

## **РЕЦЕНЗІЯ**

на дисертаційну роботу **Молодця Богдана Володимировича**  
на тему **«Розроблення технологій та програмного забезпечення  
оперативного моніторингу якості повітря»,**  
представлену на здобуття ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення

Дисертаційна робота Молодця Богдана Володимировича «Розроблення технологій та програмного забезпечення оперативного моніторингу якості повітря» присвячена дослідженню, розробці та впровадженню інформаційної системи моніторингу якості повітря з метою підвищення ефективності та точності збору та аналізу даних.

**Актуальність теми дисертації.** Інформаційні системи моніторингу якості повітря є важливим інструментом у боротьбі з забрудненням повітря, і особливої важливості на сьогодні набуває питання розробки саме таких систем з метою збереження екології навколишнього середовища і захисту здоров'я людей. Сучасні технології дозволяють в режимі реального часу збирати та аналізувати дані про якість повітря, що надає можливість оперативно реагувати на забруднення та вживати заходів щодо його усунення.

Актуальність теми дослідження зумовлена тим, що інформаційні системи моніторингу стають необхідним інструментом для ефективного виявлення, контролю та зниження рівнів забруднення повітря.

Отримані в роботі наукові теоретичні та практичні результати розширюють існуючі знання в сфері розробки технологій і програмного забезпечення для оперативного моніторингу якості повітря, створюють нові підходи до інтеграції та обробки даних для точного оцінювання забруднення атмосферного повітря.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження, що наведені в дисертаційній роботі, виконано у відповідності з основними напрямками наукової діяльності кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара МОН України у межах науково-дослідної роботи № ФПМ-79-19 «Розробка програмного комплексу аналізу та прогнозування часових рядів», 2019-2021 рр. № держреєстрації

0119U101056 та науково-дослідної роботи № ФПМ-2-22 «Розроблення програмного забезпечення аналізу та кластеризації часових рядів» 2022-24 рр. № держреєстрації 0122U001465.

**Формулювання наукової задачі, нове вирішення якої одержане в дисертації.** Метою роботи є дослідження, розробка та впровадження інформаційної системи моніторингу якості повітря з метою підвищення ефективності та точності збору та аналізу даних. Дослідження спрямоване на вдосконалення існуючих методів моніторингу та розробку нових технологічних рішень для забезпечення більш точного вимірювання показників якості повітря.

Основні завдання дослідження:

- проаналізувати існуючі системи та рішення стосовно моніторингу якості повітря;
- дослідити математичні моделі для оцінки забруднення повітря;
- розробити архітектурне рішення для агрегації наземних та супутникових даних, та розрахунку якості повітря;
- реалізувати побудову інформаційної системи з моніторингу за розробленою архітектурою;
- провести апробацію результатів діагностики якості повітря, проведеної за допомогою розроблених алгоритмів та моделей;
- розробити інформаційну систему оперативного моніторингу якості повітря на основі розроблених моделей та алгоритмів для ефективного контролю та управління рівнями забруднення атмосферного повітря.

Об'єктом дослідження є процес зміни якості повітря.

Предметом дослідження є інформаційна система моніторингу якості повітря.

**Наукова новизна отриманих автором результатів.** В дисертаційній роботі набули подальшого розвитку теоретичні підходи та практичне застосування способів моделювання забруднення повітря, теорії систем, методів прогнозування та коригування, методів розробки програмного забезпечення.

В роботі досліджені:

- процес зміни якості повітря;
- існуючі системи та рішення стосовно моніторингу якості повітря;
- математичні моделі для оцінки забруднення повітря.



Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

- запропонована архітектура системи для інтеграції та оперативної обробки даних із наземних станцій моніторингу та супутникових знімків забезпечує автоматизацію процесу збору, обробки та серіалізації даних для ефективного управління якістю повітря і прийняття обґрунтованих рішень у сфері екології;
- розроблена інформаційна система забезпечує в реальному часі інтеграцію даних з кількох джерел: станцій наземного моніторингу, метеорологічних станцій та систем дистанційного зондування Землі;
- вдосконалена модель оцінки якості повітря шляхом об'єднання наступних компонент: *точкової оцінки стану повітря*, що отримується зі станцій наземного моніторингу; *кількісної оцінки стану повітря* (обсяг викидів забрудників) по області, використовуючи супутникові дані; *якісної оцінки* у вигляді інтерполяційної мапи індексу якості повітря, побудованої по даним з наземних станцій; *доуточнення* стану повітря в окремо виділених регіонах за допомогою моделі CALPUFF, що надає комплексну оцінку якості повітря в обраному регіоні.

В роботі вперше запропоновано:

- використовувати для аналізу якості повітря дані з наземних станцій, даних з супутникових знімків та інших джерел;
- архітектурне рішення для агрегації наземних та супутникових даних та розрахунку якості повітря.

**Практичне значення одержаних результатів.** Вважаю, що дисертація має велике практичне значення. Розроблена інформаційна система моніторингу надає актуальну інформацію про стан повітря та джерела забруднень. Система також виконує функцію сховища даних, що дозволяє постійно вдосконалювати моделі оцінки якості повітря.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. Результати наукових та практичних досліджень були впроваджені Департаментом екологічної політики Дніпровської міської ради у якості системи прийняття рішень відносно стану якості повітря.

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються.** Наукові положення, висновки та рекомендації, які отримані та розроблені автором, базуються на сучасних методологіях розробки програмного забезпечення, зокрема, розробки архітектури програмного забезпечення, web-технологій, баз даних та інформаційних систем.

Дисертаційну роботу виконано на належному науковому рівні. Відмічено достатньо високий рівень обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, сформульованих в дисертації, їх достовірність.

Дисертаційна робота відповідає вимогам до досліджень такого рівня.

**Особистий внесок здобувача.** Усі результати дисертаційної роботи, що виносяться на захист, отримані автором особисто або за безпосередньої участі, зокрема аналіз літературних даних, оцінка математичних моделей, обробка отриманих результатів. Особистий внесок здобувача також полягає в проведенні аналізу мережевої архітектури та виборі оптимальної для забезпечення ефективного функціонування системи моніторингу, створенні прототипу програмного забезпечення для моніторингу, проведенні експериментальної перевірки та апробації результатів дослідження. Результати розрахункових та теоретичних досліджень, які виносяться на захист, отримані автором самостійно. Дисертаційна робота є завершеним дослідженням, виконаним автором самостійно відповідно до програми спланованих, проведених і узагальнених досліджень.

**Апробація матеріалів дисертації.** Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на 5-му семінарі з сучасних технологій машинного навчання та науки про дані (MoMLLeT & DS 2023) та 4-му Міжнародному семінарі з інтелектуальних інформаційних технологій та систем інформаційної безпеки (IntelITSIS-2023).

**Висновок про повноту опублікування основних положень дисертації.** Основні положення й результати дисертаційної роботи представлені у 9 публікаціях, зокрема 2 статтях, що індексуються в наукометричній базі Scopus, 3 статтях, опублікованих у наукових фахових виданнях України категорії Б, і 4 тезах доповідей, включених у збірники матеріалів наукових конференцій. Ці публікації в достатній мірі висвітлюють основний зміст дисертаційної роботи.



**Мова і стиль роботи.** Матеріал роботи викладений логічно, представлений достатньою мірою і написаний гарною українською мовою з використанням сучасної наукової термінології. Зміст дисертаційної роботи висвітлює основні результати наукових досліджень та відповідає вимогам, що висуваються до наукових праць такого рівня, а також вирізняється послідовністю, системністю та обґрунтованістю та висвітлює основні результати наукових досліджень.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається з переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел, що містить 104 найменування на 12 сторінках та додатків на 2 сторінках. Загальний обсяг дисертації – 146 сторінок, обсяг основного тексту – 116 сторінок. Робота містить 45 рисунків та 14 таблиць.

У вступі обґрунтовані актуальність теми, мета та завдання дослідження, об'єкт та предмет дослідження, наведені методи та підходи, що використовувались під час дослідження, наукова новизна, практичне значення, особистий внесок дисертанта та апробація роботи. В основу дисертаційної роботи покладені результати, отримані автором під час виконання наукових досліджень, проведених на кафедрі математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

У першому розділі проведено аналіз існуючих технологій, систем та наукових праць, пов'язаних з розробкою технологій та програмного забезпечення оперативного моніторингу якості повітря. Розглянуті існуючі вітчизняні та міжнародні стандарти якості повітря. В результаті огляду існуючого програмного забезпечення складається перелік недоліків, на основі яких автор формує вимоги до інформаційної системи, що розробляється в роботі.

У другому розділі перелічені джерела даних, що використовуватимуться в системі, що розробляється, а саме супутникові дані, дані зі станцій наземного моніторингу та метеодані. Розділ присвячений аналізу моделей оцінки якості повітря, опису їх переваг та недоліків, містить характеристику методу покращення роботи моделей оцінок. В результаті аналізу обрано модель CALPUFF у поєднанні з методом IDW завдяки високій якості оцінки, що враховує ряд факторів.

У третьому розділі проаналізовані та описані технології та архітектурні рішення, необхідні для створення інформаційної системи. Проаналізовані

протоколи обміну даними, архітектури мережевих протоколів та програмного забезпечення, а також провайдери хмарних послуг. Описане обране архітектурне рішення, яке включає сервісно-орієнтовну архітектуру та REST.

Четвертий розділ присвячено можливостям практичного застосування розробленої системи. Наведено стек технологій, на якому побудована система. Детально описано схему роботи обраних моделей, їх комбінацію для уточнення моделювання та надання більш повної картини розподілу забруднень. Наведено результати стрес-тестування системи, включаючи показники відмови та тривалість запиту.

Висновки підводять підсумки проведеної роботи, виокремлюють основні наукові та практичні здобутки автора у розробці інформаційної системи моніторингу якості повітря. Висновки по роботі чіткі, логічні і впливають із теоретичних та експериментальних даних, отриманих автором.

**Окремі дискусійні питання і зауваження.** До дисертаційної роботи є деякі зауваження.

1. Під час аналізу існуючого програмного забезпечення оцінки якості повітря автору було б доцільно приділити увагу розгляду архітектурних рішень, логічній та фізичній структурі існуючих моделей та систем з метою виявлення слабких місць та шляхів щодо напрямку подальших досліджень. Також у висновку (стор. 39) зазначено, що інтерфейс цих програм є неінтуїтивним, проте жодного дослідження в напрямку оцінки даного показника автором не було проведено.

2. Аналіз норм і стандартів оцінки якості повітря, проведений в першому розділі (п. 1.2 - п. 1.5), несе загальновідому, відкриту статистичну інформацію, що безпосередньо не пов'язана із науковою новизною проведених в роботі досліджень, тому не потребує такої ретельної уваги.

3. В другому розділі (п. 2.7) для уточнення результатів моделювання обрано детермінований метод інтерполяції IDW (метод обернено зважених відстаней). Автору варто обґрунтувати доцільність обрання методу IDW в порівнянні з іншими існуючими методами такими, як Nearest Neighbor (метод найближчого сусіду), Moving Average (ковзного середнього) і Linear (лінійної інтерполяції). Також зазначений алгоритм IDW потребує більш детального опису.



4. З тексту роботи не зрозуміло, яким чином здійснюється інтеграція обраного сервісу Amazon Web Services із запропонованим програмним забезпеченням оперативного моніторингу якості повітря.

5. У наведеному в п. 4.1 (стор. 97) алгоритмі не зрозуміло, яким чином здійснюється очищення даних, а саме перевірка даних на наявність відсутніх значень, аномальних даних або помилок, видалення або виправлення некоректних значень.

6. Автору в роботі було б доцільно здійснити порівняння отриманих прогностичних значень розробленої системи із відомими аналогами для оцінки точності та достовірності результатів прогнозування параметрів якості повітря.

7. Відмічена відсутність лістингу програмного коду розробленого у роботі програмного забезпечення інформаційної системи моніторингу якості повітря. Автору доцільно було б винести програмний код у додатки до роботи.

Проте вказані зауваження не знижують позитивної оцінки дисертаційної роботи в цілому, а також розроблених автором основних наукових положень, висновків та отриманих результатів проведених досліджень. Зміст дисертації відповідає вимогам, що висуваються до наукових робіт такого рівня, вирізняється логічністю, послідовністю, системністю та обґрунтованістю. Текст роботи є оригінальним. Структура дисертації цілком узгоджується з її назвою, метою і завданням дослідження. Зміст та результати роботи відповідають спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення. Це дає можливість оцінити дисертаційну роботу як цілісну, закінчену та актуальну наукову працю.

**Відповідність дисертації спеціальності, за якою вона подається до захисту.** Дисертаційна робота Молодця Б. В. «Розроблення технологій та програмного забезпечення оперативного моніторингу якості повітря» повністю відповідає спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення.

**Загальний висновок.** Дисертаційна робота «Розроблення технологій та програмного забезпечення оперативного моніторингу якості повітря», представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення, є актуальною за змістом, містить наукову новизну; основні результати та висновки дисертації обґрунтовані, мають теоретичне та практичне значення. Рецензована дисертаційна робота є завершеною науковою

працею. Вважаю, що дисертаційна робота відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації», а також відповідає передбаченим вимогам освітньо-наукової програми, яку успішно завершив здобувач. Методичний рівень, наукова новизна і практичне значення, рівень оприлюднення результатів рецензованої роботи відповідає вимогам до дисертацій ступеня доктора філософії згідно положень Постанови Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (зі змінами від 21.03.2022 р.), а її автор Молодець Богдан Володимирович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії у галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

#### Рецензент

доцент кафедри електронних обчислювальних машин

Дніпровського національного університету

імені Олеся Гончара

кандидат технічних наук, доцент

О.В. Спирінцева

*Підпис к.т.н., доцента Спирінцевої О.В. засвідчую*

Вчений секретар

Дніпровського національного університету

імені Олеся Гончара



Т.В. Ходанен