

ЗАТВЕРДЖУЮ



Директор Інституту проблем
математичних машин і систем
Національної академії наук України
Олег КОПІЙКА
"08" вересня 2026 р.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації
на тему «Інформаційна технологія оцінювання радіаційного забруднення ЧАЕС
на основі даних дистанційного зондування»,
здобувача наукового ступеня доктора філософії

Пантіна Максима Андрійовича

з галузі знань 12 — Інформаційні технології
за спеціальністю 122 — Комп'ютерні науки.

Семінар проведений у відділі № 220 «Інтелектуальних інформаційно-аналітичних
систем» «03» вересня 2026 року, протокол № ____

1. Актуальність теми дослідження

Найбільшим за масштабом радіаційної небезпеки об'єктом в Україні лишається об'єкт «Укриття», споруджений 1986 року над зруйнованим четвертим енергоблоком Чорнобильської АЕС. Після введення в експлуатацію Нового безпечного конфайнмента розпочато підготовку до демонтажу нестабільних конструкцій та вилучення паливовмісних матеріалів. Планування і безпечне виконання цих робіт потребують достовірної інформації про просторовий розподіл потужності еквівалентної дози гамма-випромінювання — для оцінювання дозових навантажень на персонал, визначення безпечних маршрутів і допустимого часу виконання робіт, а також для планування застосування дистанційно керованих та робототехнічних засобів.

Формою подання обстановки, найпридатнішою для таких завдань, є цифрова карта радіаційного забруднення — просторово прив'язана модель розподілу потужності еквівалентної дози, яка дає змогу оцінити очікуваний рівень опромінення в довільній точці об'єкта, зокрема там, де прямих вимірювань не проводили. Скорочення трудовитрат, прискорення оброблення даних, зменшення дозових навантажень на персонал і зниження похибки оцінювання радіаційної обстановки — саме ці ефекти визначають доцільність упровадження інформаційних технологій у роботах з радіаційно небезпечними об'єктами.

Практика дозиметричного обстеження об'єкта «Укриття» склалася так, що вимірювання виконуються вибірково — у точках, доступ до яких припустимий з погляду радіаційного захисту, і за траєкторіями, продиктованими технологічними завданнями, а не потребами обстеження. Формування достатньо щільної мережі

спостережень пов'язане зі значними дозовими витратами, а окремі ділянки залишаються недоступними через складну геометрію об'єкта, незадовільний технічний стан конструкцій і надзвичайно високі рівні радіації. У результаті мережа спостережень є нерегулярною та неповною, а кількість вимірювань на кілька порядків менша за кількість елементів поверхні, для яких потрібно відновити розподіл активності.

За таких умов класичні методи просторової інтерполяції не забезпечують необхідної достовірності відновлення радіаційного поля, оскільки визначають значення між точками спостереження без урахування фізичних закономірностей формування поля гамма-випромінювання та складної геометрії об'єкта, зокрема впливу екранування будівельними конструкціями. Це зумовлює потребу в інформаційній технології, ядро якої відновлює просторовий розподіл джерел за неповними даними, а не згладжує наявні показання. Розроблення такої технології — від формалізації задачі у вигляді невизначеної системи лінійних рівнянь із фізичними обмеженнями до програмної реалізації повного циклу оброблення — і становить зміст дисертаційного дослідження.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Основний обсяг досліджень виконано в межах планової науково-дослідної роботи Інституту проблем математичних машин і систем НАН України за темою «Сучасні технології створення автоматизованої системи радіаційної розвідки із застосуванням дистанційно керованих засобів з урахуванням стандартів НАТО» цільової науково-технічної програми оборонних досліджень НАН України.

Окремі результати отримано у співпраці з дослідниками Університету Брістоля та Інституту проблем безпеки атомних електростанцій НАН України під час виконання грантового проєкту НАТО G-5913 «Enhanced radiation detection for nuclear security and incident response».

3. Наукова новизна отриманих результатів

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

Уперше:

— запропоновано інформаційну технологію оцінювання радіаційного забруднення складних об'єктів на основі даних дистанційного зондування з використанням вдосконаленого еволюційного алгоритму, що полягає у формалізації задачі у вигляді невизначеної системи лінійних рівнянь із фізичними обмеженнями. На відміну від існуючих технологій і методів, що базуються переважно на методах просторової інтерполяції за умови регулярної мережі спостережень, запропонована технологія дає змогу оцінювати радіаційне забруднення в умовах неповних даних на нерегулярній мережі спостережень;

— запропоновано метод формування початкової популяції еволюційного алгоритму для побудови цифрових карт радіаційного забруднення, який полягає у використанні апріорної інформації про фізичний закон зменшення інтенсивності іонізуючого випромінювання залежно від відстані від точки вимірювання до джерела випромінювання. На відміну від типової випадкової ініціалізації, такий метод забезпечує спрямованість пошуку в області фізично обґрунтованих

розв'язків, що дає змогу отримати краще початкове наближення та підвищити підсумкову якість апроксимації.

Удосконалено:

— методологію використання статистичних методів оброблення даних радіаційного контролю, що полягає у застосуванні регресійного аналізу вимірювань для врахування часової динаміки радіаційного поля. На відміну від відомих рішень, запропонована методологія дає змогу інтегрувати архівні дані в процес оцінювання без проведення додаткових дозиметричних обстежень, зменшуючи розмірність простору пошуку за рахунок часткової фіксації змінних.

Набув подальшого розвитку:

— метод еволюційного пошуку розв'язків невизначених систем лінійних рівнянь з обмеженнями на абсолютні значення змінних шляхом адаптації операторів відбору та мутації з урахуванням специфіки радіаційних вимірювань. На відміну від класичних еволюційних схем, удосконалений метод забезпечує підвищення стійкості рішень в умовах високого рівня шуму та неповноти даних.

4. Теоретичне та практичне значення результатів дисертації

Дисертаційне дослідження містить нові наукові положення та результати, які теоретично обґрунтовані та практично апробовані на експериментальних даних, отриманих на об'єктах Чорнобильської АЕС.

Розроблено інформаційну технологію, що забезпечує побудову цифрових карт радіаційного забруднення покрівлі об'єкта «Укриття» з просторовою роздільною здатністю до 1 м² та оцінювання поточного рівня гамма-фону. Це дає змогу інформаційно забезпечити планування демонтажу нестабільних конструкцій, а також оптимізувати маршрути та час перебування робототехнічних систем і персоналу в зонах підвищеної радіації. Запропонована інформаційна технологія може слугувати основою системи підтримки прийняття рішень у сфері радіаційної безпеки або бути інтегрована до існуючої системи як окремий функціональний модуль.

Достовірність результатів підтверджено обчислювальним експериментом на реальних дозиметричних даних об'єкта «Укриття» та верифікацією за незалежними контрольними вимірюваннями. Отримані теоретичні, алгоритмічні, програмні та експериментальні результати взаємопов'язані, характеризуються єдністю змісту та в сукупності відповідають меті й завданням дисертаційної роботи.

5. Використання результатів роботи

Проведення досліджень підтверджується публікаціями здобувача у виданнях, що індексуються Scopus, та у фахових виданнях України, матеріалами доповідей на міжнародних конференціях, а також відповідними актами впровадження:

- Інститут проблем безпеки атомних електростанцій Національної академії наук України;
- Державне спеціалізоване підприємство «Чорнобильська атомна електростанція».

6. Особиста участь автора в одержанні наукових і практичних результатів, що викладені в дисертаційній роботі: всі основні наукові та практичні результати отримані здобувачем самостійно.

Дисертаційна робота виконана в Інституті проблем математичних машин і систем НАН України, науковий керівник — к.т.н. Савельєв М.В.

Розглянувши звіт щодо перевірки наукової роботи на академічний плагіат, рецензенти дійшли висновку, що дисертаційна робота Пантіна М.А. є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

За результатами досліджень опубліковано 9 наукових праць, у тому числі 6 статей у наукових фахових виданнях (з них 4 статті у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до ОЕСР та/або Європейського Союзу, фахових виданнях України категорії «А» або закордонних виданнях, що входять до WoS або Scopus), 3 тези доповідей у збірниках матеріалів конференцій.

1. Saveliev M.V., **Pantin M.A.**, Skiter I.S. et al. Implementation of Novel Evolutional Algorithm for 3-Dimensional Radiation Mapping and Gamma-Field Reconstruction within the Chornobyl Sarcophagus. *MDPI Algorithms*. Vol. 16, Issue 4. Article 204. DOI:10.3390/a16040204. *Бази: SCOPUS Q2, CrossRef, Google Scholar.*

Здобувачем розроблено та експериментально перевірено еволюційний підхід до реконструкції просторового розподілу джерел гамма-випромінювання за неповними даними

2. Saveliev M., Shtefan V., Scott T.B., Grechaninov V., Mykhailov O., Doroshenko A., **Pantin M.** UAV-Based Survey of the Equivalent Dose Rate Distribution Above the Outer Cladding of the Chornobyl New Safe Confinement Following Damage. *Drones*. 2026. Vol. 10, Issue 8. Article 562. DOI:10.3390/drones10080562. *Бази: SCOPUS Q1, CrossRef, Google Scholar.*

Здобувачем виконано програмне опрацювання первинного масиву даних безпілотного вимірювання потужності еквівалентної дози: фільтрація за достовірністю позиціонування, перетворення координат, побудова цифрової картограми.

3. Saveliev M., Shtefan V., Proskurin O., **Pantin M.**, Martin P.G., Grechaninov V., Havrylko Y. Multi-robot radiation reconnaissance in the Chornobyl NPP Exclusion Zone. *Nuclear and Radiation Safety*. 2024. Vol. 4, Issue 104. P. 41–49. DOI:10.32918/nrs.2024.4(104).05. *Бази: SCOPUS Q3, CrossRef, Google Scholar.*

Здобувачем показано можливість інтеграції алгоритмічних методів оброблення радіаційних даних із робототехнічними системами наземної та повітряної розвідки.

4. Saveliev M.V., Godun R.L., **Pantin M.A.** et al. The nuclear safety monitoring system for fuel-containing materials located in destroyed Unit No. 4 of the Chornobyl NPP and proposals for its modernization. *Nuclear Physics and Atomic Energy*. 2022. Vol. 23, Issue 3. P. 172–181. DOI:10.15407/jnpae2022.03.172. *Бази: SCOPUS Q4,*

CrossRef, Google Scholar. Здобувачем запропоновано напрями модернізації системи ядерного моніторингу об'єкта «Укриття»: упровадження алгоритмів автоматичної ідентифікації аномалій та прогнозування змін нейтронного потоку.

5. Михайлов О.В., Савельєв М.В., **Пантін М.А.** Результати контролю потужності еквівалентної дози γ -випромінювання у приміщеннях об'єкта «Укриття» ЧАЕС. *Ядерна енергетика та довкілля*. 2024. Вип. 2, № 30. С. 51–60. DOI:10.31717/2311-8253.24.2.6. *Базу: CrossRef, Google Scholar*.

Здобувачем виконано аналіз історичних даних потужності еквівалентної дози та визначено закономірності їх часової динаміки.

6. Saveliev M., Krasnov V., Levchenko A., Novikov A., Evstigneev A., **Pantin M.** Measuring the equivalent dose rate over the Shelter object after completion of the New Safe Confinement. *Nuclear power and the environment*. 2020. Vol. 4, Issue 19. P. 50–56. DOI:10.31717/2311-8253.20.4.6. *Базу: CrossRef, Google Scholar*.

Здобувачем на основі інтерполяції вимірних значень сформовано первинну цифрову картограму розподілу потужності еквівалентної дози.

7. Савельєв М.В., Краснов В.А., Евстигнеев А.Ю., **Пантин М.А.** Измерение мощности экспозиционной дозы над объектом «Укрытие» после сдачи Нового Безопасного Конфаймента. *Матеріали V Міжнар. конф. «Проблеми зняття з експлуатації об'єктів ядерної енергетики та відновлення навколишнього середовища» INUDECО 20.* (27.04.2020). Славутич, Україна, 2020. С. 194–196.

Здобувачем виконано оброблення результатів вимірювань та побудову картограми розподілу.

8. Истомин Н., **Пантин М.**, Савельєв М. Пример импортозамещения в автоматизированном радиационном контроле. *Матеріали IV Міжнар. конф. «Проблеми зняття з експлуатації об'єктів ядерної енергетики та відновлення навколишнього середовища» INUDECО 19.* (24.04.2019). Славутич, Україна: Славутиська міська рада, 2019. С. 102–106.

Здобувачем наведено програмні та конструктивні рішення щодо реалізації приладу-аналога вимірювального пристрою гамма-випромінювання Mirion GIM-204.

9. Khomenko D., **Pantin M.**, Saveliev M. et al. Autonomous quadruped robotic systems for radiation mapping. *XVIII International Scientific-Practical Conference MODS 2023*, 13–15 November 2023. Chernihiv, Ukraine, 2023. P. 10–12.

Здобувачем обґрунтовано можливість застосування розроблених алгоритмів оброблення радіаційних даних у складі автономної робототехнічної платформи.

Відповідно до вимог п. 8 Постанови КМУ № 44 від 12 січня 2022 року наукові праці здобувача враховано у кількості 8 публікацій, за якими висвітлені результати дисертаційної роботи.

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Пантіна Максима Андрійовича «Інформаційна технологія оцінювання радіаційного забруднення ЧАЕС на основі даних дистанційного зондування», подана на здобуття ступеня доктора філософії, за своїм науковим рівнем та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам до оформлення дисертацій, затверджених наказом

МОН України від 12.01.2017 № 40 зі змінами і доповненнями, та вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою КМУ від 12.01.2022 № 44, зі змінами.

Дисертація відповідає напряму наукових досліджень освітньо-наукової програми «Комп'ютерні науки» третього освітньо-наукового рівня вищої освіти Інституту проблем математичних машин і систем НАН України зі спеціальності 122 — Комп'ютерні науки.

РЕКОМЕНДУВАТИ:

Дисертаційну роботу «Інформаційна технологія оцінювання радіаційного забруднення ЧАЕС на основі даних дистанційного зондування», подану Пантіним Максимом Андрійовичем на здобуття ступеня доктора філософії, до захисту.

Головуючий на засіданні

Завідувач відділу № 220

«Інтелектуальних

інформаційно-аналітичних систем»

к.т.н., с.д.

Віктор ГРЕЧАНІНОВ

Секретар

Анатолій ЛОПУШАНСЬКИЙ