

## ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора  
**Гребенніка Ігоря Валерійовича** на дисертаційну роботу  
**Масляка Юрія Богдановича** на тему: «Інтервальні моделі  
процесів забруднення атмосфери шкідливими викидами  
автотранспорту та методи їх ідентифікації», поданої на здобуття  
наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю  
01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

### **Актуальність теми дисертації.**

Актуальною проблемою людства на сьогодні є забруднення атмосферного повітря. Одним з основних джерел забруднення повітря у містах є автотранспорт. З огляду на істотні витрати часових та матеріальних ресурсів на моніторинг стану атмосферного повітря, для відображення та прогнозування концентрацій шкідливих викидів автотранспортних засобів доцільно використовувати апарат математичного моделювання.

У роботі проаналізовано низку відомих підходів до моделювання процесів забруднення атмосфери шкідливими викидами автотранспорту. Встановлено, що в існуючих підходах наявні певні особливості та недоліки. Зокрема, одні типи моделей вимагають урахування значної кількості чинників, інші відзначаються високими показниками обчислювальної складності схем їх реалізації. Також, ряд моделей орієнтований на точне представлення результатів спостережень і не враховує невизначеності у вигляді похибок. В такому випадку доцільно використовувати інтервальні математичні моделі та відповідні методи їх аналізу. В роботі обґрунтовано використання для моделювання динаміки забруднень атмосфери шкідливими викидами автотранспорту інтервальних дискретних динамічних моделей (ІДДМ) у вигляді різницевих рівнянь. Особливості існуючих методів моделювання вказаних процесів є підставою для продовження досліджень, зокрема, аналізу часових характеристик методу структурної ідентифікації ІДДМ, який ґрунтується на поведінковій моделі бджолиної колонії, та до його

удосконалення. Автором обґрунтовано необхідність та створено інформаційну технологію для комп'ютерного моделювання процесів забруднення атмосфери шкідливими викидами автотранспорту, яка інтегрує як методи та засоби отримання даних, їх попереднього аналізу, так і методи та засоби структурної й параметричної ідентифікації для побудови адекватних ІДДМ.

Тому тема, мета та поставлені задачі дисертації Масляка Ю.Б. є актуальними.

Актуальність, важливість та перспективність дисертації та отриманих результатів підтверджуються також тим, що робота виконувалась в межах науково-дослідних робіт: держбюджетна науково-технічна (експериментальна) розробка молодих вчених «Математичне та програмне забезпечення для контролю забруднення атмосфери автотранспортом» (державний реєстраційний номер 0116U005507); держбюджетне прикладне дослідження «Математичне та програмне забезпечення для класифікації тканин хірургічної рани в процесі операції на органах шиї» (державний реєстраційний номер 0117U000410), відповідно до наукового напрямку кафедри комп'ютерних наук Тернопільського національного економічного університету.

### **Оцінка змісту дисертації, її завершеності.**

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків; за структурою та обсягом робота відповідає вимогам щодо кандидатських дисертацій з технічних наук.

У *вступі* обґрунтовано актуальність обраної теми дисертації, визначено мету і задачі дослідження, сформульовано об'єкт і предмет, а також методи дослідження, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, надано інформацію про особистий внесок автора в роботи, виконані у співавторстві, наведено перелік публікацій та відомості про апробацію за темою роботи.

У *першому розділі* проведено аналіз математичних моделей процесів забруднення атмосфери та методів їх ідентифікації.



Проведений аналіз показав, що основним джерелом забруднення довкілля міста шкідливими викидами є автомобільний транспорт. Для зменшення негативного впливу автотранспорту на довкілля необхідно розробити систему моніторингу, основою якої є математичні моделі динаміки концентрацій шкідливих викидів у вихлопних газах автотранспорту.

Досліджено існуючі моделі поширення забруднюючих речовин в атмосферному повітрі та виявлено їх основні недоліки. Обґрунтовано використання різницевих рівнянь з невідомими на початку структурою й параметрами, та подальшим їх налаштуванням з використанням вибірки інтервальних експериментальних даних.

У підсумку проведеного аналізу усіх методів структурної ідентифікації встановлено, що ці методи є складними для реалізації користувачем, містять складні процедури параметричної ідентифікації і вимагають створення інформаційної технології для комп'ютерного моделювання процесів забруднення атмосфери шкідливими викидами автотранспорту.

У завершальній частині розділу здійснено постановку завдань дисертаційного дослідження.

*Другий розділ* дисертації розкриває суть удосконаленого методу структурної ідентифікації ІДДМ на основі поведінкової моделі бджолоїної колонії.

У розділі проведено детальний аналіз складності обчислювальної реалізації операторів та процедур зазначеного методу. В результаті аналізу виявлено основний фактор, який впливає на обчислювальну складність методу (якість та повнота формування початкової множини структурних елементів) та здійснено вдосконалення методу із застосуванням попереднього кластерного аналізу вибірки інтервальних даних. Це проілюстровано наведеними у завершальній частині розділу прикладами.

У *третьому розділі* наведено результати розробки засобів для моделювання процесів динаміки забруднення атмосфери шкідливими викидами автотранспорту.

Інформаційна технологія інтегрує метод представлення фізико-хімічних властивостей повітря за допомогою параметрів електричних сигналів, метод отримання інтервальних даних, метод кластеризації даних, методи структурної та параметричної ідентифікації математичних моделей процесів динаміки забруднення атмосфери, а також метод візуалізації результатів моделювання.

В реалізації інформаційної технології задіяні технічні засоби та відповідні програмні модулі, що забезпечують реалізацію зазначених методів: сенсор концентрацій шкідливих викидів автотранспорту, сенсор для визначення інтенсивності автотранспортних потоків, одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 3, GSM-модуль.

У розділі обґрунтовано архітектуру програмно-апаратної системи для моніторингу шкідливих викидів автотранспорту. Автоматизована система моніторингу шкідливих викидів автотранспорту виконує низку завдань щодо збору, накопичення й обробки інформації про забруднюючі речовини; моделювання та прогнозування забруднення атмосферного повітря; підтримки оперативних управлінських рішень.

На стороні користувача розгорнуто клієнтську частину веб-орієнтованої системи, яка дозволяє в режимі реального часу слідкувати за викидами шкідливих речовин у повітря.

У *четвертому розділі* побудовано комплекс інтервальних моделей процесів забруднення атмосфери шкідливими викидами автотранспорту для реалізації методів структурної та параметричної ідентифікації ІДДМ у розроблених програмних засобах.

Розроблена інформаційна технологія використовує інтервальні моделі для розв'язання задачі встановлення добового циклу концентрацій шкідливих викидів автотранспорту з урахуванням інтенсивності автотранспортних потоків.

У *додатках* наведено довідки про впровадження результатів дисертації.

## **Наукова новизна дисертаційної роботи**

1. Вперше створено інформаційну технологію для комп'ютерного моделювання процесів забруднення атмосфери шкідливими викидами автотранспорту, яка, на відміну від існуючих, інтегрує методи та засоби параметричної і структурної ідентифікації з процедурами автоматизованого формування набору структурних елементів різницевих рівнянь на основі кластерного аналізу інтервальних даних, і забезпечує результати моделювання цих процесів з гарантованою точністю.

2. Удосконалено метод структурної ідентифікації ІДДМ на основі поведінкової моделі бджолоїної колонії, який, на відміну від існуючого, містить процедури автоматизованого формування набору структурних елементів, які ґрунтуються на методі субтрактивної кластеризації вибірки вхідних даних, що забезпечує підвищення якості формування початкової множини структурних елементів і, тим самим, – зниження обчислювальної складності реалізації методу.

3. Набули подальшого розвитку інтервальні дискретні моделі динаміки концентрацій шкідливих викидів автотранспорту, які, на відміну від існуючих, забезпечують гарантовану точність та придатні для налаштування у залежності від умов середовища їх застосування.

## **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації**

Обґрунтованість одержаних наукових результатів базується на використанні системного підходу, методів теорії ідентифікації та кластерного аналізу; методів аналізу інтервальних даних, методів стохастичного програмування та теорії самоорганізації систем, зокрема, поведінкової моделі бджолоїної колонії, а також методів оцінювання обчислювальної складності. Для створення програмного забезпечення використано об'єктно-орієнтований підхід.

## **Наукове і практичне значення результатів**

Наукова цінність роботи полягає у зниженні обчислювальної складності методу структурної ідентифікації ІДДМ на основі поведінкової моделі бджолоїної колонії

шляхом підвищення якості формування початкової множини структурних елементів у спосіб автоматизації вказаної процедури за допомогою методу субтрактивної кластеризації вибірки вхідних даних. Практичне значення результатів полягає у розробці інформаційної технології, системи моніторингу та ІДДМ процесів забруднення атмосфери шкідливими викидами автотранспорту, які впроваджені в державній установі «Тернопільський обласний лабораторний центр Міністерства охорони здоров'я України», що забезпечило підвищення якості моніторингу довкілля. Результати застосування засвідчено актом про їх впровадження. Низка результатів дисертаційної роботи впроваджена в навчальний процес Тернопільського національного економічного університету при підготовці бакалаврів та магістрів за спеціальністю «Інженерія програмного забезпечення», що засвідчено довідкою.

### **Публікації та апробація результатів дисертаційної роботи**

Результати відображених у дисертації досліджень опубліковано у 17 наукових працях, зокрема, 2 статті у наукових періодичних виданнях інших держав, 1 з яких входить до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science, 3 статті у фахових наукових виданнях України, 1 з яких входить до міжнародної наукометричної бази Web of Science, та 12 публікацій у матеріалах конференцій, 8 з яких входять до міжнародної наукометричної бази Scopus.

В опублікованих працях викладено в повному обсязі основні положення дисертаційної роботи, які винесено на захист. Особистий внесок здобувача в сумісних публікаціях є підтвердженим. Рівень та кількість публікацій, рівень апробації відповідають вимогам до кандидатських дисертацій в Україні.

### **Оформлення дисертації та автореферату**

Автореферат достатньо повно відображає основний зміст дисертації. Дисертація та автореферат викладені логічно, послідовно та коректно. Оформлення автореферату та дисертації відповідає вимогам, рекомендованим Міністерством освіти і науки України.

### **Зауваження до дисертаційної роботи**

1. В оглядовій частині дисертації слід було б навести огляд найбільш відомих

робіт та класичних результатів інтервального аналізу (інтервальні арифметики, інтервальні відображення, інтервальні рівняння тощо), для покращення сприйняття отриманих в роботі результатів.

2. Для більш логічного подання результатів дисертаційної роботи вважаю доцільною іншу послідовність їх викладення: спочатку результати щодо математичних моделей та методів їх аналізу (що відповідає другому та четвертому розділам роботи), а потім опис інформаційної технології, побудованої із використанням зазначених результатів (наведено у третьому розділі).

3. У дисертаційній роботі вдосконалено метод структурної ідентифікації ІДДМ на основі поведінкової моделі бджолоїної колонії в напрямку зниження його часової складності. Доцільно було б провести порівняльний аналіз часових характеристик досягнутих результатів для моделей різної розмірності з результатами, отриманими іншими методами.

4. У дисертаційній роботі запропоновано нову інформаційну технологію для комп'ютерного моделювання процесів забруднення атмосфери шкідливими викидами автотранспорту, спрямовану на аналіз динаміки забруднень атмосферного повітря оксидом карбону та діоксидом натрію. Доцільно було б дослідити можливості застосування запропонованої інформаційної технології для аналізу процесів забруднення атмосфери шкідливими викидами від інших джерел, зокрема, від залізничного та авіаційного транспорту, промислових підприємств тощо.

5. У дисертаційній роботі запропоновано архітектуру програмної системи для побудови та застосування математичних моделей динаміки забруднення атмосфери шкідливими викидами автотранспорту. Автору варто було б розглянути можливість застосування cloud-технологій та сучасних мікросервісних архітектур для реалізації вказаної системи.

Сформульовані зауваження не знижують загальної позитивної оцінки роботи в цілому.

## Загальна оцінка роботи і висновок

Оцінюючи роботу в цілому, вважаю, що дисертація Масляка Ю.Б. на тему «Інтервальні моделі процесів забруднення атмосфери шкідливими викидами автотранспорту та методи їх ідентифікації» є завершеною науковою працею, у якій отримані нові наукові та практичні результати, що вирішують важливе науково-технічне завдання розвитку методів структурної ідентифікації ІДДМ у вигляді різницевих рівнянь, а також засобів їх реалізації, інтегрованих в єдине середовище для математичного та комп'ютерного моделювання процесів забруднення атмосфери шкідливими викидами автотранспорту в умовах використання інтервальних даних.

Дисертаційна робота здобувача за своїм рівнем, обсягом і якістю досліджень відповідає вимогам пунктів 9, 11, 12-14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.03.2013 №567 щодо кандидатських дисертацій, а її автор Масляк Юрій Богданович заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент:

завідувач кафедри системотехніки

Харківського національного

університету радіоелектроніки,

д.т.н., професор



І.В. Гребеннік

Підпис проф. Гребеннік І.В. засвідчую.

Учений секретар ХНУРЕ




І.В. Магдаліна