

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора,
професора кафедри комп'ютерних наук та прикладної математики
Національного університету водного господарства та природокористування,
БОМБИ Андрія Ярославовича на дисертаційну роботу ФАЙФУРИ Василя
Васильовича на тему: «Математичне та програмне забезпечення для
моделювання поширення мікропластику в приземному шарі атмосфери»,
поданої до захисту на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 121
«Інженерія програмного забезпечення» галузі знань 12 «Інформаційні
технології»

1. Актуальність теми дисертаційного дослідження.

Забруднення навколишнього середовища мікропластиком перетворюється на одну з найсерйозніших глобальних екологічних загроз. Особливо важливим є дослідження шляхів його атмосферного перенесення, оскільки це сприяє поширенню мікропластику в межах певної території, зокрема у населених пунктах та екосистемах поблизу. У цьому контексті особливу загрозу становить забруднення приземного шару атмосфери, який безпосередньо впливає на здоров'я людей та існування багатьох живих організмів. Тому визначення концентрації та джерел атмосферного мікропластику в цій зоні є вкрай важливим для повного розуміння масштабів проблеми та розробки ефективних шляхів її вирішення.

Представлена дисертаційна робота Файфури В.В. спрямована на вирішення важливої науково-технічної задачі – забезпечення просторового аналізу поширення мікропластику в атмосфері в умовах малих вибірок даних вимірювань. Це реалізується шляхом розробки математичного та програмного забезпечення для моделювання поширення мікропластику у приземному шарі атмосфери. Особливий акцент зроблено на оцінці внеску значущих

антропогенних джерел забруднення, таких як об'єкти поводження з твердими побутовими відходами та дорожня інфраструктура.

Запропоновані в дисертаційній роботі математичне та програмне забезпечення для моделювання поширення мікропластику дозволять не тільки кількісно оцінити вплив конкретних антропогенних чинників, а й створити дієві інструменти для прогнозування поширення мікропластику. Враховуючи обмеженість доступних даних вимірювань, розробка інструментарію, що інтегрує математичні моделі, які дозволяють прогнозувати поля концентрацій за умов малих вибірок, є надзвичайно цінною для практичного застосування.

Таким чином, представлене дисертаційне дослідження є актуальним, володіє значною науковою та практичною цінністю, сприяючи поглибленому розумінню проблеми атмосферного забруднення мікропластиком та пропонуючи інноваційні підходи до її вирішення.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи Файфури В.В. є обґрунтованими, що підтверджується коректним застосуванням комплексного підходу, який включає сучасні та визнані у науковому світі методи.

Сформульовані в роботі наукові положення, висновки та рекомендації розроблено на теоретико-методологічній базі, в основу якої покладено: методи теорії систем: для системного аналізу проблеми поширення мікропластику; математичне моделювання, зокрема, використання диференціальних рівнянь у частинних похідних, що базуються на рівнянні адвекції-дифузії-реакції, Що дозволяє адекватно описати складні фізичні процеси перенесення, турбулентного розсіювання та осадження мікропластику в приземному шарі атмосфери; методи оптимізації для адаптивного налаштування параметрів моделей, що підвищує їх точність; методи інтервального аналізу для налаштування та верифікації моделей, що уможливлює ефективне врахування невизначеності у вихідних даних, що є

особливо важливим в умовах малих вибірок. Адаптація розроблених моделей для різних типів джерел забруднення (тверді побутові відходи, дорожня інфраструктура) свідчить про високу гнучкість та прикладну цінність запропонованого підходу.

Усі наукові положення та висновки, сформульовані до кожного розділу дисертації, а також загальні висновки по роботі, мають належне наукове обґрунтування. Представлені результати та рекомендації базуються на глибокому теоретичному підґрунті, логічній послідовності проведених досліджень та експериментальних підтвердженнях запропонованих методів і підходів.

3. Наукова новизна результатів дослідження

В дисертаційній роботі Файфури В.В. розв'язано науково-технічну задачу забезпечення просторового аналізу поширення мікропластику в атмосфері в умовах малих вибірок даних вимірювань шляхом розробки математичного та програмного забезпечення для моделювання поширення мікропластику в приземному шарі атмосфери з особливим акцентом на оцінку внеску таких значущих джерел забруднення, як об'єкти сфери поводження з ТПВ та дорожня інфраструктура. При цьому отримано такі наукові результати:

1. Вперше запропоновано та обґрунтовано комбінований метод отримання інтервальних оцінок концентрації мікропластику в точках вимірювань, який, на відміну від існуючих, поєднує польові вимірювання завислих речовин та лабораторні вимірювання мікропластику в умовах малих вибірок даних, що в сукупності забезпечило зменшення кількості вимірювань для налаштування та верифікації моделей;

2. Вперше запропоновано та обґрунтовано метод адаптивного налаштування параметрів математичних моделей поширення мікропластику в приземному шарі атмосфери на основі рівняння адвекції-дифузії-реакції, який, на відміну від існуючих, базується на гібридних методах оптимізації та інтервальних оцінках вимірювань концентрації мікропластику в приземному шарі атмосфери,

що забезпечило гарантовані прогностичні властивості отриманих моделей в умовах малих вибірок даних вимірювань;

3. Набули подальшого розвитку моделі поширення мікропластику в приземному шарі атмосфери на основі рівняння адвекції-дифузії-реакції, які, на відміну від існуючих, комплексно враховують фізичні властивості процесу поширення мікропластику в приземному шарі атмосфери від різних типів антропогенних джерел, що забезпечило «гарантовану» точність та прогностичні властивості таких моделей;

4. Набули подальшого розвитку архітектурні рішення щодо інтеграції комплексу математичних моделей поширення мікропластику, які, на відміну від існуючих, поєднують елементи тісного зв'язування для швидкої обробки геоданих та візуалізації та сервісно-орієнтований підхід для гнучкого підключення обчислювальних модулів реалізації побудови та налаштування моделей, що забезпечує масштабованість, гнучкість у інтеграції нових моделей або джерел даних та оптимізований робочий процес для підготовки даних.

4. Зміст дисертації та відповідність встановленим вимогам

Дисертаційну роботу Файфури В.В. присвячено розробці математичного та програмного забезпечення для моделювання поширення мікропластику в приземному шарі атмосфери в умовах малих вибірок даних вимірювань на основі досліджень впливу таких джерел антропогенного походження, як об'єкти поводження з твердими побутовими відходами та дорожня інфраструктура. Робота має завершену структурну форму, що складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Зміст дисертації повною мірою відповідає поставленій меті та завданням дослідження, характеризується логічністю викладу та завершеністю.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, зазначено її зв'язок з науковими програмами та планами. Сформульовано мету та завдання дослідження, описано наукову новизну отриманих результатів та їх практичне

значення. Також наведено особистий внесок здобувача у співавторських працях та інформацію про апробацію результатів дослідження, а також опис структури та загального обсягу дисертації.

Перший розділ містить аналітичний огляд проблеми поширення мікропластику, систематизовано інформацію щодо його основних джерел. Проаналізовано сучасні методології відбору проб та лабораторного аналізу мікропластику з різних середовищ, а також існуючі підходи до моделювання поширення мікропластику в атмосфері, зокрема Гаусові, Ейлерові, Лагранжеві моделі. Виявлено ключові обмеження, зокрема складність ефективної інтеграції програмного забезпечення для моделювання МП з геоінформаційними системами. Ці виявлені обмеження формують науковий контекст та обґрунтовують актуальність і завдання даного дисертаційного дослідження, яке сфокусоване на розробці адаптованих математичних моделей та ефективних архітектурних рішень для інтеграції пропонованого програмного забезпечення та ГІС. Розділ завершується чіткою постановкою задачі дослідження та деталізацією її основних завдань.

У другому розділі розроблено методи для побудови моделей поширення мікропластику у приземному шарі атмосфери. Основу становить метод математичного моделювання, що базується на фундаментальному рівнянні адвекції-дифузії-реакції. Цей підхід дозволяє врахувати ключові фізичні процеси, що визначають поширення мікропластику, включаючи його перенесення повітряними потоками, турбулентне розсіювання та процеси видалення з атмосфери за рахунок сухого та вологого осадження. Для забезпечення верифікації результатів моделювання запропоновано комбінований метод інтервального оцінювання концентрації мікропластику, який поєднує етап відбору проб повітря з подальшим фізико-хімічним аналізом зібраних частинок. Розроблено метод адаптивного налаштування параметрів моделі, що базується на оптимізації емпірично заданих коефіцієнтів шляхом мінімізації відхилення між модельованими прогнозами та експериментальними даними, отриманими в

інтервальному вигляді. Такий підхід забезпечує можливість отримання моделей з гарантованими прогностичними властивостями на малих вибірках експериментальних даних, які використовуються для налаштування та верифікації моделі. Також представлено алгоритмічне забезпечення, описано структуру розроблених програмних модулів, їхню взаємодію та функціональні можливості, що забезпечують автоматизацію процесів обробки експериментальних даних, чисельного розв'язання рівняння адвекції-дифузії-реакції та проведення адаптивного налаштування параметрів моделей.

Третій розділ присвячено розробці математичних моделей, що описують процеси поширення мікропластику в приземному шарі атмосфери з урахуванням різних типів джерел антропогенного забруднення. Розглянуто методи формування вихідних даних для моделювання поширення мікропластику із застосуванням сучасних технологій геоінформаційних систем. Зокрема, розроблено модель поширення мікропластику від точкових джерел, таких як сміттєперероблювальні заводи, яка враховує викиди мікропластику з окремих точкових джерел та їх поширення на прилеглі території. Також розроблено модель поширення мікропластику для оцінки впливу на довкілля сміттєзвалищ, що враховує специфічні процеси, пов'язані з поширенням мікропластику з поверхневих джерел забруднення (сміттєзвалищ), таких як фільтрація та вивітрювання. Запропоновано модель поширення мікропластику у придорожніх екосистемах, де основним джерелом є знос автомобільних шин, яка враховує особливості утворення та поширення мікропластику в умовах дорожнього руху та прилеглих територій. Розроблені математичні моделі базуються на рівнянні адвекції-дифузії-реакції та враховують ключові фізичні процеси, що визначають поширення мікропластику у відповідних середовищах. Вони дозволяють прогнозувати просторово-часовий розподіл концентрації мікропластику залежно від характеристик джерела, метеорологічних умов, властивостей навколишнього середовища та фізичних властивостей самих частинок мікропластику.

У четвертому розділі описано особливості побудови програмного забезпечення, призначеного для моделювання поширення мікропластику в приземному шарі атмосфери. Деталізовано особливості побудови архітектури програмного забезпечення для математичного моделювання поширення мікропластику, формалізовано вимоги та спроектовано основні компоненти системи. Наведено загальну архітектуру із наголосом на інтеграцію математичного, програмного та апаратного забезпечення у єдину безшовну систему, доступну для кінцевого користувача. Деталізовано основні компоненти підсистеми математичного моделювання, а також засоби візуалізації результатів. Подано опис технології створення портативної вимірювальної станції, що поєднує апаратний блок збору даних із спеціалізованим програмним забезпеченням для забезпечення її роботи. Наведено діаграми та схеми, що ілюструють особливості програмної реалізації середовища для моделювання поширення мікропластику. Спроектовано підсистеми збереження даних із врахуванням особливостей представлення просторової інформації.

Висновки, сформульовані у роботі, повною мірою представляють отримані у дисертаційному дослідженні результати, мають належний науковий рівень та відповідають вимогам, які висуваються до результатів дисертації.

5. Практичне значення результатів дисертаційної роботи

Результати дисертаційної роботи мають значне практичне значення, оскільки на їхній основі розроблено та реалізовано комп'ютерну систему для моделювання поширення мікропластику в приземному шарі атмосфери від антропогенних джерел.

Отримані результати успішно впроваджено в діяльність низки організацій: ТОВ «ЕКО БАЛАНС ТЕР» (сміттесортувальний завод) для щоквартального моніторингу викидів мікропластику в атмосферу та оцінки екологічного стану прилеглих територій; ПП «Катруб» (сміттєпереробний завод) для проведення щоквартального моніторингу викидів мікропластику в атмосферне повітря та

оцінки потенційного стану ґрунтів на прилеглій території; Науково-дослідна частина Західноукраїнського національного університету у межах молодіжного науково-дослідного дослідження «Математичне та програмне забезпечення прототипу біогазової установки з підвищеною ефективністю функціонування» (державний реєстраційний номер 0124U000076); ІТ компанія «Forte Group» при розробці програмно-технічних комплексів, що інтегрують апаратні та програмні компоненти в різномірних середовищах; Західноукраїнський національний університет, кафедра комп'ютерних наук, в освітньому процесі під час викладання дисципліни «Архітектура та проектування програмного забезпечення».

Усі зазначені впровадження та їх результати підтверджені відповідними актами використання, які додаються до дисертації.

6. Повнота викладення основних результатів дисертаційної роботи в опублікованих працях.

За результатами дисертаційного дослідження опубліковано 10 наукових праць загальним обсягом 88 сторінок, що свідчить про повне та системне викладення основних наукових положень. Основні публікації складають 3 статті у фахових наукових виданнях України, одна з яких індексується в міжнародній наукометричній базі Scopus та відповідає квартилю Q3 за класифікацією SCImago Journal and Country Rank. Також 5 публікацій у матеріалах конференцій, з яких 4 – міжнародні, матеріали яких також індексуються наукометричною базою Scopus та 2 статті у наукових журналах України.

Основні результати роботи були представлені та обговорені на високореєтингових міжнародних наукових конференціях за кордоном, а також на наукових семінарах кафедри комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету.

Аналіз публікацій здобувача підтверджує повноту викладу наукових положень дисертації та дотримання принципів академічної доброчесності.

Загальна кількість та зміст публікацій у достатній мірі висвітлюють усі ключові результати дисертаційної роботи.

7. Зауваження та дискусійні питання

Не заперечуючи важливість наукових положень та висновків, необхідно зазначити низку дискусійних питань:

1. Вважаю, що у даній роботі замість словосполучення «математичне моделювання» варто вживати поняття «моделювання» (зокрема, тому, що поняття «моделювання» вже включає в себе і «математичне моделювання»).
2. У другому розділі доцільно було б навести більш загальну (більш «охоплюючу») математичну модель процесу поширення мікропластику в приземному шарі атмосфери (зокрема доцільно було б більш чітко обґрунтувати: причину вибору прямокутної області, вибір моделі опису джерел, а також початкові та граничні умови; незрозуміло, чому при описі частинних похідних вживається d (пряме)).
3. Бажано чіткіше охарактеризувати терміни: «дифузія», «точне визначення» тощо.
4. Як розуміти назву розділу 3 «Математичне моделювання...», адже там фігурує більш імітаційне моделювання, загальні інформаційні об'єкти (в тому числі географічні). В той час, коли до математичних моделей є лише звернення.
5. Позначення і надписи на деяких рисунках є недостатньо нечіткими, що може ускладнювати сприйняття матеріалу.

Зроблені зауваження не зменшують загальну позитивну оцінку дисертаційного дослідження, а лише вказують на складність досліджуваної проблематики та можуть слугувати орієнтиром подальшої наукової роботи.

Висновок про відповідність роботи встановленим вимогам МОН України

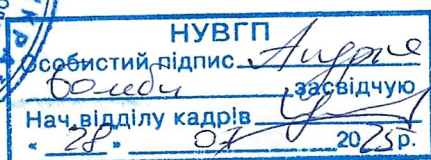
Дисертаційна робота Василя Васильовича Файфури на тему «Математичне та програмне забезпечення для моделювання поширення мікропластику в приземному шарі атмосфери» є завершеним та самостійно виконаним науковим дослідженням. Вона успішно вирішує актуальну науково-технічну задачу, демонструючи значне теоретичне та практичне значення. Отримані в дисертації теоретичні результати мають належне наукове обґрунтування, є новими та раніше не були представлені до захисту. За своїм змістом, темою, об'єктом та предметом дослідження, а також сформульованими висновками та рекомендаціями, дисертаційна робота повністю відповідає вимогам спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Зважаючи на актуальність дисертаційного дослідження, новизну теоретичних положень, практичну цінність результатів, рівень висвітлення результатів дослідження в публікаціях наукових видань можемо зробити висновок, що дисертація відповідає «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 року, а її автор, Файфура Василь Васильович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення» галузі знань 12 «Інформаційні технології».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри комп'ютерних наук
та прикладної математики

Національного університету водного
господарства та природокористування



Андрій БОМБА