

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

кандидата технічних наук, доцента кафедри обчислювальної техніки
Національного університету водного господарства та природокористування

Бойчури Михайла Володимировича

на дисертаційну роботу Тимчишина Богдана Степановича на тему
«Інтелектуалізована програмна система для проактивного управління
екосистемою міста», подану на здобуття ступеня доктора філософії за
спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення»

1. Актуальність теми дисертаційного дослідження. Актуальність дисертаційної роботи Тимчишина Богдана Степановича не викликає сумнівів та зумовлена необхідністю модернізації інструментів екологічного управління урбанізованими територіями. В умовах щільної забудови та зростання техногенного навантаження, традиційні методи реактивного управління втрачають свою ефективність, оскільки не дозволяють попереджати кризові явища, а лише фіксують їх наслідки.

Особливої ваги робота набуває у контексті сучасних викликів, що постали перед Україною, зокрема необхідності децентралізації енергетичної системи та післявоєнної відбудови інфраструктури. Розгортання мережі локальних джерел теплогенерації (котелень чи когенераційних установок) вимагає вирішення складних комбінаторних задач щодо їх оптимального розміщення з урахуванням екологічних обмежень.

Існуючі програмні засоби (наприклад, AERMOD View) є переважно монолітними десктопними рішеннями, орієнтованими на ручну роботу експертів, що унеможлиблює їх інтеграцію в автоматизовані системи підтримки прийняття рішень. Автор справедливо зазначає наявність технологічного розриву між потужними математичними ядрами (AERMOD) та потребами оперативних служб міста.

Таким чином, розробка інтелектуалізованої програмної системи, яка інтегрує регуляторні математичні моделі для оцінки шкідливих викидів та забезпечує проактивний сценарний аналіз, є актуальним науково-прикладним завданням, що відповідає тенденціям розвитку інженерії програмного забезпечення.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій. Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими та базуються на використанні сучасних методів дослідження. Автором коректно застосовано методи системного аналізу для виявлення недоліків існуючих підходів, методи математичного моделювання для формалізації задач оптимізації, а також принципи об'єктно-орієнтованого проектування та сервіс-орієнтованої архітектури.

Достовірність отриманих результатів підтверджується використанням верифікованого обчислювального ядра AERMOD (стандарт US EPA) для розрахунку полів концентрацій, що гарантує фізичну адекватність моделей розсіювання. Обґрунтованість вибору метаевристичних алгоритмів (метод рою часток, алгоритм бджолоїної колонії) для вирішення оптимізаційних задач підкріплена аналізом складності простору пошуку.

Окремо слід відзначити вдале архітектурне рішення щодо використання гібридної моделі збереження даних, де онтологія UESO виступає центральним семантичним хабом. Це дозволило вирішити проблему гетерогенності даних міської екосистеми.

Достовірність результатів підтверджена практичною апробацією системи на реальних даних м. Тернопіль, результатами навантажувального тестування і впровадженням у діяльність комунальних підприємств та ІТ-компаній.

3. Наукова новизна результатів дослідження. Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у створенні комплексу моделей, методів та програмних засобів для автоматизації процесів екологічного управління

містом. До найбільш вагомих результатів, отриманих автором вперше, належать:

1. Доменна онтологічна модель (UESO), яка забезпечує семантичну інтеграцію різнорідних даних (метеорологічних, кадастрових, параметрів джерел) та виступає «єдиним джерелом істини». Це дозволило формалізувати знання про міську екосистему та автоматизувати підготовку даних для моделювання, усунувши семантичні колізії.

2. Адаптивний метод оптимізації розміщення джерел техногенного навантаження, який відрізняється інтелектуалізованим вибором стратегії пошуку (повний перебір, D-PSO або D-ABC) залежно від складності та масштабу задачі. Це забезпечує баланс між часом отримання рішення та його оптимальністю.

3. Архітектура інтелектуалізованої системи на основі сервіс-орієнтованого підходу, ключовим елементом якої є розробка сервісів-обгортки для оркестрації консольного ядра AERMOD. Це дозволило перетворити складний інженерний інструмент на доступний веб-сервіс.

Набула подальшого розвитку математична постановка задачі розміщення джерел теплогенерації як задачі дискретної комбінаторної оптимізації з використанням штрафних функцій для врахування екологічних нормативів.

4. Практичне значення результатів дисертаційної роботи. Практична цінність роботи полягає у доведенні теоретичних розробок до рівня діючого програмного продукту, готового до використання муніципальними службами. Розроблена система дозволяє оперативно оцінювати екологічні ризики та науково обґрунтовувати локації для нових об'єктів інфраструктури, що є критично важливим для повоєнної відбудови. Реалізація системи у вигляді веб-застосунку з інтерактивними візуалізаціями (теплові карти, ізолінії) суттєво знижує поріг входження для користувачів та спрощує процес прийняття рішень. Результати роботи впроваджено у КП «Тернопільміськтеплокомуненерго», ІТ-компанії «Crowdin» та в навчальний

процес Західноукраїнського національного університету, що підтверджено відповідними актами.

5. Повнота викладу основних результатів дисертаційної роботи в опублікованих працях. Основні положення дисертації достатньо повно висвітлені в наукових публікаціях. За темою дисертації опубліковано 7 праць, з яких 3 статті у фахових виданнях України (категорія «Б») та 3 публікації у матеріалах міжнародних конференцій, що індексуються в наукометричній базі даних Scopus. Зміст публікацій відповідає розділам дисертації та відображає всі етапи дослідження: від аналізу проблеми до опису архітектури та результатів апробації.

6. Оцінка структури, мови та стилю викладення матеріалу. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 128 найменувань та 4 додатків. Структура дисертації є логічною та послідовною, а її зміст повністю відповідає поставленій меті та сформульованим завданням дослідження. Матеріал викладено системно, з належним рівнем деталізації, що забезпечує цілісність і завершеність наукового дослідження. Загальний обсяг роботи складає 205 сторінок, з них 170 сторінок основного тексту. Робота ілюстрована 56 рисунками та 13 таблицями, що сприяє кращому сприйняттю матеріалу.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, зумовлену загостренням проблеми забруднення повітря та необхідністю децентралізації енергетичної інфраструктури. Визначено зв'язок роботи з науковими програмами та планами, а також сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження. Наведено наукову новизну одержаних результатів та їх практичне значення, окреслено особистий внесок здобувача у публікаціях, виконаних у співавторстві, а також подано відомості про апробацію результатів та загальну структуру роботи.

У першому розділі здійснено теоретичне узагальнення підходів до управління екосистемою міста. Проведено компаративний аналіз математичних моделей розсіювання домішок та обґрунтовано вибір Гаусових

моделей, на основі реалізації модуля AERMOD, як оптимальних за критерієм «точність-складність». Виконано критичний огляд існуючих програмних засобів та виявлено технологічний розрив, зумовлений монолітністю існуючих рішень. Це обґрунтовує необхідність розробки інтелектуалізованої системи, яка інтегрує дані моделі.

Другий розділ присвячено обґрунтуванню переходу до керованої знаннями моделі. Розроблено гібридну архітектуру інтеграції даних та спроектовано доменну онтологію UESO, яка виступає семантичним хабом для гетерогенних даних міської екосистеми. Формалізовано основи сценарного аналізу, а також визначено оцінювальні та оптимізаційні сценарії.

У третьому розділі розроблено математичну постановку задачі комбінаторної оптимізації розміщення джерел теплогенерації з урахуванням суперпозиції полів концентрацій. Адаптовано метаевристичні алгоритми для вирішення задач дискретної оптимізації та запропоновано метод інтелектуалізованого вибору стратегії оптимізації на основі аналізу складності задачі. Наведено результати апробації методу на прикладі м. Тернопіль.

У четвертому розділі спроектовано гнучку сервіс-орієнтовану архітектуру програмної системи та розроблено спеціалізовані сервіси-обгортки для ядра AERMOD. Описано реалізацію підсистеми збереження даних, розгортання системи в кластері Kubernetes та розробку інтерактивного веб-інтерфейсу. Наведено результати навантажувального тестування, які підтвердили суттєве скорочення часу розрахунків.

У висновках узагальнено основні результати дисертаційної роботи та сформульовано підсумкові положення. Зроблені висновки логічно впливають зі змісту роботи та повністю відповідають поставленій меті й завданням дисертаційного дослідження.

Текст дисертації викладено послідовно та логічно, з дотриманням вимог наукового стилю і коректним використанням фахової термінології у галузі інженерії програмного забезпечення та екологічного моделювання.

Оформлення бібліографічних посилань та списку використаних джерел відповідає чинним вимогам.

7. Зауваження та дискусійні питання. Оцінюючи роботу позитивно, вважаю за доцільне висловити наведені нижче побажання та зауваження.

1. У другому розділі автор пропонує власну онтологію UESO. Доцільно було б детальніше описати, яким чином забезпечується сумісність даної онтології з іншими популярними стандартами Smart City (наприклад, FIWARE Data Models), окрім згаданих SWEET та GeoSPARQL, для ширшої інтероперабельності на рівні країни.

2. Автор використовує ядро AERMOD, яке базується на Гаусових моделях розсіювання. Відомо, що такі моделі можуть мати похибку в умовах складної аеродинаміки забудови («міські каньйони»). Чи розглядалася можливість використання у запропонованій архітектурі більш точних, але ресурсоемних CFD-моделей у якості альтернативного ядра для локальних задач високої точності?

3. В архітектурі системи згадується розгортання в кластері Kubernetes. Для системи підтримки прийняття рішень рівня міста це може створювати надлишкову складність в адмініструванні та високі вимоги до інфраструктури. Чи досліджував автор ефективність рішень оркестрації (наприклад, Docker Swarm) для менших масштабів впровадження?

4. У тексті зустрічаються дрібні неточності та неуніфіковане написання деяких аббревіатур (наприклад, згадуються різні варіації написання назв препроцесорів модуля AERMOD).

Зазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи та не знижують наукової та практичної цінності отриманих результатів.

8. Відсутність порушення академічної доброчесності. Аналіз дисертаційної роботи Тимчишина Б.С. та опублікованих праць не виявив ознак плагіату, самоплагіату, фабрикації чи фальсифікації. Посилання на

джерела виконані коректно. Отримані результати є самостійним доробком здобувача.

9. Висновок про відповідність роботи встановленим вимогам.
Дисертаційна робота Тимчишина Богдана Степановича на тему «Інтелектуалізована програмна система для проактивного управління екосистемою міста» є завершеним науковим дослідженням, яке вирішує актуальне науково-прикладне завдання підвищення ефективності екологічного управління шляхом розробки відповідного математичного та програмного забезпечення.

Робота за своїм змістом, науковою новизною, практичним значенням та обсягом проведених досліджень відповідає вимогам до такого виду робіт, зокрема наказу МОН України №40 від 12 січня 2017 року «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44) та предметній області спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення».

На підставі вище викладеного, вважаю, що Тимчишин Богдан Степанович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Офіційний опонент:

кандидат технічних наук,
доцент кафедри обчислювальної техніки
Національного університету водного
господарства та природокористування


Михайло БОЙЧУРА



