

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Дзюняк Дмитро Юрійович

УДК 004.942+504.3.054

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ
ВИКИДІВ РЕЧОВИН ЗА ДАНИМИ ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ
ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ**

Спеціальність 05.13.06 — «Інформаційні технології»

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник:
Мокін Віталій Борисович
доктор технічних наук, професор

Вінниця — 2017

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ТА МЕТОДІВ І МОДЕЛЕЙ, ПОКЛАДЕНИХ В ЇХ ОСНОВУ	14
1.1 Проблематика забруднення атмосферного повітря та огляд параметрів викидів забруднюючих речовин	14
1.2 Аналіз існуючих моделей розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі	17
1.2.1 Емпірично-статистичні моделі поширення забруднюючих речовин в атмосферному повітрі	18
1.2.2 Авторегресійні моделі поширення забруднюючих речовин в атмосферному повітрі	26
1.2.3 Турбулентно-дифузійні моделі поширення забруднення в атмосферному повітрі	26
1.3 Огляд існуючих інформаційних систем і технологій для розрахунку поширення забруднюючих речовин в атмосферному повітрі	28
1.3.1 Методика ОНД-86 для розрахунку концентрацій шкідливих речовин в атмосферному повітрі	28
1.3.2 Модель поширення забруднюючих речовин в атмосферному повітрі «ТАРМ»	30
1.3.3 Система моделювання розсіювання речовин в атмосферному повітрі «SILAM»	31
1.4 Висновки до розділу 1	32
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛЕЙ ДИНАМІКИ ПОШИРЕННЯ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРНОМУ ПОВІТРІ	34

2.1 Розроблення методу оцінювання параметрів стаціонарних джерел понаднормативних викидів на основі нечіткої бази знань	34
2.2 Розроблення методу оцінювання параметрів стаціонарного джерела викиду на основі математичної моделі Гаусса.....	42
2.3 Створення методу оцінювання середньої швидкості руху транспортних засобів на основі нечіткої бази знань.....	50
2.3.1 Побудова математичної моделі руху транспортних засобів за даними моніторингу їх параметрів.....	50
2.3.2 Створення методу оцінювання середньої швидкості руху транспортних засобів на основі нечіткої бази знань	53
2.4 Висновки до розділу 2	56
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В КОМПЛЕКСІ З ДАНИМИ ПРО ДЖЕРЕЛА ЦЬОГО ЗАБРУДНЕННЯ	58
3.1 Створення інформаційно-вимірювальної системи для оперативного моніторингу забруднення атмосферного повітря в комплексі з даними про джерела цього забруднення.....	58
3.2 Розроблення універсальної інформаційно-вимірювальної мобільної системи для оперативного моніторингу забруднення атмосферного повітря.....	62
3.2.1 Розроблення методики проектування універсальної інформаційно-вимірювальної мобільної системи для моніторингу стану забруднення атмосферного повітря	63
3.2.2 Створення методу оцінювання параметрів джерел забруднення атмосферного повітря викидами пересувних джерел за даними їх оперативного моніторингу	67
3.2.3 Приклад створення ІВС за запропонованою методикою.....	71
3.3 Висновки до розділу 3	75

РОЗДІЛ 4 СТВОРЕННЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ НА ОСНОВІ РОЗРОБЛЕНИХ МОДЕЛЕЙ, МЕТОДІВ ТА СИСТЕМ.....	76
4.1 Розроблення архітектури інформаційної технології моделювання викидів стаціонарних та пересувних джерел в атмосферне повітря за даними їх оперативного моніторингу	76
4.2 Розробка програмного модулю на Java для розрахунку динаміки забруднюючих речовин	77
4.2.1 Розробка веб-інтерфейсу для розрахунку розсіювання забруднюючих речовин від стаціонарних джерел із використанням технології Google Web Toolkit	79
4.3 Розробка веб-сервісу ранжування параметрів викидів від стаціонарних джерел з використанням нечітких експертних оцінок	83
4.4 Оцінювання параметрів викидів пересувних джерел викидів та моделювання стану забруднення атмосферного повітря м. Вінниці за допомогою розробленої інформаційно-вимірювальної системи для оперативного моніторингу	86
4.5 Визначення ефективності запропонованої інформаційної технології.....	90
4.6 Висновки до розділу 4	92
ВИСНОВКИ.....	94
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	98
ДОДАТКИ 115	
Додаток А Математичний апарат методу оцінювання параметрів стаціонарного джерела викиду забруднюючої речовини на основі моделі Гаусса для різних показників ефективної висоти цього викиду.....	116
Додаток Б Акти впровадження	120

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

АП — атмосферне повітря

БПЛА — безпілотний літальний апарат

ГА — генетичний алгоритм

ГДК — гранично допустима концентрація

ГІС — географічна інформаційна (геоінформаційна) система

ГІС-технологія — геоінформаційна технологія

ДВ — джерело викиду

ЗР — забруднююча(і) речовина(и)

ІВС — інформаційно-вимірювальна система

ІТ — інформаційна технологія

НБЗ — нечітка база знань

НДЛ ЕДЕМ — науково-дослідна лабораторія екологічних досліджень та екологічного моніторингу ВНТУ

ТЗ — транспортний засіб

GPS — (англ. Global Positioning System) система глобального позиціонування

ВСТУП

Актуальність роботи

Однією з найважливіших проблем сьогодення являється забруднення приземного шару атмосфери викидами антропогенного характеру. Викиди стаціонарних та пересувних джерел призводять до накопичення шкідливих для здоров'я людини речовин у містах та промислових регіонах України. Лише у Києві викиди автомобільного транспорту становлять близько 110 тис. тон шкідливих речовин на рік. Результатом цього є погіршення стану довкілля і, як наслідок, хронічні та гострі форми респіраторних хвороб та інші види захворювань. Для вирішення цієї проблеми необхідно вживати різних заходів, але вони потребують належного наукового обґрунтування, в першу чергу, шляхом моделювання процесів розсіювання шкідливих речовин у приземному шарі атмосфери.

Моделюванням та прогнозуванням забруднення атмосферного повітря займається багато наукових шкіл у різних країнах вже десятки років. Серед найбільш поширених моделей можна виділити такі: Гаусса, SOSE, TAPM, «ОНД-86», SILAM. Оскільки найбільш дієвими є адресні заходи (введення лімітів на викиди, встановлення очисних споруд та ін.), то найбільшу цінність для вирішення даної проблеми мають моделі, для розрахунку яких потрібні дані локального оперативного моніторингу атмосферного повітря, найбільш поширеними серед яких в Україні є європейська модель Гаусса та модель радянської методики «ОНД-86».

Проблематика моделювання процесів забруднення атмосферного повітря відображена у роботах таких вчених як: Беляєв М. М., Берлянд М. Е., Боголюбов В. М., Боцула М. П., Бузало Н. С., Горячев Г. В., Громова О. В., Довгий С. О., Замай С. С., Ковальчук В.І., Крижановський Є. М., Лебідь О. Г., Луканин В. М., Мокін В. Б., Семчук Ю. С., Скоб Ю. А., Скопецький В.В., Сонькин Л. Р., Стеклогоров Е. Б. Хрущ В. К., Щербань О.Н., Яковлев Є.О.,

Sofiev M., Chaudhry V., Hurley P., Juan S., Papadopoulos A., Al-Dahoud A., Pelliccioni A., Peter F. Nelson та ін.

Проте виникає технологічний розрив між математичними моделями, які детально описують процеси розсіювання в атмосфері та засобами для вимірювання, що часто використовують досить усереднені дані, і тим самим нівелюють досить високу адекватність моделей. Часто відсутні достовірні дані, навіть про самі параметри викидів (концентрація та швидкість потоку забруднюючих речовин в гирлі стаціонарного джерела викиду, його геометричні параметри та ін.), особливо під час пошуку незареєстрованих джерел викидів та під час громадського екологічного контролю. Але якщо використати сучасні мобільні пристрої та програмно-інформаційні засоби оперативного моніторингу (безпілотні літальні апарати з приладами експрес-аналізу, дані геопорталів та метеорологічних веб-сервісів та ін.) та експертні дані, тоді, за рахунок розвитку технології оброблення таких даних, можна було б підвищити точність та ефективність оцінювання параметрів викидів речовин та, в цілому, точність та ефективність моделювання процесів забруднення атмосферного повітря.

Отже, створення нової інформаційної технології (ІТ) оцінювання параметрів викидів речовин за даними оперативного моніторингу забруднення атмосферного повітря з урахуванням сучасних програмно-технічних засобів, є актуальним.

Зв'язок роботи із науковими темами, планами

Вибраний напрямок досліджень співпадає з напрямом досліджень за такими науково-дослідними роботами Вінницького національного технічного університету (ВНТУ), де здобувач є виконавцем: 28-Д-350 «Ідентифікація та оптимізація інформаційних моделей динамічних багатозв'язних просторово-розподілених систем для задач моніторингу, збереження даних та автоматизованого управління» (№ держреєстрації 0113U003135), яка виконувалась на замовлення Міністерства освіти і науки України у 2013-2014 рр. та 28-Д-372 «Інформаційна технологія обробки параметрів просторово-

часових моделей даних динамічних багатозв'язних просторово-розподілених систем» (№ держреєстрації 0115U001122), яка виконувалась на замовлення Міністерства освіти і науки України у 2015-2016 рр.

Крім того, робота відповідає договору про науково-технічне співробітництво між ВНТУ та Вінницькою міськрадою № 28/2 від 01 березня 2010 року, зокрема напрямку робіт № 16 «Оптимізація моделі руху транспорту у місті та системи автоматизованого керування дорожнім рухом з метою зниження заторів та, відповідно, викидів транспорту в атмосферне повітря».

Метою даної роботи є підвищення точності та ефективності оцінювання параметрів викидів речовин за даними оперативного моніторингу шляхом створення інформаційної технології.

Задачами досліджень є такі:

1. Проаналізувати структури моделей опису динаміки викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, які використовуються на даний момент в Україні та за кордоном, та технології їх застосування.

2. Розробити та удосконалити методи оцінювання параметрів стаціонарних джерел викидів за даними оперативного моніторингу забруднюючих речовин у зоні розсіювання.

3. Удосконалити програмно-технічні засоби збирання та оброблення даних оперативного моніторингу, необхідні для моделювання динаміки розсіювання речовин в атмосферному повітрі та для оцінювання параметрів джерел викидів.

4. Розробити інформаційну технологію оцінювання параметрів викидів речовин за даними оперативного моніторингу забруднення атмосферного повітря та провести її випробування на практиці.

Об'єкт дослідження: оцінювання параметрів викидів речовин за даними оперативного моніторингу забруднення атмосферного повітря.

Предметом дослідження є інформаційна технологія, методи, алгоритми та програмно-технічні засоби автоматизації оцінювання параметрів викидів

речовин за даними оперативного моніторингу забруднення атмосферного повітря.

Методи дослідження. У дослідженнях використовувались такі методи: методи математичної фізики та математичного моделювання для моделювання поширення забруднюючих речовин в атмосферному повітрі, методи ГІС-технологій для формалізації просторових даних ГІС; методи теорії реляційних баз даних для формалізації та збереження атрибутивних даних ГІС; методи формалізації структурованих даних за допомогою системи керування базами даних MySQL; методи об'єктно-орієнтованого програмування з використанням мови програмування Java під час програмної реалізації запропонованих теоретичних засад інформаційної технології.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Вперше запропоновано метод оцінювання параметрів понаднормативних викидів стаціонарних джерел за нечіткими експертними оцінками з урахуванням чутливості якості атмосферного повітря у певному місці спостереження від апріорної інформації про координати, метеоумови та проектно-технічні характеристики кожного можливого джерела викидів, формалізованих у нечіткій базі знань, що дозволяє підвищити точність та ефективність такого оцінювання.

2. Удосконалено метод оцінювання просторових та проектно-технічних параметрів стаціонарного джерела викиду за даними оперативного моніторингу зони розсіювання за допомогою БПЛА за рахунок розв'язання зворотної задачі розсіювання на основі моделі Гаусса, що дозволяє підвищити точність оцінювання параметрів цього джерела за мінімальної кількості даних спостережень.

3. Дістав подальший розвиток метод обробки даних моніторингу параметрів пересувних джерел викидів, з урахуванням їх просторово-часової неоднорідності, який відрізняється від існуючих одночасним урахуванням параметрів транспортної мережі, метеопараметрів та забруднення атмосферного повітря, у приведеній з використанням нечіткої бази знань

кількості транспортних засобів на кожній ділянці вулиці, що дозволяє більш точно отримати залежність між параметрами транспортних засобів і станом забруднення атмосферного повітря.

4. Вперше розроблена інформаційна технологія оцінювання параметрів стаціонарних та пересувних джерел викидів речовин за даними оперативного моніторингу забруднення атмосферного повітря, яка відрізняється від існуючих запропонованими методом оцінювання параметрів понаднормативних викидів стаціонарних джерел за нечіткими експертними оцінками, методом оцінювання параметрів стаціонарних джерел викидів на основі моделі Гаусса за даними оперативного моніторингу зони розсіювання з використанням БПЛА та методом обробки даних моніторингу параметрів пересувних джерел викидів з використанням нечіткої бази знань, що дозволяє підвищити точність та ефективність визначення параметрів викидів із різних джерел.

Практичне значення одержаних результатів

Найбільшу практичну цінність мають наступні результати роботи:

1. Запропоновано схему універсальної інформаційно-вимірювальної мобільної системи для оперативного моніторингу даних про стан забруднення атмосферного повітря з використанням мобільних пристроїв, встановлених на транспортні засоби, яку можна швидко адаптувати під задані умови та показники стану довкілля і фактори його забруднення, що дозволяє підвищити точність та достовірність даних спостережень стану атмосферного повітря за заданими показниками та оцінювати параметри пересувних джерел викидів і транспортної інфраструктури на заданих ділянках доріг міста. Запропоновано та продемонстровано яким чином можна оцінювати обсяг викидів транспортних засобів за заданими забруднюючими речовинами пропорційно до їх спеціальним чином приведеної кількості на заданих перегонах вулиць, розташованих між світлофорами.

2. Створено веб-сервіси (<http://source-identification.appspot.com>) для автоматизації процесу оцінювання параметрів джерел понаднормативних викидів на основі нечіткої бази знань з візуалізацією результатів у Google Maps

з використанням запропонованого у роботі методу та інформаційної технології. Створені веб-сервіси вільно доступні в Інтернеті, що дозволяє науковцям, викладачам, фахівцям та студентам використовувати ці засоби для наукових досліджень та у навчальних цілях.

Результати роботи, які мають цінність для екологічного контролю забруднення атмосферного повітря, впроваджені в Державній екологічній інспекції у Вінницькій області, що підтверджується відповідним актом. Результати роботи, які є цінними для екологічного контролю викидів, впроваджені в Департаменті енергетики, транспорту та зв'язку Вінницької міської ради відповідно до однієї із задач Стратегії розвитку м. Вінниці до 2020 р.: «Енергоефективність та захист навколишнього середовища», що підтверджується відповідним актом.

Результати роботи використовуються у навчальному процесі кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки Вінницького національного технічного університету зі спеціальності 122 — «Комп'ютерні науки та інформаційні технології» (спеціалізація «Комп'ютерний еколого-економічний моніторинг») у дисциплінах: «Інформаційні технології моніторингу та аналізу стану складних систем», «Моделювання еколого-економічних систем», «ГІС в задачах комп'ютерного моніторингу», «Технології створення веб-систем», що підтверджується актом впровадження від Вінницького національного технічного університету.

Особистий внесок здобувача

Основні результати дисертаційної роботи отримані автором особисто. У роботах, які були опубліковані у співавторстві, здобувачу належать такі результати: [44, 45, 48] — розроблено метод оцінювання параметрів понаднормативних викидів стаціонарних джерел за нечіткими експертними оцінками; [28, 43, 46, 47] — створено та випробувано веб-сервіси для автоматизованого розрахунку зони розсіювання забруднень в атмосферному повітрі на основі моделі Гаусса та для оцінювання параметрів можливих джерел-забрудників атмосферного повітря; [25, 42] — розроблено метод

обробки даних оперативного моніторингу параметрів пересувних джерел викидів з урахуванням їх просторово-часової неоднорідності та здійснено обробку даних під час його практичних випробувань; [35] — запропоновано загальну схему та методику побудови універсальної інформаційно-вимірювальної системи оперативного екологічного моніторингу з використанням мобільних пристроїв; [14, 24, 49, 50, 121, 122] — запропоновано комплексне використання сучасних інформаційно-вимірювальних систем із мобільними пристроями для оцінювання параметрів моделі забруднення атмосферного повітря автотранспортом та розроблено нечітку базу знань для такого оцінювання; [80] — розроблено метод оцінювання просторових та проектно-технічних параметрів стаціонарних джерел викидів за даними оперативного моніторингу зони розсіювання за допомогою БПЛА та здійснено розв'язання зворотної задачі розсіювання на основі моделі Гаусса.

Апробація результатів дисертації

Результати, отримані у роботі, пройшли апробацію на наступних 10-ти наукових конференціях: XII Міжнародна конференція «Контроль і управління в складних системах» КУСС-2014 (м. Вінниця, 2014 р.), XIV Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» (м. Київ, 2015 р.), V-й Всеукраїнський з'їзд екологів із міжнародною участю (м. Вінниця, 2015 р.), Міжнародна науково-практична Інтернет-конференція «Молодь в технічних науках: дослідження, проблеми, перспективи» (м. Вінниця, 2015 р.), III Міжнародна науково-практична конференція Winter InfoCom Advanced Solutions 2016 (м. Київ, 2016 р.), III Міжнародна конференція «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (м. Вінниця, 2015 р.), Регіональні науково-технічні конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області (м. Вінниця, 2012, 2014, 2015, 2016 рр.).

Публікації

Всього за тематикою дослідження опубліковано 18 наукових праць, в тому числі 5 статей у наукових фахових журналах [14, 35, 42, 45, 46], одна стаття у журналі «Proc. SPIE» (США), який входить до міжнародної наукометричної бази видань Scopus [80], 10 матеріалів доповідей на наукових конференціях [24, 25, 28, 29, 43, 44, 49, 50, 121, 122], свідоцтво про реєстрацію авторських прав на комп'ютерну програму [47] та патент України на корисну модель [48].

Структура та обсяг роботи

Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел (123 найменування) та двох додатків. Основний зміст викладено на 97 сторінках друкованого тексту, містить 37 рисунків, 14 таблиць. Загальний обсяг дисертації — 123 сторінки.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ТА МЕТОДІВ І МОДЕЛЕЙ, ПОКЛАДЕНИХ В ЇХ ОСНОВУ

1.1 Проблематика забруднення атмосферного повітря та огляд параметрів викидів забруднюючих речовин

Забруднення атмосферного повітря є актуальною проблемою сьогодення. Причому причиною цього є антропогенні джерела викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Їх традиційно ділять на два типи: стаціонарні джерела викидів (СДВ) та пересувні джерела.

Проблема викидів від пересувних джерел забруднення (в першу чергу від автомобільного транспорту) надзвичайно відчутна в містах з високою щільністю населення та високим рівнем розвитку. Забруднюючі речовини (ЗР), що містяться у вихлопних газах (табл. 1.1), за певних метеорологічних умов утворюють смог та значно впливають на здоров'я населення, викликаючи гострі та хронічні захворювання верхніх дихальних шляхів та ін.

Таблиця 1.1

Склад вихлопних газів двигунів внутрішнього згорання [37]

	Бензинові двигуни	Дизельні двигуни
Азот N ₂ , %	74—77	76—78
Кисень O ₂ , %	0,3—8,0	2,0—18,0
Вода H ₂ O (пара), %	3,0—5,5	0,5—4,0
Вуглекислий газ CO ₂ , %	0,0—16,0	1,0—10,0
Монооксид вуглецю CO, %	0,1—5,0	0,01—0,5
Оксиди азоту NO _x , %	0,0—0,8	0,0002—0,5
Вуглеводні C _n H _m , %	0,2—3,0	0,09—0,5
Альдегіди, %	0,0—0,2	0,001—0,009
Сажа, г/м ³	0,0—0,04	0,01—1,10
Бензопірен-3,4, г/м ³	10—20×10 ⁻⁶	10×10 ⁻⁶

Для здійснення моніторингу за викидами від автомобільного транспорту необхідно мати технологічно розвинену комп'ютеризовану «он-лайн» систему оцінювання параметрів потоку транспортних засобів (рис. 1.1):

- типи транспортних засобів (типи двигунів та їх характеристики, габаритні розміри автомобілів);
- концентрацію забруднюючих речовин у повітрі над автомобільною дорогою;
- швидкість руху транспортного потоку.



Рисунок 1.1 — Основні параметри пересувних джерел викидів

При цьому слід постійно розвивати методи та засоби для водночас більш точного та більш ефективного моніторингу викидів автомобільного транспорту.

Стационарне джерело викиду — це підприємство, цех, фабрика або інший нерухомий об'єкт, що зберігає свої просторові координати протягом певного часу і здійснює викиди забруднюючих речовин у атмосферне повітря. В результаті цього утворюється велике різноманіття забруднюючих речовин (зокрема: CO_x , SO_x , NO_x , O_3 , Pb, пил, зола, сажа), які потрапляють та поширюються у нижніх та верхніх шарах атмосфери. Окрім природніх факторів, які впливають на розсіювання викидів від СДВ (погодні умови — температура, вологість, кількість сонячної радіації, хмарність та ін.) можна виділити такі параметри стаціонарних джерел викидів:

- географічне розміщення джерела викиду;
- проектно-технічні параметри — висота (h) та діаметр (d) труби, температура (T) і швидкість газів (V_s), що виходять із гирла труби, концентрація забруднюючих речовин у місці викиду (C), обсяг викиду ЗР (Q) (рис. 1.2).

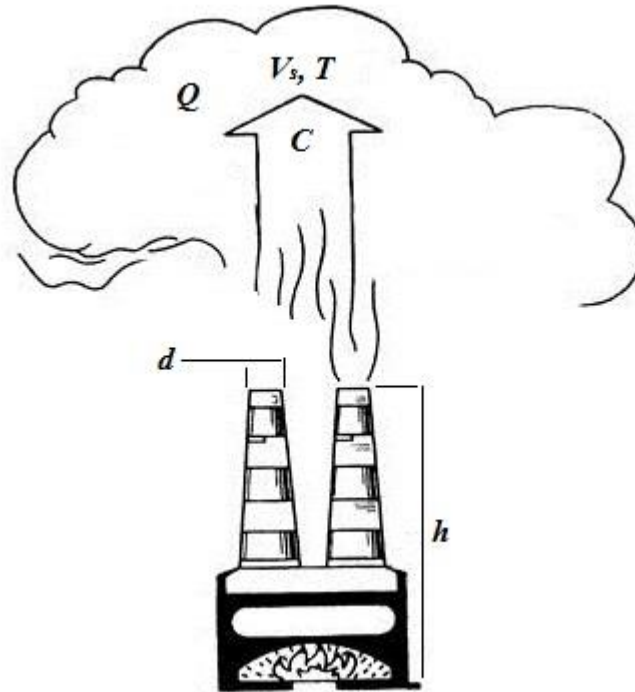


Рисунок 1.2 — Основні параметри стаціонарних джерел викидів

Всі ці параметри є важливими для проведення якісного та точного моделювання забруднення атмосфери від стаціонарних джерел викидів.

Норми викидів забруднюючих речовин та їх сумішей в атмосферне повітря від стаціонарного джерела викиду регулюються Законами України «Про охорону атмосферного повітря», «Про охорону навколишнього природного середовища» та іншими нормативно-правовими актами. Видачу дозволів на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря здійснює Державна екологічна Інспекція України.

Розглянемо ситуацію, коли система державного моніторингу фіксує на посту спостереження перевищення гранично допустимих концентрацій

забруднюючих речовин у повітрі. Держекоінспекція повинна виявити причини цього зафіксованого перевищення ГДК. При цьому екоінспектори можуть використовувати такі технології оцінювання параметрів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря: технологію експертної оцінки (з урахуванням досвіду екоінспектора), прилади дистанційного оцінювання геометричних розмірів об'єктів (безконтактні оптичні та лазерні прилади контролю) та ін. При цьому, необхідно перевірити джерела викидів, як правило на досить великій території навколо поста спостережень, а це означає перевірити до 50 потенційних підприємств та приватних домоволодінь.

Крім того, система державного моніторингу володіє відносно невеликою кількістю стаціонарних постів спостереження, нерідко застарілим обладнанням, що знижує ефективність проведення досліджень. Методики та періодичність виконання досліджень часто не відповідають стану розвитку сучасної інфраструктури та завантаженості міст.

За цих умов актуальним є створення технології, що дозволить більш точно, швидко та ефективно оцінити параметри джерел викидів та здійснити ранжування ДВ за впливом на даний пост вимірювання. При цьому важливо оцінити вплив пересувних джерел викидів, оскільки державна система моніторингу фіксує вплив пересувних і стаціонарних ДВ разом.

Саме тому підвищення точності та ефективності оцінювання параметрів викидів речовин за даними оперативного моніторингу шляхом створення інформаційної технології є актуальним.

1.2 Аналіз існуючих моделей розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі

Визначення видів репрезентативних параметрів джерел викидів, в першу чергу, залежить від моделей розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі, для яких слід знати ці параметри. Проведемо аналіз таких моделей.

Для моделювання розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі враховують параметри джерел забруднення та характеристики процесу переносу хімічних речовин в атмосфері, динаміку хімічних реакцій різних хімічних сполук між собою, характер підстилаючої поверхні та метеорологічні умови тощо. Чим точнішими є усі ці дані, тим точнішими будуть результати моделювання. Однак, як було зазначено у підрозд. 1.1, не усі ці дані можуть бути зібрані або бути достовірними.

Отже, вибір моделей для опису розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі повинен враховувати як умови задачі, так і обсяг наявних достовірних вхідних даних для її розв'язання.

Моделі розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі розділяють на такі [1-6, 12, 15, 17-19, 22, 23, 37, 39-41, 100, 105-110, 115, 116, 119]:

1. Емпірично-статистичні (модель Гаусса та ін.).
2. Статистичні (регресійні та ін.).
3. Моделі турбулентної дифузії (моделі математичної фізики).

Охарактеризуємо їх детальніше.

Найбільш поширеними на практиці класами моделей розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі є клас емпірично-статистичних та клас статистичних моделей, для використання яких необхідні метеорологічні параметри та характеристики рельєфу місцевості. Статистичні моделі розподіляються на регресійні та авторегресійні і, зазвичай, використовуються для розрахунків середнього ступеня забруднення атмосфери.

1.2.1 Емпірично-статистичні моделі поширення забруднюючих речовин в атмосферному повітрі

Емпірично-статистичні моделі є максимально спрощеними і не можуть забезпечити необхідну точність оцінювання якості атмосферного повітря. Проте, вони можуть бути використані для аналізу середньорічного забруднення повітряного середовища міста і можуть вказати на необхідність або доцільність

більш точного подальшого оцінювання екологічного ризику забруднення атмосфери даної території.

Однією із найбільш поширених у світі серед цих моделей є модель розсіювання забруднюючих речовин Гаусса [1, 3, 4, 6].

Відповідно до неї приземна концентрація на осі факела визначається за формулою [4]:

$$C(x, y, z) = \frac{QKV}{2\pi \cdot u_s \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp\left(-0.5 \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right), \quad (1.1)$$

де $C(x, y, z)$ — концентрація забруднюючої речовини, що викидається, в точці з координатами x, y, z , мкг/м³;

Q — обсяг викиду речовини, г/с;

K — коефіцієнт перерахунку — $1 \cdot 10^6$;

V — вертикальні умови розсіювання;

u_s — швидкість вітру на ефективній висоті джерела викидів, м/с;

σ_y — стандартне відхилення розсіювання по горизонталі, м;

σ_z — стандартне відхилення розсіювання по вертикалі, м;

y — бокове відхилення від осі факелу, м.

Розміри зони токсичної небезпеки при викидах шкідливих речовин залежать як від потужності викиду, так і від характеристик атмосферного перенесення, перш за все, від швидкості вітру і від категорії (класу) стійкості (стабільності) атмосфери [7].

Швидкість вітру на ефективній висоті джерела викидів розраховується за наступною формулою [4]:

$$u_s = u_{ref} \left(\frac{h_s}{z_{ref}} \right)^p, \quad (1.2)$$

де h_s — висота джерела викидів, м;

u_{ref} — приземна швидкість вітру, м/с;

z_{ref} — висота заміру приземної швидкості вітру (зазвичай 10 м), м;

p — поправочний коефіцієнт (вибирається з таблиці).

В таблиці 1.2 приведені коефіцієнт p для різних місцевостей.

Таблиця 1.2

Коефіцієнти p для сільської і міської місцевості [7]

Класи стабільності атмосфери	p для сільської місцевості	p для міської місцевості
A	0,07	0,15
B	0,07	0,15
C	0,10	0,20
D	0,15	0,25
E	0,35	0,30
F	0,35	0,30

Класи стабільності атмосфери розрізняються, в основному, інтенсивністю вертикального перемішування повітря. Найбільш нестійкий клас «А» спостерігається при слабкому вітрі і сильній сонячній радіації, коли повітря, нагріте теплом від земної поверхні, підіймається догори. Зазвичай, цей стан виникає пополудні або дещо раніше [7].

Клас «С» спостерігається при посиленні вітру від помірного до сильного і частіше всього увечері при ясному небі або вдень при низьких купчастих хмарах, а також літніми ясними днями. Нейтральний клас «D» відповідає умовам суцільної хмарності як вдень, так і вночі, коли вплив прямого сонячного випромінювання є незначним. Стійкі класи «E» і «F» фіксують звичайно вночі при чистому небі або слабкій хмарності [7].

Стабільність атмосфери підвищується зі зростанням швидкості вітру і зниженням інтенсивності сонячного випромінювання. Хмарність впливає по-

різному. Вночі її зниження посилює охолодження Землі, а вдень — навпаки. В таблиці 1.3 приведені класи стабільності атмосфери по Песквіллу.

Таблиця 1.3

Класи стабільності атмосфери по Песквіллу [7]

Швидкість вітру, м/с	Денний час. Рівень сонячного опромінення			Нічний час. Хмарність	
	Сильний	Середній	Слабкий	>50%	<50%
<2	A	A-B	B	E	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Розрахунок σ_y проводиться за формулою [4]:

$$\sigma_y = 456,11628 \cdot x \cdot \operatorname{tg}\left\{0,017453293\left[c - d \cdot \ln(x)\right]\right\}, \quad (1.3)$$

де c, d — числові коефіцієнти із табл. 1.4.

Таблиця 1.4

Значення коефіцієнтів c і d [7]

Класи стабільності атмосфери	Коефіцієнт c	Коефіцієнт d
A	24,1670	2,5334
B	18,3330	1,8096
C	12,5000	1,0857
D	8,3330	0,72383
E	6,2500	0,54287
F	4,1667	0,36191

Розрахунок σ_z проводиться за формулою [4]:

$$\sigma_z = ax^b, \quad (1.4)$$

де a, b — числові коефіцієнти із табл. 1.5.

Таблиця 1.5

Значення коефіцієнтів a і b [7]

Класи стабільності атмосфери	x (км)	Коефіцієнт a	Коефіцієнт b
А	<0,1	122,8	0,9447
	0,1-0,15	158,08	1,0542
	0,16-0,2	170,22	1,0932
	0,2-0,25	179,52	1,1262
	0,26-0,3	217,41	1,2644
	0,31-0,4	258,89	1,4094
	0,41-0,5	346,75	1,7283
В	3,01-10	33,504	0,60486
	10,01-30	36,650	0,56589
	>32	44,053	0,51179
С	<0,1	22,26	0,8366
	0,1-0,3	23,331	0,81956
	0,31-1	21,628	0,7566
	1,01-2	21,628	0,63077
	2,1-4	22,534	0,57154
	4,01-10	24,703	0,0527
	10,01-20	26,97	0,46713
D	<0,2	15,209	0,81558
	0,21-0,7	14,457	0,78407
	0,71-1	13,953	0,68465
	1,01-2	13,953	0,63227
	2,01-3	14,823	0,54503

Класи стабільності атмосфери	x (км)	Коефіцієнт a	Коефіцієнт b
D	3,01-7	16,187	0,4649
	7,01-15	17,836	0,41507
	15,01-30	22,651	0,32681
	30,01-60	27,074	0,27436
	>60	34,219	0,21716

Розрахунок вертикальних умов розсіювання V здійснюється за наступною формулою [4]:

$$\begin{aligned}
 V = & \exp\left(-0.5 \frac{(z - h_e)^2}{\partial_z^2}\right) + \exp\left(-0.5 \frac{(z + h_e)^2}{\partial_z^2}\right) + \\
 & + \sum_{m=1}^{\infty} \left[\exp\left(-0.5 \frac{H_1^2}{\partial_z^2}\right) + \exp\left(-0.5 \frac{H_2^2}{\partial_z^2}\right) + \exp\left(-0.5 \frac{H_3^2}{\partial_z^2}\right) + \exp\left(-0.5 \frac{H_4^2}{\partial_z^2}\right) \right], \quad (1.5)
 \end{aligned}$$

а за умови, що характер підстилаючої поверхні представляє собою рівнинну місцевість міського або сільського типу, тоді (1.5) буде мати вигляд [80]:

$$V = \exp\left(-0.5 \frac{(z - h_e)^2}{\partial_z^2}\right) + \exp\left(-0.5 \frac{(z + h_e)^2}{\partial_z^2}\right), \quad (1.6)$$

де h_e — ефективна висота джерела викидів (висота середньої лінії факела над рівнем землі), м,

$H_1 = z - (2mL - h_e)$; $H_2 = z + (2mL - h_e)$; $H_3 = z - (2mL + h_e)$; $H_4 = z + (2mL + h_e)$;

m — лічильник інтерполяції (для розрахунків достатньо 3-х інтерполяцій);

L — висота змішування, м.

Висоту змішування L можна визначити за формулою [4]:

$$L = 320 \cdot u_{10}, \quad (1.7)$$

де u_{10} — приземна швидкість вітру (зазвичай, на висоті 10 м).

Розрахунок ефективної висоти джерела викиду для класів стабільності атмосфери А, В, С, D при $x < x_f$ розраховується за формулою [4]:

$$h_e = h_s + 1,6 \frac{\sqrt[3]{F_b}}{u_s}. \quad (1.8)$$

Для класів стабільності атмосфери Е, F коефіцієнт стабільності розраховується за наступною формулою [4]:

$$s = g \frac{\partial \theta / \partial z}{T_a}, \quad (1.9)$$

де $\partial \theta / \partial z$ для класу стабільності Е дорівнює 0,02 К/м, для F — 0,035 К/м, якщо $1,84 u_s s^{-1/2} > x_f$, розрахунок ефективної висоти ведеться, як описано вище для класів А–D, в іншому випадку, якщо $1,84 u_s s^{-1/2} > x$, ефективна висота джерела викиду складе [4]:

$$h_e = h'_s + 2,4 \cdot \frac{\sqrt[3]{F_b}}{u_s s}, \quad (1.10)$$

інакше

$$h_e = h'_s + 1,6 \frac{\sqrt[3]{F_b}}{u_s}. \quad (1.11)$$

Розрахунок відстані досягнення максимальної концентрації, якщо $F_b < 55$ [4]:

$$x_f = 49 \cdot F_b^{5/8}, \quad (1.12)$$

інакше

$$x_f = 119 \cdot F_b^{2/5}. \quad (1.13)$$

Розрахунок модифікованої висоти джерела викидів проводиться за формулою [4]:

$$h'_s = h_s + 2d_s \left(\frac{v_s}{u_s} - 1.5 \right), \quad (1.14)$$

де $v_s < 1,5u_s$, інакше $h'_s = h_s$.

Розрахунок ефективної висоти джерела викидів проводиться за наступною формулою [4]:

$$F_b = gv_s d_s^2 \left(\frac{T_s - T_a}{4T_s} \right), \quad (1.15)$$

де g — швидкість вільного падіння — $9,8 \text{ м/с}^2$;

v_s — швидкість виходу газів з джерела викидів, м/с ;

d_s — діаметр гирла джерела викидів, м ;

T_s — температура газів, що викидаються в атмосферу, °C;

T_a — температура навколишнього середовища, °C.

Під час досліджень мезомасштабного розсіювання та стійкій атмосферній стратифікації модель Гаусса дозволяє достатньо точно описати процес розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі. При цьому невелика кількість вхідних параметрів спрощує розрахунок, підвищує швидкість обчислення та потребує невисоку обчислювальну потужність у випадку комп'ютерного моделювання.

1.2.2 Авторегресійні моделі поширення забруднюючих речовин в атмосферному повітрі

Авторегресійні моделі бувають нелінійним та лінійними [120]. Такі моделі використовуються для аналізу зміни у часі метеорологічних параметрів або показників забруднення атмосфери, значення яких в даний момент часу C_t залежить від значень цього параметру в попередні моменти часу.

Серед переваг статистичних методів можна назвати відносно простий математичний апарат моделей та низькі потреби в обчислювальних ресурсах. Для уточнення вихідних даних і підвищення репрезентативності результатів статистичних моделей вводять граничні умови, які є специфічними для кожної конкретної задачі прогнозування розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі.

Недоліком цих методів є великі значення похибок при довгострокових прогнозах унаслідок значних відхилень усередині вибірки даних та нестационарності процесу.

1.2.3 Турбулентно-дифузійні моделі поширення забруднення в атмосферному повітрі

Моделі турбулентно-дифузійного переносу застосовуються для прогнозування розповсюдження забруднюючих речовин у мезомасштабному прибережному шарі. Такі моделі базуються з одного боку на апріорній

інформації у вигляді рівнянь турбулентного переносу забруднюючих речовин і припущеннях про постійність швидкості вітру та поля коефіцієнта турбулентної дифузії у межах локального регіону, для якого здійснюється прогноз. Однак, з іншого боку, ці моделі базуються на супутньому прогнозуванні оперативних даних поля концентрації забруднюючих речовин у деяких опорних точках (постах екологічного контролю). У загальному вигляді задача прогнозування забруднення повітря математично може бути визначена як задача розв'язання за певних початкових і граничних умов диференціального рівняння [17]:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \sum_{i=1}^3 u_i \frac{\partial q}{\partial x_i} = \sum_{i=1}^3 u_i \frac{\partial}{\partial x_i} K_i \frac{\partial q}{\partial x_i} - \alpha q, \quad (1.16)$$

де q — концентрація забруднюючої речовини;

t — час;

x_i — координати ($i = \overline{1,3}$) уздовж однієї із трьох осей;

u_i, K_i — складові середньої швидкості переміщення забруднюючих речовин і коефіцієнта обміну, що відносяться до напрямку осі x_i ($i = \overline{1,3}$);

α — коефіцієнт, що визначає зміну концентрації за рахунок перетворення домішок під дією різних процесів.

Рівняння (1.16) описує просторовий розподіл середніх концентрацій, а також їхні зміни у часі.

Для доповнення отриманих рівнянь використовуються такі моделі турбулентності: модель Бусінеска, k - ε модель, k - ω модель, модель напруги Рейнольдса, метод великих вихорів, пряме чисельне моделювання [17].

Перевагами турбулентно-дифузійних моделей є те, що вони дозволяють врахувати хімічні реакції у атмосфері та процеси випадання забруднюючих речовин.

До недоліків варто віднести те, що у цих моделях має місце дещо спрощення турбулентних рухів повітря в атмосфері, не враховується

вертикальна конвекція повітря, а головне — на практиці складно ідентифікувати усі параметри рівняння (1.16).

1.3 Огляд існуючих інформаційних систем і технологій для розрахунку поширення забруднюючих речовин в атмосферному повітрі

На практиці для розрахунку поширення забруднюючих речовин в атмосферному повітрі використовуються різні інформаційні системи і технології. Охарактеризуємо основні з них.

1.3.1 Методика ОНД-86 для розрахунку концентрацій шкідливих речовин в атмосферному повітрі

Найбільш поширеною на практиці в Україні є так звана методика розрахунку «ОНД-86», яка встановлює вимоги в розрахунках концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі під час проектування підприємств, нормуванні викидів в атмосферу реконструйованих і діючих підприємств, а також при проектуванні повітрозабірних та очисних споруд.

Інтерфейс та приклад роботи комп'ютерної програми розрахунку приземних концентрацій за методикою «ОНД-86» представлений на рис. 1.3 (програма теж називається «ОНД-86»).

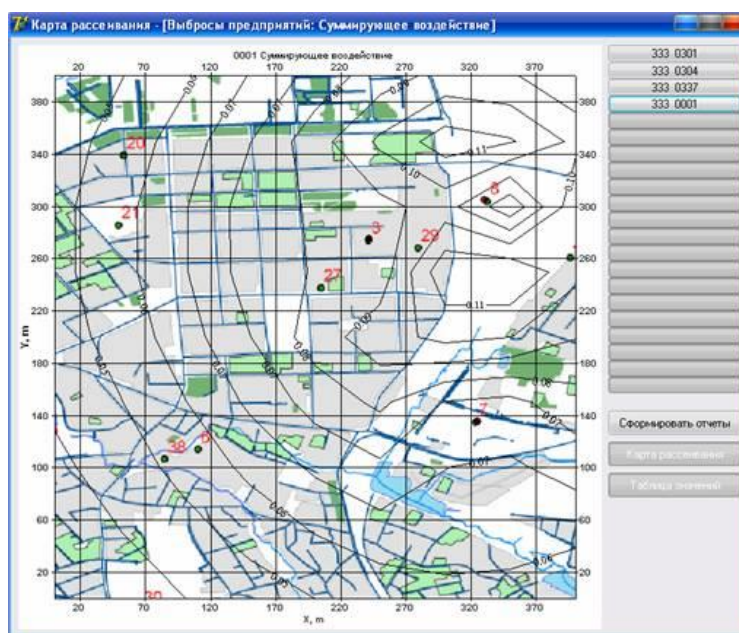


Рисунок 1.3 — Интерфейс та приклад роботи програми розрахунку приземних концентрацій «ОНД-86»

Програма «ОНД-86» призначена для відомств та організацій, що здійснюють підготовлення обґрунтовальної документації для отримання дозволу на викиди під час проектування та будівництва промислових підприємств, під час нормування шкідливих викидів в атмосферу.

Методика «ОНД-86» призначена для визначення приземних концентрацій в двометровому шарі над поверхнею землі, а також вертикального розподілу концентрацій для стаціонарних джерел викидів. Методика не поширюється на розрахунок концентрацій на далеких відстанях (більше 100 км від джерела викиду) [16].

Також методика дозволяє визначити лише максимальний рівень концентрації за найбільш несприятливих метеорологічних умов, якими є поєднання нестійкого стану атмосфери та небезпечної швидкості вітру. Даний напрямок моделювання розповсюдження забруднення є досить обмеженим, тому що дозволяє визначити рівень концентрації лише за одного фіксованого напрямку та фіксованої швидкості вітру. Тобто «ОНД-86» використовує детерміновану модель, яка не враховує імовірнісний характер метеорологічних

умов, таких як стан атмосфери, напрям та швидкість вітру, що дуже суттєво при визначенні середнього рівня забруднення за певний період часу.

Крім того, істотними недоліками методики «ОНД-86» є неврахування швидкості витікання газу й атмосферної дифузії при нестационарних режимах, що призводять до того, що за результатами розрахунків газова хмара має концентрацію газу, суттєво вище гранично-допустимої.

1.3.2 Модель поширення забруднюючих речовин в атмосферному повітрі «ТАРМ»

Модель «ТАРМ» (далі — ТАРМ; з англ.: «The Air Pollution Model» — «Модель забруднення атмосферного повітря») є прогностичною метеорологічною моделлю забруднення повітря, яка може бути застосована в будь-якому місці у світі, тому що вона передбачає використання глобальних даних про місцевість і землекористування, а також глобальний синоптичний аналіз (рис 1.4).

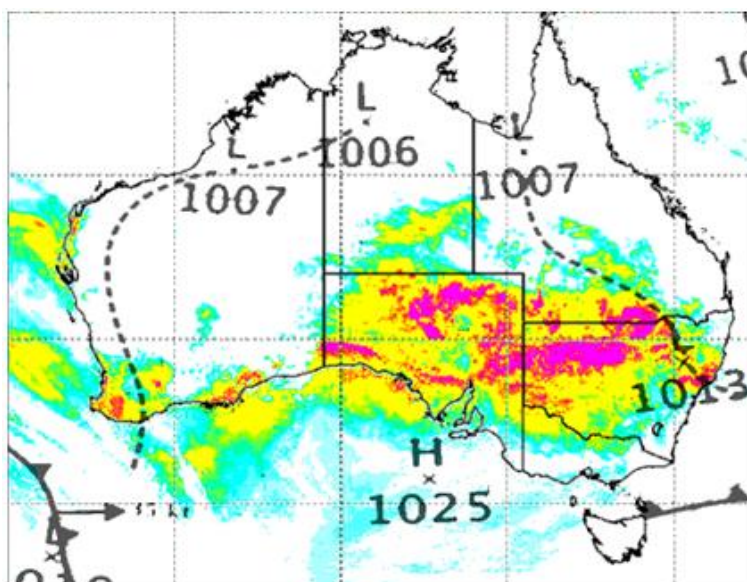


Рисунок 1.4 — Моделювання забруднення атмосфери за ТАРМ

Модель поширення забруднення ТАРМ базується на сітковій Ейлеровій моделі («EGM») [119], що складається з рівнянь дисперсії, які враховують

процеси дифузії, хімічних трансформацій, а також процеси сухого і мокрого осадження.

ТАРМ дозволяє організаціям з охорони навколишнього природного середовища прогнозувати стан атмосферного повітря у міських та сільських регіонах. Програма використовується більш, ніж 240 користувачами у 28 країнах.

Однак, варто відмітити важливий недолік даної моделі — прогнозування поширення забруднюючих речовин у дуже великих масштабах (на рівні цілої Європи чи Австралії).

1.3.3 Система моделювання розсіювання речовин в атмосферному повітрі «SILAM»

Для вирішення прямої та зворотної задачі моделювання поширення речовин (пилу, хімічних речовин, радіоактивних часток, пилку тощо) у Фінському метеорологічному інституті розроблено систему SILAM (англ. System for Integrated modeLling of Atmospheric coMposition).

Основа система на Лагранжевій моделі дисперсії речовин [123]:

$$L\varphi = E, \quad L = \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(u_i) - \frac{\partial}{\partial x_i}(\mu_{ii})\frac{\partial}{\partial x_i} + \xi, \quad i = \overline{1,3}, \quad (1.17)$$

де φ — концентрація забруднюючої речовини; E — параметри джерела викиду; $x_i, i = \overline{1,3}$ — три координатні осі поширення речовин; u_i — швидкість вітру уздовж i -ої осі; μ_{ii} — показник турбулентної дифузії (i — номер координатної осі); ξ — показник, що характеризує процес вертикального осідання речовин у повітрі.

Для своєї роботи SILAM потребує велику кількість вхідних даних. Окрім точних параметрів джерела викиду, необхідно використовувати великий масив метеорологічних даних, отримати які не завжди є можливим.

Так само, як і модель TAMP, SILAM розроблена для прогнозування розповсюдження речовин в атмосфері в масштабах країни та/або континенту. Для візуалізації отриманих результатів використовується інструмент OpenGrADS (рис. 1.5, 1.6).



Рисунок 1.5 — Результат моделювання у SILAM над Європою

Рисунок 1.6 — Результат моделювання у SILAM над північною півкулею

1.4 Висновки до розділу 1

1. Дослідження поширення речовин у приземному шарі атмосфери є актуальною проблемою сьогодення. Основною причиною цього є антропогенні

Таблиця 2.2

Експертні оцінки для побудови нечіткої бази знань підсистеми G

№	R	α	g
1	Середній	Високий	Високий
2	Середній	Середній	Середній
3	Середній	Низький	Низький
4	Високий	Високий	Середній
5	Високий	Середній	Низький
6	Низький	Високий	Високий
7	Низький	Середній	Середній
8	Максимальний	Максимальний	Середній
9	Мінімальний	Максимальний	Низький

Таблиця 2.3

Експертні оцінки для побудови нечіткої бази знань підсистеми P

№	d	u	s	h	p
1	Високий	Високий	Високий	Високий	Низький
2	Середній	Середній	Середній	Середній	Середній
3	Низький	Низький	Низький	Низький	Високий
4	Високий	Високий	Низький	Низький	Середній
5	Низький	Високий	Високий	Низький	Середній
6	Низький	Низький	Високий	Високий	Середній
7	Високий	Низький	Низький	Високий	Середній
8	Максимальний	Високий	Середній	Високий	Високий
9	Мінімальний	Середній	Низький	Низький	Високий

Проміжні фактори впливу (g , p) та результуючий показник (m) оцінювалися терм-множиною: «Низький», «Середній», «Високий» (табл. 2.4) [45].

Експертні оцінки для побудови нечіткої бази знань підсистеми *C*

№	<i>g</i>	<i>p</i>	<i>m</i>
1	Середній	Високий	Високий
2	Середній	Середній	Середній
3	Середній	Низький	Низький
4	Високий	Високий	Середній
5	Високий	Середній	Низький
6	Низький	Високий	Високий
7	Низький	Середній	Середній

Функції належності терм-множини описувалися дзвіноподібною функцією належності.

Побудова нечіткої бази знань відбувалась у середовищі Matlab із використанням інструменту Fuzzy Logic Toolbox (рис. 2.3).

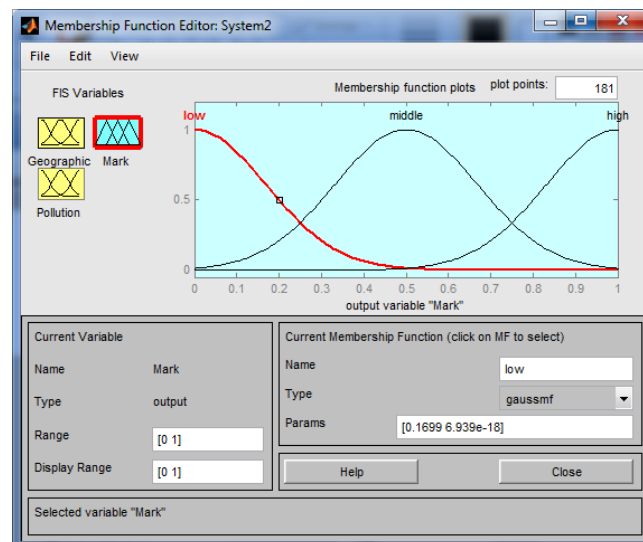


Рисунок 2.3 — Функція належності, побудована в інструменті Fuzzy Logic Toolbox (*g* — *Geographic*, *p* — *Pollution*, *m* — *Mark*)

Залежність між відстанню R , кутом α та можливістю впливу джерела викиду на результат дослідження зображена на рис. 2.4.

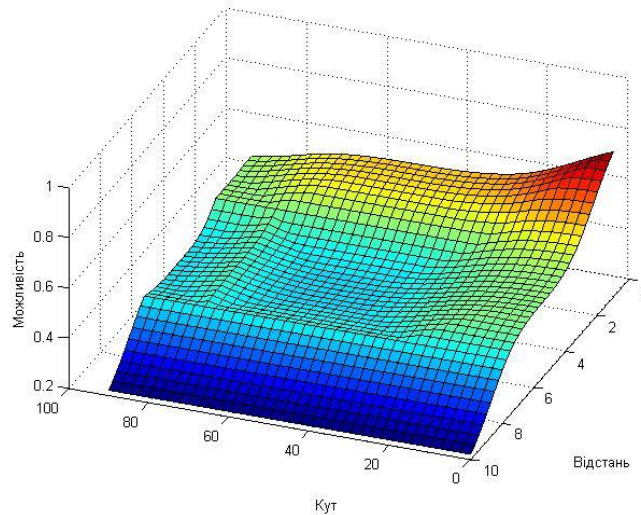


Рисунок 2.4 — Можливість впливу ДВ на точку вимірювання у залежності від відстані та кута до неї

Визначення параметрів стаціонарних джерел викидів пропонується проводити за таким алгоритмом (рис. 2.5):

1. Зафіксувати значення географічних параметрів (α , R), метеоумов та технічних параметрів джерела викиду (h , d , u , s).
2. Оцінити можливість впливу джерела викиду за географічною складовою, використовуючи нечітку базу знань, що наведена у табл. 2.2.
3. Оцінити можливість впливу джерела викиду за технічною складовою, використовуючи нечітку базу знань, що наведена у табл. 2.3.
4. Оцінити результуючу можливість впливу джерела викиду, використовуючи нечітку базу знань, що наведена у табл. 2.4.
5. Повторити кроки 1-4 для інших джерел викидів та для кожного із них зафіксувати результуючу можливість впливу.
6. Визначити джерело викиду, для якого отримано максимальну можливість впливу.

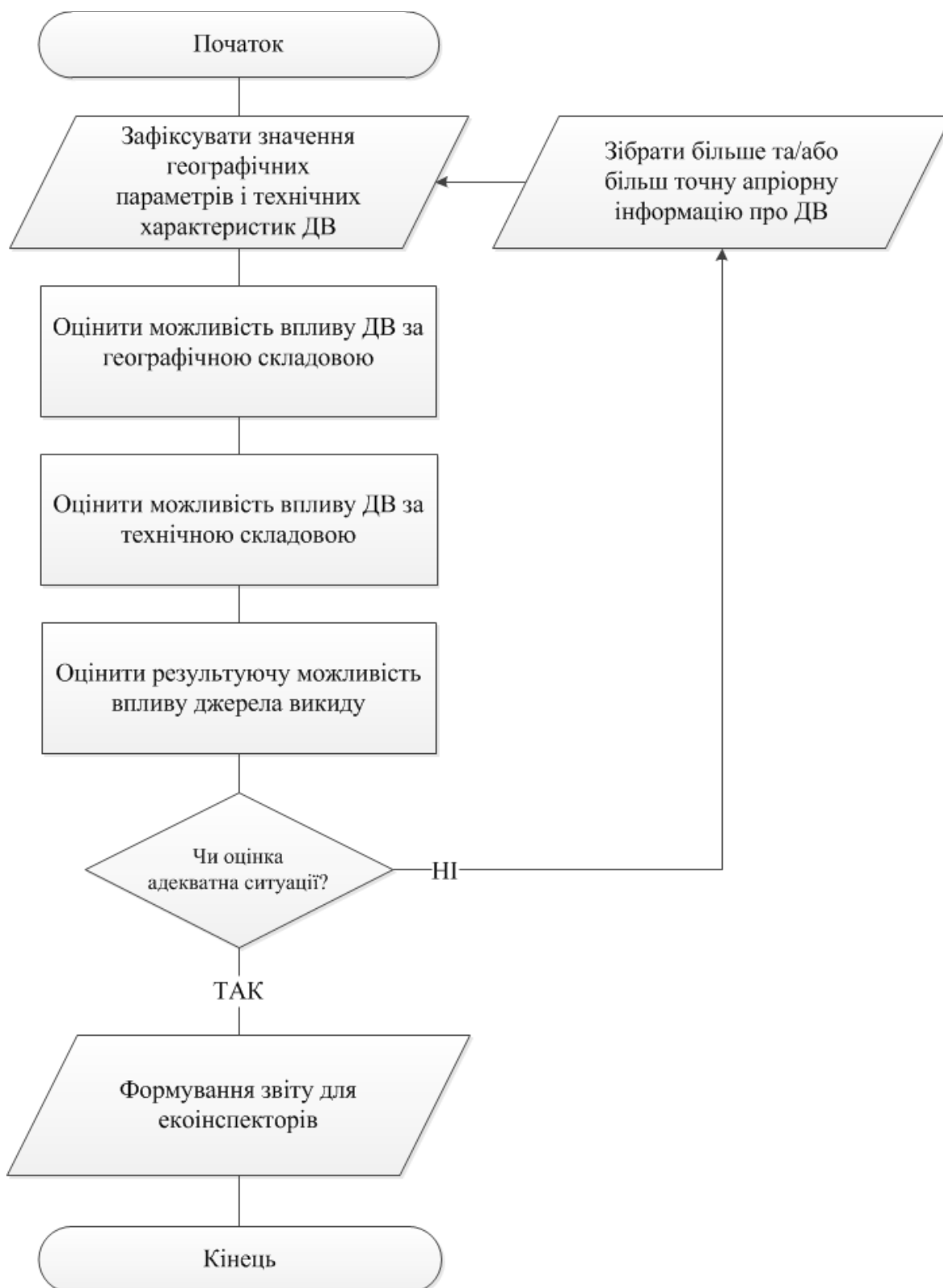


Рисунок 2.5 — Блок-схема алгоритму визначення стаціонарних джерел понаднормативних викидів

Продемонструємо працездатність запропонованого методу.

Розглянемо три джерела викидів, які знаходяться на незначній відстані один від іншого. Припустимо, що відбувся понаднормативний викид в атмосферу з одного із цих джерел забруднення і необхідно визначити порушника. Для фіксованих технічних, метеорологічних та географічних показників кожного із джерел викидів, за допомогою нечітких баз знань підсистем G , P та C оцінюємо показник можливості забруднення від кожного джерела. За даними таблиці 2.5 для першого джерела викиду показник забруднення має найбільше значення і тому для цього джерела, на практиці, перш за все, варто проводити інструментальні вимірювання для остаточного підтвердження факту перевищення нормативів викидів [45].

Таблиця 2.5

Результати комп'ютерного експерименту

Джерела викидів	ДВ ₁	ДВ ₂	ДВ ₃
h , висота джерела викиду (м)	30	70	200
d , діаметр гирла джерела викиду (м)	0,5	3	8
u , швидкість вітру (м/с)	1	5	10
s , хмарність (0-10 балів)	0	5	10
R , відстань до джерела викиду (км)	1	3	10
α , кут до джерела викиду (°)	80	45	30
M , показник забруднення від джерела викиду	0,6942	0,4983	0,3810

2.2 Розроблення методу оцінювання параметрів стаціонарного джерела викиду на основі математичної моделі Гаусса

Класична задача забруднення атмосферного повітря стаціонарно розташованими джерелами викиду, в загальному випадку, є нестаціонарною. Але, у першому наближенні, можна вважати, що параметри (напрямок і сила вітру, параметри викиду тощо), що впливають на зону розсіювання

забруднення, за час, необхідний для безпілотних літальних апаратів (БПЛА), щоб облетіти усі точки вимірювань, не зазнають істотних змін і тому процес, за цих умов, можна вважати стаціонарним. У той же час, для виконання такої умови кількість точок вимірювань повинна бути достатньо малою. А отже, необхідна методика їх вибору таким чином, щоб забезпечити максимум корисної інформації з мінімальної кількості точок, тобто щоб отримати достатньо точну оцінку вмісту заданої забруднюючої речовини Q у гирлі заданого стаціонарного джерела викидів.

Ідея методу, який пропонується, полягає у тому, що за допомогою БПЛА спочатку проводиться аналіз метеоумов та інших параметрів. Умови задачі уточнюються і, з ними, уточнюється аналітичний вираз рівняння моделі та розрахункових співвідношень для усіх його параметрів, які розраховуються за різними методиками. Для цього виразу моделі за методом найменших квадратів здійснюється апроксимація моделі Гаусса — будується система двох рівнянь з двома невідомими Q та F_b . Далі БПЛА здійснює вимірювання значень $C(x, y, z)$ і підстановка цих значень в систему рівнянь та її розв'язання дає значення Q . Усі ці розрахунки можна проводити оперативно. Для прискорення розрахунків варто наперед побудувати усі можливі варіанти систем рівнянь (для різних метеоумов та ін.) та запрограмувати алгоритми їх розв'язання.

Розробимо математичний апарат методу для одного з найбільш складних і, у той же час, найбільш поширених, варіантів аналітичних виразів моделі Гаусса для площинної задачі (за незмінної висоти z).

Розглянемо випадок, коли вимірювання проводяться на відстані від 500 до 3110 метрів від стаціонарного джерела викиду, висота z моделювання розсіювання незмінна, а атмосфера за критерієм Песквілла відповідає класу «А» [7]. Тоді рівняння (1.1)-(1.15) матимуть вигляд [80]:

$$C(x, y) = \frac{a}{\sigma_y(x_i) \cdot \sigma_z(x_i)} \cdot e^{\left(-0.5 \frac{y_j^2}{(\sigma_y(x_i))^2} \right)} \cdot V(x_i, F_b), \quad (2.1)$$

де:

$$a = \frac{Q \cdot K}{2\pi \cdot u_s}. \quad (2.2)$$

Для того, щоб знайти невідомі значення Q та F_b за методом найменших квадратів запишемо класичний критерій за цим методом, та знайдемо від нього відповідні частинні похідні (використаємо для цього модуль символічної математики пакету програм Mathcad) та прирівняємо до нуля, що дасть таку систему із двох рівнянь з двома невідомими [80]:

$$\sum_i \sum_j \left[C_{i,j} - \frac{a}{\sigma_y(x_i) \cdot \sigma_z(x_i)} \cdot e^{\left(-0.5 \frac{y_j^2}{(\sigma_y(x_i))^2} \right)} \cdot V(x_i, F_b) \right] \cdot \frac{-0.5 \frac{y_j^2}{(\sigma_y(x_i))^2} \cdot V(x_i, F_b)}{\sigma_y(x_i) \cdot \sigma_z(x_i)} = 0, \quad (2.3)$$

$$\sum_i \sum_j \left[C_{i,j} - \frac{a}{\sigma_y(x_i) \cdot \sigma_z(x_i)} \cdot e^{\left(-0.5 \frac{y_j^2}{(\sigma_y(x_i))^2} \right)} \cdot V(x_i, F_b) \right] \cdot a \cdot e^{-0.5 \frac{y_j^2}{(\sigma_y(x_i))^2}} \cdot \left[\frac{-0.5 \cdot (z - h_e(x, F_b))}{(\sigma_z(x_i))^2} \cdot \sqrt[3]{F_s \cdot x_i} \cdot (z - h_e(x_i, F_b)) - \frac{0.5 \cdot (h_e(x_i, F_b))}{(\sigma_z(x_i))^2} \cdot \sqrt[3]{F_s \cdot x_i} \cdot (z + h_e(x_i, F_b)) \right] \cdot \frac{1}{\sigma_y(x_i) \cdot \sigma_z(x_i)} = 0. \quad (2.4)$$

Інші варіанти моделі Гаусса є простішими, наприклад, параметр h_e може не залежати від координати x та in . Але алгоритм побудови системи рівнянь виду (2.3), (2.4) для них такий же самий. У разі, коли координата z висоти є змінною, вираз рівнянь (2.3), (2.4) ускладнюється незначно: додається ще одна сума (по, наприклад, індексу k), z замінюється на z_i , а C_{ij} — на $C_{ij,k}$.

На практиці вимірювання проводиться часто не у регулярній сітці точок (коли результатом спостережень є матриця), а у вигляді одновимірного масиву значень (вектору) C у певних точках, тоді треба на початку рівнянь (2.3), (2.4) записувати не дві суми, а — одну, а значення x_i та y_i тоді слід не розраховувати з певним кроком, а задавати векторами фіксованих значень, які відповідатимуть координатам місць вимірювання значень C .

Аналіз співвідношень моделі (2.3), (2.4) та характеру класичної функції Гаусса показав, що для підвищення точності оцінювання параметрів стаціонарного джерела викидів доцільно спочатку визначити напрямок куди дме вітер, далі уздовж осі x , яка спрямована від місця виходу стаціонарного джерела, тобто точки з координатами $(0, 0, 0)$, у напрямі вітру, методом прямих послідовних вимірювань з БПЛА у цьому напрямку виміряти значення показника $C(x, y, z)$, знайшовши максимальне значення вмісту $C^*(x^*, y^*, z^*)$, а також декілька значень у напрямку, перпендикулярному осі x , тобто в напрямку осі y , рахуючи від точки з координатами (x^*, y^*, z^*) .

Були проведені дослідження того, яким чином кількість значень спостережень підвищує точність оцінювання параметру Q . Залежність відносної похибки ΔQ (%) від кількості значень i , відібраних уздовж осі x симетрично в обидва від точки з координатами (x^*, y^*, z^*) , показана на рис. 2.6а.

Варіант з $i = 5$ вимірюваннями уздовж осі x і різною кількістю вимірювань уздовж осі y , починаючи від точки з координатами (x^*, y^*, z^*) , показаний на рис. 2.6б.

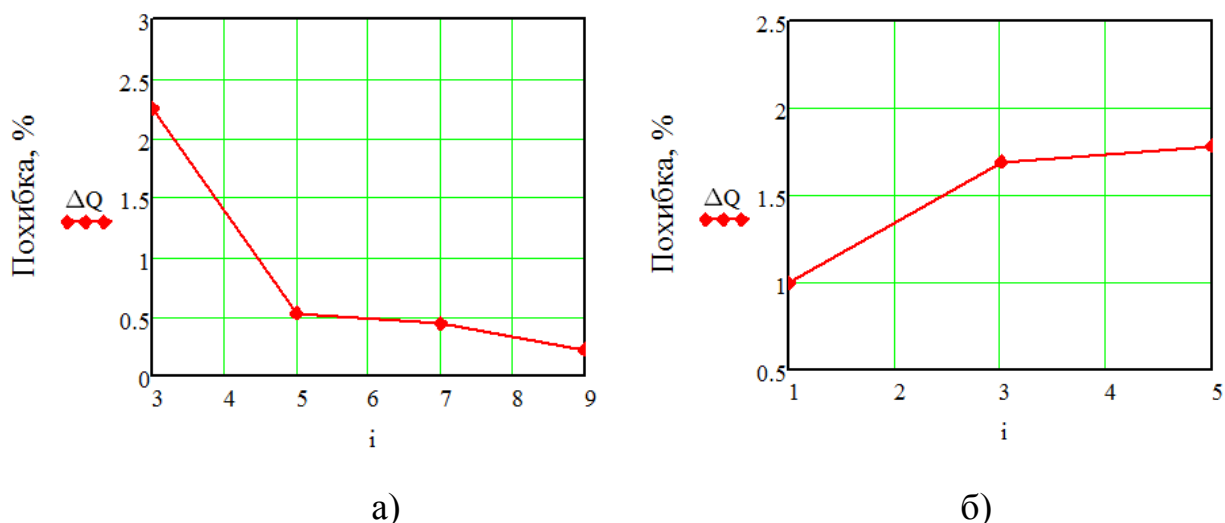


Рисунок 2.6 — Залежність відносної похибки ΔQ (%) від кількості значень $C(x, y, z)$: а) уздовж осі x за відсутності вимірювань уздовж інших осей; б) уздовж осі y , рахуючи від точки з координатами (x^*, y^*, z^*) , за умови, що уздовж осі x було здійснено 5 вимірювань

Однак, дослідження показують, що якщо значення спостережень не досить точні (тільки до десятих чи сотих), тоді похибка за даними вимірювань уздовж осі y може зростати зі зростанням кількості врахованих вимірювань, оскільки виміряні значення не досить точно відтворюють характер зміни експоненціальних функцій.

Проведений аналіз показав, що для оцінювання параметра Q варто здійснювати спостереження тільки уздовж осі x і достатнім є 5 вимірювань, за умов їх високої точності. У разі, якщо вимірювання проводяться не досить точно, тоді рекомендується зібрати та обробити 7-9 даних спостережень.

Отже, обґрунтовано, що оптимальною траєкторією спостережень для БПЛА буде траєкторія, подана на рис. 2.7.

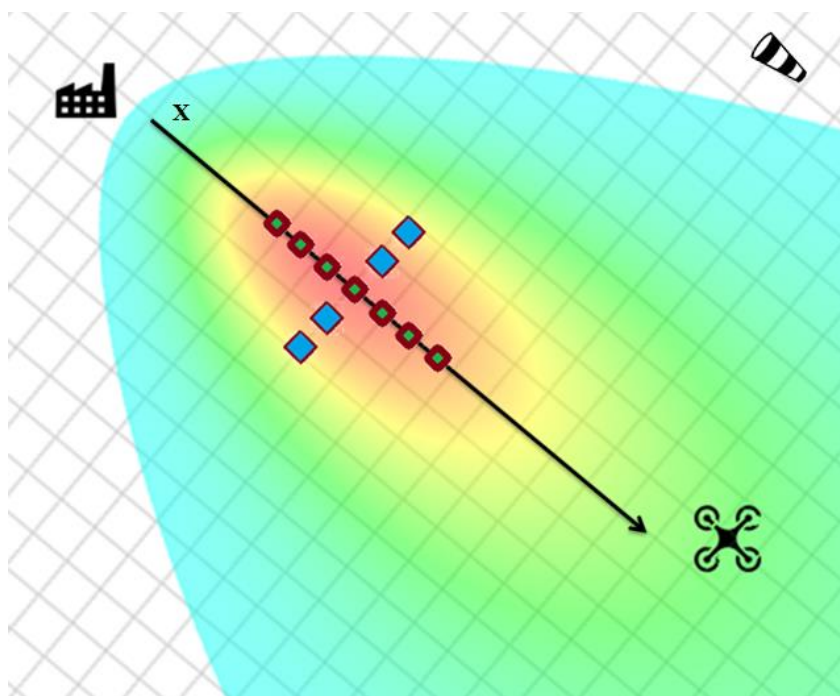


Рисунок 2.7 — Схематичне зображення траєкторії руху БПЛА через зону розсіювання біля стаціонарного джерела

Теоретично, БПЛА може пролетіти дану траєкторію двічі: спочатку знайти місце розташування точки з максимальною концентрацією, а потім виміряти відносно неї по 3-4 точки у різні боки уздовж осі x . Однак, сучасні вимірювальні засоби дозволяють досить швидко проводити вимірювання, тоді достатньо одного прольоту за траєкторією з рис. 2.8, а потім на основі аналізу отриманого вектору значень визначається максимальне значення та ті значення, що розташовані у цьому векторі до та після нього через певний крок у метрах.

Алгоритм застосування розробленого методу пропонується такий (рис. 2.8) [80]:

1. На висоті джерела забруднення h_s з використанням БПЛА провести вимірювання метеопараметрів T_a і u_s та напрямку вітру. У разі, якщо у різних точках зони основного розсіювання вони будуть відрізнятися більше, ніж на 15%, тоді — усереднити їх за усіма вимірюваннями.

2. Уточнити аналітичний вираз математичної моделі та усіх її параметрів за поточних умов, у т.ч. метеорологічних.

3. Спорядити БПЛА мобільною ІВС із відповідним датчиком аналізу стану атмосферного повітря на задану речовину (оксиди вуглецю, вуглеводні типу CH_4 , C_2H_4 , оксиди сірки чи азоту тощо).

4. Запустити БПЛА по лінії від джерела у напрямі вітру (рис. 2.8) для визначення місця найбільшої концентрації забруднюючих речовин та провести необхідні спостереження.

5. За допомогою методу найменших квадратів визначити невідомі параметри джерела викиду для заданої речовини.

6. За необхідності повторити пп. 3-5 для іншої речовини.

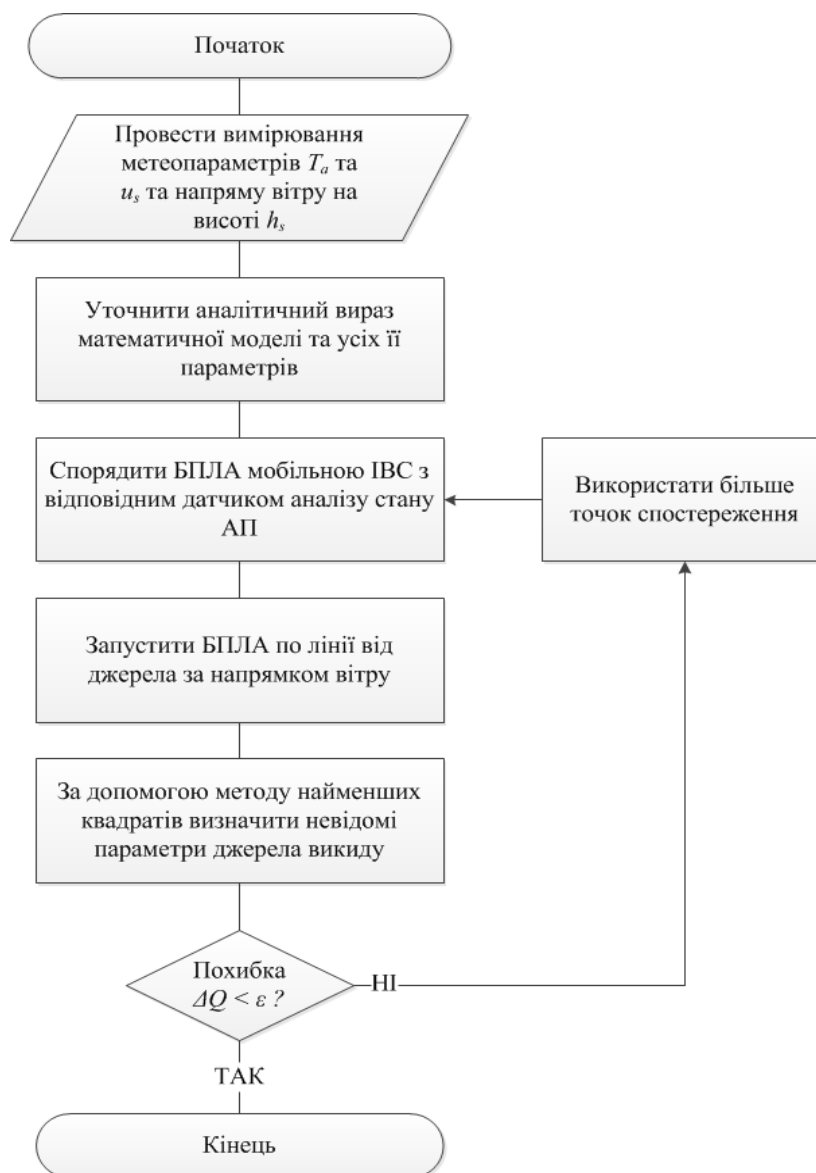


Рисунок 2.8 — Блок-схема алгоритму застосування методу оцінювання параметрів ДВ із використанням БПЛА

Розглянемо числовий приклад. Нехай висота труби джерела стаціонарного джерела викиду $h_s = 100$ м, швидкість вітру $u_{ref} = 5$ м/с, вимірювання проводились у точках з координатами (300, 0, 30), (400, 0, 30), (500, 0, 30), (600, 0, 30), (700, 0, 30) (в метрах), виміряна концентрація забруднюючої речовини $C = [2,07, 9,32, 10,54, 8,57, 6,28]$ мкг/м³ відповідно.

Для оцінювання похибки дослідження потрібно вирішити пряму задачу поширення речовини та порівняти її з отриманими результатами.

Проведене оцінювання параметрів стаціонарного джерела викиду за запропонованим методом з використанням співвідношень (2.3), (2.4) для 5-ти точок спостережень якості повітря та їх порівняння з розрахунковими значення показало, що похибка для Q склала 0,11 %, що є дуже гарним результатом, а для F_b — 15 %, що є результатом досить прийнятним, враховуючи невисоку точність вимірювального приладу на БПЛА (задані значення концентрації C виміряні з точністю тільки до сотих).

На рис. 2.9 наведена чверть (сектор в 90 градусів) поля концентрацій забруднюючої речовини навколо стаціонарного джерела викиду, розрахованого у пакеті програм Mathcad за моделлю Гаусса з ідентифікованими параметрами Q та F_b . Уздовж горизонтальних осей відкладено не відстань у метрах, а кількість кроків до місць, в яких визначались концентрації, а по вертикальній осі — концентрація забруднюючої речовини C , мкг/м³.

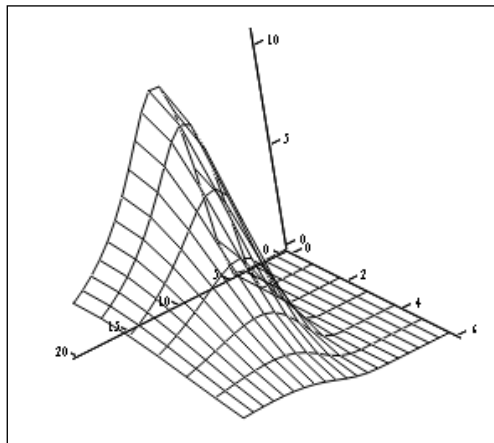


Рисунок 2.9 — Тривимірне зображення залежності концентрації забруднюючої речовини від відстані до джерела викиду

Однак, для більш достовірного оцінювання параметрів стаціонарних джерел викидів, необхідно оцінити ще й внесок пересувних джерел викидів у загальне забруднення атмосферного повітря, для чого необхідно спочатку оцінити параметри транспортного потоку, основним яких є середня швидкість руху транспортних засобів.

2.3 Створення методу оцінювання середньої швидкості руху транспортних засобів на основі нечіткої бази знань

2.3.1 Побудова математичної моделі руху транспортних засобів за даними моніторингу їх параметрів

Як було зазначено вище, важливе значення має моделювання забруднюючого впливу не тільки стаціонарних, а й пересувних джерел викидів. І однією із головних задач, при цьому, є — визначення середньої швидкості транспортних засобів у потоці. Визначення цієї швидкості дозволило б розробити заходи для забезпечення оптимальної швидкості, яка спричиняє найменше забруднення атмосферного повітря. Зазвичай, забруднення залежить не тільки від швидкості транспортного засобу, а ще й від типу цього засобу, його палива, метеоумов, рельєфу місцевості та інших факторів, але, якщо розглядати проблему глобально, то, як відомо, коли все місто «стоїть» в заторах чи, коли транспортні засоби їздять в режимі форсажу, забруднення яке вони спричиняють, максимальне, незалежно від типів засобів, типів палива та метеоумов. Отже, зосередимось на задачі визначення середньої швидкості транспортних засобів у потоці.

Переважає більшість математичних моделей для опису автомобільного потоку у місті вимагає чимало вхідних даних для розрахунків, які, як правило, складно зібрати в межах великого міста [23]. Зазвичай, автоматичні вимірювальні системи дозволяють збирати багато параметрів з високою точністю, але на небагатьох ділянках. Значення на інших ділянках вулиць

можна оцінити лише приблизно. Причому, по одних даних можна оцінювати інші. Наприклад, підвищення забруднення атмосферного повітря може (але не обов'язково) свідчити про підвищення інтенсивності транспортного руху і навпаки.

Для усунення цієї невизначеності пропонується використовувати нечітку базу знань, яка дозволить за мінімуму наявних даних по вулицях, які добре обстежені, оцінити стан завантаженості та загазованості інших вулиць в реальному режимі часу.

Відповідно до методології проектування нечіткої бази знань (НБЗ), визначимо вхідні та вихідні змінні. Як було запропоновано у роботі [14], застосуємо інтервальний аналіз даних та значення кожної вихідної змінної розіб'ємо на інтервали. Далі сформуємо правила, на основі яких певні комбінації значень вхідних змінних із певними вагами будуть забезпечувати потрапляння значень вихідних змінних у відповідні інтервали.

Зрозуміло, що визначення вхідних і вихідних змінних слід здійснювати, виходячи з наявних можливостей вимірювальних систем, що використовуються, а вихідних — з поставлених задач. Враховуючи вищевикладене, пропонується такий підхід до моделювання параметрів транспортного потоку: на найбільш проблемних ділянках кожну годину фіксуються основні параметри дорожнього руху, у т.ч. заторів (за допомогою різних Traffic Jam Detectors та ін.). На ділянках під'їзних шляхів, звідки на проблемні ділянки надходять транспортні засоби, фіксуються параметри цих засобів, у т.ч. довжина l , тип θ та ін. На усіх цих ділянках проводиться уточнення метеопараметрів, які, в першу чергу, можуть впливати на швидкість транспортних засобів (ожеледь, туман, сильні опади тощо) та на поширення забруднюючих газів у повітрі (вологість, температура тощо). Основна ідея моделі, яка будується, полягає в тому, що знаючи поточні параметри транспортного потоку на певній ділянці вулиці та параметри потоків на під'їзних шляхах і середньостатистичні закономірності руху транспорту від цих шляхів до тієї ділянки, можна оцінити параметри потоку на тій ділянці через

заданий проміжок часу, коли обстежений на цих шляхах транспорт доїде до заданої ділянки. У такий спосіб можна прогнозувати як середню швидкість транспортних засобів на заданій i -й ділянці дороги v_i (або їх середню щільність ρ_i), так і середній вміст газів в атмосферному повітрі над нею (вектор значень y_i). Для обчислення цих двох видів вихідних параметрів пропонується проводити спостереження за таким мінімальним набором вхідних даних: коефіцієнт K_r , який враховує відхилення від середньостатистичного стану покриття дороги; коефіцієнт K_z , який враховує зменшення відносно середньостатистичного часу проїзду ділянки, обумовлене заторами; коефіцієнт K_m , який враховує відхилення від середньостатистичного метеопараметрів, що ускладнюють рух ТЗ (у разі, якщо має місце ожеледь, туман, злива тощо, він стає меншим 1,0); коефіцієнт K_L , який враховує відхилення від середньостатистичного значення середньої сумарної довжини транспортних засобів, які проїхали повз датчики через певний проміжок часу; коефіцієнт K_E , який враховує відхилення від середньостатистичного значення середнього вмісту викидів транспортних засобів, які проїхали повз вимірювальні пристрої через певний проміжок часу. Математичну модель такої системи пропонується записувати у вигляді [14]:

$$v_i = v_{max\ i} K_{r\ i} K_{z\ i} K_{m\ i} \left(1 - \frac{\rho_i}{\rho_{max\ K\ L\ i}} \right), \quad (2.5)$$

$$y_i = f_i(v_i, K_E), \quad (2.6)$$

де $v_{max\ i}$ та $\rho_{max\ i}$ — максимально можливі усереднені на i -й ділянці швидкість та щільність, відповідно, руху середньостатистичних транспортних засобів (у т.ч. з урахуванням вимог правил дорожнього руху); f_i — функція, яка описує поширення забруднюючих газів в атмосферному повітрі над i -ю ділянкою дороги.

За основу моделі (2.5) було взято відоме співвідношення [14]:

$$v_a(\rho) = \rho_{max} \left(1 - \frac{\rho}{\rho_{max}}\right). \quad (2.7)$$

Воно побудоване, виходячи із припущення про те, що швидкість залежить тільки від щільності. Якщо дорога порожня ($\rho = 0$), автомобілі їдуть з максимальною швидкістю ($v = v_{max}$). При наповненні дороги швидкість падає аж до повної зупинки ($v = 0$), коли машини розташовані «бампер-до-бампера» ($\rho = \rho_{max}$). Аналогічний за структурою вираз можна записати не тільки для щільності ρ , а і для швидкості [14].

Отже, вихідна змінна y_i є функцією F_i шести змінних:

$$y_i = F(K_{ri}, K_{zi}, K_{mi}, K_{Li}, K_E, \rho_i). \quad (2.8)$$

Позначимо ці вхідні змінні $z_{i,j}, j = \overline{1,6}$. У виразі (2.7) зроблено припущення, що протягом періоду моделювання величини $v_{max i}$ та $\rho_{max i}$ є незмінними. Але, якщо модель (2.5), (2.6) будується для того, щоб змоделювати результат зміни ряду геометричних параметрів дороги, які приведуть до зміни ще й параметрів $v_{max i}$ та $\rho_{max i}$, тоді і їх слід розглядати як вхідні змінні, яких вже буде 8, а не 6.

Для ідентифікації моделі (2.8) за даними моніторингу параметрів руху транспортних засобів та параметрів транспортної інфраструктури і даних про стан довкілля пропонується метод на основі застосування нечіткої бази знань.

2.3.2 Створення методу оцінювання середньої швидкості руху транспортних засобів на основі нечіткої бази знань

Для оцінювання середньої швидкості руху транспортних засобів для визначення їх оптимального режиму з найменшим забрудненням повітря пропонується метод, оснований на побудові нечіткої бази знань, з алгоритмом її застосування відповідно до методології робіт [14].

Створення такої бази знань ускладнюється великою кількістю вхідних змінних і правил. Тому пропонується вирішити цю задачу за допомогою генетичного алгоритму (ГА) з існуючої експериментальної вибірки. Вибірка даних являє собою сукупність пар вхідних величин $z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6$ та вихідної у об'ємом M .

Сформуємо початкову НБЗ, що представляє собою набір логічних виразів:

$$\text{IF } z_1 = a_1^{jp} \text{ AND } z_2 = a_2^{jp} \text{ AND } \dots \text{ AND } z_n = a_n^{jp} \text{ THEN } y = d_j(w_{jp}),$$

$$p = \overline{1, k_j}, j = \overline{1, m}, \quad (2.9)$$

де z_1, z_2, \dots, z_n — вхідні змінні;

y — вихідна змінна;

$a_1^{jp}, a_2^{jp}, \dots, a_n^{jp}$ — вхідні лінгвістичні терми;

d_j — вихідний змінний клас ($j = \overline{1, m}$);

$w_{jp} \in [0, 1]$ — jp -та вага правил.

Доповнимо лінгвістичні терми a_i^{jp} та d_j функціями належності виду:

$$\mu_i^{jp}(z_i) = \frac{1}{1 + \left(\frac{z_i - b_i^{jp}}{c_i^{jp}}\right)^2}, \quad i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, p = \overline{1, k_j}, \quad (2.10)$$

де b_i^{jp} — координата максимуму функції: $\mu_i^{jp}(b_i^{jp}) = 1$;

$c_i^{jp} > 0$ — коефіцієнт розтягування функції.

Сформуємо матрицю значень у вигляді, показаному у таблиці 2.6, де $\overline{y_1} \dots \overline{y_m}$ — інтервали, на які розбивається область значень вихідної величини y :

$$[\overline{y_{min}}, \overline{y_{max}}] = \underbrace{[y_{min}, y_1]}_{\overline{y_1}} \cup \underbrace{[y_1, y_2]}_{\overline{y_2}} \cup \dots \cup \underbrace{[y_{m-1}, y_{max}]}_{\overline{y_m}}. \quad (2.11)$$

Матриця змінних параметрів НБЗ

№	ЯКЦО	ВАГА	ТОДІ
	$z_i (i = 1 \dots 6)$	w	y^*
11	b_i^{11}, c_i^{11}	w_{11}	\bar{y}_1
...	
$1k_1$	$b_i^{1k_1}, c_i^{1k_1}$	w_{1k_1}	
...
$m1$	b_i^{m1}, c_i^{m1}	w_{m1}	\bar{y}_m
...	
mk_m	$b_i^{mk_m}, c_i^{mk_m}$	w_{mk_m}	

Записавши дану таблицю в рядок по стовпцях, сформуємо спосіб кодування хромосоми ГА:

$$b_1^{11}, c_1^{11}; \dots; b_1^{mk_m}, c_1^{mk_m}; b_2^{11}, c_2^{11}; \dots; b_2^{mk_m}, c_2^{mk_m}; \dots; b_6^{mk_m}, c_6^{mk_m};$$

$$w_{11}; \dots; w_{mk_m}. \quad (2.12)$$

Для отримання матриці знань моделі прогнозу потрібно отримати при проведенні ГА таку хромосому (2.12), яка мінімізує квадрат різниці між модельними результатами y_{sim}^q та статистичними даними y^q .

$$\sum_{q=1}^M [y_{sim}^q - y^q]^2 \rightarrow \min. \quad (2.13)$$

Кожна ітерація ГА включає такі основні кроки:

1. Імовірнісний відбір хромосом батьків.
2. Отримання нових хромосом нащадків шляхом схрещування хромосом-батьків і мутації генів.

3. Розрахунок показників якості, що забезпечується такими операціями:

- Фазифікація значень вхідних змінних $z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6$.

- Розрахунок ступенів належності вихідної змінної у методом нечіткого логічного висновку:

$$\mu^{\bar{y}_j}(y) = \max_{p=1, k_j} \left\{ w_{jp} \min \left[\mu^{jp}(z_1), \mu^{jp}(z_2), \mu^{jp}(z_3), \mu^{jp}(z_4), \mu^{jp}(z_5), \mu^{jp}(z_6) \right] \right\}, j = \overline{1, m}. \quad (2.14)$$

- Дефазифікація — визначення чіткого модельного значення виходу y_{sim} за методом центру сум:

$$y_{sim} = \frac{\bar{y}_1 \mu^{\bar{y}_1}(y) + \bar{y}_2 \mu^{\bar{y}_2}(y) + \dots + \bar{y}_m \mu^{\bar{y}_m}(y)}{\mu^{\bar{y}_1}(y) + \mu^{\bar{y}_2}(y) + \dots + \mu^{\bar{y}_m}(y)}. \quad (2.15)$$

Варто зазначити, що моделі побудовані для випадку, коли K_E — показник якості повітря, але, власне кажучи, він є вектором значень показників (CO , CO_2 , NO_x , SO_x , $PM_{2.5}$, PM_{10} , і т.д.) — в цьому випадку нечітка база знань будується по кожному показнику якості повітря окремо за аналогічною методологією.

Для визначення показника якості повітря необхідно застосовувати таку вимірювальну систему, яка дозволила б в режимі «реального часу» збирати дані про стан атмосферного повітря уздовж магістралей руху автомобільного транспорту. Розробка такої системи здійснена у наступних розділах.

2.4 Висновки до розділу 2

1. В умовах, коли необхідно оцінити параметри стаціонарних джерел викидів та визначити серед них ті, що потенційно можуть мати найбільший забруднюючий вплив, запропоновано метод оцінювання параметрів викидів стаціонарних джерел, в першу чергу потенційно понаднормативних, за нечіткими експертними оцінками з урахуванням чутливості якості

атмосферного повітря у певному місці спостереження від апріорної інформації про координати, метеоумови та проектно-технічні характеристики кожного можливого джерела викидів, формалізованих у нечіткій базі знань, що дозволяє підвищити точність та ефективність такого оцінювання.

2. Задача оцінювання просторових та проектно-технічних параметрів конкретного стаціонарного джерела викиду може бути реалізована за допомогою запропонованого методу за даними оперативного моніторингу зони розсіювання за допомогою БПЛА за рахунок розв'язання зворотної задачі розсіювання на основі моделі Гаусса, що дозволяє підвищити точність оцінювання параметрів цього джерела за мінімальної кількості даних спостережень.

3. Викиди забруднюючих речовин від пересувних джерел (наприклад, автомобілів) представляють собою не меншу загрозу для довкілля. Для оцінювання параметрів викидів автотранспорту можливо використовувати розроблений метод обробки даних моніторингу параметрів пересувних джерел викидів, з урахуванням їх просторово-часової неоднорідності, параметрів транспортної мережі та метеопараметрів з використанням нечіткої бази знань кількості транспортних засобів на кожній ділянці вулиці, що дозволяє більш точно отримати залежність між параметрами транспортних засобів і станом забруднення атмосферного повітря.

Матеріали розділу опубліковано у роботах [14, 45, 48, 80].

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В КОМПЛЕКСІ З ДАНИМИ ПРО ДЖЕРЕЛА ЦЬОГО ЗАБРУДНЕННЯ

3.1 Створення інформаційно-вимірювальної системи для оперативного моніторингу забруднення атмосферного повітря в комплексі з даними про джерела цього забруднення

Сучасний стан розвитку інформаційних технологій по роботі з великими даними (зберігання, оброблення, візуалізація результатів у режимі «он-лайн» з використанням веб-технологій) дозволяє розробляти інформаційно-вимірювальні системи (ІВС) оперативного моніторингу, які збиратимуть величезний обсяг даних одразу з багатьох підсистем ІВС теж у режимі «он-лайн». Такі системи вже не повинні мати громіздкі носії для збереження великих даних — достатньо мати пристрій для передавання даних на сервер з кожної такої підсистеми. Тому при розробці ІВС тепер можна зосередитись на розв'язанні такої задачі як комплексне збирання максимального обсягу інформації, тобто систематизованої та пов'язаної між собою, яка в подальшому дозволить не тільки визначити тенденції зміни стану довкілля, а й визначити причини його забруднення та дозволити програвати сценарії управління — який буде стан довкілля, якщо будуть застосовані ті чи інші природоохоронні заходи або інфраструктурні проекти чи інші проекти, що приводять до зміни параметрів систем. Крім того, розвиток обчислювальних можливостей сучасних універсальних мобільних комп'ютерних пристроїв (смартфонів, планшетів, ноутбуків тощо) дозволяє проводити одночасно і визначення GPS-координат місця вимірювання, і попередню обробку даних спостережень, і їх передавання на сервер, і зчитування з сервера та виконання обробки на стороні клієнта, у т.ч. візуалізацію результатів обробки на основі веб-ГІС типу Google Earth або на

базі професійних ГІС-серверів спеціалізованих платформ ArcGIS та ін. [28, 64]. Розвиток методики створення ІВС з використанням таких універсальних обчислювальних блоків на основі мобільних пристроїв дозволив би значно прискорити та здешевити монтування системи, використовувати готові рішення для обробки і візуалізації даних та суттєво покращити розв'язання задач оперативного екологічного моніторингу.

Однією з головних задач, для яких розробляються ці ІВС, є ідентифікація моделі зміни значень показників якості атмосферного повітря (АП) над дорогою в залежності від кількості і типу автотранспорту на ній та різних факторів (швидкості і сили вітру, характеру рельєфу тощо), яка дозволить програвати сценарії прийняття рішень з оптимізації транспортної інфраструктури з відповідним поліпшення якості АП. Для побудови такої моделі слід напрацювати значну статистику та зібрати багато інформації різних видів [42]: 1) інформація про статичні параметри ділянок доріг (довжина, кількість смуг, ТЗРР на них, рельєф тощо); 2) метеодані та інші умови; 3) дані про значення показників якості АП; 4) дані про кількість, тип автотранспорту та середню його швидкість на кожній ділянці дороги. Чимало інформації, у т.ч. автоматизовано через веб-сервіси, можна взяти у відповідних службах (перший вид даних — у дорожній та інших комунальних службах, другий — у гідрометцентрі), але для збирання даних третього та четвертого типів (про якість АП та автотранспорт) необхідно створити спеціальні ІВС з використанням різноманітних вимірювальних пристроїв і систем та сучасних ІТ.

Для вимірювання якості АП пропонується поєднувати 3 типи ІВС [35]:

1. Інструментальні контактні стаціонарні ІВС, які встановлюються безпосередньо біля дороги. Вони досить детально висвітлені у різній літературі, тому не будемо на них детально зупинятись. Варто зазначити лише, що слід добре продумати розташування вимірювальних приладів та сенсорів уздовж доріг. Часто використовують ручне чи автоматизоване збирання та оброблення даних вимірювань, але цей шлях, навіть з використанням інформаційних

технологій для пришвидшення оброблення цих даних не підходить для даної задачі. Для цієї задачі є характерною постійна зміна умов досліджень (напрям і сила вітру можуть значно змінюватись щохвилини, вносячи суттєву похибку в результати спостережень, коли виміряна кількість автотранспорту, що проїхала за, наприклад годину, не буде відповідати тому обсягу забруднень, який вловили вимірювальні прилади біля дороги. Тому слід поєднувати дані спостережень з ІВС мобільного типу.

2. Інструментальні мобільні ІВС, які встановлюються на ТЗ — наприклад, на мультикоптер, що рухається над дорогою, або на ТЗ з ІВС, який рухається всередині потоку по дорозі, АП над якою аналізується. Важливо в таких системах добре продумати місце розташування сенсорів — наприклад, на автомобілі краще їх встановлювати з лівого боку, на даху чи у передній частині автомобіля, щоб, по-перше, вони були ближчі до найбільш забрудненої осьової лінії дороги, а по-друге, щоб на спостереження менше впливали викиди ТЗ, на якому встановлена ця ІВС.

3. Дистанційні ІВС. Однією з особливостей забруднення АП є те, що воно може бути наслідком дії не локальних (автотранспорт), а глобальних факторів (масштабні лісові пожежі тощо). Тому треба постійно аналізувати дані дистанційного зондування і, у разі виявлення таких впливових глобальних факторів, або враховувати це у самій моделі з формалізованими локальними факторами, або застосовувати інші моделі. Подібні дистанційні ІВС можна реалізувати або на базі численних супутникових систем спостережень, або на базі наземних систем типу лідар чи содар («Lidar» — це скорочення з англ. від «Light Detection and Ranging», «Sodar» — «Acoustic Radar, Sound Detection and Ranging»).

Для отримання інформації про параметри транспортних засобів (ТЗ) слід використовувати інші ІВС.

Для збирання інформації про закономірності дорожнього руху пропонується аналогічно до ІВС для спостережень за якістю АП використовувати ІВС стаціонарного та мобільного типу [35].

1. Вже традиційні стаціонарні відеокамери з подальшою автоматичною обробкою відеопотоку, наприклад на основі модулів пакету Matlab, але точність такої автоматичної обробки без участі людина невисока. Значно більшу точність забезпечують лазерні вимірювальні пристрої і системи, наприклад виробництва компанії «SICK» (Німеччина) (рис. 3.1 а, б, в):

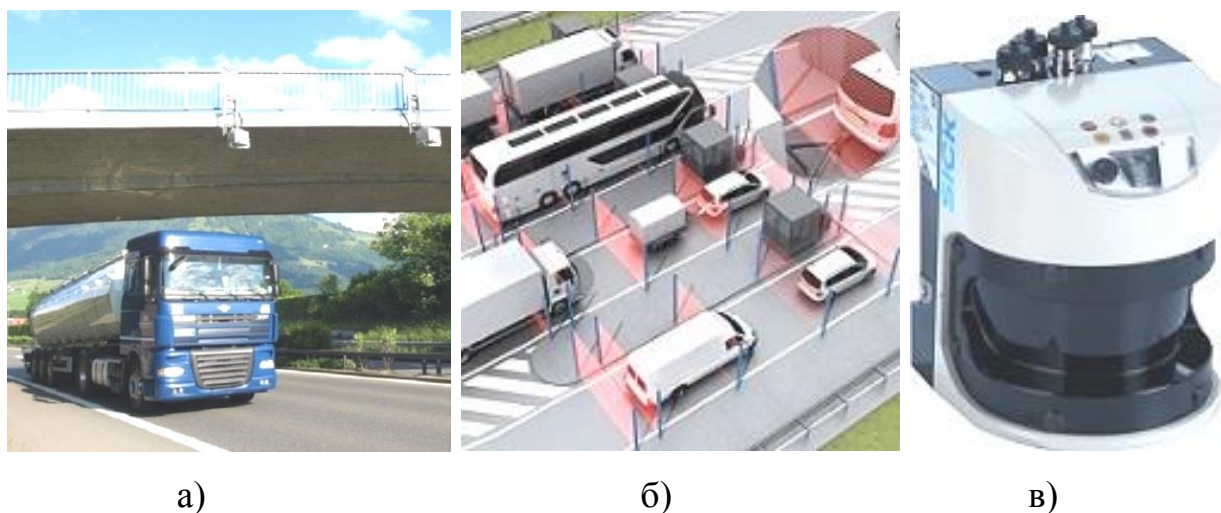


Рисунок 3.1 — Лазерні пристрої для автоматичної ідентифікації класу ТЗ по його довжині і контурах (<http://www.roadtraffic-technology.com/contractors/detection/sick-traffic-sensors>): а) односмуговий по контуру «Profilling System» — TIC1xx Pro; б) багатосмуговий по кількості осей і відстані між ними «Measuring Automation Light Grid» — MLG-2 Pro; в) багатосмуговий прецизійний по 2D-контурі «2D Laser measurement systems» — LMS5xx

Такі пристрої, у разі їх налагодження на кожну смугу дороги можуть дати повну інформацію про кількість, тип та, після обробки, і швидкість усіх видів ТЗ, але через високу вартість, їх кількість обмежують лише основними транспортними магістралями або, як правило, платними. Крім того, їх стаціонарне розташування не може дати інформацію про усі закономірності транспортного потоку на ділянках між місцями контролю, тобто не можна відслідкувати закономірності формування цього потоку, що необхідно для

прогнозування зміни параметрів. Тому пропонується дані спостережень цих ІВС доповнювати даними з мобільних ІВС.

2. Мобільні ІВС або ІВС, що встановлюються на ТЗ: мультикоптер з ІВС, що рухається над дорогою, або транспортний засіб з ІВС, який рухається всередині потоку по дорозі. Така ІВС повинна обов'язково містити засоби GPS, відеоспостереження та фотометричні пристрої чи радарні системи для оцінювання параметрів інших ТЗ на дорозі, встановлені на/у ТЗ з ІВС. Оптимальним є поєднання такої ІВС з ІВС для спостереження якості АП. Щодо мультикоптера, то стандартну відеокамеру, що спрямована, як правило вперед, треба доповнювати відеокамерою, направленою вертикально вниз, що зменшує похибку ідентифікації ТЗ за її допомогою.

3. Розподілені ІВС на основі веб-сервісів та збирання даних з індивідуальних мобільних пристроїв з GPS, які є у водіїв і підключені до цих сервісів. Найбільш відомими є такі веб-сервіси:

- Карта заторів з можливістю прогнозування трафіку на задану годину у заданому місці (наприклад, «Google.Maps» або «Яндекс.Карти»).

- Визначення нерівностей на дорогах з використанням акселерометра у смартфонах водіїв («Дороги України» (від «studio.stfalcon.com», м. Хмельницький) та аналогічні рішення на базі веб-сервісів компанії Google).

Дані цих сервісів дозволяють отримувати та використовувати у моделях поточні і прогнозні дані щодо закономірностей дорожнього руху, які важко отримати в інший спосіб.

3.2 Розроблення універсальної інформаційно-вимірювальної мобільної системи для оперативного моніторингу забруднення атмосферного повітря

У попередньому підрозділі наведено аналіз відомих технічних та програмно-технічних рішень для ідентифікації параметрів моделі забруднення атмосферного повітря, які класифіковані на види. Цей аналіз показав, що за

критерієм «Вартість/Можливості» оптимальним є побудова комплексних ІВС з поєднанням засобів і методів спостережень даних усіх цих типів з єдиною мережевою базою даних, в якій збирається і зберігається уся необхідна, але синхронізована у часі й просторі, інформація (з поєднанням даних про дорожню інфраструктуру, метеоданих, даних про якість АП та закономірності дорожнього руху) та на її основі проводиться аналіз, візуалізація з використанням геопорталів, наприклад Google Earth, та програвання сценаріїв розвитку [24, 35].

Уніфікуючи цю ідею, можна запропонувати удосконалену методику побудови універсальної інформаційно-вимірювальної системи оперативного екологічного моніторингу з використанням мобільних пристроїв, тобто системи, уся обробка та візуалізація даних в якій здійснюється у мобільних пристроях, як на етапі збирання інформації з вимірювальних пристроїв, так і на етапі зчитування даних з підсистеми збереження інформації для її обробки, аналізу та візуалізації через веб-технології.

3.2.1 Розроблення методики проектування універсальної інформаційно-вимірювальної мобільної системи для моніторингу стану забруднення атмосферного повітря

Задачами розроблення методів проектування універсальних інформаційно-вимірювальних систем для моніторингу стану довкілля займається багато вчених в усьому світі. Розвиток таких підходів можна бачити у технічних завданнях на проекти програми «Горизонт 2020», прикладами яких можуть бути такі проекти: № PS-ZA-96159 «Design of Smart Sensors for Real-Time Water Quality Monitoring Based on ZigBee» або № M2M/IoT «Telemetry system for severe operating environments using Cloud and Big Data Applications». Але у цих проектах, як правило, чітко вказуються конкретні види складових довкілля (атмосферне повітря, природні чи стічні води тощо) та показники стану довкілля. Крім того, як правило, планується лише збирати дані про екологічний стан без попереднього аналізу факторів, які можуть впливати на

нього, та, відповідно, моніторингу їх певних параметрів синхронно (в ті ж проміжки часу, з майже тією ж чи кратною дискретністю та у тих же місцях) з даними про стан довкілля. Актуальним же є створення універсального підходу до проектування таких систем, який потім можна легко масштабувати під конкретні умови. Подібні ж недоліки мають і вітчизняні системи, які виробляють, наприклад ПАТ «Украналіт», корпорація «Укратомприлад» та інші.

Ідея методики, що пропонується, полягає в тому, що основу системи складатимуть блоки обробки даних на базі універсальних комп'ютерних мобільних пристроїв, які здійснюватимуть передавання/приймання (смартфон, планшет, ноутбук тощо) [24, 35]. Такий підхід має один основний недолік — це надлишкові комп'ютерні можливості. Традиційний підхід до проектування ІВС полягає в проектуванні системи, яка має оптимізовані обчислювальні ресурси і це себе виправдовує, коли розробляється стаціонарна система моніторингу.

Ці системи повинні відповідати таким основним вимогам:

- достатньо висока точність;
- мала вага;
- низьке енергоспоживання;
- цифровий вихід сигналу.

Заздалегідь невідомо, які саме параметри треба буде вимірювати — систему варто монтувати просто на місці якнайшвидше. Ідея методики, що пропонується, полягає в наступному [42]:

1. Підготовчий етап.

1.1. Підготовлення апаратного інформаційно-вимірювального забезпечення: сенсорів, контролерів для обробки їх даних.

1.2. Підготовлення програмного забезпечення для універсальних мобільних пристроїв, програмування контролерів.

1.3. Підготовлення транспортних засобів для перевезення мобільних ІВС.

Для моніторингу стану атмосферного повітря можна використовувати автотранспорт, велосипед чи квадроцикл, безпілотний літальний апарат або мультикоптер. Мала вага сенсорів та використання сучасних смартфонів для проведення усіх обчислень дозволяють зібрати ІВС з вагою, яку може підняти мультикоптер — авторами були проведені відповідні випробування (рис. 3.2).

1.4. Формування банку даних для збереження даних спостережень (вибір дата-центру, визначення структури тощо).

1.5. Формування веб-сервісу для автоматизації усіх операцій з банком даних системи, у т.ч. візуалізації результатів на веб-ГІС.

1.6. Відпрацювання технології автоматизації просторово-часового аналізу даних спостережень — або з використанням можливостей професійних серверних версії ГІС-платформ, або з використанням більш простих і дешевих рішень на боці клієнта (наприклад, на ноутбучі) зі збереженням результатів обробки на сервер для доступу інших користувачів.

1.7. Заряджання мобільних пристроїв, хоча у польових умовах можна використовувати пристрої, які дозволяють заряджати ці пристрої від сонячних батарей, акумулятора, переносного генератора чи акумулятора автомобіля.



Рисунок 3.2 — Створений квадрокоптер під час проведення досліджень, та випробування його підйомної спроможності

2. Дослідження умов спостережень — проводиться після визначення місця аварії чи місця виконання спостережень.

2.1. Пошук актуальних карт місцевості, де проводяться спостереження, та супутникових карт у мультиспектральному діапазоні — для уточнення можливих факторів ризику та планування спостережень.

2.2. Збирання емпіричної інформації та оцінювання умов проведення спостережень та оцінювання потенційних факторів забруднення довкілля — з використанням природних кадастрів, геоінформаційних систем і баз даних, відкритих та відомчих, у т.ч. метеорологічних — для визначення того, які сенсори задовольнятимуть цим умовам (температурні обмеження, обмеження по вологості, тиску, агресивності середовища у викидах тощо).

2.3. Визначення факторів та їх характерних показників стану чи негативного впливу на довкілля, які слід спостерігати синхронно зі спостереженням за цим станом довкілля.

3. Монтування системи на місці.

3.1. Проектування підсистем ІВС для спостережень кожного виду складової довкілля чи забруднюючого фактору окремо за такою структурою: «Сенсори» — «Контролер» — «Мобільний комп'ютерний пристрій».

GPS може використовуватись як професійний (як один із сенсорів), так і стандартний, що зазвичай вбудовується у мобільний пристрій.

3.2. Налаштування взаємодії підсистем ІВС із сервером.

4. Проведення спостережень та обробка результатів.

На цьому етапі важливо точно визначити, які саме показники, з якою дискретністю та в яких саме місцях варто вимірювати. Саме оперативність монтування та модернізації ІВС дозволить максимально швидко адаптуватись до поточної ситуації та виконати усі типові задачі, які стоять перед системою моніторингу довкілля. Зокрема, програма спостережень повинна оперативно

змінюватись, щоб урахувати усі вимоги, які з'явилися після оцінювання фактичного стану за результатами спостережень, щоб максимально ефективно та обґрунтовано вибрати оптимальні природоохоронні рішення, щоб максимально коректно і точно спрогнозувати тенденції зміни стану довкілля.

Розглянемо детальніше метод оброблення даних, зібраних запропонованою ІВС, для забезпечення можливості оперативного оцінювання параметрів джерел забруднення атмосферного повітря.

3.2.2 Створення методу оцінювання параметрів джерел забруднення атмосферного повітря викидами пересувних джерел за даними їх оперативного моніторингу

Для оброблення даних, зібраними запропонованою вище ІВС, для забезпечення можливості оцінювання параметрів джерел викидів та стану забруднення атмосферного повітря, пропонується застосовувати такий метод:

- Визначення умов проведення та планування спостережень.
- Збирання даних спостереження.
- Обробка даних спостереження.
- Побудова регресійної залежності між даними моніторингу CO та кількістю ТЗ.

Розглянемо метод детальніше [42]:

I. Визначення умов проведення та планування спостережень.

Визначення K показників $F_k, k = \overline{1, K}$, які необхідно моніторити, та вибір датчиків і підключення їх до ІВС.

Вибір оптимального маршруту, на якому можливо знаходження проблемних місць і причин надмірного забруднення та розбиття його на M характерних ділянок довжиною $L_j, j = \overline{1, M}$. Підрахунок загального шляху L руху ТЗ із ІВС:

$$L = \sum_{j=1}^M L_j. \quad (3.1)$$

Вибір оптимальної швидкості руху $V_j, j = \overline{1, M}$ транспортного засобу, залежно від швидкодії датчика та мінімальної кількості вимірів на кожній ділянці (по найповільнішому з них із часом спрацювання t).

Задаємо швидкість V_j , довжину відрізка L_j , інтервал між вимірами датчика t та визначаємо кількість точок спостереження на ньому $M : M = \frac{L_j}{tV_j}$.

Визначення метеоданих (напрямку і сили вітру, опадів тощо).

Визначення місця розміщення датчиків на транспортному засобі.

II. Збирання даних спостереження.

З використанням датчика формується масив показників $F_{k,j}, k = \overline{1, K}, j = \overline{1, M}$.

З використанням GPS-датчика визначаються координати послідовних місць розташування на всіх ділянках із максимальною швидкістю $U_q, q = \overline{1, Q}$.

З використанням відеореєстратора визначаємо кількість стаціонарних та пересувних джерел забруднення на маршруті, які можуть впливати на стан повітря уздовж вибраного маршруту руху транспортного засобу з датчиками $R_j, j = \overline{1, M}$.

Зберігаємо зібрані та оцифровані дані на комп'ютерному носії.

III. Обробка даних спостереження.

На основі середньої швидкості руху транспортного засобу на кожній ділянці V_j визначення лінійних координат місць, в яких проводилося вимірювання $F_{k,j}$.

Геокодування результатів геолокації засобами геоінформаційних систем (ГІС), побудова траєкторії руху транспортного засобу на електронній карті місцевості та визначення просторових координат U_q для кожної лінійної координати з п.1.

На кожній ділянці визначається кількість стаціонарних S та пересувних R потенційних джерел забруднення.

Рахується кількість машин попутного напрямку, що знаходились на ділянці, коли авто з ІВС знаходилось на початку ділянки (рис. 3.3).

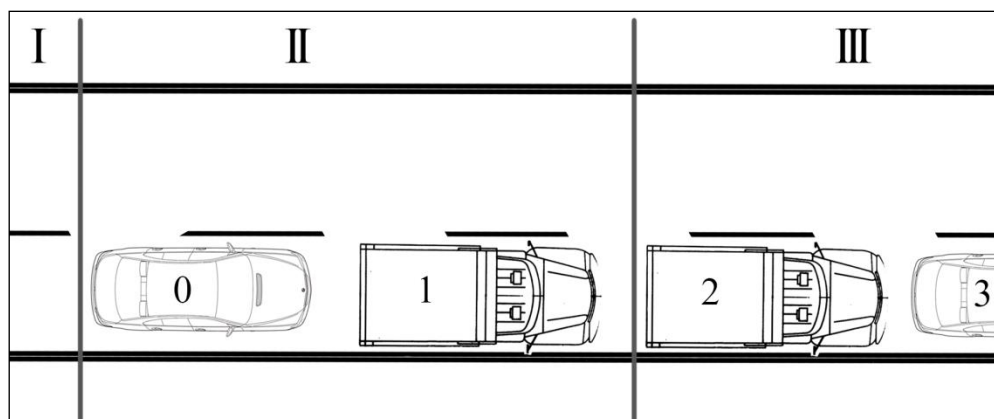


Рисунок 3.3 — Схематичне зображення принципів вимірювання на ділянці концентрації CO в атмосферному повітрі над дорогою

Теоретично, при обробці результатів з ділянки вимірювань оператор системи мають підраховуватися не тільки ті джерела забруднення, що перебували на цій ділянці, а й ті, які були на сусідніх ділянках, але, в першому наближенні, їх впливом можна знехтувати, оскільки, навіть за відсутності вітру ТЗ самі спричиняють рух повітряних мас, отже, на самій дорозі основне забруднення спричиняють ТЗ, що нещодавно проїхали саме по ній. Звичайно, є багато випадків, коли це — не так, тоді методологію підрахунку на цьому етапі треба відповідно змінити. Також, у першому наближенні, ТЗ з ІВС джерелом забруднення не вважається (за винятком випадків, коли доводилось зупинятись чи пригальмовувати з певних причин, тоді і це ТЗ слід рахувати, оскільки вихлопні гази «наздоганяли» датчики ІВС на цьому ТЗ).

Наприклад, при підраховуванні джерел забруднення з ділянки номером II оператор має віднести до джерел забруднення тільки ТЗ під номером 1 (оскільки ТЗ №0 є ТЗ із встановленими сенсорами).

VI. Побудова регресійної залежності між даними моніторингу CO F_j та кількістю ТЗ R_j з використанням ГІС-технологій та статистичних методів.

Експортувати в ГІС отримані дані моніторингу F_j та R_j для побудови масиву точкових об'єктів на електронній карті місцевості.

Побудувати матрицю поверхні методом середньозваженої інтерполяції, логарифмічним методом або методом кригінгу.

Усереднити концентрації показника F_{avg} на кожній ділянці.

Провести агрегування умов руху ТЗ шляхом переходу до приведеної кількості ТЗ R' на ділянках, з урахуванням відповідних коефіцієнтів:

$$R' = R \cdot k_r \cdot k_d \cdot k_m, \quad (3.2)$$

де R — фактична кількість ТЗ, шт.;

k_r — коефіцієнт, який враховує зниження чи збільшення викидів CO від ТЗ, в залежності від характеру рельєфу;

k_d — коефіцієнт, який враховує зниження чи збільшення викидів CO від ТЗ, через дію дорожніх знаків (зупинка перед пішохідним переходом, обмеження у швидкості тощо);

k_m — коефіцієнт, який враховує підвищений викид CO від ТЗ відносно усередненого ТЗ через те, що це ТЗ є вантажівкою, автобусом, легковим автомобілем тощо.

Визначення показника R_j , $j = \overline{1, M}$ відбувається у напівавтоматичному режимі. Оператор системи, переглядаючи дані відеореєстратора, має підрахувати значення показника R_j для кожної ділянки довжиною L_j . Для полегшення цієї операції студентом ВНТУ О. В. Криликом було створено спеціальне програмне забезпечення для синхронізації відео автореєстратора (або квадрокоптера над дорогою) з ГІС.

Провести кореляційний аналіз між середньою концентрацією показника F_{avg} на кожній ділянці та середньою кількістю автомобілів R'_j на кожній ділянці.

Побудувати регресійні залежності різних видів між F_{avg} та R'_j , інтегральними для усіх ділянок, що дозволить прогнозувати забруднення повітря у місті.

Оцінити похибки вимірювання та розрахунку.

Проаналізувати похибки. Визначити вид регресії з найменшою похибкою вимірювання.

За допомогою «Google.Maps» або «Яндекс.Карты» переглянути прогнозовану завантаженість автомобільних доріг та на її основі зробити оцінювальний прогноз поширення забруднення по місту.

Операції підрахування транспортних засобів за даними відеоспостереження можливо автоматизувати з використанням відпрацьованих програмно-технічних засобів.

3.2.3 Приклад створення ІВС за запропонованою методикою

Відповідно до запропонованої у пункті 3.2.1 методики проектування ІВС було створено таку систему та проведено її успішне випробування на автодорогах м. Вінниці.

Вінницький Обласний центр з Гідрометеорології має лише два стаціонарні вимірювальні пости — обидва у лівобережній частині міста, де колись було багато промислових підприємств. Вінницька міська СЕС періодично проводила спостереження стану атмосферного повітря біля основних автострад міста, але жодна служба не фіксує при цьому кількість автомобілів біля того місця, де проводилось спостереження за станом атмосферного повітря. Останнім часом у межах програми «Безпечне місто» у місті встановлюються веб-камери. Якщо б проводити вимірювання стану повітря саме біля них, тоді можна було б побудувати подібну залежність, однак,

кращим варіантом є побудова мобільної ІВС для оперативного моніторингу, яка встановлювалась би на автотранспорт, а її дані доповнювати наявними стаціонарними системами спостережень. Таку ІВС можна встановити на автотранспорт та синхронізувати хоча б з відео реєстратором, як пропонувалось у п. 3.2.2.

Авторами була спроектована така ІВС (рис. 3.4) [35, 24]. У ній використані такі мобільні пристрої: комп'ютерні пристрої на базі операційної системи MS Windows (ноутбук) і Android (смартфон) та контролер Arduino.

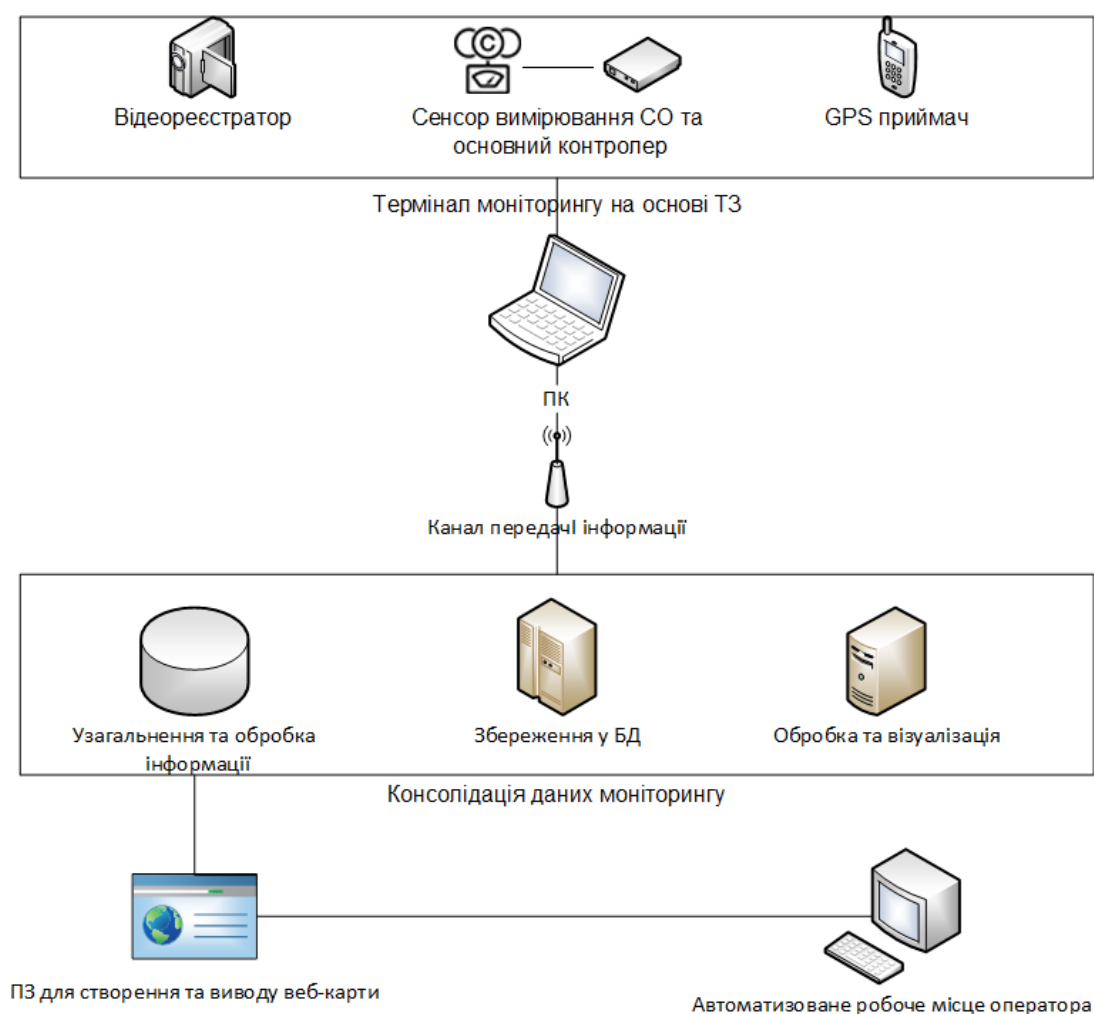


Рисунок 3.4 — Схема роботи універсальної ІВС оперативного моніторингу стану атмосферного повітря з використанням мобільних пристроїв

До системи можливо підключити різноманітні сенсори для вимірювання параметрів довкілля: сенсори моніторингу стану NO, CO, NO₂, SO₂, O₃ тощо;

сенсори метеопараметрів; сенсори визначення відстані між навколишніми об'єктами (автотранспортом); сенсори GPS-геолокації. Можуть використовуватись як непрофесійні сенсори GPS (наприклад, у смартфоні), так і професійні рішення (наприклад, GPS-передавач, який підключається до головного контролера периферійного модуля IBC). При рекомендованій швидкості руху автотранспорту з IBC у 40 км/ч GPS-передавач видає не менше одного заміру на 5 метрів ділянки дороги.

При використанні IBC в умовах необхідності забезпечення безпеки збираних даних передбачається використання захищеного каналу радіозв'язку (наприклад, технологія FHSS), в інших умовах рекомендується використання технологій 3G/4G для зон з широким покриттям та GPRS при недостатньому покритті зон моніторингу. В тому випадку, якщо всі можливі визначені канали зв'язку є недоступними, тоді периферійний модуль здатен зберігати дані моніторингу в автономному режимі до моменту їх ручної передачі на сервер. За результатом збирання даних першого наближення та їх первинної обробки генерується у наочному вигляді у файли в форматі .txt або .csv для подальшої інтеграції з іншими модулями системи. Важливим фактором є те, що існує можливість відеофіксації руху транспортного засобу із інформаційно-вимірювальною системою з урахуванням навколишніх мобільних динамічних джерел забруднення атмосферного повітря. Компоновка сенсорів дозволяє оператору збору інформації отримувати дані про забруднення атмосферного повітря в режимі реального часу.

В основі запропонованої системи є універсальність, що забезпечується модульністю компоновки периферійної частини. Завдяки чому система має такі ключові переваги, як незалежність функціонування від транспортного засобу, зменшення часу необхідного для технічного обслуговування, надає можливість компоувати необхідну схему сенсорів моніторингу стану навколишнього середовища та полегшує інтеграцію дублюючих модулів у загальну систему мобільного експрес-моніторингу.

Авторами була спроектована ІВС у якій використані: мобільні пристрої на базі операційної системи MS Windows (ноутбук), Android (смартфон) та контролер Arduino (рис. 3.5, 3.6). Із використанням даної системи було проведено експеримент на автошляхах м. Вінниці.

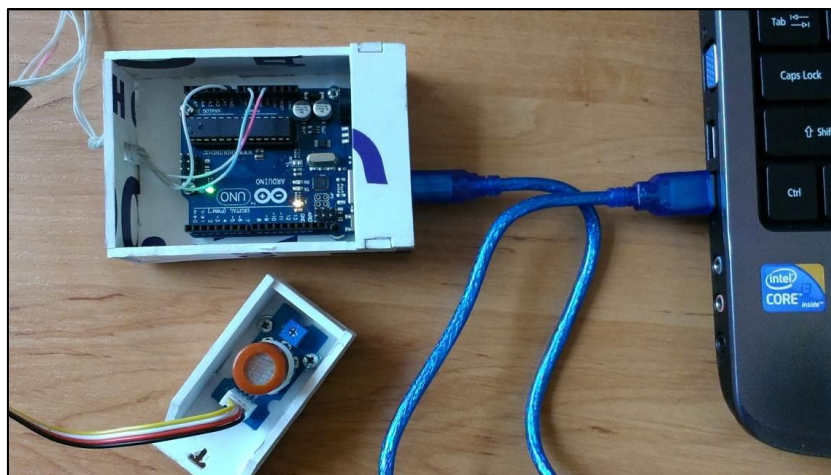
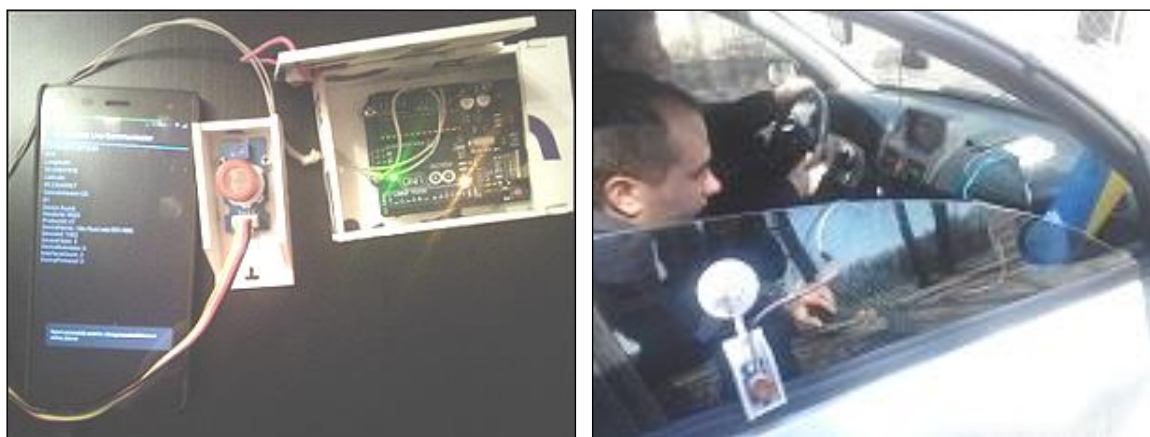


Рисунок 3.5 — ІВС, створена за запропонованою методикою: контролер Arduino з датчиком вмісту CO у повітрі



а)

б)

Рисунок 3.6 — ІВС, створена за запропонованою методикою для оцінювання параметрів моделі забруднення атмосферного повітря автотранспортом: а) програмно-технічне забезпечення ІВС; б) змонтована на автомобілі ІВС

Як було зазначено вище, для оперативного моніторингу атмосферного повітря оптимальним є використання інформаційно-вимірювальної системи,

яка встановлюється на транспортний засіб (автомобіль, трамвай, велосипед, мультикоптер, безпілотний літальний апарат тощо). Для забезпечення широкого застосування технології доцільно використовувати ІВС, основані на сучасних мобільних пристроях, наприклад, з використанням смартфонів для геолокації місця спостереження, збереження, обробки та передавання даних на сервер, а для збирання даних з датчиків можуть використовуватись, наприклад Arduino, RaspberryPi та їх аналоги [38].

Проведено експеримент з використанням створеної ІВС для оперативного моніторингу станів атмосферного повітря на вулицях м. Вінниці, який буде охарактеризований у наступному розділі.

3.3 Висновки до розділу 3

1. На сьогоднішній день існує досить велика кількість інформаційно-вимірювальних систем, що відрізняються різною складністю, обчислювальною потужністю, вартістю тощо. Запропоновано методику побудови сучасної ІВС із моделлю, основаною на нечіткій базі знань, розробленої у підрозд. 2.3, яка використовується для оцінювання параметрів викидів речовин автотранспортом, що дозволяє підвищити точність та ефективність цього оцінювання за рахунок комплексної обробки таких параметрів.

2. Також вдалось удосконалити схему та методику побудови універсальної інформаційно-вимірювальної мобільної системи для оперативного моніторингу стану забруднення атмосферного повітря з використанням мобільних пристроїв, встановлених на транспортні засоби, яку можна швидко адаптувати під задані умови та показники стану довкілля і фактори його забруднення. За цією методикою була побудована реальна ІВС, яка показала гарні результати при випробуванні на практиці у м. Вінниці.

Матеріали розділу опубліковано у роботах [24, 25, 35, 42, 43, 47, 50].

РОЗДІЛ 4

СТВОРЕННЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ НА ОСНОВІ РОЗРОБЛЕНИХ МОДЕЛЕЙ, МЕТОДІВ ТА СИСТЕМ

4.1 Розроблення архітектури інформаційної технології моделювання викидів стаціонарних та пересувних джерел в атмосферне повітря за даними їх оперативного моніторингу

Як було зазначено вище, слід розробити інформаційну технологію оцінювання параметрів викидів речовин за даними оперативного моніторингу забруднення атмосферного повітря, архітектура якої подана на рис. 4.1.



Рисунок 4.1 — Інформаційної технології моделювання викидів стаціонарних та пересувних джерел в атмосферне повітря

Із датчиків та приладів інформаційно-вимірювальних систем у базі даних накопичуються параметри про стан навколишнього середовища, місце розташування самої ІВС у момент проведення спостереження тощо.

Інформація із бази даних може використовуватись для роботи веб-сервісів, які дозволяють оцінювати параметри викидів окремих стаціонарних джерел у разі їх групових викидів на основі нечітких експертних оцінок. Після цього можна проводити виведення результатів оцінювання. Геоінформаційні системи (наприклад, ArcGIS, Panorama тощо) також використовують інформацію із бази даних для оцінювання параметрів викидів окремих стаціонарних джерел на основі нечітких експертних оцінок. За допомогою ГІС оцінюються параметри викидів від пересувних джерел шляхом інтерполювання даних моніторингу. І після того проводиться виведення результатів оцінювання у вигляді тематичних карт.

Запропоновані у попередніх розділах моделі, методи та алгоритми реалізовані у розроблених програмних засобах автоматизації розрахунків приземних концентрацій забруднюючих речовин викидів стаціонарних джерел. Створений інструментарій дозволяє оцінити параметри викидів від окремих стаціонарних джерел.

Була здійснена програмна реалізація з використанням декількох варіантів програмних пакетів та веб-платформ:

- Середовище розробки NetBeans;
- Google Web Toolkit (GWT).

Охарактеризуємо їх детальніше.

4.2 Розробка програмного модулю на Java для розрахунку динаміки забруднюючих речовин

Як відомо, програма, написана на мові Java, працюватиме на будь-якій підтримуваній апаратній чи системній платформі без змін у початковому коді та перекомпіляції. Проведено імітаційне моделювання даних за створеною

програмою. Вхідними параметрами для розрахунку були параметри гіпотетичного джерела викидів (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1

Параметри гіпотетичного джерела викиду

Висота труби, м	250
Діаметр труби температура газів, м	8
Швидкість виходу газів, м/с	22
Викид речовини NO ₂ , г/с	978
Температура газів, °С	160

Зона забруднення у 800 метрів від викидів стаціонарного джерела висотою 50 метрів у нічний час зображена на рисунку 4.2.

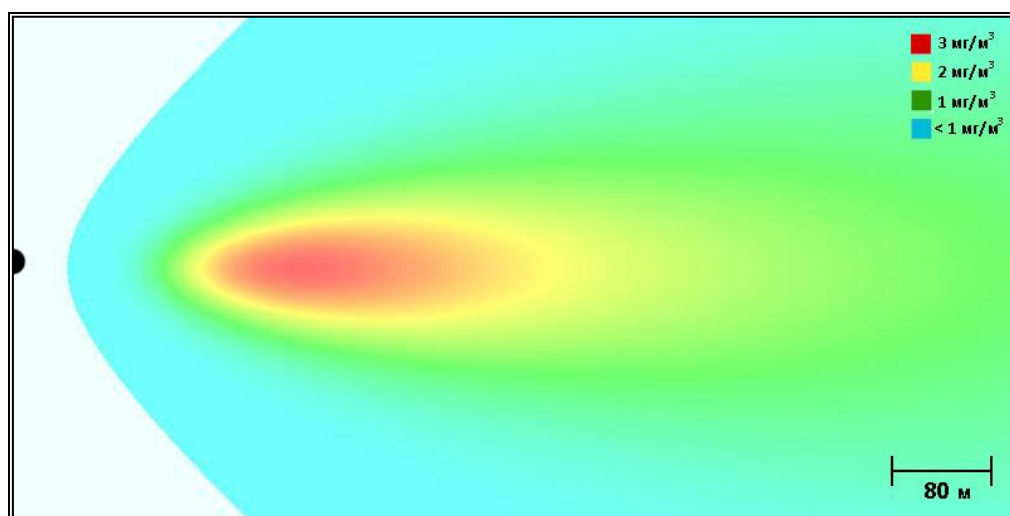


Рисунок 4.2 — Зона забруднення у 800 метрів від джерела висотою 50 метрів у нічний час

Порівняння масштабів забруднення у денний час від стаціонарних джерел висотою 50 метрів і 100 метрів при однакових атмосферних умовах зображено на рис. 4.3.

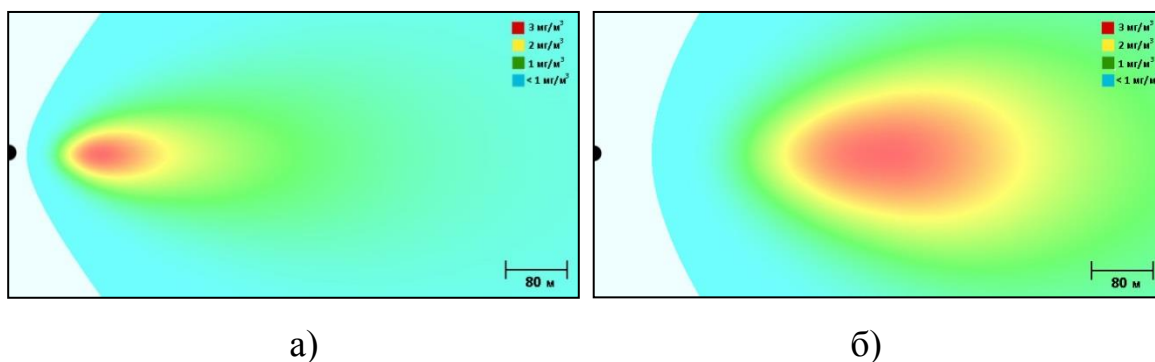


Рисунок 4.3 — Зона забруднення у денний час при висоті джерела викиду:

а) 50 метрів; б) 100 метрів

4.2.1 Розробка веб-інтерфейсу для розрахунку розсіювання забруднюючих речовин від стаціонарних джерел із використанням технології Google Web Toolkit

За запропонованими вище моделями та алгоритмами було створено інший веб-сервіс, який призначений для розрахунку концентрацій забруднюючих речовин, що викидаються стаціонарними джерелами в атмосферу. Результат розрахунку зображено на електронній карті Google Maps у вигляді зони розсіювання забруднюючих речовин, що викидаються стаціонарними джерелами.

Для візуалізації результатів моделювання зони розсіювання ЗР оптимальним є використання геопорталу Google Maps.

На рисунку 4.4 зображено введення параметрів для розрахунку зони розсіювання ЗР.

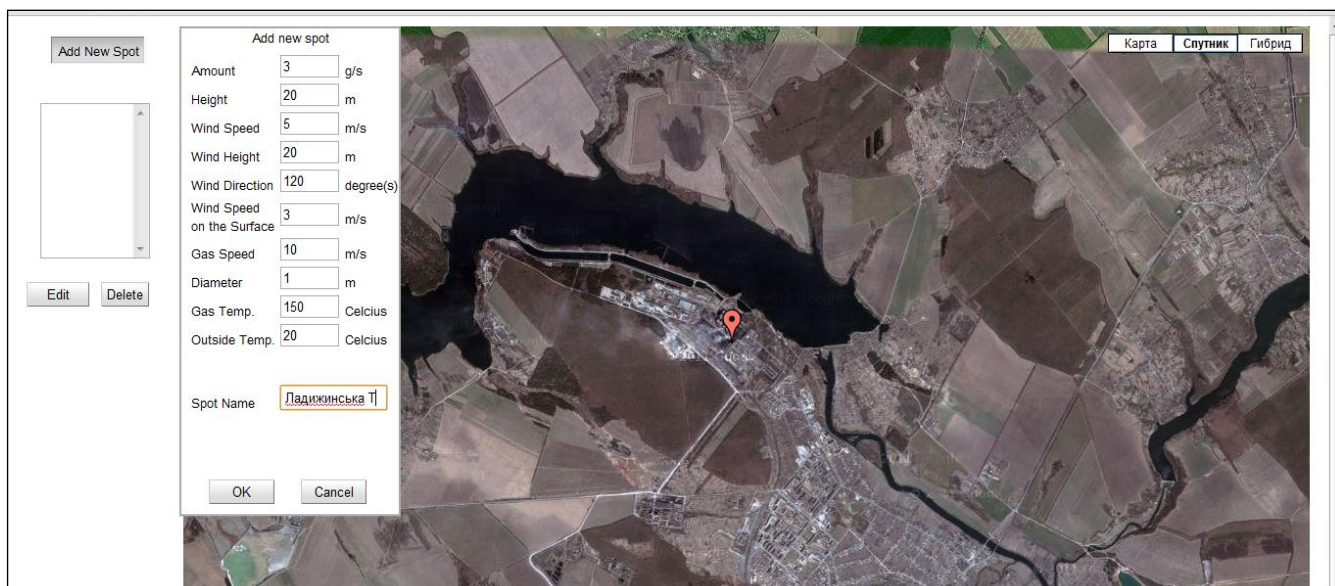


Рисунок 4.4 — Введення даних джерела викиду за допомогою веб-інтерфейсу

На рисунках 4.5-4.7 відображається зона розсіювання ЗР від Ладизинської ТЕС (при гіпотетичних параметрах викиду) у різному масштабі та при різних напрямках вітру.



Рисунок 4.5 — Зона розсіювання ЗР у режимі «Супутник»

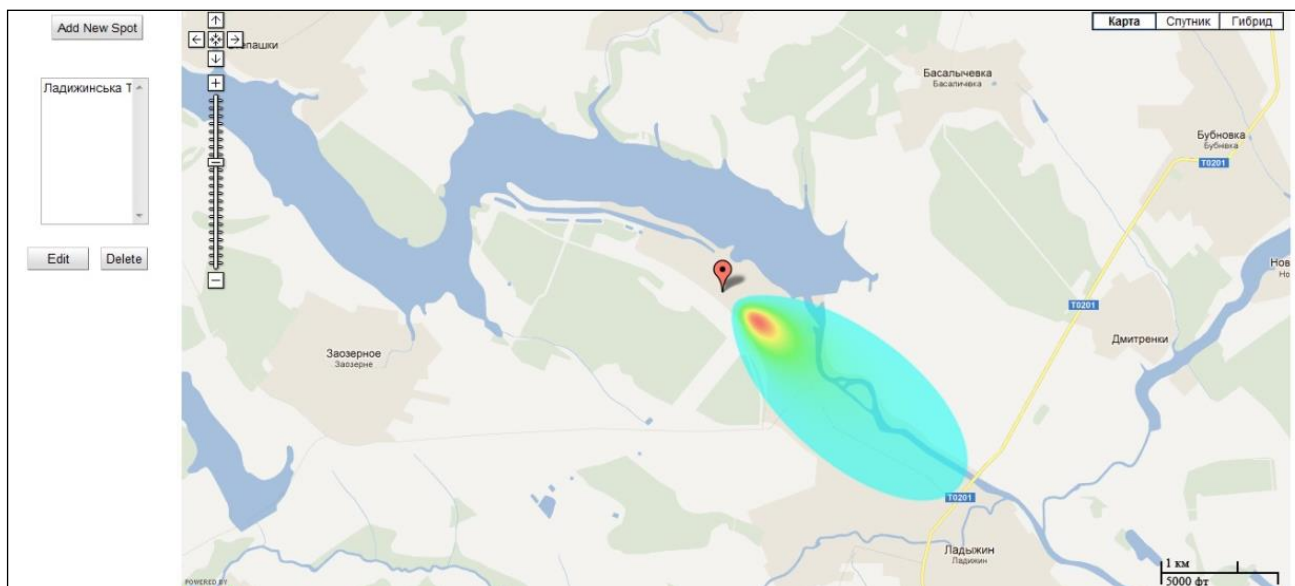


Рисунок 4.6 — Зона розсіювання ЗР у режимі «Карта»

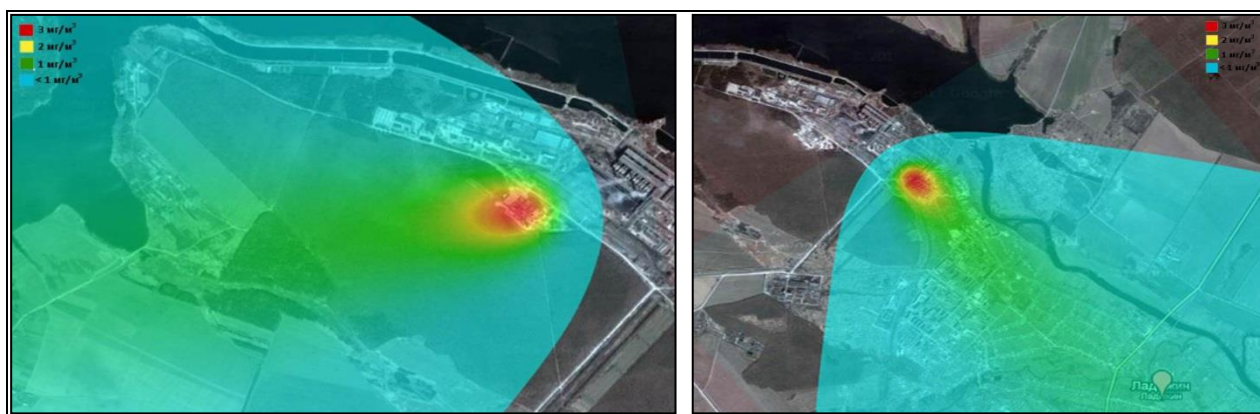


Рисунок 4.7 — Зона розсіювання ЗР від Ладжинської ТЕС: а) при північно-східному напрямку вітру; б) у напрямку м. Ладжин

На рисунку 4.8 відображається зона розсіювання ЗР від Запорізької ТЕС (при гіпотетичних параметрах викиду).

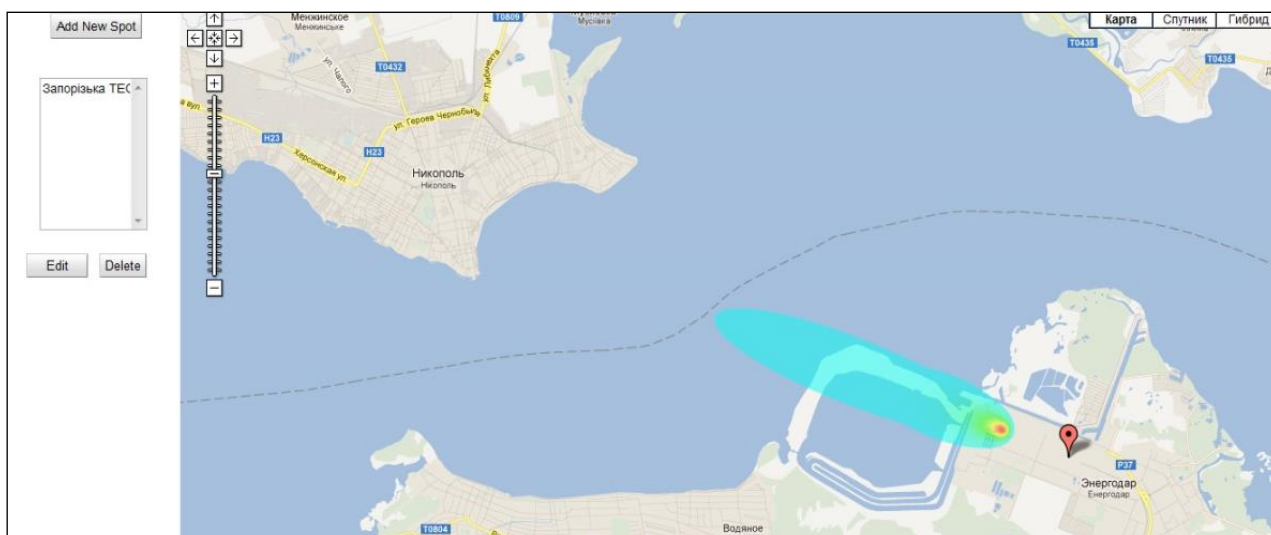


Рисунок 4.8 — Зона розсіювання ЗР від Запорізької ТЕС

Веб-інтерфейс дозволяє реалізувати побудову декількох зон розсіювання ЗР від різних джерел викидів одночасно (рис. 4.9).



Рисунок 4.9 — Зони розсіювання ЗР від двох різних джерел викидів

Розроблений інструментарій є корисним під час планування траєкторії руху квадрокоптера для збирання даних вимірювань і подальшої їх обробки за методом оцінювання параметрів стаціонарного джерела викиду на основі математичної моделі Гаусса (див. підрозд. 2.2).

4.3 Розробка веб-сервісу ранжування параметрів викидів від стаціонарних джерел з використанням нечітких експертних оцінок

Для автоматизації процесу ранжування усіх джерел забруднення створено спеціальний веб-сервіс.

При розробці було використано Java Framework Google Web Toolkit [20], що використовує Google Maps та інтерфейси із формами введення параметрів джерел викидів та стану навколишнього середовища на клієнтській стороні, а обробка, зберігання та розрахунок за допомогою нечіткої логіки JFuzzyLogic виконується на серверній стороні із використанням Google App Engine, UML-модель компонентів такого веб-сервісу показано на (рис. 4.10).

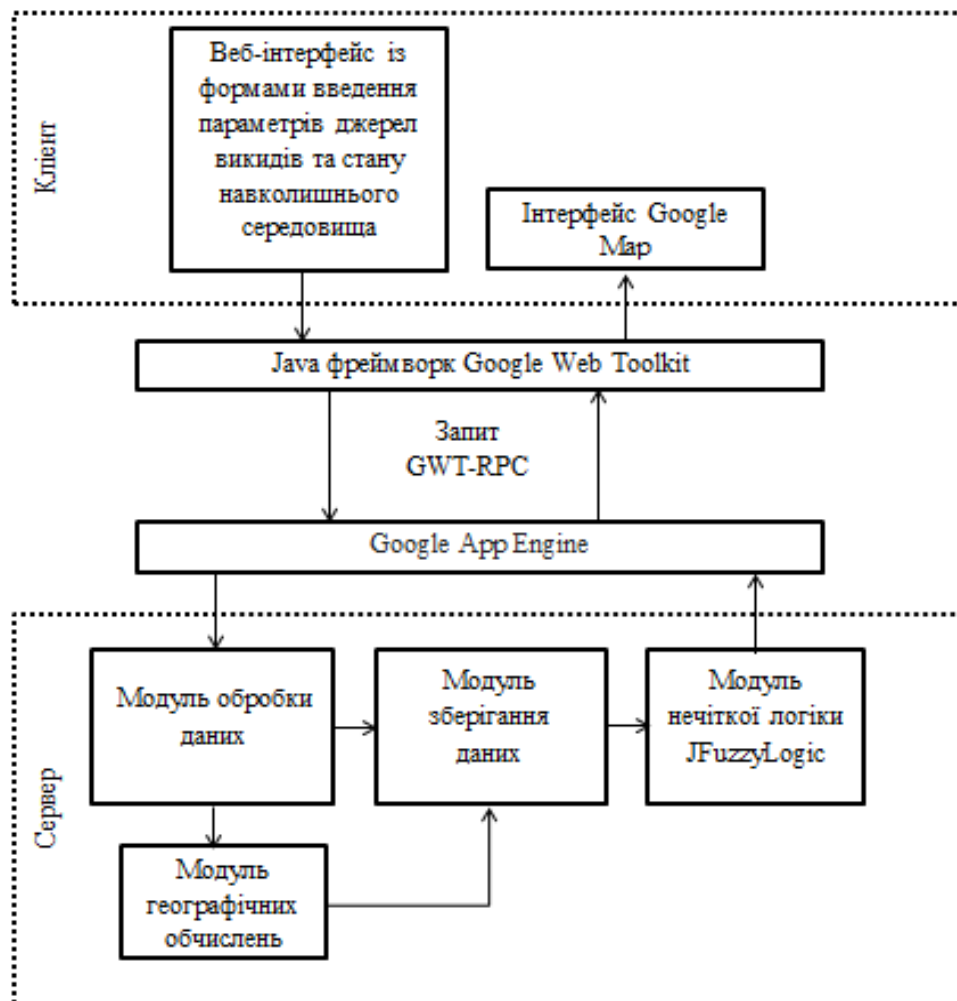


Рисунок 4.10 — UML-модель компонентів веб-сервісу

Інтерфейс представляє собою елементи керування з використанням сервісу Google Maps (рис. 4.11).

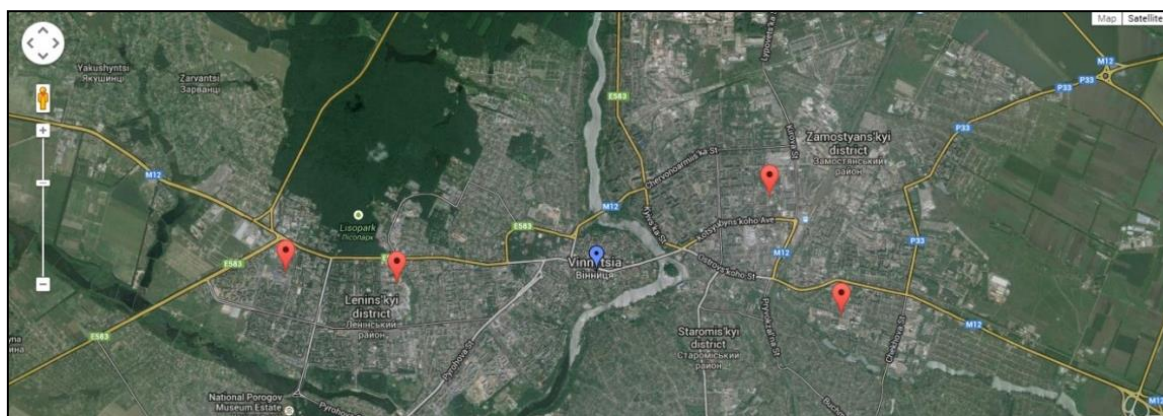


Рисунок 4.11 — Візуальний інтерфейс веб-сервісу із відображенням джерел викидів

Точки вимірювання концентрації та точка стаціонарного джерела викидів задаються на мапі за допомогою стандартних маркерів: маленький синій (1) та великий червоний (2) маркери, відповідно (рис. 4.12).

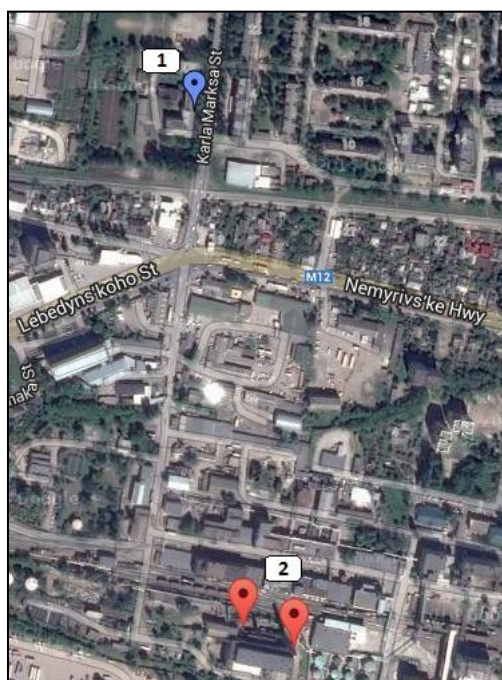


Рисунок 4.12 — Маркери точок вимірювання концентрації біля джерел викидів під час виконання дослідження у м. Вінниця на замовлення Держекоінспекції

Значення факторів, що описують географічне положення точки вимірювання концентрації, швидкості на напрямку вітру та значення факторів, що описують технічні характеристики джерела викиду, задаються за допомогою діалогових вікон для місця спостереження та для кожного із джерел викидів окремо.

Після введення всіх значень параметрів виконується автоматичний розрахунок та візуалізація результату на карті Google Maps (рис. 4.13).

Показник можливості забруднення (M), отриманий в результаті аналізу бази експертних знань та роботи нечіткої логіки, є безрозмірною величиною, що змінюється в діапазоні $0 < M < 1$. При збільшенні можливості забруднення джерелом викиду, M наближається до значення 1.

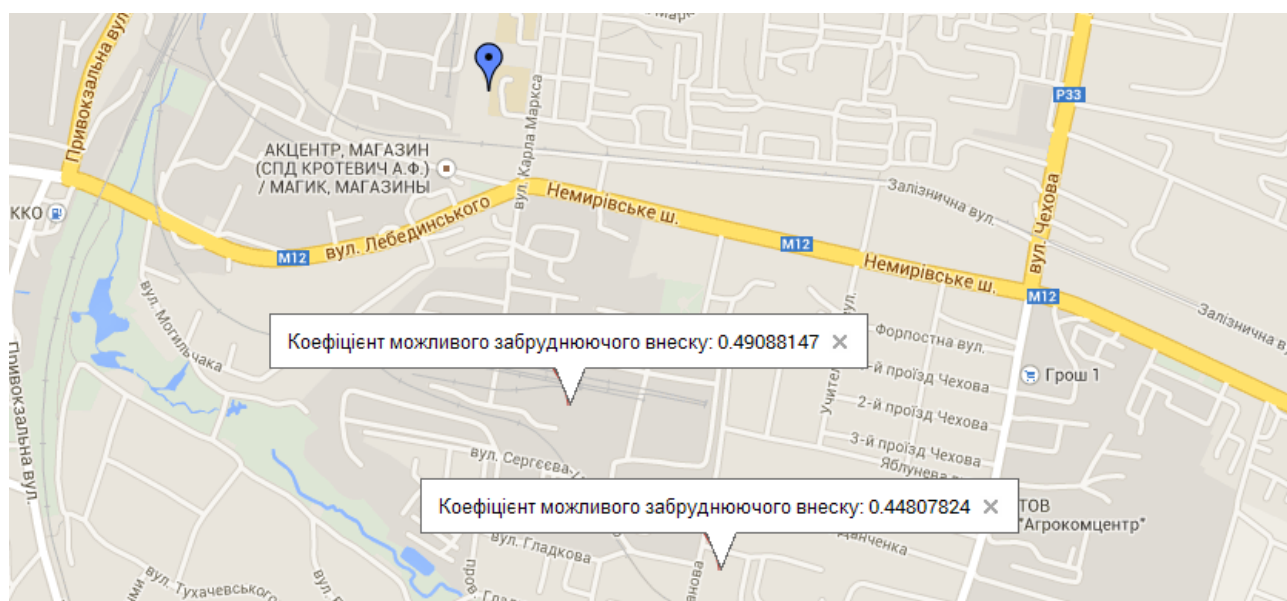


Рисунок 4.13 — Візуалізація результату автоматичного розрахунку на карті Google Maps

Приведена вище розробка є вільно доступною в Інтернеті (<http://source-identification.appspot.com>) і широко використовуються у навчальному процесі, та дозволяє науковцям, фахівцям і студентам використовувати цей засіб для наукових досліджень та у навчальних цілях.

Розроблений метод та програмне забезпечення ранжування параметрів викидів від стаціонарних джерел з використанням нечітких експертних оцінок викликали зацікавлення та були передані до Департаменту енергетики, транспорту та зв'язку Вінницької міської ради, що підтверджується актом впровадження.

Також даний метод гарно себе зарекомендував при проведенні експериментально-дослідницьких робіт біля поста Вінницького обласного центру з гідрометеорології у м. Вінниці на вул. Немирівське шосе, на замовлення Державної екологічної інспекції у Вінницькій області, про що отримано акт впровадження.

4.4 Оцінювання параметрів викидів пересувних джерел викидів та моделювання стану забруднення атмосферного повітря м. Вінниці за допомогою розробленої інформаційно-вимірювальної системи для оперативного моніторингу

За запропонованою у пункті 3.2.1 методикою було створено ІВС, описану у п. 3.2.3, для оперативного моніторингу стану забруднення атмосферного повітря та проведено її випробування на автодорогах м. Вінниці.

Маршрут руху ТЗ з ІВС у місті був обраний таким чином, щоб він проходив біля найбільш вразливих до забруднення місць. Таким чином, було обрано дві ділянки автомобільних шляхів загальної протяжністю 7 км. Метеоумови на час проведення експерименту: вітер північно-західного напрямку, до 2-3 м/с, опади відсутні. Під час експерименту за допомогою відеореєстратора фіксувалась кількість автомобілів на магістралях, що дозволило врахувати вплив автотранспорту на ступінь забруднення атмосферного повітря.

Дані моніторингу були інтерпольовані за логарифмічним методом (рис. 4.14а) та методом кригінгу (рис. 4.14б) [42].

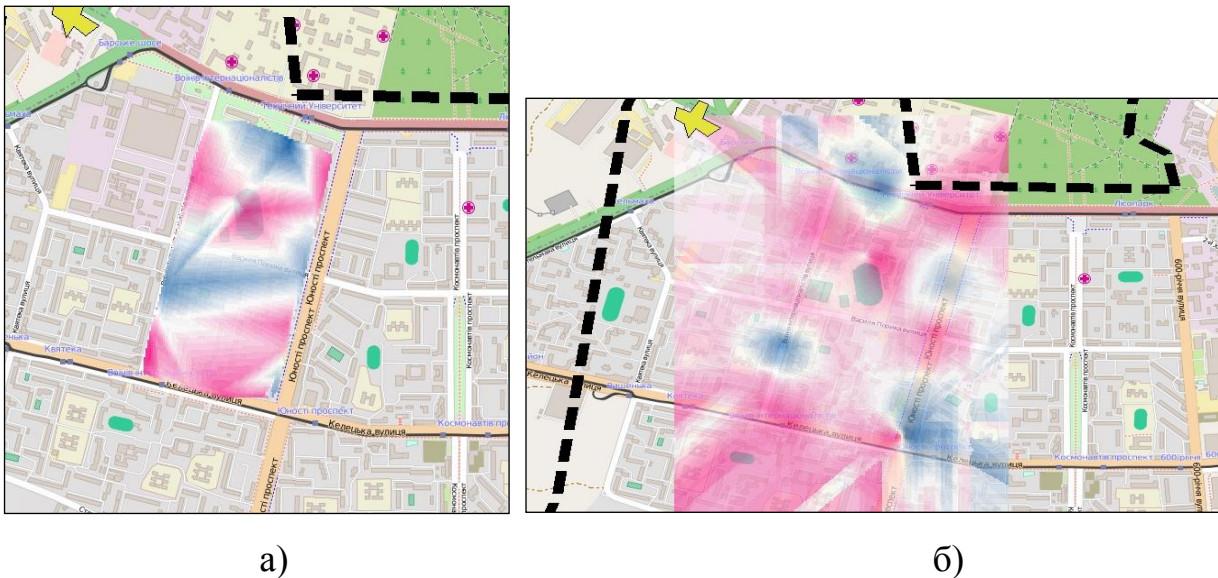


Рисунок 4.14 — Інтерполяція даних моніторингу навколо території ВНТУ (вул. Барське шосе, вул. Інтернаціоналістів, вул. Келецька): а) логарифмічним методом; б) моніторингу методом кригінгу

За результатами обробки отриманих даних експериментів рекомендуються такі заходи: збільшити кількість вхідних даних до системи; розбивати загальний шлях L на більшу кількість відрізків L_j ; підвищити синхронізацію взаємодії датчиків — для реалізації визначеної рекомендації пропонується намагатись, щоб коефіцієнт кратності інтервалу роботи датчиків ν різного типу максимально наближався до цілого числа.

Час спрацювання датчиків CO та GPS визначається: $\nu = \frac{T_u}{T_W}$, де T_u — час спрацювання датчика CO; T_W — час спрацювання датчика GPS.

Для другого маршруту було побудовано регресійну залежність між даними моніторингу F_{avg} та R'_j з використанням ГІС-технологій та статистичних методів за запропонованою технологією, зокрема, було обчислено F_{avg} та R'_j , проведено кореляційний аналіз залежності концентрації поширення CO F_{avg} від R'_j для усього маршруту (табл. 4.2).

Значення коефіцієнта кореляції є більшим 0,9. Отже, можна говорити про те, що має місце сильний стохастичний взаємозв'язок між концентрацією поширення СО та приведеною кількістю ТЗ на вулицях міста. Наявність кореляції дозволяє побудувати залежність між F_{avg} від R'_j , яка дозволить прогнозувати забруднення повітря у місті.

Таблиця 4.2

Залежність концентрації поширення СО від приведеної кількості транспортних засобів на ділянках другого маршруту

Номер ділянки j	Середня концентрація СО F_{avg}	Приведена кількість автомобілів R'_j
1	196	32
2	156	22
3	133	12
4	195	28
5	261	48
6	174	21
7	156	18
8	125	18
9	160	25
10	106	15
11	163	23
12	199	27
13	134	18
Кореляція	0,93	

Наявність кореляції дозволяє побудувати залежність між F_{avg} та R'_j , яка дозволить прогнозувати забруднення повітря у місті. Проведемо ідентифікацію цієї залежності трьома видами регресії: лінійною (рис. 4.15), логарифмічною та експоненціальною.

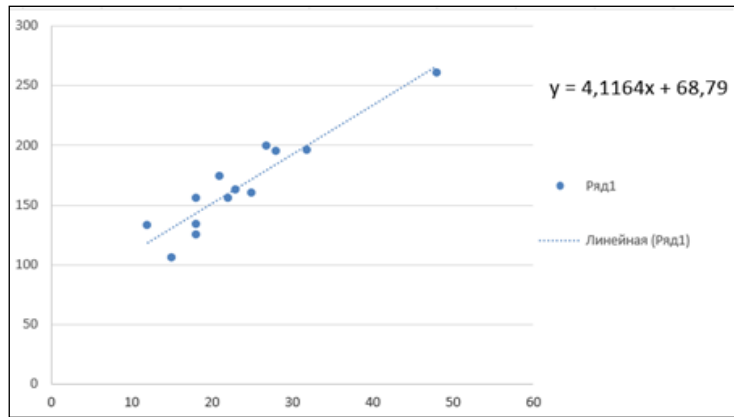


Рисунок 4.15 — Графік лінійної залежності між F_{avg} та R'_j

Визначаємо похибки лінійної (рис. 4.16), логарифмічної та експоненціальної залежностей (табл. 4.3).

Y2	DY2
200,515	4,5148
159,351	3,3508
118,187	14,8132
184,049	10,9508
266,377	5,3772
155,234	18,7656
142,885	13,1148
142,885	17,8852
171,7	11,7
130,536	24,536
163,467	0,4672
179,933	19,0672
142,885	8,8852
	153,428
Похибка2	7,10973

Рисунок 4.16 — Похибка лінійної залежності

Таблиця 4.3

Значення отриманих похибок

	Похибка лінійної залежності	Похибка логарифмічної залежності	Похибка експоненціальної залежності
Значення, %	7,1	8,2	7,8

Проаналізувавши похибки, отримані експериментальним шляхом, можна зробити висновок, що найкраще прогнозування забруднення повітря міста можна здійснити за допомогою лінійної залежності між F_{avg} від R'_j .

Похибка в цій залежності є меншою, ніж у логарифмічній та експоненціальній залежностях.

У процесі випробування створеної ІВС було виявлено, що сенсори аналізу стану атмосферного повітря краще розташовувати на лівій частині транспортного засобу, тобто ближче до осьової лінії автошляху.

Отже, тепер стає можливим програвання сценаріїв для прийняття рішень з оптимізації транспортної інфраструктури, спрямованих на зниження таких викидів, з урахуванням різних типів транспорту, рельєфу, особливостей регулювання цього потоку технічними засобами та дорожніми знаками тощо.

4.5 Визначення ефективності запропонованої інформаційної технології

Визначення ефективності оцінювання параметрів викидів запропоновано здійснювати на основі такого критерію:

$$E = \omega_1 K_M + \omega_2 K_E, \quad \omega_1 + \omega_2 = 1, \quad (4.1)$$

де K_M і K_E — коефіцієнти ефективності етапу проведення вимірювань та етапу оцінювання параметрів викидів, відповідно; ω_1 та ω_2 — вагові коефіцієнти цих етапів в загальній ефективності усієї інформаційної технології:

$$K_M = \sqrt[3]{\omega_{11} T_{M1} \cdot \omega_{12} T_{M2} \cdot \omega_{13} D_M}, \quad K_E = \sqrt[3]{\omega_{21} T_{E1} \cdot \omega_{22} T_{E2} \cdot \omega_{23} D_E}, \quad (4.2)$$

де ω_{ij} — вагові коефіцієнти окремих характеристик етапів технології оцінювання, $\sum_{ij} \omega_{ij} = 1$;

T_{M1}, T_{E1} — величини, які характеризують сумарну тривалість підготовчих операцій на етапі проведення вимірювань та на етапі оцінювання, відповідно:

$T_M = \frac{1}{t_{m1}}$, де t_{m1} — час, витрачений підготовчі операції на етапі проведення вимірювань, год., $T_{E1} = \frac{1}{t_{e1}}$, де t_{e1} — час, витрачений на підготовчі операції на етапі оцінювання, год.;

T_{M2}, T_{E2} — величини, які характеризують тривалість проведення вимірювань та обробки даних під час оцінювання, відповідно: $T_{M2} = \frac{1}{t_{m2}}$, де t_{m2} — час, витрачений на проведення вимірювання, год., $T_{E2} = \frac{1}{t_{e2}}$, де t_{e2} — час, витрачений на обробки даних під час оцінювання, год.;

D_M, D_E — достовірність зібраних даних вимірювань та достовірність отриманих результатів оцінювання, відповідно.

Достовірність вибірки зібраних даних вимірювання по відношенню до генеральної вибірки (зрештою можна отримати такі технічні характеристики стаціонарного джерела викиду, як висота труби, діаметр устя тощо) пропонується розраховувати відомим способом [60], а саме за допомогою t -критерія Стьюдента.

Запропонована інформаційна технологія дозволяє швидше збирати дані моніторингу, оскільки передбачається встановлення ІВС на транспортні, у т.ч. літальні, засоби, та швидше обробляти дані за рахунок автоматизації процесу експертного оцінювання з використанням веб-сервісів і геопорталів та вже розв'язаних рівнянь зворотної задачі моделювання розсіювання ЗР в атмосферному повітрі за моделлю Гаусса. Але головною перевагою розробленої інформаційної технології є підвищення достовірності оцінювання параметрів джерел викидів: для стаціонарних джерел — по-перше, у разі проведення спостережень екоінспектором — використання ІВС, встановленої на БПЛА, дозволяє провести моніторинг атмосферного повітря на висоті, на якій пріоритетним забруднювачем є саме задане ДВ, параметри якого ідентифікуються, на відміну від даних, які збираються традиційним шляхом у

приземному шарі атмосферного повітря (0,5-2 м) і на які впливають і пересувні ДВ, і інші стаціонарні ДВ, а по-друге, у разі використання даних державної системи моніторингу атмосферного повітря — запропоновані методи математичної обробки даних дозволяють більш точно врахувати вплив кожного потенційного ДВ саме на місце розташування заданого поста спостережень, а отже, більш точно їх ранжувати за цим впливом. Для пересувних ДВ достовірність вимірювання та аналізу підвищується за рахунок комплексного і синхронного збирання даних і про стан атмосферного повітря, а про параметри транспортного потоку з використанням ІВС, встановленої на транспортному засобі, який рухається у цьому потоці (традиційно такі спостереження здійснюються зі стаціонарних ІВС).

4.6 Висновки до розділу 4

1. Запропоновано архітектуру інформаційної технології моделювання викидів стаціонарних та пересувних джерел в атмосферне повітря за даними їх оперативного моніторингу.

2. Останніми роками веб-сервіси та технології набувають все більшої популярності та затребуваності. З урахуванням цього та відповідно до запропонованих методів оцінювання параметрів викидів речовин від стаціонарних джерел здобувачем розроблено наступні веб-сервіси:

- веб-сервіс на мові Java для оцінювання параметрів джерел понаднормативних викидів на основі нечіткої бази знань з візуалізацією результатів у Google Maps, який дозволяє уточнювати вхідні дані для застосування розробленої інформаційної технології (<http://source-identification.appspot.com>).
- веб-сервіс розрахунку поширення забруднюючих речовин в атмосферному повітрі від стаціонарних джерел викиду для уточнення вхідних даних і застосування розробленої інформаційної технології з візуалізацією результатів розрахунків у Google Maps.

3. Запропоновані веб-сервіси вільно доступні в Інтернеті, що дозволяє науковцям, викладачам, фахівцям та студентам використовувати ці засоби для наукових досліджень та у навчальних цілях.

4. Запропоновано вираз для обчислення ефективності розробленої інформаційної технології.

5. Для проведення дослідження стану атмосферного повітря у місті, із використанням запропонованої у розділі 3 інформаційно-вимірювальної системи, промодельовано стан забруднення атмосферного повітря м. Вінниці. Кореляційний аналіз залежності концентрації поширення СО від приведеної кількості транспортних засобів, показав значення більшим за 0,9, що говорить про високу адекватність розробленої системи і загалом придатність її використання для наступних досліджень.

6. Результати роботи, які мають цінність для екологічного контролю забруднення атмосферного повітря, впроваджені в Державній екологічній інспекції у Вінницькій області, що підтверджується відповідним актом. Результати роботи, які є цінними для екологічного контролю викидів, впроваджені в Департаменті енергетики, транспорту та зв'язку Вінницької міської ради відповідно до однієї із задач Стратегії розвитку м. Вінниці до 2020 р.: «Енергоефективність та захист навколишнього середовища», що підтверджується відповідним актом.

7. Результати роботи використовуються у навчальному процесі кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки зі спеціальності 122 — «Комп'ютерні науки та інформаційні технології» (спеціалізація «Комп'ютерний еколого-економічний моніторинг») у дисциплінах: «Інформаційні технології моніторингу та аналізу стану складних систем», «Моделювання еколого-економічних систем», «ГІС в задачах комп'ютерного моніторингу», «Технології створення веб-систем», що підтверджується актом впровадження від Вінницького національного технічного університету.

Матеріали розділу опубліковано у роботах [28, 29, 42, 46, 49].

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково-прикладну задачу підвищення точності та ефективності оцінювання параметрів викидів забруднюючих речовин за даними оперативного моніторингу шляхом створення інформаційної технології, що дозволяє підвищити ефективність системи екологічного контролю стаціонарних та пересувних джерел цих викидів.

1. Проведений аналіз показав, що існує технологічний розрив між математичними моделями, які досить детально описують процеси розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері та засобами для вимірювання та оцінювання вхідних для моделювання даних, який нівелює високу адекватність цих моделей. Найбільш проблемною є ситуація, коли відсутні достовірні дані про параметри самих джерел викидів, особливо в задачах пошуку незареєстрованих джерел викидів, задачах громадського екологічного контролю та ін.

2. Для умов, коли необхідно оцінити параметри стаціонарних джерел викидів та визначити серед них ті, що мають найбільший забруднюючий вплив, запропоновано метод оцінювання параметрів викидів стаціонарних джерел, в першу чергу потенційно понаднормативних, за нечіткими експертними оцінками з урахуванням чутливості якості атмосферного повітря у певному місці спостереження від апріорної інформації про координати, метеоумови та проектно-технічні характеристики кожного можливого джерела викидів, формалізованих у нечіткій базі знань, що дозволяє підвищити точність та ефективність такого оцінювання. Задача оцінювання просторових та проектно-технічних параметрів конкретного стаціонарного джерела викиду може бути реалізована за допомогою запропонованого методу за даними оперативного моніторингу зони розсіювання за допомогою БПЛА за рахунок розв'язання зворотної задачі розсіювання на основі моделі Гаусса, що дозволяє підвищити

точність оцінювання параметрів цього джерела за мінімальної кількості даних спостережень.

3. Викиди забруднюючих речовин від пересувних джерел (наприклад, автотранспорт) представляють собою не меншу загрозу для довкілля. Для оцінювання викидів автотранспорту можливо використовувати розроблений метод обробки даних моніторингу параметрів пересувних джерел викидів, з урахуванням їх просторово-часової неоднорідності, параметрів транспортної мережі та метеопараметрів з використанням нечіткої бази знань кількості транспортних засобів на кожній ділянці вулиці, що дозволяє більш точно отримати залежність між параметрами транспортних засобів і станом забруднення атмосферного повітря.

4. На сьогоднішній день існує досить велика кількість інформаційно-вимірювальних систем, що відрізняються різною складністю, обчислювальною потужністю, вартістю тощо. Запропоновано методику побудови сучасної ІВС із моделлю, основою на нечіткій базі знань, яка використовується для оцінювання параметрів моделі забруднення атмосферного повітря автотранспортом, що дозволяє підвищити точність та ефективність цього оцінювання за рахунок комплексної обробки таких параметрів. Відповідно до вищевказаного також вдалось удосконалити схему та методику побудови універсальної інформаційно-вимірювальної мобільної системи для оперативного моніторингу стану забруднення атмосферного повітря з використанням мобільних пристроїв, встановлених на транспортні засоби, яку можна швидко адаптувати під задані умови та показники стану довкілля і фактори його забруднення.

5. Останніми роками веб-сервіси та технології набувають все більшої популярності та затребуваності. З урахуванням цього та відповідно до запропонованих методів оцінювання параметрів викидів речовин від стаціонарних джерел здобувачем розроблено наступні веб-сервіси:

- веб-сервіс на мові Java для оцінювання параметрів джерел понаднормативних викидів на основі нечіткої бази знань з візуалізацією

результатів у Google Maps, який дозволяє уточнювати вхідні дані для застосування розробленої інформаційної технології (<http://source-identification.appspot.com>);

- веб-сервіс розрахунку поширення забруднюючих речовин в атмосферному повітрі від стаціонарних джерел викиду для уточнення вхідних даних і застосування розробленої інформаційної технології з візуалізацією результатів розрахунків у Google Maps.

Запропоновані веб-сервіси вільно доступні в Інтернеті, що дозволяє науковцям, викладачам, фахівцям та студентам використовувати ці засоби для наукових досліджень та у навчальних цілях.

6. Запропоновано інформаційну технологію оцінювання параметрів стаціонарних та пересувних джерел викидів речовин за даними оперативного моніторингу забруднення атмосферного повітря, яка поєднує усі запропоновані в роботі методи, інформаційні системи та веб-сервіси і дозволяє підвищити точність та ефективність визначення параметрів викидів із різних джерел.

7. Для проведення дослідження стану атмосферного повітря у місті з використанням розробленої автором інформаційно-вимірювальної системи промодельовано стан забруднення атмосферного повітря м. Вінниці. Кореляційний аналіз залежності концентрації поширення СО від приведеної кількості транспортних засобів, показав значення коефіцієнту кореляції, більше за 0,9, що говорить про високу адекватність розробленої системи.

8. Результати роботи, які мають цінність для екологічного контролю забруднення атмосферного повітря, впроваджені в Державній екологічній інспекції у Вінницькій області, що підтверджується відповідним актом. Результати роботи, які є цінними для екологічного контролю викидів, впроваджені в Департаменті енергетики, транспорту та зв'язку Вінницької міської ради відповідно до однієї із задач Стратегії розвитку м. Вінниці до 2020 р.: «Енергоефективність та захист навколишнього середовища», що підтверджується відповідним актом.

9. Результати роботи використовуються у навчальному процесі кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки зі спеціальності 122 — «Комп'ютерні науки та інформаційні технології» (спеціалізація «Комп'ютерний еколого-економічний моніторинг») у дисциплінах: «Інформаційні технології моніторингу та аналізу стану складних систем», «Моделювання еколого-економічних систем», «ГІС в задачах комп'ютерного моніторингу», «Технології створення веб-систем», що підтверджується актом впровадження від Вінницького національного технічного університету.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Meghea I., Mihai M., Demeter T. Gauss dispersion model applied to multiple punctual sources from an industrial platform //International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & Mining Ecology Management. — 2013. — Vol. 1. — P. 497.
2. Chaudhryl V. Arduair: Air Quality Monitoring // International Journal of Environmental Engineering and Management. — 2013. — P. 639-646.
3. Juan S. et al. An Industriad air pollution dispersion system based on Gauss dispersion model //Environmental Pollution & Control. — 2005. — Vol. 7. — P. 11.
4. Zannetti P. Air pollution modeling: theories, computational methods and available software. — Springer Science & Business Media, 2013. — P. 425.
5. Turner D. B. Workbook of atmospheric dispersion estimates: an introduction to dispersion modeling. — CRC press, 1994. — P. 192.
6. Jorgensen B. The theory of dispersion models. — CRC Press, 1997. — P. 237.
7. Pasquill F. Atmospheric dispersion parameters in gaussian plume modeling: [part II. Possible Requirements for Change in the Turner Workbook Values] / F. Pasquill // EPA-600/4-76-030b, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina 27711. — 1976. — P. 237.
8. Hurley P. Yearlong, high-resolution, urban airshed modeling: verification of TAPM predictions of smog and particles in Melbourne, Australia / Hurley P. Yearlong, Manins P, Lee S., Boyle R., Ng Y.L., Dewundege P. // Atmos Environ, 2003. №37:1899 — P. 910-916.
9. Hefeng Zhanga. Air pollution and control action in Beijing / Hefeng Zhanga, Shuxiao Wangb, Jiming Haob, Xinming Wangc, Shulan Wanga, Fahe Chaia, Mei Lid // Journal of Cleaner Production. — Volume 112. — Part 2. — January 2016. — Pages 1519–1527. doi:10.1016/j.jclepro.2015.04.092.
10. Álvaro Gómez-Losadaa. Characterization of background air pollution exposure in urban environments using a metric based on Hidden Markov Models / Álvaro Gómez-Losadaa, José Carlos M. Piresb, Rafael Pino-Mejíasa // Atmospheric

Environment — Volume 127. — Pages 255–261. — Doi:10.1016/j.atmosenv.2015.12.046.

11. Douglas W. Dockery. Air pollution and daily mortality: Associations with particulates and acid aerosols / Douglas W. Dockery, Joel Schwartz, John D. Spengler — Doi:10.1016/S0013-9351(05)80042-8.

12. Nickovic S. A model for prediction of desert dust cycle in the atmosphere. / Nickovic S., Kallos G., Papadopoulos A., Kakaliagou O. // J Geoph Res, 2001. — №106 — P. 18113–18129.

13. Eder B. An operational evaluation of the Eta-CMAQ air quality forecast model / Eder B., Kang D.W., Mathur R., Yu S.C., Schere K. // Atmos Environ, 2006. — 40(26) — P. 4894–4905

14. Mokin B. Vitalii. Information measuring systems with mobile devices for identification air pollution parameters caused by transport / Georgii V. Goriachev, Dmytro Y. Dziuniak, Konstantin O. Bondaletov, Serhii O. Zhukov, Mariusz Duk, Saltanat Sailarbek // Proc. SPIE 10031, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments — 2016. — 1003128 (September 28, 2016). — doi:10.1117/12.2249202.

15. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы — Ленинград: Гидрометеиздат, 1985. — 272 с.

16. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий ОНД-86. — Ленинград, Гидрометеиздат, 1997 — 68 с.

17. Громова О. В. Аналіз моделей поширення речовин в атмосфері від стаціонарних джерел. — Наук. праці УкрНДГМІ, 2004. — № 253. — С. 173-181.

18. Рогожин О. Г. Інформаційний інструментарій оцінки екологічних ресурсів в Україні / О. Г. Рогожин, Є. В. Хлобистов, Є. О. Яковлев // Математичне моделювання в економіці — К., 2015. — №3. — С. 13-26.

19. Замай С.С. Модели оценки и прогноза загрязнения атмосферы промышленными выбросами в информационно-аналитической системе природоохранных служб крупного города: Учеб. пособие / С.С. Замай, О.Э.

Якубайлик. — Красноярск: Красноярский государственный университет, 1998. — 109 с.

20. Нотон П. Полный справочник по Java / П. Нотон, Г Шилдт. — К.: Диалектика, 1997. — 268 с.

21. Гладкий А. В. Методи числового моніторингу екологічних процесів: Навч. посіб. / А. В. Гладкий, В. В. Скопец. — К.: ІВЦ “Видаництво “Політехніка”, ТОВ “Фірма “Періодика”, 2005. — 152 с.

22. Владимиров А. М. Охрана окружающей среды. — Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1991. — 480 с.

23. Автотранспортные потоки и окружающая среда: Учеб. пос. для вузов / В. Н. Луканин, А. П. Буслаев, Ю. В. Трофименко, М. В. Яшина. — М.: ИНФРА-М., 1998. — 408 с.

24. Мокін В. Б. Інформаційно-вимірювальні системи для ідентифікації параметрів моделі забруднення атмосферного повітря автотранспортом з використанням мобільних пристроїв та фотометричних, у т.ч. лазерних, пристроїв і систем / Г. В. Горячев, Д. Ю. Дзюняк, К. О. Бондалетов // Зб. тез доп. III Міжнародної конференції “Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2015)”, м. Вінниця, 27-29 жовтня 2015 р. — Вінниця : ВНТУ, 2015. — С. 130-132.

25. Бондалетов К. О. Практична реалізація сучасної мобільної системи веб-моніторингу та експрес-аналізу стану повітряного середовища [Електронний ресурс] / К. О. Бондалетов, В. Б. Мокін, Г. В. Горячев, Д. Ю. Дзюняк // XLIV регіональна науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області: тези доповіді — Вінниця, 2015. — Режим доступу: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2015/ineek/txt/bondaletov.pdf>.

26. Боцян В. В. Моніторинг стану забруднення атмосферного повітря міста оксидом вуглецю з використанням мобільної аналітичної інформаційно-вимірювальної системи / В. В. Боцян, В. Б. Мокін // Молодь в технічних науках:

дослідження, проблеми, перспективи : матеріали Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції, 23-26 квітня 2015 року / ВНТУ. — Вінниця, 2015. — С. 31-33.

27. Мокін В. Б. Інформаційні технології автоматизації обробки параметрів геоінформаційних систем з геометричними мережами : монографія / В. Б. Мокін, В. Г. Сторчак, Є. М. Крижановський, О. В. Гавенко, В. Ю. Балачук. — Вінниця : ВНТУ, 2014. — 196 с.

28. Горячев Г. В. Ідентифікація джерел понаднормативних викидів на основі нечітких баз знань за допомогою веб-сервісів / Г. В. Горячев, Д. Ю. Дзюняк // XII Міжнародна конференція «Контроль і управління в складних системах»: тези доповіді — Вінниця: ВНТУ, 2014. — С. 66-67.

29. Мокін В. Б. Технологія оперативного екологічного моніторингу стану повітряного середовища та пересувних джерел його забруднення / В. Б. Мокін, Д. Ю. Дзюняк, К. О. Бондалетов // XIV Міжнародна науково-практична конференція: «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях»: 5-9 жовтня 2015 р. — К., 2015. — С. 126-130.

30. Mendez D. P-Sense: A participatory sensing system for air pollution monitoring and control / D. Mendez, A. J. Perez, M. A. Labrador, J. J. Marron // Pervasive Computing and Communications Workshops. 2011. — P. 344-347.

31. Pang L.X. On detection of emerging anomalous traffic patterns using GPS data / Pang L.X., Chawla S., Liu W., Zheng Y // Data and Knowledge Engineering. — Volume 87, September 2013, Pages 357-373. — DOI: 10.1016/j.datak.2013.05.002.

32. Remote sensing detection of atmospheric pollutants using Lidar, Sodar and correlation with air quality data in an industrial area / Juliana Steffens; Renata F. // Proc. SPIE 8182, Lidar Technologies, Techniques, and Measurements for Atmospheric Remote Sensing VII, 81820Z (September 30, 2011). — DOI: 10.1117/12.897915.

33. Mokin V. Automation of measurement processing of substance concentration in water by photometric methods in monitoring and control system of a state /

V., M. Botsula, A. Yascholt, W. Wojcik, A. Burlibay // Proc. SPIE, Volume 8698, Optical Fibers and Their Applications 2012, 86980I (January 11, 2013). — DOI:10.1117/12.2019739. — Режим доступу:

<http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=1557449>.

34. Моніторинг довкілля : підручник / [Боголюбов В. М., Клименко М. О., Мокін В. Б. та ін.] ; за ред. В.М. Боголюбова і Т.А. Сафранова. — Херсон : Грінь Д.С., 2011. — 530 с.

35. Мокін В. Б. Інформаційно-вимірювальна система оперативного екологічного моніторингу з використанням мобільних пристроїв / В. Б. Мокін, К. О. Бондалетов, Г. В. Горячев, Д. Ю. Дзюняк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — Вінниця. — 2015. — № 5 (122). — С. 116-122.

36. Мокін В. Б. Аналіз впливу капітального ремонту доріг на стан атмосферного повітря з використанням геоінформаційних технологій на прикладі м. Вінниці / В. Б. Мокін, Ю. С. Семчук, О. П. Сорочан, О. В. Риженко // Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць. — К., 2011. — Вип. 7. — С. 5–15.

37. Джигирей В. С. Основи екології та охорона навколишнього природного середовища / В. С. Джигирей, В. М. Сторожук, Р. А. Яцюк // Екологія та охорона природи. — Львів: Афіша, 2000. — 272 с.

38. Al-Dahoud A. Monitoring. Metropolitan City Air-quality Using Wireless Sensor Nodes based on ARDUINO and XBEE [Електронний ресурс] / A. Al-Dahoud, M. Fezari, I. Jannoud, T. AL-Rawashdeh. — 2015 — Режим доступу: <http://www.inase.org/library/2015/vienna/bypaper/CSSCC/CSSCC-17.pdf>.

39. V. Chaudhry. Arduair: Air Quality Monitoring // International Journal of Environmental Engineering and Management. 2013. — P. 639-646.

40. Pelliccioni A. Air pollution model and neural network: an integrated modelling system / A. Pelliccioni, T. Tirabassi // IL NUOVO CIMENTO. — May, 2008. — P. 22-23.

41. Peter F. Nelson. Using computer modelling to simulate atmospheric movement and potential risk of pollutants from post-combustion carbon capture projects / Peter F. Nelson, Ye Wo // *Energy procedia*. — November, 2014. — P. 11-14.
42. Мокін В. Б. Метод та технологія моніторингу стану атмосферного повітря за допомогою універсальної інформаційно-вимірювальної системи з використанням мобільних пристроїв / В. Б. Мокін, Д. Ю. Дзюняк, К. О. Бондалетов, В. В. Олійник // *Наукові праці Вінницького національного технічного університету [Електронний ресурс]*. — 2015. — № 4. — Режим доступу: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/download/456/454>
43. Горячев Г. В. Моделювання поширення забруднюючих речовин від викидів стаціонарних джерел найбільших ТЕС України [Електронний ресурс] / Г. В. Горячев, Д. Ю. Дзюняк // *XLI Регіональна науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області: тези* — Вінниця, 2012. — Режим доступу: conf.vntu.edu.ua/allvntu/2012/ineek/txt/dzunya.pdf
44. Горячев Г. В. Аналіз методів ідентифікації стаціонарних джерел викидів [Електронний ресурс] / Г. В. Горячев, Д. Ю. Дзюняк // *XLIII Регіональна науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області: тези доповіді* — Вінниця, 2014. — Режим доступу: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2014/ineek/txt/Dziuniak.pdf>.
45. Горячев Г. В. Метод визначення стаціонарних джерел понаднормативних викидів на основі нечітких баз знань / Г. В. Горячев, О. М. Козачко, Д. Ю. Дзюняк // *Екологічна безпека*. — Вінниця, 2012. — № 2/2012 (14). — С. 59-61.
46. Горячев Г. В. Ідентифікація джерел понаднормативних викидів на основі нечітких баз знань за допомогою веб-сервісів. / Г. В. Горячев, Д. Ю. Дзюняк //

Вісник Житомирського державного технологічного університету. — Ж., 2014. — №2/2014. — С. 98-102.

47. Дзюняк Д. Ю. ГІС-модуль розрахунку приземних концентрацій забруднюючих речовин від викидів стаціонарних джерел за методом Гауса / Д. Ю. Дзюняк, Г. В. Горячев. // Свідectво про реєстрацію авторського права на твір №39558. — К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. — Дата реєстрації: 08.09.2011.

48. Дзюняк Д.Ю. Спосіб визначення стаціонарних джерел понаднормативних викидів на основі нечітких баз знань / Г. В. Горячев, Д. Ю. Дзюняк // Патент України на корисну модель №201404006. — К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. — Дата реєстрації: 27.10.2014.

49. Мокін В. Б. Практична реалізація мобільної аналітичної комп'ютерної системи моніторингу стану атмосферного повітря з підсистемою веб-аналізу та виведення даних на геопортал / В. Б. Мокін, Г. В. Горячев, Д. Ю. Дзюняк, К. О. Бондалетов // V Всеукраїнський з'їзд екологів із міжнародною участю: тези доповіді — Вінниця, 2015. — С. 46-51.

50. Мокін В. Б. Мобільна аналітична комп'ютерна система для оперативного моніторингу стану атмосферного повітря міста / В. Б. Мокін, Д. Ю. Дзюняк, К. О. Бондалетов // Молодь в технічних науках: дослідження, проблеми, перспективи: матеріали Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції: тези доповіді — Вінниця, 2015. — С. 23-26.

51. Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища" від 5 травня 1993 року № 3180-ХІІ із змінами і доповненнями, внесеними Законами України протягом 1996-2004 рр. — Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>.

52. Керівні нормативні документи "Якість вимірювань складу та властивостей об'єктів забруднення" / За ред. В. Ф. Осики, М. С. Кравченка. — К.: Мінекобезпека України, 1997. — 662 с.

53. Мокін В. Б. Розробка геоінформаційної системи державного моніторингу довкілля Вінницької області / В. Б. Мокін, М. П. Боцула // Зб. наукових праць

“Національне картографування: стан, проблеми та перспективи розвитку”. — К.: ДНВП «Картографія», 2003. — С. 140–143.

54. Розробка і апробація технології створення геоінформаційної аналітичної системи моніторингу водних ресурсів області (розробка структури електронних паспортів малих річок і водойм, створення запитів для кількісної і якісної оцінки стану річок): Звіт про НДР / В. Б. Мокін, М. П. Боцула / Вінниц. нац. техн. ун-т. — 8411; № ДР 0103U007941.- Інв. № 0203U008583 — К., 2003. — 82 с.

55. Розробка і впровадження геоінформаційної аналітичної системи моніторингу поверхневих водних ресурсів області (паспортизація малих річок і водойм, кількісне та якісне оцінювання їх стану): Звіт про НДР / В. Б. Мокін, М. П. Боцула / Вінниц. нац. техн. ун-т. — 8412; № ДР 0104U007756. — Інв. № 0204U006122. — К., 2004. — 183 с.

56. Зіскінд Ю. Л. Розробка підсистеми „ВИКИДИ” автоматизованої системи контролю Держекоінспекції Мінприроди України / Ю. Л. Зіскінд, В. Б. Мокін, М. П. Боцула, Г. В. Горячев // Вісник Вінницького політехнічного інституту. Спеціальний випуск за матеріалами І-го Всеукраїнського з’їзду екологів. — 2006. — № 5. — С. 132-134.

57. Мокін В. Б. Пакет комп’ютерних програм для розрахунку параметрів викидів при формуванні протоколів вимірювань параметрів газопилового потоку / В. Б. Мокін, Г. В. Горячев, Д. І. Кательніков, С. О. Жуков // Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 17722. — К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. — Дата реєстрації: 28.08.2006.

58. Мокін В. Б. Комп’ютерна програма „Підсистема „Викиди” автоматизованої системи контролю „ЕкоІнспектор” для накопичення, оброблення та аналізування усіх видів викидів в Україні” („Підсистема „Викиди” АСК „ЕкоІнспектор”) / В. Б. Мокін, М. П. Боцула, Г. В. Горячев, І. А. Моргун, В. М. Демчук // Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 18014. — К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. — Дата реєстрації: 20.09.2006.

59. Мокін В. Б. Комп'ютерна програма „Програмний модуль обмеженого доступу користувачів для АСУ “ЕкоІнспектор” / В. Б. Мокін, М. П. Боцула, В. С. Савчук // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 19305. — К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. — Дата реєстрації: 23.01.2007.
60. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие для вузов — М.: Высшая шк., 2003. — 479 с.
61. Мокін В. Б. Комп'ютерна програма „Універсальний редактор розрахункових свіввідношень методик виконання вимірювань параметрів газів, води і ґрунту” / В. Б. Мокін, М. П. Боцула, О. М. Гуменюк // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 19306. — К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. — Дата реєстрації: 23.01.2007.
62. Розробка та впровадження єдиної автоматизованої системи Державної екологічної інспекції та підрозділів аналітичного контролю територіальних органів Мінприроди України із отриманням результатів вимірювань стану забруднення довкілля, викидів, скидів, і відходів, їх накопичення, оброблення та аналізування: Звіт про НДР / В. Б. Мокін, М. П. Боцула та ін. / Вінниц. нац. техн. унт. — 2807 (№ ДР 0105U008854). — Інв. № 0206U005422.— К., 2006.— 195 с.
63. Комп'ютеризовані регіональні системи державного моніторингу поверхневих вод: моделі, алгоритми, програми. Монографія / Під ред. В. Б. Мокіна. — Вінниця: Вид-во ВНТУ “УНІВЕРСУМ-Вінниця”, 2005. — 315 с.
64. КНД 211.2.3.06398 Метрологічне забезпечення. Відбір проб промислових викидів.
65. ГОСТ 17.2.4.0690. Охрана природы. Атмосфера. Методы определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих газов от стационарных источников загрязнения.
66. МВВ № 081/12016105. Викиди газопилові промислові. Методика виконання вимірювань масової концентрації речовини у вигляді суспендованих

твердих частинок в організованих викидах стаціонарних джерел гравіметричним методом.

67. Глушков С. В. Все о карманных ПК. / С. В. Глушков, С. И. Пронский // Харьков: Фолио, 2006. — 351 с.

68. Ivo Salmre. Writing Mobile Code: Essential Software Engineering for Building Mobile Applications: Essential Software Engineering for Building Mobile Applications. — Addison-Wesley Professional, 2005. — 792 p.

69. Васильев А. Microsoft Office 2007. — СПб.: Питер, 2007. — 160 с.

70. Дженнингс Р. Использование Microsoft Office Access 2003. Специальное издание — СПб.: Вильямс, 2004. — 1312 с.

71. Журин А. А. Самоучитель работы на компьютере: Word 2002. Excel 2002. — М.: ЮНВЕС, 2003. — 464 с.

72. Литвин П. Access 2002. Разработка корпоративных приложений. / П. Литвин, К. Гетц, М. Гунделой // СПб.: Питер, 2003. — 848 с.

73. Матросов А. Microsoft Office XP. Разработка приложений / А. Матросов, Ф. Новиков, Г. Усаров, И. Харитонова — СПб.: БХВ Петербург, 2003. — 930 с.

74. Peter G. Aitken. Office XP Development with VBA. — Prentice Hall PTR, 2001. — 528 p.

75. Cary N. Prague. Access 2002 Bible. / Cary N. Prague, Michael R. Irwin // Wiley, 2001. — 1392 p.

76. Gary Cornell . Core Java, Vol. 2: Advanced Features. — Prentice Hall, 2008. — 1056 p.

77. Мокін В. Б. Комп'ютеризовані регіональні системи державного моніторингу поверхневих вод: моделі, алгоритми, програми. Монографія / Під ред. В. Б. Мокіна / В. Б. Мокін, М. П. Боцула, Г. В. Горячев та ін. — Вінниця: Вид-во ВНТУ “УНІВЕРСУМ-Вінниця”, 2005. — 315 с.

78. Розробка та впровадження єдиної автоматизованої системи Державної екологічної інспекції та підрозділів аналітичного контролю територіальних органів Мінприроди України із отриманням результатів вимірювань стану забруднення довкілля, викидів, скидів і відходів, їх накопичення, оброблення та

аналізування: Звіт про НДР / В. Б. Мокін, М. П. Боцула, Г. В. Горячев та ін. / Вінниц. нац. техн. унт. — 2807 (№ ДР 0105U008854). Інв. № 0206U005422.— К., 2006.— 195 с.

79. Петрук В. Г., Володарський Є. Т., Мокін В. Б. Основи науково дослідної роботи. Навчальний посібник / Під ред. В. Г. Петрука / Володарський Є. Т., Мокін В. Б. // Вінниця: УНІВЕРСУМ Вінниця, 2005. — 144 с.

80. Mokin V. Vitalii. Information measuring systems with mobile devices for identification air pollution parameters caused by transport / Georgii V. Goriachev, Dmytro Y. Dziuniak, Konstantin O. Bondaletov, Serhii O. Zhukov, Mariusz Duk, Saltanat Sailarbek // Proc. SPIE 10031, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments — 2016. — 1003128 (September 28, 2016). — doi:10.1117/12.2249202.

81. Зіскінд Ю. Л. Розробка підсистеми „ВИКИДИ” автоматизованої системи контролю Держекоінспекції Мінприроди України / Ю. Л. Зіскінд, В. Б. Мокін, М. П. Боцула, Г. В. Горячев // Вісник Вінницького політехнічного інституту. Спеціальний випуск за матеріалами I-го Всеукраїнського з'їзду екологів. — 2006. — № 5. — С. 132-134.

82. Мокін В. Б. Розробка підсистеми реєстрації та попередньої обробки даних контролю шкідливих викидів / В. Б. Мокін, Г. В. Горячев, Д. І. Кательніков, С. О. Жуков, І. А. Моргун // Вісник Вінницького політехнічного інституту. Спеціальний випуск за матеріалами I-го Всеукраїнського з'їзду екологів. — 2006. — №5 — С. 124-128.

83. Універсальний редактор розрахункових співвідношень методик виконання вимірювань параметрів газів, води, ґрунту / В. Б. Мокін, М. П. Боцула, О. М. Гуменюк // Зб. тез I-го Всеукраїнського з'їзду екологів. — Вінниця: ВНТУ, 2006. — С. 63.

84. Мокін В. Б. Розробка комп'ютерних засобів автоматизації процесів вимірювання, накопичення та оброблення параметрів стану забруднення довкілля, викидів, скидів і відходів аналітичними підрозділами Держекоінспекції Мінприроди України / В. Б. Мокін, Ю. Л. Зіскінд, М. П. Боцула // Матеріали

XIII Міжнародної конференції з автоматичного управління „Автоматика 2006”.
Вінниця: ВНТУ, 2006. — С. 357-363.

85. Мокін В. Б. Пакет комп'ютерних програм для розрахунку параметрів викидів при формуванні протоколів вимірювань параметрів газопилового потоку / В. Б. Мокін, Г. В. Горячев, Д. І. Кательніков, С. О. Жуков // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 17722. — К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. — Дата реєстрації: 28.08.2006.

86. Мокін В. Б. Комп'ютерна програма „Підсистема „Викиди” автоматизованої системи контролю „ЕкоІнспектор” для накопичення, оброблення та аналізування усіх видів викидів в Україні” („Підсистема „Викиди” АСК „ЕкоІнспектор”) / В. Б. Мокін, М. П. Боцула, Горячев Г. В., Моргун І. А., Демчук В. М. // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 18014. — К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. — Дата реєстрації: 20.09.2006.

87. Мокін В. Б. Комп'ютерна програма „Програмний модуль обмеженого доступу користувачів для АСУ “ЕкоІнспектор” / В. Б. Мокін, М. П. Боцула, В. С. Савчук // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 19305. — К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. — Дата реєстрації: 23.01.2007.

88. Мокін В. Б. Розробка підсистеми реєстрації та попередньої обробки даних контролю шкідливих викидів / В. Б. Мокін, Г.В. Горячев, Д. І. Кательніков, С. О. Жуков, І. А. Моргун // Вісник Вінницького політехнічного інституту. Спеціальний випуск за матеріалами І-го Всеукраїнського з'їзду екологів. — 2006. — № 5. — С. 124-128.

89. Мокін В. Б. Комп'ютерна програма „Універсальний редактор розрахункових співвідношень методик виконання вимірювань параметрів газів, води і ґрунту” / В. Б. Мокін, М. П. Боцула, О. М. Гуменюк // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 19306. — К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. — Дата реєстрації: 23.01.2007.

90. Супровід упровадження та удосконалення єдиної автоматизованої системи Державної екологічної інспекції та підрозділів аналітичного контролю територіальних органів Мінприроди із отриманням результатів вимірювань стану забруднення довкілля, викидів, скидів і відходів, їх накопичення, оброблення та аналізування. Звіт про НДР / В. Б. Мокін, М. П. Боцула, Г. В. Горячев та ін. / Вінниц. нац. техн. унт. — 2811 (№ ДР 0107U008338).— Інв. № 0207U010115.— К., 2007.— 81 с.
91. Підтримка функціонування єдиної автоматизованої системи Державної екологічної інспекції та підрозділів аналітичного контролю територіальних органів Мінприроди із отриманням результатів вимірювань стану забруднення довкілля, викидів, скидів і відходів, їх накопичення, оброблення та аналізування : Звіт про НДР / В. Б. Мокін, М. П. Боцула, Г. В. Горячев та ін. / Вінниц. нац. техн. унт. — 2813 (№ ДР 0107U012438).— Інв. № 0207U010116.— К., 2007.— 46 с.
92. Мокін В. Б. Автоматизована система екоінспекційного контролю стану забруднення довкілля України та викидів, скидів і відходів „ЕкоІнспектор” : Методичний посібник / В. Б. Мокін, Б. І. Мокін, Г. Ю. Псарьов, Ю. Л. Зіскінд, М. П. Боцула, Г. В. Горячев, Д. І. Кательніков, С. О. Жуков, О. О. Мокіна. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. — 128 с.
93. Мокін В. Б. Розробка геоінформаційних систем для задач екологічного моніторингу та контролю // Зб. матеріалів Міжнародної науково практичної конференції „Сучасні проблеми створення і ефективного використання єдиного геоінформаційного простору України при підготовці і прийнятті управлінських рішень”. — К.: Інститут проблем національної безпеки при РНБО України, 2007. — С. 23–26.
94. Розробка геоінформаційного банку екологічної інформації з можливістю наповнення даними різного характеру для державних та освітніх установ Вінницької області: Звіт про НДР / В. Б. Мокін, М. П. Боцула, Г. В. Горячев та ін. / Вінниц. нац. техн. унт. — 2808; № ДР 0106U011772.— Інв. № 0207U002866. — К., 2007. — 168 с.

95. Горячев Г. В. Пакет програм для розрахунку приземних концентрацій забруднюючих речовин від викидів стаціонарних джерел за методикою ОНД-86 / Г. В. Горячев, М. А. Гаврилюк // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 26017. — К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. — Дата реєстрації: 10.10.2008.
96. Горячев Г. В. Використання у ГІС методик моделювання поширення забруднюючих речовин у атмосферному повітрі / Г. В. Горячев, М. А. Гаврилюк / [Збірник наукових статей IV Міжнародної конференції "Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення"] . — 2008. — С. 165-168.
97. Горячев Г. В. Моделювання поширення забруднюючих речовин в атмосферному повітрі з використанням ГІС-технологій за методикою ОНД-86 / Г. В. Горячев, М. А. Гаврилюк / [Матеріали конференції Контроль і управління в складних системах (IX Міжнародна конференція)]. — Вінниця.: 2008. — Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/download/157/156> 157-166-1-РВ.pdf
98. Кожевникова М. Ф. Идентификация источников загрязнения: вычислительные методы. / В. Ф. Кожевникова, В. В. Левенец, И. Л. Ролик. — Харьков : Нац. науч. центр «Харьковский физико-технический институт», 2011. — С. 149-156.
99. Боцян В. В. Моніторинг стану забруднення атмосферного повітря міста оксидом вуглецю з використанням мобільної аналітичної інформаційно-вимірювальної системи / В. В. Боцян, В. Б. Мокін // Молодь в технічних науках: дослідження, проблеми, перспективи : матеріали Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції, 23-26 квітня 2015 року / ВНТУ. — Вінниця, 2015. — С. 31-33.
100. Клименко М. О. Моніторинг довкілля : Підручник / М. Клименко, А. Прищепа, Н. Вознюк // К. : Академвидав, 2006. - 359 с.
101. Ідентифікація та оптимізація інформаційних моделей динамічних багатозв'язних просторово-розподілених систем для задач моніторингу, збереження даних та автоматизованого управління: звіт про НДР: № 28-Д-350 /

Вінницький національний технічний університет; кер. В. Б. Мокін; виконав.: Є. М. Крижановський [та ін.]. — Київ, 2015. — 273 с. — № ДР 0113U003135. — Інв. № 0215U006147.

102. Крижановський Є. М. Моніторинг перевезення небезпечних вантажів з використанням ГІС-технологій для забезпечення екологічної безпеки регіону / Є. М. Крижановський, В. В. Василяшко // XLIV Регіональна НТК професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області, Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2015. — Режим доступу : <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2015/ineek/txt//vasilashko.pdf>.

103. Мокін В. Б. Інформаційні технології автоматизації обробки параметрів геоінформаційних систем з геометричними мережами : монографія / В. Б. Мокін, В. Г. Сторчак, Є. М. Крижановський, О. В. Гавенко, В. Ю. Балачук. — Вінниця : ВНТУ, 2014. — 196 с.

104. Мокін В. Б. Метод визначення спостережуваності динамічних багатозв'язних просторово-розподілених систем з використанням геоінформаційного простору параметрів / В. Б. Мокін, І. В. Варчук // Науковий вісник Національного гірничого університету. — 2015. — № 5. — С. 105-111.

105. Никифоров А. Н. Математическая модель переноса примеси в неизотермической влажной воздушной среде / А. Н. Никифоров, Н. С. Бузало // Сборник трудов XV Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях». — Т. 4. — Тамбов, 2002. — С. 31.

106. Згуровский М.З. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М.З. Згуровский, В.В. Скопецкий, В.К. Хрущ, Н.М. Беляев // К.: Наук. думка, 1997. — 365 с.

107. Громова О.В. Аналіз моделей поширення речовин в атмосфері від стаціонарних джерел // Наук. праці УкрНДГМІ. — 2004. — Вип. 253. — С. 173-181.

108. Сонькин Л.Р. Синоптико-статистический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения атмосферы. — Л.: Гидрометеиздат, 1991. — 250 с.
109. Щербань А. Н. Комплексная оценка и оперативное прогнозирование суммарного загрязнения атмосферы / А. Н. Щербань, А. В. Примаков, Е. Б. Стеклогоров // Промышленная теплотехника. — 1980. — Т. 2. — С. 108–118.
110. Белов И. В. Сравнительный анализ некоторых математических моделей для процессов распространения загрязнений в атмосфере / И. В. Белов, М. С. Беспалов, Л. В. Ключкова, Н. К. Павлова, Д. В. Сузан, В. Ф. Тишкин // Математическое моделирование. — 1999. — Т. 11. — № 8. — С. 52-64.
111. Air dispersion model's catalogue. Database of European Topic centre on Air and Climate Change. — Режим доступа: <http://pandora.meng.auth.gr>.
112. Наац И. Э. Параметризованные модели теории переноса в задачах экологического мониторинга атмосферы и принцип минимакса / И. Э. Наац, В. И. Наац, Р. А. Рыскаленко // Вестник Ставропольского государственного университета. — 2009. — № 4. — С. 46-50.
113. Белолипецкий В. М., Компьютерная система для исследования динамики гидрофизических и радиоэкологических характеристик речной системы / В. М. Белолипецкий, С.Н. Генова, К.Ю. Гуревич, А.Г. Дегерменджи, Л.Г. Косолапова, И.И. Дрюккер // Вычислительные технологии — Том 6, № 2, 2001. — С. 14-24.
114. Каменева І.П. Методи визначення екологічного ризику за атмосферним фактором / І.П. Каменева, О.О.Попов, А.В. Яцишин, В.О. Артемчук // Моделювання та інформаційні технології. — Київ: ПІМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. — 2009. — № 53. — С. 15-22.
115. Скоб Ю. А. Математическое моделирование выброса и рассеяния в атмосфере газообразных примесей — Вестник Харк. нац. ун-та. — 2007. — № 775. Сер. “Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления”. — Вып. 7. — С. 236-245.
116. Попов О. О. Стохастична модель забруднення приземної атмосфери від підприємств паливної енергетики (на прикладі ТЕЦ) Зб. наук. праць ПІМЕ ім.

Г.Є.Пухова НАН України. — Київ: ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. — 2009 — № 53 — С. 10-17.

117. Соснин А.С. Обзорная статья по программам серии «ЭКОЛОГ». — Режим доступа: http://www.integral.ru/article_program.php.

118. Франк-Каменецкий Д.А. Информационная система «Атмосферный воздух» — ArcReview. — 2008. — № 1 (44). — С. 7-10.

119. Hurley P. J., Physick W. L., Luhar A. K. TAPM: a practical approach to prognostic meteorological and air pollution modelling // Environmental Modelling & Software. — 2005. — Т. 20. — №. 6. — С. 737-752.

120. Мокін Б. І. Математичні методи ідентифікації динамічних систем : Навчальний посібник / Б. І. Мокін, В. Б. Мокін, О. Б. Мокін — В.: Вінницький національний технічний університет, 2010. — 263 с.

121. Мокін В. Б. Підвищення точності моделювання забруднення атмосферного повітря міста з використанням мобільних інформаційно-вимірювальних систем [Електронний ресурс] / К. О. Бондалетов, В. Б. Мокін, Г. В. Горячев, Д. Ю. Дзюняк // XLV Регіональна науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області: тези доповіді — Вінниця, 2016. — Режим доступа: <http://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-ebmd/all-ebmd-2016/paper/view/465/866>

122. Мокін В. Б. Метод оцінювання параметрів стаціонарного джерела викиду на основі моделі Гауса за даними оперативного моніторингу зони розсіювання / В. Б. Мокін, Г. В. Горячев, Д. Ю. Дзюняк, К. О. Бондалетов // III Міжнародна науково-практична конференції Winter InfoCom Advanced Solutions 2016 : тези доповіді — К., 2016. — С. 66-677.

123. Sofiev M. A dispersion modelling system SILAM and its evaluation against ETEX data. // Atmospheric Environment — 2006. — №40 — P. 674-685.

ДОДАТКИ

Додаток А

Математичний апарат методу оцінювання параметрів стаціонарного джерела викиду забруднюючої речовини на основі моделі Гаусса для різних показників ефективної висоти цього викиду

Для класів стабільності атмосфери А, В, С, D (за Песквіллом), при яких відстань до джерела викиду: $x < 500$ м та $3110 < x < 5000$ (м):

$$\sum_i \left[C1_i - \frac{a}{\sigma_y(x_i) \cdot \sigma_z(x_i)} \cdot e^{-0.5 \cdot \frac{(y_i)^2}{(\sigma_y(x_i))^2}} \cdot \left[e^{-0.5 \cdot \frac{\left[z - h_s + 1.6 \cdot \frac{\sqrt[3]{F_s \cdot (xf_i)_i}}{u} \right]^2}{(\sigma_z(x_i))^2}} + e^{-0.5 \cdot \frac{\left[z + h_s + 1.6 \cdot \frac{\sqrt[3]{F_s \cdot (xf_i)_i}}{u} \right]^2}{(\sigma_z(x_i))^2}} \right] \right]^2$$

$$= \frac{0.5 \cdot (y_i)^2}{\sigma_y(x_i)^2} \cdot \frac{0.5333333333333333 \cdot \frac{0.5 \cdot \left[h_s - z + \frac{1.6 \cdot \sqrt[3]{F_s \cdot (xf_i)_i}}{u} \right]^2}{\sigma_z(x_i)^2} \cdot \sqrt[3]{F_s \cdot (xf_i)_i} \cdot \left[h_s - z + \frac{1.6 \cdot \sqrt[3]{F_s \cdot (xf_i)_i}}{u} \right]}{F_s \cdot u \cdot \sigma_z(x_i)^2} + \frac{0.5333333333333333 \cdot \frac{0.5 \cdot \left[h_s + z + \frac{1.6 \cdot \sqrt[3]{F_s \cdot (xf_i)_i}}{u} \right]^2}{\sigma_z(x_i)^2} \cdot \sqrt[3]{F_s \cdot (xf_i)_i} \cdot \left[h_s + z + \frac{1.6 \cdot \sqrt[3]{F_s \cdot (xf_i)_i}}{u} \right]}{F_s \cdot u \cdot \sigma_z(x_i)^2}}{\sigma_y(x_i) \cdot \sigma_z(x_i)} = C$$

$$\sum_i \left[\left[C1_i - \frac{a}{\sigma_y(x_i) \cdot \sigma_z(x_i)} \cdot e^{-0.5 \cdot \frac{(y_i)^2}{(\sigma_y(x_i))^2}} \cdot \left[e^{-0.5 \cdot \frac{\left[z - \left(h_s + 1.6 \cdot \frac{\sqrt[3]{F_s \cdot x f_i}}{u} \right)^2}{(\sigma_z(x_i))^2}} \right] + e^{-0.5 \cdot \frac{\left[z + \left(h_s + 1.6 \cdot \frac{\sqrt[3]{F_s \cdot x f_i}}{u} \right)^2}{(\sigma_z(x_i))^2}} \right] \right]^2 \cdot \frac{e^{-0.5 \cdot \frac{(y_i)^2}{\sigma_y(x_i)^2}} \cdot \left[e^{-0.5 \cdot \frac{\left[h_s + z + \frac{1.6 \cdot \sqrt[3]{F_s \cdot (x f_i)_i}}{u} \right]^2}{\sigma_z(x_i)^2}} \right] + e^{-0.5 \cdot \frac{\left[h_s - z + \frac{1.6 \cdot \sqrt[3]{F_s \cdot (x f_i)_i}}{u} \right]^2}{\sigma_z(x_i)^2}} \right]}{\sigma_y(x_i) \cdot \sigma_z(x_i)} \right] = 0$$

Для класів стабільності атмосфери E, F (за Песквіллом), при яких: $1.84 \cdot u_s \cdot \sqrt{s} > 3110$ м, де: $s = g \frac{\partial \theta / \partial z}{T_a}$, коли

$\partial \theta / \partial z$ для класу стабільності E складає 0.02, а для класу F — 0,035.

$$\sum_i \left[\left[C1_i - \frac{a}{\sigma_y(x_i) \cdot \sigma_z(x_i)} \cdot e^{-0.5 \cdot \frac{(y_i)^2}{(\sigma_y(x_i))^2}} \cdot \left[e^{-0.5 \cdot \frac{\left[z - \left(h_s + 2.4 \cdot \frac{\sqrt[3]{F_s}}{u \cdot s} \right)^2}{(\sigma_z(x_i))^2}} \right] + e^{-0.5 \cdot \frac{\left[z + \left(h_s + 2.4 \cdot \frac{\sqrt[3]{F_s}}{u \cdot s} \right)^2}{(\sigma_z(x_i))^2}} \right] \right]^2 \cdot \frac{e^{-0.5 \cdot \frac{(y_i)^2}{\sigma_y(x_i)^2}} \cdot \left[e^{-0.5 \cdot \frac{\left(h_s + z + \frac{2.4 \cdot \sqrt[3]{F_s}}{u \cdot s} \right)^2}{\sigma_z(x_i)^2}} \right] + e^{-0.5 \cdot \frac{\left(h_s - z + \frac{2.4 \cdot \sqrt[3]{F_s}}{u \cdot s} \right)^2}{\sigma_z(x_i)^2}} \right]}{\sigma_y(x_i) \cdot \sigma_z(x_i)} \right] = 0$$

$$\sum_i \left[C I_i - \frac{a}{\sigma_y(x_i) \cdot \sigma_z(x_i)} \cdot e^{-0.5 \cdot \frac{(y_i)^2}{(\sigma_y(x_i))^2}} \cdot \left[e^{-0.5 \cdot \frac{\left[z - \left(h_s + 2.4 \cdot \frac{\sqrt[3]{F_s}}{u \cdot s} \right) \right]^2}{(\sigma_z(x_i))^2}} + e^{-0.5 \cdot \frac{\left[z + \left(h_s + 2.4 \cdot \frac{\sqrt[3]{F_s}}{u \cdot s} \right) \right]^2}{(\sigma_z(x_i))^2}} \right] \right]^2$$

$$a \cdot e^{-\frac{0.5 \cdot (y_i)^2}{\sigma_y(x_i)^2}} \cdot \left[\frac{0.53333333333333333333 \cdot \frac{0.5 \cdot \left(h_s - z + \frac{2.4 \cdot \sqrt[3]{F_s}}{u \cdot s} \right)^2}{\sigma_z(x_i)^2} \cdot \sqrt[3]{F_s \cdot (x_i)} \cdot \left(h_s - z + \frac{2.4 \cdot \sqrt[3]{F_s}}{u \cdot s} \right)}{F_s \cdot u \cdot \sigma_z(x_i)^2} - \frac{0.53333333333333333333 \cdot \frac{0.5 \cdot \left(h_s + z + \frac{2.4 \cdot \sqrt[3]{F_s}}{u \cdot s} \right)^2}{\sigma_z(x_i)^2} \cdot \sqrt[3]{F_s \cdot x_i} \cdot \left(h_s + z + \frac{2.4 \cdot \sqrt[3]{F_s}}{u \cdot s} \right)}{F_s \cdot u \cdot \sigma_z(x_i)^2} \right] = 0$$

Для класів стабільності атмосфери А, В, С, D (за Песквіллом), при яких відстань до джерела викиду:
 $500 < x < 3110$ (м):

$$\sum_i \left[\left[C1_1 - \frac{a}{\sigma_y(x_1) \cdot \sigma_z(x_1)} \cdot e^{-0.5 \cdot \frac{(y_i)^2}{(\sigma_y(x_1))^2}} \cdot \left[e^{-0.5 \cdot \frac{\left[z - \left(h_s + 1.6 \cdot \frac{\sqrt[3]{F_s \cdot x_1}}{u} \right)^2}{(\sigma_z(x_1))^2}} \right] + e^{-0.5 \cdot \frac{\left[z + \left(h_s + 1.6 \cdot \frac{\sqrt[3]{F_s \cdot x_1}}{u} \right)^2}{(\sigma_z(x_1))^2}} \right] \right]^2 \cdot \frac{e^{-0.5 \cdot \frac{(y_i)^2}{(\sigma_y(x_1))^2}}}{\sigma_y(x_1)^2} \cdot \left[e^{-0.5 \cdot \frac{\left(h_s + z + \frac{1.6 \cdot \sqrt[3]{F_s \cdot x_1}}{u} \right)^2}{\sigma_z(x_1)^2}} + e^{-0.5 \cdot \frac{\left(h_s - z + \frac{1.6 \cdot \sqrt[3]{F_s \cdot x_1}}{u} \right)^2}{\sigma_z(x_1)^2}} \right] \right] = 0$$

$$\sum_i \left[\left[C1_1 - \frac{a}{\sigma_y(x_1) \cdot \sigma_z(x_1)} \cdot e^{-0.5 \cdot \frac{(y_i)^2}{(\sigma_y(x_1))^2}} \cdot \left[e^{-0.5 \cdot \frac{\left[z - \left(h_s + 1.6 \cdot \frac{\sqrt[3]{F_s \cdot x_1}}{u} \right)^2}{(\sigma_z(x_1))^2}} \right] + e^{-0.5 \cdot \frac{\left[z + \left(h_s + 1.6 \cdot \frac{\sqrt[3]{F_s \cdot x_1}}{u} \right)^2}{(\sigma_z(x_1))^2}} \right] \right]^2 \cdot \frac{e^{-0.5 \cdot \frac{(y_i)^2}{(\sigma_y(x_1))^2}}}{\sigma_y(x_1)^2} \cdot \left[\frac{0.5 \cdot \left(h_s - z + \frac{1.6 \cdot \sqrt[3]{F_s \cdot x_1}}{u} \right)^2}{\sigma_z(x_1)^2} - \frac{0.5333333333333333}{F_s \cdot u \cdot \sigma_z(x_1)^2} \cdot \sqrt[3]{F_s \cdot x_1} \cdot \left(h_s - z + \frac{1.6 \cdot \sqrt[3]{F_s \cdot x_1}}{u} \right) + \frac{0.5 \cdot \left(h_s + z + \frac{1.6 \cdot \sqrt[3]{F_s \cdot x_1}}{u} \right)^2}{\sigma_z(x_1)^2} - \frac{0.5333333333333333}{F_s \cdot u \cdot \sigma_z(x_1)^2} \cdot \sqrt[3]{F_s \cdot x_1} \cdot \left(h_s + z + \frac{1.6 \cdot \sqrt[3]{F_s \cdot x_1}}{u} \right) \right] \right] = 0$$

Додаток Б
Акти впровадження

1. Акт впровадження у Державній екологічній інспекції у Вінницькій області.
2. Акт впровадження у Департаменті енергетики, транспорту та зв'язку Вінницької міської ради.
3. Акт впровадження у навчальний процес Вінницького національного технічного університету.

ЗАТВЕРДЖУЮ

**В.о. начальника Державної
екологічної
інспекції у Вінницькій області**

І. С. Осадчук

« 28 » 7 2016 р.

АКТ

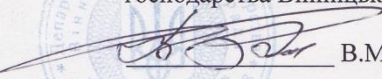
**про підтвердження впровадження результатів кандидатської дисертації
Дзюняка Дмитра Юрійовича**

Цим актом засвідчується, що дійсно є доцільним впровадження результатів та рекомендацій дисертаційної роботи випускника аспірантури 2016 року кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки Вінницького національного технічного університету Дзюняка Дмитра Юрійовича, зокрема, розробленої ним інформаційної технології оцінювання параметрів стаціонарних джерел викидів на основі експертних оцінок, нечітких баз даних та даних оперативного моніторингу. В цілому, це дійсно дозволить більш ефективно проводити попередній аналіз стаціонарних джерел викидів, визначати ті з них, які потенційно можуть бути джерелом понаднормативних викидів та складати оптимальну програму екологічного контролю суб'єктів господарювання, в т.ч. при складанні планів заходів державного нагляду (контролю) на наступні періоди. Розроблена Дзюняком Д. Ю. інформаційна технологія оцінювання параметрів викидів забруднюючих речовин може бути впроваджена на території Вінницької області, з можливим використанням її в подальшому на території інших областей України.

**Начальник відділу екологічного
контролю водних ресурсів та
атмосферного повітря – старший
державний інспектор з охорони
навколишнього природного
середовища Вінницької області**

О. Д. Ющук

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор департаменту міського
господарства Вінницької міськради


В.М. Броварник

23 червня 2014 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ
результатів дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук
Дзюняка Дмитра Юрійовича

Даний акт свідчить про те, що отримані Дзюняком Д. Ю. результати дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук впроваджені та використовуються в Департаменті енергетики, транспорту та зв'язку Вінницької міськради відповідно до однієї із задач Стратегії розвитку м. Вінниця до 2020 р.: «Енергоефективність та захист навколишнього середовища».

Передані для виробничого випробування методика та програмне забезпечення контролю за викидами стаціонарних джерел підприємств енергетичного сектору дозволять підвищити ефективність цього контролю та будуть стимулювати впровадження енергозберігаючих технологій на підприємствах м. Вінниці, що, в цілому, дасть можливість поліпшити стан навколишнього природного середовища міста та, одночасно, зробить його більш енергоефективним.

Результати дисертаційної роботи Дзюняком Д. Ю. будуть використані під час розробки міської програми підвищення ефективності використання енергоресурсів підприємствами та організаціями міста Вінниці.

Заступник директора департаменту
енергетики, транспорту та зв'язку
Вінницької міськради


В.В. Поричук

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор з науково-педагогічної роботи по організації навчального процесу та його науково-методичного забезпечення Вінницького національного технічного університету



проф. Романюк О. Н.

«*15*» *листопада* 2016 р.

АКТ


про впровадження результатів кандидатської дисертації
Дзюняка Дмитра Юрійовича

Комісія у складі:


голова комісії – декан Факультету комп'ютерних систем і автоматики (ФКСА), д.т.н., професор Бісікало О. В. та члени комісії – заступник декана ФКСА з навчально-методичної роботи, к.т.н., доцент кафедри МПА Севастьянов В. М., заступник завідувача кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки (САКМІГ), к.т.н., доцент Крижановський Є. М., склала цей акт про підтвердження того, що дійсно у Вінницькому національному технічному університеті під час викладання дисциплін «Інформаційні технології моніторингу та аналізу стану складних систем», «Моделювання еколого-економічних систем» та «ГІС в задачах комп'ютерного моніторингу», «Технології створення веб-систем» студентам спеціальності 122 – «Комп'ютерні науки та інформаційні технології» (спеціалізація «Комп'ютерний еколого-економічний моніторинг») впроваджено результати кандидатської дисертаційної роботи випускника аспірантури 2016 року кафедри САКМІГ Дзюняка Дмитра Юрійовича.

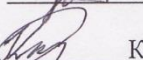
Отримані Д. Ю. Дзюняком результати застосовано у ряді лекцій, практичних занять та лабораторних робіт, у яких розглянуті процеси математичного моделювання шляхів забруднення атмосферного повітря, розробки і використання інформаційно-вимірювальних систем на базі мобільних пристроїв і безпілотних літальних апаратів, використання геоінформаційних систем як джерела даних для математичного моделювання стану довкілля та середовища для візуалізації його результатів, створення веб-сервісів для автоматизованого оцінювання параметрів стаціонарних та пересувних джерел викидів за даними оперативного моніторингу з використанням метеосервісів та інших відкритих даних.

Голова комісії

 Бісікало О. В.

Члени комісії

 Севастьянов В. М.

 Крижановський Є. М.