

ВІДГУК

офіційного опонента, кандидата фізико-математичних наук

Сидорука Володимира Антоновича

на дисертаційну роботу

Ковтуна Артема Дмитровича

«Математичне моделювання забруднення навколишнього середовища

з використанням інтерлінації функцій»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 113 Прикладна математика

галузі знань 11 Математика та статистика

1 Актуальність теми дослідження

Сучасний етап розвитку промисловості та сільського господарства супроводжується зростанням антропогенного навантаження на навколишнє природне середовище. Для багатьох промислово розвинених регіонів України гостро стоїть проблема оцінювання, моніторингу та прогнозування рівня забруднення атмосферного повітря та ґрунтового покриву хімічними речовинами (зокрема важкими металами, викидами вуглекислого газу, триоксиду сірки тощо). Оскільки безпосереднє проведення суцільного інструментального вимірювання забруднення є економічно затратним, а в багатьох випадках і фізично неможливим, вирішального значення набувають методи математичного та комп'ютерного моделювання.

Наукова задача, якій присвячено дисертацію, полягає у розробці та обґрунтуванні нових математичних моделей, варіаційних формулювань, чисельних алгоритмів на основі методу скінченних елементів та модифікованого методу Ньютона, а також удосконалених операторів інтерлінації для побудови та аналізу просторових полів забруднення ґрунту.

З огляду на це, тема дисертаційного дослідження А. Д. Ковтуна, що спрямована на розробку узгоджених математичних і чисельних підходів до опису перенесення атмосферних домішок та реконструкції забруднення ґрунтів за неповними даними, є безперечно актуальною, має важливе науково-

теоретичне та прикладне значення для прикладної математики, обчислювальних методів та екологічного моніторингу.

2 Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій

Наукові положення, висновки та рекомендації, що подані у дисертаційній роботі, безумовно є результатом ґрунтовного теоретичного аналізу поставлених дослідницьких завдань, заснованого на працях провідних українських та закордонних фахівців.

Обґрунтованість та надійність сформульованих у дисертації результатів додатково підтверджується коректним вибором та застосуванням математичного апарату і сучасних методів дослідження, що відповідають специфіці поставлених завдань; узгодженістю теоретичних висновків з результатами чисельних експериментів та комп'ютерного моделювання; апробацією основних матеріалів роботи на міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях, а також на наукових семінарах; повнотою висвітлення результатів у фахових наукових виданнях України та статтях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних. Сформульовані висновки є логічним підсумком проведеного дослідження, мають чітку аргументацію та повною мірою відповідають меті та завданням дисертаційної роботи.

Матеріал роботи викладено логічно та послідовно, що дозволяє чітко простежити хід дослідження. Загалом дисертаційна робота Ковтуна А. В. характеризується цілісністю, завершеністю та чіткістю отриманих результатів.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 229 сторінок (з них 163 сторінки основного тексту, які містять 16 таблиць та 17 рисунків), список використаних джерел складається з 137 найменувань на 13 сторінках.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано його мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, розкрито наукову новизну

отриманих результатів, їх практичне значення, а також наведено дані про апробацію та публікації за темою дисертації.

У першому розділі здійснено аналітичний огляд та порівняльний аналіз сучасних підходів до опису перенесення забруднень у повітрі та ґрунтах. Проаналізовано геостатистичні підходи, використання геоінформаційних систем та дистанційного зондування землі, а також висвітлено обмеження традиційних методів при роботі з розрідженими, неповними та нерегулярно розміщеними даними спостережень. Обґрунтовано доцільність застосування апарату інтерлінації та скінченно-елементного моделювання.

У другому розділі побудовано математичну модель поширення двокомпонентної суміші газоподібних забруднювачів від локалізованих точкових джерел з урахуванням дифузії, конвекції, реакційно-кінетичної взаємодії та крайових умов Робіна. Показується розмежування між повною несамопряженою конвективно-дифузійно-реакційною моделлю (слабка постановка Гальоркіна) та редукованою самопряженою дифузійно-реакційною частиною (варіаційний метод Рітца на основі локального потенціалу Глансдорфа-Пригожина). Запропоновано двоступеневу скінченно-елементну схему, де нелінійна задача для другої компоненти розв'язується модифікованим методом Ньютона, а перша компонента знаходиться з лінійної системи.

Третій розділ присвячений відновленню просторових полів концентрацій важких металів у ґрунті за неповними або обмеженими даними спостережень. У розділі систематизовано апарат інтерлінації функцій багатьох змінних на системах прямих та профілів (як регулярно, так і нерегулярно розміщених). Розроблено та удосконалено методи поліноміальної та сплайн-інтерлінації, а також розглянуто узагальнену глобальну інтерполяційну формулу Дональда Шепарда та узагальнену інтерполяційну формулу О. М. Литвина.

У четвертому розділі містяться результати чисельних експериментів та порівняльний аналіз розроблених алгоритмів. Наведено графіки концентраційних профілів атмосферного забруднення вуглекислим газом та триоксидом сірки. Представлено побудовані тривимірні поверхні, контурні карти та просторові профілі вмісту важких металів у ґрунті, що підтверджують

вищу точність та стійкість запропонованих інтерлінаційних схем порівняно з традиційними інтерполяційними методами (зокрема методами Шепарда).

У висновках підсумовуються основні результати, отримані при проведенні дисертаційного дослідження. Аналіз анотації свідчить про її відповідність змісту та ключовим положенням дисертації.

3 Достовірність та новизна наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій у роботі забезпечено за рахунок ефективного та коректного використання фундаментальних положень обчислювальної математики, теорії наближення функцій (зокрема теорії інформаційних операторів О. М. Литвина), диференціальних рівнянь масоперенесення в неоднорідних середовищах, а також концепцій геоінформаційних систем і дистанційного зондування Землі.

Здобувачем було отримано наступні нові наукові результати:

1) вперше для задачі поширення двокомпонентної суміші забруднювачів у повітряному середовищі від локалізованих трубчастих джерел запропоновано узгоджене розділення повної конвективно-дифузійно-реакційної моделі та редукованої самоспряженої дифузійно-реакційної постановки;

2) вперше обґрунтовано, що повна конвективно-дифузійно-реакційна модель має розглядатися у слабкій постановці Гальоркіна, тоді як метод Рітца коректно застосовується до її редукованої самоспряженої дифузійно-реакційної частини;

3) вперше побудовано двоступеневу редуковану скінченно-елементну схему, у якій нелінійна задача для другої компоненти забруднювачів розв'язується модифікованим методом Ньютона, а концентрація першої компоненти визначається з лінійної системи скінченно-елементних рівнянь за вже знайденим профілем концентрації другої компоненти;

4) дістали подальший розвиток методи інтерлінації функцій багатьох змінних та відповідні чисельні схеми в частині їх застосування до задач реконструкції просторових полів забруднення ґрунту за неповними даними спостережень;

5) удосконалено метод інтерлінації функцій багатьох змінних шляхом поєднання локальних інтерлінаційних операторів із триангуляцією області та барицентричним зважуванням, що забезпечує реконструкцію просторових полів забруднення ґрунту за нерегулярно розміщеними й неповними даними спостережень з урахуванням локальної геометрії їх розташування; це дало змогу зменшити середню похибку реконструкції порівняно з традиційними схемами інтерполяції та підвищити стійкість відновлення за нерегулярного розміщення точок спостереження.

4 Повнота викладу в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації, наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Основні результати, отримані у дисертаційній роботі, достатньо повно викладені у 15 наукових публікаціях, з яких 1 публікація опублікована у виданні, зазначеному в переліку наукових фахових видань України (категорія Б) за спеціальністю 113 Прикладна математика; 2 публікації у закордонних виданнях, що включені до міжнародної наукометричної бази Scopus, 1 стаття опублікована у науковому виданні, що додатково відображає результати дослідження, та 11 тез доповідей, опублікованих у матеріалах міжнародних наукових конференцій.

Аналіз наукових публікацій Ковтуна А. Д. свідчить про те, що викладені у них результати мають наукову та практичну цінність, демонструють високий рівень самостійності його дослідницької роботи та відповідають пунктам 8, 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради (із змінами), затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44.

5 Теоретичне та практичне значення отриманих результатів

Теоретичне значення результатів полягає у розробці обчислювальної схеми методу скінченних елементів (на основі методу Гальоркіна) для рівнянь масоперенесення з крайовими умовами Робіна та розвитку методів інтерлінації, узагальненої інтерполяції і Шепарда для відновлення 3D-полів.

Практичне значення полягає у створенні прикладних моделей і алгоритмів для математичного моделювання поширення викидів від точкових джерел у повітрі, реконструкції тривимірних полів забруднення ґрунтів важкими металами за нерегулярними даними, побудові екологічних карт та візуалізації просторового розподілу концентрацій.

6 Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

Аналіз дисертації та наукових публікацій Ковтуна А. Д. підтверджує відсутність ознак порушення академічної доброчесності, зокрема академічного плагіату, самоплагіату, фабрикації чи фальсифікації даних. Подана до захисту робота відповідає чинним вимогам законодавства у сфері авторського права та суміжних прав.

7 Дискусійні положення та зауваження щодо змісту дисертаційної роботи і її окремих положень

Загалом позитивно оцінюючи високий науковий рівень дисертаційного дослідження Ковтуна А. Д., теоретичну та практичну значущість здобутих результатів, вважаю за необхідне висловити такі зауваження та дискусійні міркування щодо змісту роботи та окремих її положень:

- у розділі 2 здобувачем запропоновано модифікований метод Ньютона з регуляризацією для розв’язання нелінійної частини систем рівнянь, проте у тексті дисертації недостатньо детально висвітлено питання вибору параметра регуляризації α за наявності шумів у вхідних даних вимірювань, тому бажано було б надати додаткові пояснення щодо чутливості обчислювальної схеми до варіації α ;

- на стор. 67, 68, 81, 82, 101 зафіксовано вживання англomовної аббревіатури FEM (Finite Element Method), тоді як на стор. 88, 90, 91, 97, 101, 106 автор переходить на україномовний аналог МСЕ (метод скінченних елементів), а отже, для дотримання академічного стилю та єдності викладення слід уніфікувати позначення й використовувати єдину скорочену назву (МСЕ) відповідно до вимог до дисертаційних робіт, що написані державною мовою;

– у розділі 3 було б доцільно обґрунтувати мінімальну кількість профілів, необхідних для коректного відновлення 3D-просторової структури забруднення ґрунту за допомогою операторів інтерлінації, бо важливо розуміти, яка нижня межа кількості лінійних носіїв інформації гарантує відсутність втрати даних про локальні аномалії та забезпечує перевагу розробленого методу над альтернативними;

– практична цінність дослідження суттєво зросла б за умови його апробації на реальних експериментальних або натурних даних (наприклад, даних екологічного моніторингу атмосфери чи ґрунтів, метеорологічних спостережень тощо);

– текст дисертації містить деяку кількість граматичних та орфографічних помилок, що втім не впливає суттєво на сприйняття тексту.

Наведені зауваження жодним чином не змінюють загальної позитивної оцінки результатів дисертаційного дослідження.

8 Загальна оцінка роботи, її відповідність встановленим вимогам

Дисертаційна робота Ковтуна А. Д. на тему «Математичне моделювання забруднення навколишнього середовища з використанням інтерлінації функцій», що подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика галузі знань 11 Математика та статистика є актуальною та завершеною роботою, яка вирізняється високою теоретичною обґрунтованістю, логічністю структури та переконливістю викладення результатів.

Робота характеризується чіткою структурою, логічною послідовністю розв’язання завдань та глибоким обґрунтуванням методології. Зміст дисертації спрямований на вирішення актуальної науково-технічної проблеми – розроблення та обґрунтування нових математичних моделей, варіаційних формулювань, чисельних алгоритмів на основі методу скінченних елементів та модифікованого методу Ньютона, а також удосконалених операторів інтерлінації для побудови та аналізу просторових полів забруднення ґрунту. Викладення матеріалу відрізняється строгим науковим стилем і грамотністю.

З огляду на актуальність обраного напрямку, наукову новизну, високий рівень обґрунтованості та достовірності здобутих результатів, а також вагоме практичне значення сформульованих у праці висновків, є всі підстави стверджувати, що дисертація повністю відповідає спеціальності 113 Прикладна математика. Робота задовольняє вимоги п.п. 6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами, внесеними постановами КМУ № 341 від 21.03.2022, №502 від 19.05.2023, № 507 від 03.05.2024), а її автор, Ковтун Артем Дмитрович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з прикладної математики.

Офіційний опонент:

кандидат фізико-математичних наук,

старший науковий співробітник

відділу чисельних методів та

комп'ютерного моделювання

Інституту кібернетики

імені В.М. Глушкова

Національної академії наук України

Володимир СИДОРУК