вимірювальних операцій від персоналу на дистанційні технічні засоби, але водночас потребує відповідних методів автоматизованого аналізу отриманих даних. Тому дисертаційне дослідження є актуальним не лише як задача оброблення неповних даних, а й як складова подальшого розвитку автоматизованих технологій забезпечення безпеки складних радіаційно небезпечних об'єктів.

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

Для досліджень, результати яких можуть використовуватися при плануванні робіт в умовах радіаційної небезпеки, принциповим є не лише математичне обґрунтування методу, але й перевірка того, наскільки результат відповідає реальному стану об'єкта. У дисертації витримано послідовність «постановка задачі — математична модель — алгоритм — програмна реалізація — експериментальна перевірка». Задачу представлено як невизначену систему лінійних рівнянь із заданими обмеженнями, а для її розв'язання використано

еволюційний пошук. Важливим є залучення апіорної предметної інформації вже на етапі формування початкового наближення, що дає змогу не розглядати алгоритм як універсальний засіб випадкового пошуку, а адаптувати його до конкретної задачі.

Найбільш переконливим підтвердженням достовірності вважаю перевірку результату на незалежних дозиметричних вимірюваннях. Для контролю використано 91 точку, які не залучалися до оптимізації. Найкращий варіант методу забезпечив середню абсолютну похибку 0,173, середньоквадратичну — 0,237 та частку грубих помилок 6,6 %, тоді як для класичної інтерполяції частка таких помилок становила 24,2 %. Для практичної задачі важливим є саме останній показник: локальна значна помилка у визначенні радіаційної обстановки може бути критичнішою, ніж порівняно невелике відхилення середнього показника точності. Тому використаний автором спосіб незалежної верифікації є достатньо переконливим підтвердженням практичної придатності запропонованого підходу.

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

Наукові результати дисертації доцільно розглядати як взаємопов'язаний комплекс, у якому методи оброблення даних підпорядковано загальній задачі отримання інформації про стан об'єкта за обмеженої кількості спостережень. Основним результатом є інформаційна технологія, що переводить задачу побудови радіаційної карти з площини просторового продовження наявних вимірювань у площину реконструкції модельного розподілу, узгодженого з фактичними даними.

Суттєвим науковим результатом вважаю запропонований метод формування початкової популяції. Фізична закономірність зменшення внеску джерела з відстанню використовується тут не як предмет окремого фізичного дослідження, а як апіорне знання, що вводиться безпосередньо в процедуру пошуку. Це важливий методологічний момент: інформація про властивості об'єкта використовується для підвищення ефективності алгоритму. Експеримент показав, що така ініціалізація забезпечує кращий кінцевий результат, ніж випадкове формування початкового наближення чи використання звичайної інтерполяції.

Подальший розвиток методу еволюційного пошуку пов'язаний з його пристосуванням до невизначеної задачі з обмеженнями. Дійснозначне представлення розв'язку, локальна мутація та елітарний відбір забезпечують пошук у допустимій області та дозволяють зберігати отримане покращення. У даному випадку цінність полягає не в самому використанні відомого класу

еволюційних методів, а в побудові проблемно-орієнтованої схеми їх застосування.

Цікавим з позицій інформаційного забезпечення безпеки є також підхід до історичних даних. Архів вимірювань у роботі розглядається не лише як засіб документування минулого стану об'єкта, а як інформаційний ресурс, який після статистичної актуалізації може бути повторно залучений до оцінювання поточної ситуації. Такий підхід дає змогу використовувати вже накопичену інформацію та за певних умов зменшувати кількість невідомих у подальшому розрахунку.

Усі зазначені рішення об'єднано в єдиний технологічний процес — від отримання та підготовки вимірювальних даних до формування цифрової карти. Саме така інтеграція математичної моделі, алгоритму, накопичених даних і програмної реалізації дає змогу говорити про створення інформаційної технології, орієнтованої на практичне застосування у задачах радіаційної розвідки.

5. Теоретична цінність і практична значущість наукових результатів

Теоретична цінність роботи полягає насамперед у розвитку підходу до оброблення неповної інформації про складний технічний об'єкт, коли відсутні дані не заміщуються лише геометричною інтерполяцією, а оцінюються через модель взаємозв'язку між невідомим просторовим розподілом і результатами спостережень. Посадження такої постановки з еволюційним пошуком, фізично обґрунтованою ініціалізацією та можливістю залучення раніше накопичених даних формує методичну основу для подальшого розвитку систем автоматизованого оцінювання стану об'єктів за неповною інформацією.

Практичну значущість я пов'язую передусім з доведенням запропонованого підходу до працездатної програмної технології та його перевіркою на даних реального об'єкта. Реалізація не потребує спеціалізованої обчислювальної інфраструктури: повний розрахунок на досліджених персональних комп'ютерах виконується приблизно за 49–128 секунд. Результати впроваджено в ІПБ АЕС НАН України та на ДСП «Чорнобильська АЕС». Разом з тим потенціал роботи цим не обмежується. На мою думку, найбільш перспективним є перехід від разової побудови карти до циклу «вимірювання — реконструкція — аналіз — планування наступного обстеження — уточнення результату». Саме в такому режимі технологія може стати активним засобом інформаційного забезпечення дистанційної радіаційної розвідки.

6. Повнота викладення наукових результатів дисертації в опублікованих працях

Публікаційний доробок здобувача логічно відображає основні етапи виконаного дослідження. Загалом за тематикою дисертації оприлюднено 9 робіт: 6 статей і 3 публікації за матеріалами наукових конференцій; чотири статті представлені у виданнях, що індексуються Scopus у квартилях Q1–Q4, ще дві — у фахових виданнях України категорії «Б». У цих роботах послідовно висвітлено отримання та аналіз радіаційних даних об'єкта «Укригтя», розроблення еволюційного підходу, роботу з історичними даними та застосування дистанційних робототехнічних засобів. Таким чином, публікації не лише формально відповідають тематиці дисертації, а відображають основні складові шляху від експериментальних даних до створення інформаційної технології. Особистий внесок здобувача у спільні публікації в роботі визначено.

7. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

За результатами ознайомлення з дисертацією та наведеними в ній відомостями щодо опублікування результатів підстав вважати, що здобувач порушував принципи академічної доброчесності, не встановлено. Запозичені положення мають відповідні посилання, а для робіт у співавторстві наведено особистий внесок М. А. Пантіна. Автор також відкрито задекларував використання інструментів штучного інтелекту для редакційного, структурного та мовного опрацювання тексту, відокремивши таке використання від отримання власне наукових результатів. Ознак академічного плагіату, фабрикації чи фальсифікації результатів не виявлено.

8. Дискусійні положення та зауваження до дисертації

Високо оцінюючи виконане дослідження та отримані результати, вважаю за необхідне звернути увагу на окремі питання, які можуть бути розглянуті під час подальшого розвитку запропонованої інформаційної технології.

1. У дисертації переконливо кількісно підтверджено підвищення точності реконструкції радіаційного поля. Разом з тим з огляду на практичну спрямованість роботи в подальших дослідженнях доцільно було б кількісно оцінити також організаційно-технологічний ефект застосування запропонованого підходу, зокрема можливе скорочення необхідного обсягу додаткових дозиметричних вимірювань, тривалості обстеження та потреби у перебуванні персоналу в зоні радіаційної небезпеки.

2. У роботі окреслено перспективу переходу до інкрементного режиму, за якого результат попередньої реконструкції використовується як початкове наближення при надходженні нових даних. Для довготривалого контролю

об'єкта «Укриття» цей підхід є особливо перспективним. Тому логічним продовженням роботи була б його експериментальна перевірка на послідовних циклах обстеження, коли кожна наступна серія вимірювань не формує карту заново, а уточнює вже накопичену інформацію.

3. У дисертації зазначено можливість поширення запропонованої технології на інші складні ядерні об'єкти, що виводяться з експлуатації, проте межі її перенесення окреслено недостатньо чітко: не виділено інваріантне алгоритмічне та програмне ядро технології та компоненти, які потребують адаптації до конкретного об'єкта — його геометрії, складу вихідних даних, характеристик вимірювальних засобів та умов проведення обстеження.

4. Однією з основних переваг запропонованого підходу є можливість роботи в умовах неповних даних, однак у роботі не досліджено залежність якості реконструкції від кількості та просторової конфігурації доступних вимірювань. Наявність таких залежностей дала б змогу обґрунтовано планувати дозиметричні кампанії — визначати доцільність додаткових вимірювань і вибирати ділянки, обстеження яких найсуттєвіше уточнить отриману картину.

5. При подальшій інтеграції розробленої технології до систем підтримки прийняття рішень доцільно передбачити розвинені засоби збереження історії виконаних розрахунків, що забезпечуватимуть однозначний зв'язок кожної сформованої цифрової карти з вихідним набором вимірювань, використаною версією моделі та параметрами розрахунку. Це є важливим для подальшого аналізу результатів та накопичення інформації про стан об'єкта протягом тривалого часу.

Наведені зауваження мають характер побажань щодо продовження та розвитку проведеного дослідження. Вони не ставлять під сумнів отримані результати та не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

9. Загальна оцінка дисертаційної роботи, її відповідність встановленим вимогам

Дисертаційна робота М. А. Пантіна є завершеним науковим дослідженням, у якому складну практичну задачу отримання просторової інформації про радіаційний стан об'єкта за неповними вимірюваннями доведено від математичної постановки до програмної реалізації та перевірки на незалежних натурних даних. Найбільш суттєвими результатами вважаю використання предметної апіорної інформації в еволюційному пошуку, кількісно підтверджене зменшення грубих помилок та створення технологічної основи для подальшої інтеграції реконструкції з дистанційними засобами радіаційної розвідки. За характером поставлених і розв'язаних завдань, отриманими науковими результатами та рівнем їх практичної реалізації дисертація відповідає

спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» та встановленим вимогам до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії, а ПАНТІН Максим Андрійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Рецензент:

доктор технічних наук, доцент,
завідувач науково-дослідного відділу №120
Інтегрованих автоматизованих систем спеціального призначення
Інституту проблем математичних машин і систем

НАН України

Василь Васильович БЕТУН

Підпис д.т.н. БЕТУНА В. В. **ЗАВІРЯЮ**

Учений секретар ІПММС Національної академії наук України

к.т.н., с.н.с.



М.Г. ІСВЛСВ