

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Факультет інформаційних технологій  
(факультет)

Кафедра системного аналізу та управління  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра

Здобувача вищої освіти Шевченко Матвія Андрійовича  
академічної групи 124-21-2  
спеціальності 124 Системний аналіз  
за освітньо-професійною програмою Системний аналіз

на тему: «Аналіз екологічної ситуації на основі щільності викидів та кліматичних умов з рекомендаціями щодо озеленення територій»

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	Інституційною	
кваліфікаційної роботи	ст. викл. Гаранжа Д.М.			
розділів:				
Інформаційно-аналітичний	ст. викл. Гаранжа Д.М.			
Спеціальний розділ	ст. викл. Гаранжа Д.М.			
Експериментально-аналітичний	ст. викл. Гаранжа Д.М.			
Рецензент				
Нормоконтролер	к.ф.-м.н., доц. Хом'як Т.В.			

Дніпро  
2025

ЗАТВЕРДЖЕНО:  
завідувач кафедри  
Системного аналізу та управління  
(повна назва)

\_\_\_\_\_ к.т.н., доц. Желдак Т.А.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
на кваліфікаційну роботу  
ступеня бакалавра

здобувачу вищої освіти Шевченко М. А. академічної групи 124- 21-2

спеціальності: 124 Системний аналіз

за освітньо-професійною програмою Системний аналіз

на тему «Аналіз екологічної ситуації на основі щільності викидів та кліматичних умов з рекомендаціями щодо озеленення територій»

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка»

від 05.05.2025 р. №336-с

Розділ	Зміст	Терміни виконання
1. Інформаційно-аналітичний розділ	<i>Проаналізувати структуру об'єкта дослідження. Визначити предметну область дослідження та проблему, що розв'язується. Обґрунтувати методи виконання поставлених завдань</i>	10.01.2025 – 01.03.2025
2. Спеціальний розділ	<i>Розв'язати поставлені задачі: розробити алгоритми та створити експертну систему для пропозиції щодо заходів з озеленення територій, враховуючи різні фактори вхідних даних.</i>	01.03.2025 – 10.06.2025
3. Експериментально-аналітичний розділ	<i>Провести аналіз експертної системи та запровадити покращення</i>	01.03.2025 – 10.06.2025

Завдання видано \_\_\_\_\_

(підпис)

Гаранжа Д.М.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі: 06.12.2024 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії: \_\_\_\_\_

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_

(підпис студента)

Шевченко М. А.

(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 56 с., 13 рис., 2 табл., 5 додатків, 17 джерел.

*Об'єктом дослідження* в роботі є екологічна ситуація в урбанізованих територіях

*Предметом дослідження* є Аналітичні підходи до оцінювання екологічного стану урбанізованих територій на основі щільності викидів та кліматичних умов з метою виявлення пріоритетних зон для озеленення та прогнозування змін екологічних показників.

*Метою* даної кваліфікаційної роботи є розробка системи рекомендації заходів для озеленення територій.

*Методи дослідження:* метод K-Means – параметричний метод; експертні системи, технологія Fuzzy у Python – непараметричні методи.

В *інформаційно–аналітичному розділі* наведено аналіз об'єкту дослідження та ключових проблем на ньому. Поставлені задачі дослідження та обрано концепції їх розв'язання.

У *спеціальному розділі* виконано попередній аналіз та чистка даних від наявних проблем. Виконано розподіл на регіони і кластеризацію даних відомими методами (K-Means), після чого було створено експертну систему. Проаналізовано отримані результати.

*Практична цінність:* застосування отриманих алгоритмів кластеризації та нейромережевої експертної системи при розробці ПЗ для екологічного моніторингу та планування озеленення територій на основі статистичних даних щільності викидів та кліматичних умов дозволить оптимізувати процес прийняття рішень та підвищити ефективність використання ресурсів.

*Ключові слова:* ЕКОЛОГІЧНА СИТУАЦІЯ, ЩІЛЬНІСТЬ ВИКИДІВ, КЛІМАТИЧНІ УМОВИ, ОЗЕЛЕНЕННЯ, КЛАСТЕРИЗАЦІЯ, K-MEANS, НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ, ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА.

## ABSTRACT

Explanatory note: 56 pages, 13 pictures, 2 tables, 5 appendixes, 17 sources.

*The object of research* in this work is the ecological situation in urbanized territories

*The subject of research* is approaches to analyzing the environmental situation in urbanized areas based on emission density to assess the degree of pollution, determine the priority of areas for greening, and predict environmental indicators.

*The purpose of research* is to develop a system for recommending greening measures for territories.

*Research methods:* K-Means – parametric method ; expert system, Fuzzy technology in Python – non-parametric methods.

*The informational - analytical section* provides an analysis of the research object and key problems associated with it. Research tasks are formulated and concepts for their solution are selected.

*In a special section*, preliminary analysis and data cleaning of existing problems are performed. Distribution by regions and data clustering are executed using known methods (K-Means), after which an expert system was created. The obtained results are analyzed.

*The practical value* application of the obtained clustering algorithms and neural network expert system in the development of software for environmental monitoring and planning of territory greening based on statistical data of emission density and climatic conditions will optimize the decision-making process and increase the efficiency of resource utilization.

*Keywords:* ECOLOGICAL SITUATION, EMISSION DENSITY, CLIMATIC CONDITIONS, GREENING, CLUSTERING, K-MEANS, NEURAL NETWORKS, EXPERT SYSTEM.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
РОЗДІЛ 1 ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИЙ .....	8
1.1 Загальні відомості про екологічну ситуацію. ....	8
1.2 Опис методів вирішення задачі.....	10
1.2.1 Експертні системи та їх види .....	10
1.2.2 Задачі машинного програмування та способи розв’язання.....	13
1.2.3 Нечітка логіка .....	15
1.2.4 Програмне середовище для симуляції даних .....	16
1.2.5 OSM – OpenStreetMap .....	19
1.2.6 Екологічне Дослідження симульованих даних .....	21
Висновки за розділом.....	22
РОЗДІЛ 2 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ .....	24
2.1 Попередній опис та підготовка даних .....	24
2.2 Аналіз викидів у залежності від вхідних параметрів.....	26
2.3 Опис експертної системи .....	28
2.4 Формалізація задачі.....	29
2.5 Розробка моделі .....	30
2.6 Визначення Конфігураційних параметрів системи.....	31
2.7 Структура правил експертної системи .....	32
2.8 Практична реалізація.....	33
2.9 Аналіз результатів .....	33
Висновки за розділом.....	35
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛІТИЧНИЙ.....	36
3.1 Планування експерименту.....	36
3.2 Формування гіпотез та опис механізму їх перевірки.....	36
3.3 Результати експерименту.....	37
Висновки за розділом.....	38
ВИСНОВКИ.....	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	42
ДОДАТОК А ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....	45
ДОДАТОК Б .....	46
ДОДАТОК В.....	47
ДОДАТОК Г .....	53
ДОДАТОК Д.....	55

## ВСТУП

В умовах стрімкої урбанізації та зростаючого антропогенного тиску на довкілля, питання якості міського середовища набуває критичної значущості. Одним з ключових викликів сучасних міст є надмірний рівень викидів парникових газів, зокрема CO<sub>2</sub>, що спричиняє негативні кліматичні зміни та погіршує здоров'я населення. У цьому контексті, озеленення територій виступає не лише як естетичний елемент міського ландшафту, але і як дієвий інструмент для покращення екологічної ситуації та створення комфортних умов для життя.

*Актуальність теми* зумовлена необхідністю розробки та впровадження ефективних заходів з озеленення, які б враховували специфічні потреби кожної окремої території та базувалися на об'єктивних даних. Сучасні технології моделювання, такі як SUMO (Simulation of Urban MObility), дозволяють отримати детальну інформацію про транспортні потоки та пов'язані з ними обсяги викидів CO<sub>2</sub> в різних частинах міста. Ці дані є цінним ресурсом для обґрунтованого планування зелених насаджень, адже дозволяють ідентифікувати найбільш проблемні зони та визначити пріоритетні напрямки для компенсаційних заходів.

*Мета і завдання дослідження.* Розробка системи аналізу екологічної ситуації та отримання прогностичних даних для визначення пріоритетних зон озеленення урбанізованих територій. Завдання роботи полягає у використанні як параметричних, так і непараметричних методів для оцінки ступеня забруднення та прогнозування екологічних показників, з подальшим порівнянням їх ефективності на основі отриманих результатів.

*Об'єкт дослідження* – екологічна ситуація в урбанізованих територіях на основі щільності викидів та кліматичних умов.

*Предметом дослідження* є підходи до аналізу екологічної ситуації в урбанізованих територіях з використанням методів нечіткої логіки для визначення функціональної залежності між параметрами забруднення та пріоритетністю зон для озеленення.

*Практичне значення.* Враховуючи зростаючі обсяги викидів у міських середовищах та обмеженість ресурсів для протидії їх негативному впливу, є сенс розробити експертну систему на основі даних про щільність викидів та кліматичних умов може рекомендувати оптимальні заходи озеленення територій відповідно до індивідуальних потреб і можливостей. Це дозволяє заощаджувати як людські, так і матеріальні ресурси, уникаючи проведення додаткових дорогих досліджень та забезпечуючи максимальну екологічну ефективність інвестицій в умовах наявних обмежень.

Отже, розробка інформаційної технології аналізу екологічної ситуації та планування озеленення зможе автоматизувати процес прийняття рішень, що значно підвищить ефективність використання ресурсів та покращить екологічний стан урбанізованих територій.

## РОЗДІЛ 1 ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИЙ

### 1.1 Загальні відомості про екологічну ситуацію.

Аналіз екологічної ситуації, особливо в урбанізованих та промислово розвинених регіонах, є фундаментальною передумовою для розробки ефективних стратегій поліпшення якості довкілля. З огляду на зростаюче антропогенне навантаження, науковці активно досліджують комплексні підходи, що враховують як джерела забруднення, так і фактори, що впливають на його поширення та наслідки. Ключовими елементами такого аналізу є оцінка щільності викидів забруднюючих речовин та вплив місцевих кліматичних умов, що в сукупності дозволяє формувати обґрунтовані рекомендації щодо компенсаторних заходів, зокрема, через озеленення територій.

Сучасні дослідження останніх десятиліть демонструють значний прогрес у методології оцінки впливу щільності викидів на стан екосистем. Багато робіт присвячено розробці моделей для кількісного визначення та просторового картографування викидів від різних джерел, таких як промислові підприємства та автотранспорт [1]. Акцентується увага на тому, що висока концентрація поллютантів, зумовлена щільними викидами, безпосередньо корелює з погіршенням показників здоров'я населення та деградацією природних компонентів [3]. Для більш точного аналізу пропонуються інтегровані підходи, що поєднують дані моніторингу з геоінформаційними системами, дозволяючи ідентифікувати зони найбільшого екологічного ризику .

Паралельно, значна увага приділяється вивченню ролі кліматичних факторів у динаміці забруднення. Дослідження підтверджують, що метеорологічні параметри, такі як напрямок і швидкість вітру, температурні градієнти, кількість опадів та рівень сонячної радіації, суттєво впливають на процеси переносу, розсіювання та хімічної трансформації забруднюючих

речовин в атмосфері [4]. Особливу небезпеку становлять періоди з несприятливими метеорологічними умовами, коли спостерігається накопичення шкідливих домішок у приземному шарі [4]. Деякі автори вказують на потенційне посилення цих ефектів у контексті глобальних кліматичних змін, що вимагає адаптації підходів до екологічного нормування та планування [2].

У відповідь на виклики, пов'язані із забрудненням довкілля, озеленення територій розглядається як один із пріоритетних та багатофункціональних напрямків екологічної політики. Наукові праці детально описують численні екосистемні послуги, які надають зелені насадження: від поглинання атмосферного CO<sub>2</sub> та інших газоподібних поллютантів до регуляції мікроклімату, зниження шумового навантаження та підвищення біорізноманіття [3]. Важливим аспектом є дослідження газо- та пилостійкості різних видів рослин, їхньої здатності до фітореMediaції, що дозволяє формувати рекомендації щодо підбору оптимального асортименту для конкретних умов забруднених територій. Підкреслюється доцільність використання місцевих, адаптованих видів для забезпечення стійкості та довговічності створюваних зелених зон.

Для поєднання аналізу екологічної ситуації з практичними рекомендаціями щодо озеленення, дослідники розробляють спеціалізовані методичні підходи. Часто використовуються геоінформаційні технології для створення карт екологічної чутливості або пріоритетності озеленення, де інтегруються дані про щільність викидів, особливості рельєфу, кліматичні параметри та наявне землекористування [4]. Поширення набувають також методи математичного моделювання, що дозволяють прогнозувати ефективність різних сценаріїв озеленення з точки зору зниження концентрацій забруднювачів або покращення мікрокліматичних показників. Такі моделі, що враховують дані, наприклад, про інтенсивність транспортних потоків та пов'язані з ними викиди, можуть стати основою для прийняття рішень щодо розміщення та структури захисних зелених смуг.

Сучасні тенденції свідчать про все ширше застосування інструментів аналізу великих даних та методів штучного інтелекту для обробки комплексних екологічних даних та оптимізації стратегій озеленення. Досліджуються можливості використання даних дистанційного зондування Землі для оцінки стану зелених насаджень та динаміки їх розвитку [4]. Активно обговорюється концепція створення інтегрованих зелених інфраструктур міст, які б функціонували як єдина система, забезпечуючи максимальний екологічний та соціальний ефект [6].

З огляду на проведений аналіз літератури, можна констатувати, що ефективно планування заходів з озеленення вимагає:

- комплексної оцінки екологічної ситуації, що базується на аналізі щільності викидів та врахуванні кліматичних умов;
- використання сучасних методів збору, обробки та моделювання просторово-часових екологічних даних;
- науково обґрунтованого підходу до вибору видів рослин та типів зелених насаджень відповідно до конкретних цілей та умов території.

У даній роботі планується розвинути ці підходи шляхом розробки методики формування рекомендацій щодо озеленення територій, яка б інтегрувала дані про щільність викидів CO<sub>2</sub> (зокрема, отримані з транспортних моделей типу SUMO) з аналізом локальних потреб та кліматичних особливостей. Це дозволить підвищити цільову ефективність заходів з озеленення та сприятиме покращенню екологічного стану досліджуваних територій.

## **1.2 Опис методів вирішення задачі**

### **1.2.1 Експертні системи та їх види**

Експертні системи (ЕС) є одним із найвідоміших та історично значущих напрямків у галузі штучного інтелекту (ШІ). Вони являють собою комп'ютерні програми, розроблені для імітації когнітивних здібностей людини-експерта в

певній, зазвичай вузькій, предметній галузі. Головна мета ЕС – не просто обробляти дані, а надавати кваліфіковані поради, робити висновки та пояснювати хід своїх міркувань на рівні, співставному з рівнем досвідченого фахівця.

Ключова відмінність експертних систем від звичайних програм полягає у відокремленні знань від механізму їх обробки. Це дозволяє модифікувати та розширювати базу знань без необхідності перепрограмування всієї системи. ЕС орієнтовані на вирішення завдань, що вимагають евристичних підходів, досвіду та інтуїції, тобто тих компонентів, які характеризують людський інтелект.

Основні характеристики експертних систем:

- Формалізація знань — знання експертів переносяться у формалізовану базу, що доступна для алгоритмічного оброблення.
- Пояснення рішень — система здатна надавати пояснення своїм висновкам, що підвищує довіру користувача.
- Гнучкість та адаптивність — можливість розширення бази знань і підлаштування під нові умови.
- Висновок за умов невизначеності — здатність приймати рішення навіть у випадках, коли частина даних відсутня або суперечлива.

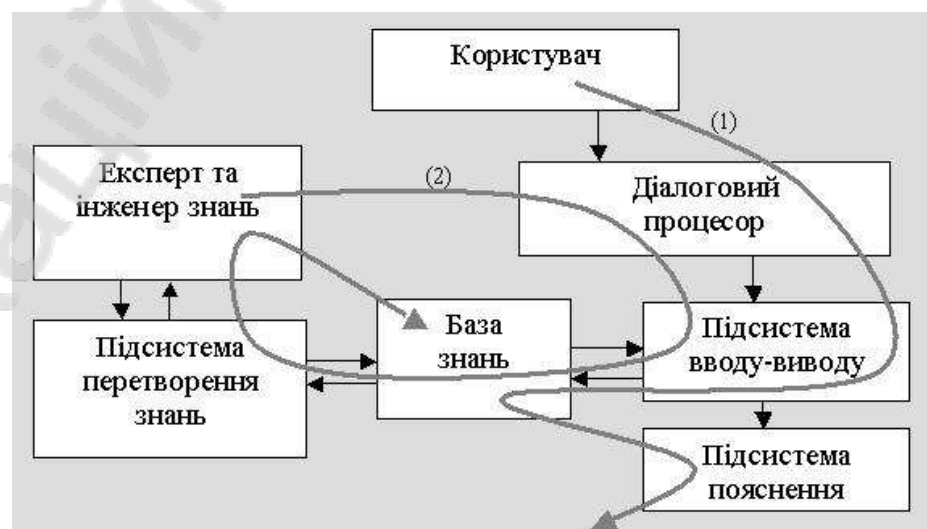


Рисунок 1.1 - Структура експертної системи

Експертна система складається з таких ключових компонентів:

- База знань (Knowledge Base) — містить правила, факти, евристики та інші відомості, отримані від експертів.
- Машина логічного висновку (Inference Engine) — аналітичний механізм, який оперує знаннями для генерації висновків на основі введених даних.
- Підсистема пояснення (Explanation Subsystem) — відповідає за надання користувачу обґрунтувань рішень.
- Інтерфейс користувача (User Interface) — забезпечує взаємодію між користувачем і системою.

#### Типи експертних систем

- Діагностичні — визначають причини несправностей або проблем (медицина, автомобільна діагностика).
- Прогностичні — прогнозують можливі події на основі наявних даних (економічний аналіз, метеорологія).
- Планувальні — розробляють оптимальні плани дій з урахуванням ресурсів та обмежень (управління проектами, логістика).
- Рекомендаційні — надають поради користувачам на основі аналізу даних (системи рекомендацій у сервісах Netflix, Spotify).

Експертні системи володіють низкою характерних рис:

- Спеціалізація: Ефективні у вузькоспеціалізованих предметних областях.
- Компетентність: Здатні досягати рівня продуктивності, співставного з рівнем людини-експерта.
- Символьне міркування: Оперують символьними представленнями знань, а не лише числовими даними.
- Пояснення: Можуть пояснювати хід своїх міркувань.
- Обробка неповних та нечітких даних: Деякі ЕС можуть працювати з невизначеністю, використовуючи, наприклад, коефіцієнти впевненості або нечітку логіку.

- Можливість навчання (обмежена): Здатність до модифікації та розширення бази знань.
- Відділення знань від управління ними: Дозволяє гнучкість та легкість модифікації.

Експертні системи відіграють важливу роль у розв'язанні задач, пов'язаних із плануванням та реалізацією заходів з озеленення територій. В умовах швидкої урбанізації та змін клімату, ефективне управління зеленими насадженнями стає критично важливим для підтримання екологічної рівноваги та підвищення якості життя населення.

Основна перевага експертних систем у цьому контексті полягає в здатності опрацювати великі обсяги даних про ґрунтові характеристики, кліматичні умови, рівень забруднення, наявність водних ресурсів, а також специфічні вимоги рослин. Вони можуть надавати рекомендації щодо вибору оптимальних видів дерев, кущів та трав для конкретних територій, враховуючи їхню стійкість до місцевих умов, швидкість росту та здатність очищувати повітря.

Більше того, експертні системи здатні моделювати розвиток зелених зон у часі, прогнозувати вплив заходів із озеленення на екосистему та оцінювати ефективність різних стратегій озеленення. Це дозволяє органам місцевого самоврядування, екологічним організаціям та забудовникам ухвалювати більш обґрунтовані рішення, мінімізувати ризики невдач і скоротити витрати на підтримання зелених насаджень.

Завдяки інтеграції з геоінформаційними системами (GIS), експертні системи можуть не лише оптимізувати процес планування, а й автоматизувати моніторинг стану зелених зон, що забезпечує своєчасне виявлення хвороб рослин, потреби в поливі чи догляді. Таким чином, експертні системи суттєво підвищують ефективність заходів з озеленення, роблячи міста екологічнішими, комфортнішими та стійкішими до змін довкілля.

### **1.2.2 Задачі машинного програмування та способи розв'язання**

Машинне програмування — це галузь, що охоплює автоматизацію процесів розробки, оптимізації та генерування програмного коду. Основні задачі машинного програмування включають кластеризацію даних, побудову експертних систем, автоматичне виявлення помилок, оптимізацію коду та адаптацію програмного забезпечення до змін середовища.

Кластеринг — це процес групування об'єктів або даних у кластери, де об'єкти в межах одного кластера мають високу схожість, тоді як об'єкти різних кластерів максимально відрізняються. У контексті машинного програмування кластеринг використовується для:

- Аналізу даних — розподіл даних для виявлення структур і закономірностей.
- Оптимізації ресурсів — групування запитів або задач для ефективнішої обробки.
- Виявлення аномалій — виявлення незвичних патернів, що можуть свідчити про помилки або зловживання.

Метод K-means (K-середніх)

K-means — це ітеративний алгоритм кластеризації, який розділяє набір даних на K кластерів, де K — заздалегідь задана кількість кластерів. Алгоритм прагне мінімізувати суму квадратів відстаней між точками даних та центроїдом їхнього відповідного кластера. Як показано в [1, с. 128], K-means є одним із найпопулярніших алгоритмів кластеризації завдяки своїй простоті та ефективності. Головна мета алгоритму K-середніх – мінімізувати суму квадратів відстаней від кожної точки даних до центроїда її кластера. Ця цільова функція, також відома як внутрішньокластерна сума квадратів або сума квадратів помилок виражається наступною формулою:

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \|x_i - \mu_j\|^2 \quad (1.1)$$

де  $J$  – цільова функція, яку необхідно мінімізувати,  $k$  – задана кількість кластерів,  $x_i$ -та точка даних,  $\mu_j$  - центроїд  $j$ -того кластера.

Проте, за даними Джейна [2, с. 651], результати роботи алгоритму значно залежать від початкових умов та вибору кількості кластерів, що може призводити до субоптимальних рішень у складних задачах

### 1.2.3 Нечітка логіка

Нечітка логіка (fuzzy logic) - це розширення класичної булевої логіки і є одним з найважливіших напрямків сучасної математики та кібернетики, що дозволяє моделювати та обробляти інформацію в умовах невизначеності, неточності та неповноти даних.. На відміну від класичної логіки, де елементи можуть належати множині тільки повністю (1) або зовсім не належати (0), нечітка логіка допускає проміжні значення істинності, що більш точно відображає реальний світ, де багато понять мають градації та не можуть бути чітко класифіковані.

Функція належності є фундаментальним поняттям нечіткої логіки, що визначає спосіб, яким елементи універсальної множини належать до конкретної нечіткої множини. Вибір відповідної функції належності є критично важливим для ефективності нечіткої системи і залежить від природи проблеми, що розв'язується, та характеру даних.

Трикутна функція належності є однією з найпоширеніших та найпростіших у використанні. Вона характеризується трьома параметрами, має форму рівнобедреного або неправильного трикутника і виражається наступною формулою:

$$\mu(x) = \max\left(0, \min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right)\right) \quad (1.2)$$

Де  $a$  - лівий базовий параметр,  $b$  - вершина трикутника,  $c$  - правий базовий параметр

### 1.2.4 Програмне середовище для симуляції даних

Simulation of Urban MObility (SUMO) — це відкрите програмне забезпечення для моделювання транспортних потоків, яке має високу портативність та здатність до мікроскопічного і безперервного моделювання. Програма здатна обробляти великі транспортні мережі і підтримує міжмодальне моделювання, включаючи пішоходів. SUMO супроводжується широким набором інструментів для створення сценаріїв моделювання.

#### Основні Компоненти SUMO

##### 1. SUMO (sumo)

- Опис: Це основна програма для симуляції транспортних систем. sumo відповідає за виконання симуляцій на основі вхідних файлів, таких як дорожня мережа та маршрути.

- Функціональність:

- Зчитує файли з інформацією про дорожню мережу, маршрути транспортних засобів, правила дорожнього руху тощо.

- Виконує симуляцію, що включає моделювання руху транспортних засобів, пішоходів та велосипедистів.

- Може зберігати результати симуляції у різних форматах для подальшого аналізу.

##### 2. NETCONVERT (netconvert)

- Опис: Інструмент для конвертації та створення дорожніх мереж у формат SUMO з різних вхідних форматів.

- Функціональність:

- Конвертує дані з файлів OpenStreetMap, VISUM, VISSIM, та інших у формат SUMO.

- Додає додаткові параметри, такі як правила дорожнього руху та характеристики доріг.

##### 3. ROUTER (duarouter)

- Опис: Генератор маршрутів для транспортних засобів у симуляції. Включає алгоритми для планування маршрутів на основі дорожньої мережі.

- Функціональність:

- Обчислює оптимальні маршрути для транспортних засобів на основі поточної дорожньої ситуації та заданих критеріїв.

- Може враховувати такі фактори, як затори, обмеження швидкості та дорожні умови.

#### 4. TRACI (Traffic Control Interface)

- Опис: Інтерфейс для взаємодії з SUMO в реальному часі. Це дозволяє змінювати параметри моделювання та отримувати дані під час симуляції.

- Функціональність:

- Дозволяє запускати скрипти для динамічної зміни параметрів симуляції, таких як зміни світлофорів або зміна маршрутів.

- Підходить для інтеграції SUMO з іншими системами, такими як системи управління трафіком або автономні транспортні системи.

- Використання:

- Зазвичай використовується з Python або Java для автоматизації та інтерактивного контролю симуляції.

#### 5. JTRROUTER (jtrrouter)

- Опис: Генератор маршрутів спеціально для велосипедистів. Цей інструмент оптимізує маршрути для велосипедистів на основі дорожньої мережі.

- Функціональність:

- Моделює маршрути для велосипедистів з урахуванням специфічних умов, таких як велодоріжки та знижена швидкість.

#### 6. EMISSIONS (emissions)

- Опис: Модуль для оцінки викидів забруднюючих речовин від транспортних засобів під час симуляції.

- Функціональність:

- Розраховує рівень викидів CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> та інших забруднюючих речовин на основі моделі двигунів і трафіку.
- Дозволяє оцінювати вплив транспорту на екологію та планувати заходи для зменшення викидів.

## 7. SUMO-GUI

- Опис: Графічний інтерфейс для SUMO, який дозволяє візуалізувати та контролювати симуляцію в реальному часі.
- Функціональність:
  - Відображає симуляцію на інтерактивній карті, показуючи рух транспортних засобів, пішоходів та велосипедистів.
  - Дозволяє налаштовувати параметри симуляції та вносити зміни на ходу.

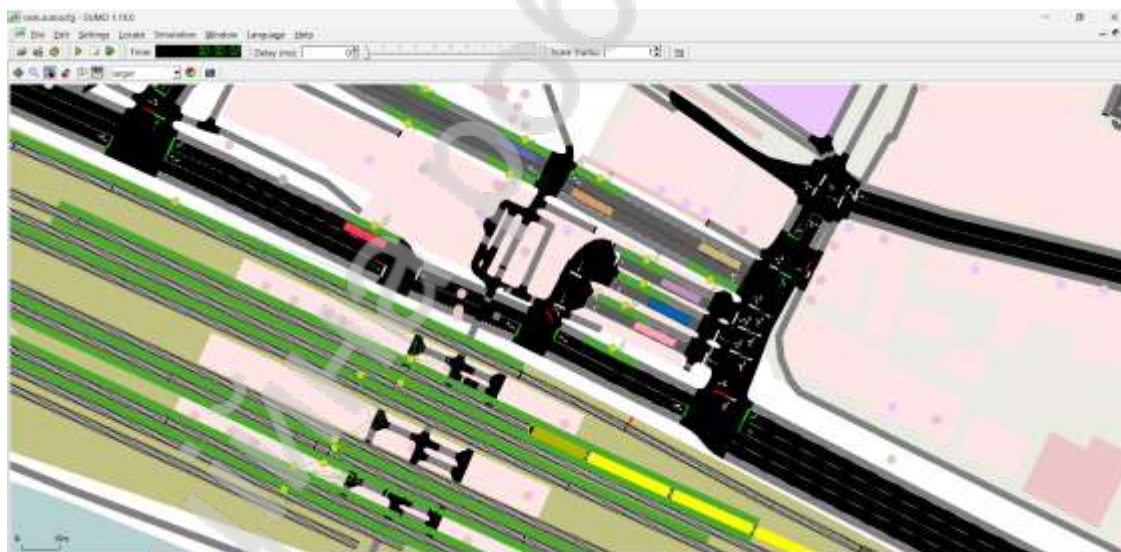


Рисунок 1.2 - Інтерфейс симуляції транспорту

На рисунку 1.2 показано інтерфейс симуляції транспорту, який відображає основні елементи керування, візуалізацію дорожньої мережі та параметри моделювання транспортних потоків.



Рисунок 1.3 - Інтерфейс симуляції переміщення людини

На рисунку 1.3 показано інтерфейс програмного середовища для симуляції переміщення людини. Він включає детальну візуалізацію міського плану з дорожньою мережею, будівлями та зеленими зонами, а також відображення траєкторій руху окремих пішоходів для моделювання та аналізу їхньої взаємодії з інфраструктурою.

### 1.2.5 OSM – OpenStreetMap

OpenStreetMap (OSM) – це проект, який створює та підтримує детальну картографічну інформацію про весь світ. Суть OSM полягає в тому, що він використовує дані, зібрані добровольцями, щоб створити та підтримувати велику і точну картографічну базу даних. Ось детальний огляд OSM:

Основні Особливості OpenStreetMap:

#### 1. Відкриті Дані:

- Дані OSM є відкритими та безкоштовними для використання. Це означає, що будь-хто може завантажити,

використовувати та редагувати дані OSM безкоштовно, за умови дотримання ліцензії Open Database License (ODbL).

## 2. Глобальний Масштаб:

- OSM охоплює картографічні дані для всіх країн світу. Немає обмежень на масштаб або рівень деталізації, тому можна знайти інформацію як про великі міста, так і про віддалені села.

## 3. Модульна Структура:

- Картографічні дані OSM організовані у вигляді вузлів (points), ліній (ways) та зон (relations). Вузли представляють окремі точки на карті, лінії – це зв'язки між вузлами, а зони – це групи ліній і вузлів.

## 4. Спільнота:

- OSM підтримується активною спільнотою користувачів, які регулярно оновлюють та доповнюють дані. Це включає в себе як аматорів, так і професіоналів у сфері картографії та геоінформаційних систем (ГІС).

### Основні Компоненти OSM

#### ▪ Вузли (Nodes):

- **Опис:** Вузли – це основні одиниці OSM, які представляють географічні точки. Кожен вузол має координати (широту і довготу) та може бути використаний для визначення місця розташування об'єктів на карті.

- **Приклад:** Вузли можуть представляти розташування пам'ятників, вулиць або перехрестків.

#### ▪ Лінії (Ways):

- **Опис:** Лінії – це послідовність з двох або більше вузлів, які з'єднані один з одним, формуючи лінійну геометрію. Лінії можуть представляти вулиці, річки, стежки та інші лінійні об'єкти.

- **Приклад:** Вулиця або залізнична коля може бути представлена як лінія у OSM.

- **Зони (Relations):**

- **Опис:** Зони – це групи ліній та вузлів, які разом формують складні геометричні об'єкти. Вони використовуються для опису складних структур або груп об'єктів.

- **Приклад:** Величезний парк, що складається з кількох окремих ділянок, може бути представлений як зона в OSM.

Для отримання точних точок, де знаходяться школи можна використовувати теги: `osmium tags-filter -o school.osm check.osm n/amenity=school --overwrite`

### 1.2.6 Екологічне Дослідження симульованих даних

Оцінка Викидів Забруднюючих Речовин: Дані про рух транспортного засобу використовуються для розрахунку викидів CO<sub>2</sub> та інших забруднюючих речовин.

Застосування: Розробка заходів щодо зниження забруднення, планування зон з низьким рівнем викидів.

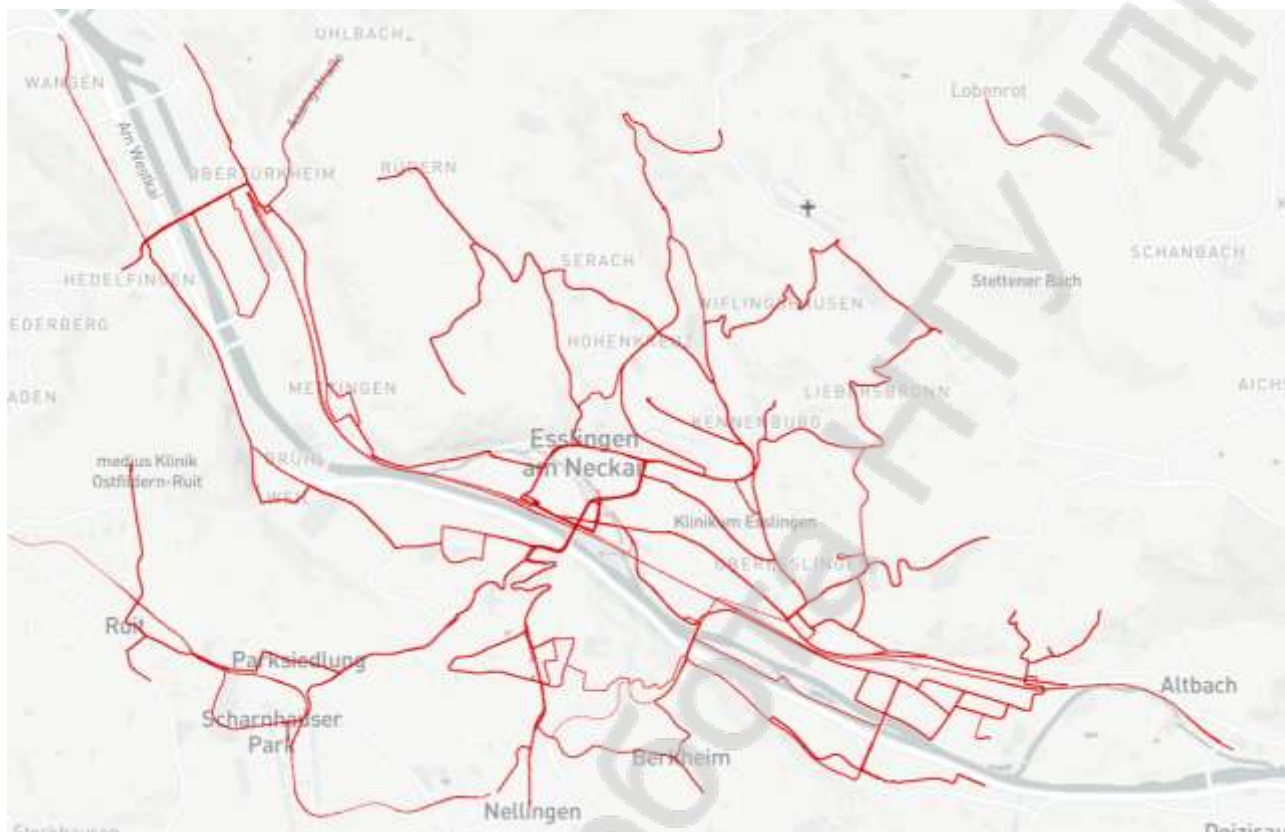


Рисунок 1.4 - Карта щільності викидів міського транспорту за один день

На рисунку 1.4 показано дані викидів міського транспорту за один день. Інтерфейс включає візуалізацію міського плану. За допомогою малюнка 1.4 пізніше можна скласти мапи чистих і забруднених регіонів міста і також зробити рекомендацію, щодо озеленення дуже забруднених територій

### Висновки за розділом

Даний розділ зосереджений на системному огляду наукової літератури з проблеми аналізу екологічної ситуації на основі щільності викидів та кліматичних умов. Було встановлено, що сучасні методи машинного навчання та аналізу даних дозволяють більш точно ідентифікувати зони підвищеного забруднення та прогнозувати їхній розвиток у майбутньому. Особливу увагу приділено застосуванню методів кластеризації, таких як K-means, DBSCAN, а також спектральній кластеризації для визначення зон з високою концентрацією викидів. Було описано застосування геоінформаційних технологій у поєднанні з

моделями машинного навчання для візуалізації екологічних ризиків і планування озеленення міських територій.

Окрім цього, розглянуто концепцію експертних систем, які здатні формалізувати знання у сфері екологічного планування та оптимізувати процеси прийняття рішень. Завдяки використанню баз знань та машин логічного висновку, експертні системи можуть пропонувати ефективні сценарії озеленення, адаптовані до конкретних екологічних умов та потреб урбаністичних територій.

Таким чином, сучасні методи машинного навчання у поєднанні з геоінформаційними системами відкривають нові можливості для моніторингу, аналізу та планування екологічної ситуації в урбанізованих територіях.

## РОЗДІЛ 2 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Попередній опис та підготовка даних

Для виконання даної роботи були використані деталізовані дані про викиди CO<sub>2</sub>, згенеровані симуляційною платформою "SUMO" (Simulation of Urban MObility). Ця вибірка даних охоплювала різноманітні параметри, що характеризують рух місцевого транспорту та його вплив на довкілля.

Основними елементами зібраної інформації були:

- **Кількість викидів CO<sub>2</sub>:** Для кожного транспортного засобу фіксувалася маса вуглекислого газу, що викидається в атмосферу. Ці дані, ймовірно, розраховувалися на основі моделей споживання палива, які враховують тип транспортного засобу, його характеристики та умови руху.
- **Час:** Кожен запис даних був прив'язаний до конкретного моменту часу в симуляції, що дозволяло аналізувати динаміку викидів у часі. Це могло бути як абсолютний час симуляції, так і часові кроки.
- **Назва автомобіля:** Кожен транспортний засіб у симуляції мав унікальний ідентифікатор. Це дозволяло відстежувати окремі автомобілі та їхній внесок у загальні викиди, а також аналізувати вплив різних типів транспортних засобів (наприклад, легкові автомобілі, вантажівки, автобуси)
- **Швидкість автомобіля:** Для кожного транспортного засобу фіксувалася його миттєва швидкість. Цей параметр є ключовим, оскільки викиди CO<sub>2</sub> значною мірою залежать від режиму руху (прискорення, гальмування, рівномірний рух) та швидкості.
- **Місцеположення:** Координати кожного транспортного засобу реєструвалися протягом симуляції. Це дозволяло візуалізувати рух транспорту, визначати ділянки з найбільшою концентрацією викидів (так

звані "гарячі точки") та аналізувати просторовий розподіл забруднення. Місцеположення могло бути визначене на конкретних ділянках дорожньої мережі, перехрестях або вздовж певних маршрутів, що моделювалися в SUMO.

Перед початком аналізу дані були попередньо підготовані. По-перше, дані були відсортовані за часом, щоб вибірка стовпців містила вхідні параметри, а останній стовпець був вихідним параметром (табл.2.1 – зображено 3 рядки з 2336683).

Таблиця 2.1

**Таблиця даних з вхідними параметрами**

Автомобіль	Крок симуляції	Широта	Довгота	Швидкість у м/с	Викиди у мг/с
pt bus 102:2.7	15060	48.72289	9.35829	0	5286
pt bus 102:1.7	15060	48.73981	9.27383	0	5286
pt bus 102:0.7	15060	48.73538	9.28514	13	12222

По-друге, під час аналізу даних, отриманих із симуляції «SUMO», була виявлена суттєва проблема з якістю геопросторових показників. (табл.2.2 – зображено 3 рядки з 2336683).

Зокрема, приблизно 5 % записів для координат місцеположення автомобілів містила значення inf inf.

Це вказує на помилку або збій на етапі генерації чи експорту даних у симуляції SUMO, оскільки транспортні засоби повинні мати конкретні, скінченні координати в межах симуляційного середовища.

Таблиця 2.2

**Таблиця даних з проблематичними вхідними параметрами**

Автомобіль	Крок симуляції	Широта	Довгота	Швидкість у м/с	Викиди у мг/с
pt bus 102:2.7	15060	inf	inf	0	5286
pt bus 102:1.7	15060	inf	inf	0	5286
pt bus 102:0.7	15060	inf	inf	13	12222

Наявність значень inf inf унеможливило будь-який просторовий аналіз викидів CO<sub>2</sub>. Під час візуалізації даних було помічено, що не зважаючи на ці дані

всі переміщення автомобілів були повноцінні, через що було вирішено видалити такі рядки.

Після очистки даних від дублікатів було взято п'ять точок у місті Еслінген, та за допомогою кластерингу розподілено точки відповідно до центрів.

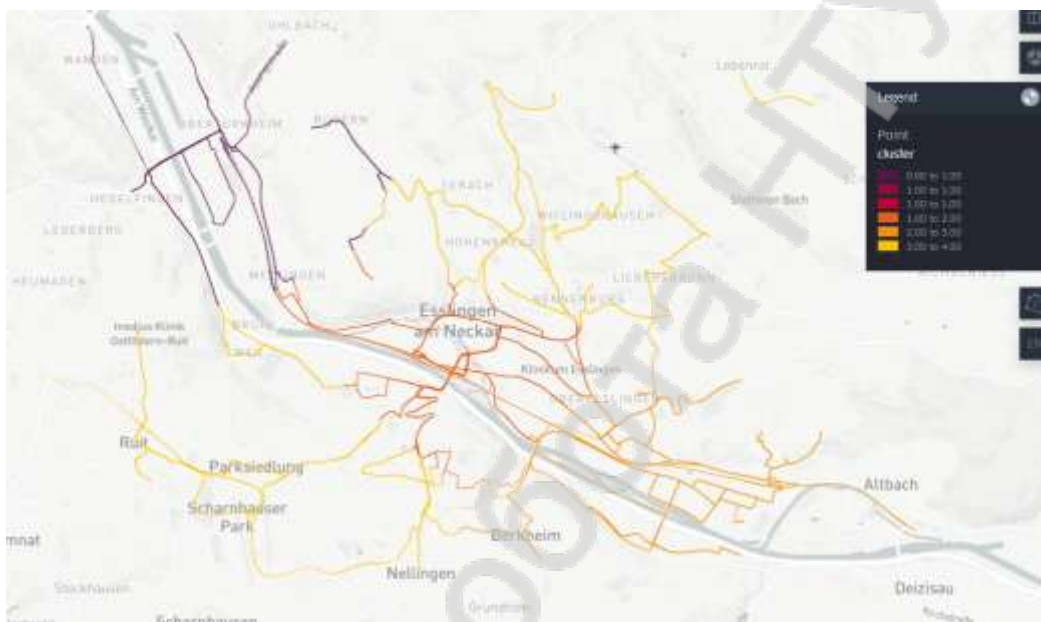


Рисунок 2.1 - Кластеризовані дані викидів міського транспорту за один день

На рисунку 2.1 показано кластеризовані дані викидів міського транспорту за один день. Нумерація кластерів починається з нуля. Інтерфейс включає візуалізацію міського плану з дорожньою мережею, де кластер позначений різними кольорами. Це дозволяє моделювати та аналізувати вплив транспорту на міське середовище шляхом візуалізації районів з різними рівнями викидів.

Також було розрахована кореляція між швидкістю автомобіля та його викидами, яка дорівнює 0.4391. Згідно результатів можна сказати, що кореляція є помірною і можна зробити припущення, що викиди можуть сильно збільшуватися лише під час стрімкого набору або скидання швидкості.

## 2.2 Аналіз викидів у залежності від вхідних параметрів

У даному підрозділі буде представлено аналіз розподілу забруднення міських територій на основі наявних екологічних даних. Використовуючи

зібрану інформацію про концентрації забруднюючих речовин у різних районах міста, було проведено систематизацію та ранжування територій за рівнем їх екологічного навантаження.

Викиди CO<sub>2</sub> за типом транспорту:

	transport_type	total_co2	mean_co2	count
0	bus	19222693102	9486.124958	2026401
1	light_rail	0	0.000000	126038
2	train	729653596	16097.903984	45326
3	trolleybus	1365238091	9827.654379	138918

Рисунок 2.2 - Результат розрахунків викидів за типом транспорту

На рисунку 2.2 було проведено розрахунки викидів за типом транспорту з метою дізнатися найбільш забруднюючий транспорт. Хоч автобуси і зробили більше тотального забруднення, але найбільш забруднюючим є потяг.

Викиди CO<sub>2</sub> для кожного кластеру у мг:

cluster	co2
0	1810603395
1	9213405320
2	5395633242
3	2432835476
4	2465107356

Рисунок 2.3 - Результат розрахунків викидів за кластером

За допомогою рисунку 2.3 стало зрозуміло, що кластер 1 характеризується найвищим сумарним рівнем викидів CO<sub>2</sub>, який становить понад 9,2 мільярда міліграмів. Це значення суттєво перевищує показники інших кластерів, зокрема другого кластеру — приблизно на 70%. Даний кластер відповідає центральній частині міста, де спостерігається висока щільність населення, інтенсивний рух громадського та приватного транспорту, а також обмежена наявність озелених територій. Це природно зумовлює підвищене навантаження на екологічну систему міста.

Кластер 2 займає друге місце за обсягом викидів — понад 5,3 мільярда міліграмів. Він охоплює напівцентральні райони з високим рівнем транспортної активності.

Кластери 0, 3 та 4 мають істотно нижчі показники викидів. Зокрема, кластер 0 демонструє найменше значення — близько 1,8 мільярда міліграмів. Цей кластер охоплює периферійні райони міста з обмеженим рухом транспорту та більшою кількістю відкритих або зелених просторів. Кластери 3 і 4 мають близькі до кластеру 0 значення, на рівні 2,4 мільярда міліграмів, бо вони також належать до менш урбанізованих зон.

Такий розподіл підтверджує гіпотезу про те, що рівень викидів безпосередньо корелює з рівнем урбанізації, щільністю населення та інтенсивністю транспортних потоків у кожному з регіонів.

На основі кластерного аналізу викидів CO<sub>2</sub> було розроблено три варіанти використання системи озеленення залежно від особливостей регіону, бюджету замовника та пріоритетів щодо впливу на екологічну ситуацію.

Клієнт 1 — орган місцевого самоврядування або муніципальний департамент екології. Основною ціллю є суттєве зменшення рівня викидів у найбільш забрудненому регіоні — кластері 1. Бюджет розглядається як високий.

Клієнт 2 — управління житлово-комунального господарства або інша муніципальна установа середнього рівня. Цільовим регіоном виступає кластер 3, якій демонструє помірний рівень викидів. Бюджет — середній.

Клієнт 3 — локальний споживач, зокрема школа, об'єднання співвласників багатоквартирного будинку (ОСББ) або ініціативна громада. Орієнтований на периферійні або малонаселені регіони з низьким рівнем викидів, зокрема кластер 0. Бюджет розглядається як обмежений. Основною метою є мінімізація витрат на встановлення при збереженні базового озеленення території.

### **2.3 Опис експертної системи**

*Основна мета* задачі полягає у зборі доступних ресурсів користувача, їхньому аналізу уподобань та вимог щодо озеленення території, а також обчисленні рейтингу для кожного варіанту заходів з урахуванням цих

відповідей. Користувач надає опис своїх потреб, серед яких є бюджет, територія та ефективність очищення. Для кожного наданого користувачем вхідного параметра система визначає ступінь відповідності до визначених нечітких термінів. Це відбувається шляхом використання правил. На основі цих ступенів відповідності, а також зважених параметрів, визначених для кожної стратегії, система обчислює рейтинг для кожного варіанта озеленення. Зрештою, система рекомендує три найкращі рішення з найвищими рейтингами. Цей підхід дозволяє користувачам зробити обґрунтований вибір оптимальних заходів для покращення якості повітря та озеленення території.

## 2.4 Формалізація задачі

Серед вхідних параметрів — числові значення, що характеризують умови реалізації проекту озеленення, зокрема:

- **Бюджет** (у гривнях) — загальна сума, яку готові інвестувати в озеленення.
- **Доступна площа** (у м<sup>2</sup>) — територія, придатна для впровадження заходів.
- **Бажане поглинання CO<sub>2</sub>** (у кг/рік) — екологічна мета щодо зменшення викидів.

Серед вихідних параметрів - персоналізовані рекомендації щодо заходів озеленення, які відповідають екологічним цілям, бюджету та уподобанням користувача (наприклад, рекомендація озеленити дахи будівель або території парків для максимального поглинання CO<sub>2</sub>).

Зв'язок між вхідними та вихідними параметрами простежується у наступному - обробка конкретних значень даних користувача (наприклад, наданий бюджет, площа, екологічні цілі) визначає оцінки для кожного варіанту озеленення за допомогою трикутної функції нечіткої приналежності матриці ймовірностей. На основі цих даних обчислюються оцінки для кожного заходу

озеленення, після чого відбувається розрахунок рейтингу. Найвищі оцінки визначають найбільш ефективні заходи для рекомендації користувачеві і, таким чином, формують персоналізований план озеленення.

## 2.5 Розробка моделі

Розробка моделі для розв'язання задачі була здійснена на основі обраної технології — мови програмування Python. Основним етапом розробки було створення алгоритму обчислення рейтингів для кожного варіанту заходу озеленення на основі вхідних даних користувача.

Процес почався з визначення вхідних параметрів для користувача, які включають такі дані, як бюджет, доступна площа для реалізації заходу, та ефективність очищення. Ці дані допомагають сформувати відповідний контекст для аналізу.

Після того, як користувач надає дані, які зберігаються у змінних та використовуються для обчислення рейтингів для кожного варіанту озеленення (озеленення дахів, парків чи вздовж доріг) за допомогою нечіткої логіки, а саме трикутної функції. Алгоритм на основі цих даних визначає, який варіант найкраще відповідає потребам користувача.

Завдяки використанню Python та бібліотек для обробки даних (наприклад, pandas для маніпулювання даними), система обчислює рейтинги для кожного варіанту озеленення з урахуванням всіх даних. Після цього система надає три найкращі варіанти, які відповідають екологічним цілям та обмеженням користувача.

Ця модель дозволяє легко масштабувати та модифікувати систему в майбутньому, додаючи нові параметри для аналізу, поліпшуючи алгоритм обчислення рейтингів і підвищуючи точність рекомендацій. Система може бути доповнена додатковими можливостями для аналізу нових типів даних або зміни підходу до визначення оптимальних варіантів озеленення.

## 2.6 Визначення Конфігураційних параметрів системи

У контексті використання Python для розробки експертної системи вибору заходу для озеленення, важливу роль відіграють конфігураційні параметри та їх налаштування. Ці параметри дозволяють гнучко керувати поведінкою системи без зміни основного коду програми. Ось основні типи налаштувань для даної задачі:

Вхідні дані: Конфігураційні параметри включають визначення трьох ключових вхідних параметрів. Це дозволяє налаштовувати, які саме фактори будуть найбільш важливими для користувача при виборі відповідного заходу озеленення, а також порядок, у якому ці питання з'являтимуться в інтерфейсі системи.

Ваги для вхідних даних користувача: Для кожного варіанту заходу можна задати певні ваги для даних, які впливають на кінцевий результат. Наприклад, якщо вибір бюджету має вищу вагу, ніж вибір площі для реалізації, ця інформація буде враховуватись під час обчислення рекомендацій. Ці ваги зберігаються у окремому конфігураційному файлі, який читається системою під час роботи. Як основа для встановлення значень у конфігураційному файлі було використано наукову статтю Геттера та Рове, наукові доповіді за 2024 рік, і дослідження про потенціал секвестрації та зберігання вуглецю, що було проведено у Гельсінках. Також ціна була отримана з муніципальних проєктів розвитку парків, після чого було зроблено коригування витрат, зробивши резерв на управління проєктом.

Кількість результатів для рекомендації: Налаштуванням системи є також кількість рекомендованих заходів. Це можна налаштувати в конфігурації системи, залежно від бажаної кількості варіантів, що пропонуються користувачу (наприклад, найкращі три або п'ять варіантів).

Застосування Python дозволяє зручно працювати з такими налаштуваннями через конфігураційні файли та змінні параметрів, що робить систему більш гнучкою та адаптивною до різних запитів користувачів без необхідності модифікації основного коду програми.

## 2.7 Структура правил експертної системи

Експертна система для вибору заходів озеленення використовує базу правил, що зберігається у файлі `weights_fuzzy.csv`. Цей файл містить структуровані дані, які визначають логіку прийняття рішень системою на основі відповідей користувача.

Файл `weights_fuzzy.csv` організований у табличному форматі з чотирма основними колонками:

- `strategy` - назва стратегії озеленення (10 різних варіантів)
- `feature_type` - тип характеристики проекту
- `feature_term` - нечітке значення характеристики
- `term_center` - центральне значення для нечіткої функції приналежності
- `term_width`: Це ширина нечіткої функції приналежності
- `term_shape`: Це форма нечіткої функції приналежності. На разі використовується лише трикутна нечітка функція

Типи характеристик проекту: Площа реалізації проекту, бюджет, мета проекту. Експертна система отримує від користувача вхідні дані, які відповідають типам характеристик проекту. Для кожного типу даних користувача система використовує нечіткі правила у файлі правил, для визначення ступеня приналежності цього значення до різних нечітких ознак.

Алгоритм вибору рекомендацій: Система обчислює зважену оцінку, яка формується шляхом множення ступеня приналежності кожного вхідного параметра на його відповідну вагу, визначену у внутрішній конфігурації

системи, для кожного заходу озеленення. Ці ваги відображають важливість кожного критерію для конкретної стратегії. Кінцева зважена оцінка для кожної стратегії відображає її загальну відповідність умовам, заданим користувачем. Стратегії з вищими позитивними оцінками є більш рекомендованими, тоді як нижчі оцінки або значення, близькі до нуля, вказують на менш підходящі або нейтральні варіанти.

## **2.8 Практична реалізація**

Практична реалізація моделі виконана за допомогою мови програмування Python. У програмі реалізовано механізм для введення відповідей користувача на анкетні питання та відображення рекомендацій щодо вибору оптимального заходу озеленення.

Після введення відповідей користувача програма обчислює рейтинг для кожного варіанту озеленення на основі ваг, наданих експертами. За допомогою цих даних визначаються три найкращі варіанти заходів, які найкраще відповідають вимогам користувача, та відображаються результат у відповідному форматі.

Весь процес взаємодії з користувачем відбувається через текстовий ввід, що робить процес використання програми простим та інтуїтивно зрозумілим.

## **2.9 Аналіз результатів**

Результати вирішення задачі полягають у наданні персоналізованих рекомендацій користувачам щодо вибору заходів для озеленення. Кількісні результати включають список трьох найкращих заходів, розташованих в порядку пріоритету з врахуванням вимог кожного конкретного користувача.

Для отримання результатів було отримано вхідні дані трьох клієнтів згаданих у розділі 2.2 із різним бюджетом, ефективністю, а також різною кількістю вільних територій. Отримані результати наведено нижче.

Клієнт 1 має бюджет 25 мільйонів гривень, вільну площу у розмірі 12 км<sup>2</sup> і хоче поглинати 2500 кг CO<sub>2</sub> на рік

--- Топ-заходи ---

- Лісовідновлення 0.69
- Створення водно-болотних угідь 0.61
- Створення екологічних коридорів 0.60

Рисунок 2.4 – Рейтинг заходів для Клієнта 1

За допомогою рисунку 2.4 стало зрозуміло, що найкращим заходом із оцінкою 0.69 є Лісовідновлення

Клієнт 2 має бюджет 8 мільйонів гривень, вільну площу у розмірі 1,5 км<sup>2</sup> і хоче поглинати 300 кг CO<sub>2</sub> на рік

--- Топ-заходи ---

- Створення міських садів 0.90
- Створення водно-болотних угідь 0.75
- Лісовідновлення 0.74

Рисунок 2.5 – Рейтинг заходів для Клієнта 2

За допомогою рисунку 2.5 стало зрозуміло, що найкращим заходом із оцінкою 0.9 є створення міських садів

--- Топ-заходи ---

- Озеленення шкіл та дитячих садків 0.90
- Озеленення вздовж доріг 0.87
- Озеленення прибудинкових територій 0.43

Рисунок 2.6 – Рейтинг заходів для Клієнта 3

За допомогою рисунку 2.6 стало зрозуміло, що найкращим заходом із оцінкою 0.9 є озеленення шкіл та дитячих садків

## Висновки за розділом

У даному розділі було розроблено та реалізовано експертну систему для вибору оптимального заходу озеленення з використанням мови програмування Python. Система побудована на основі правил, що зберігаються у конфігураційному файлі `weights_fuzzy.csv`, який містить 10 різних стратегій озеленення з відповідними вагами для кожної характеристики проекту.

Розроблена система демонструє ефективний підхід до автоматизації процесу прийняття рішень у сфері екологічного планування. Використання конфігураційних параметрів забезпечує гнучкість системи та можливість її швидкого налаштування без зміни основного коду програми.

Практичне тестування системи підтвердило її працездатність та здатність надавати обґрунтовані рекомендації на основі трьох ключових критеріїв: площі реалізації, бюджету, та рівня поглинання CO<sub>2</sub>. Алгоритм, оснований на нечіткій логіці дозволяє користувачам отримувати найбільш релевантні варіанти заходів озеленення відповідно до їхніх специфічних потреб.

Розроблена архітектура системи є масштабованою та може бути легко розширена додатковими стратегіями озеленення, новими критеріями оцінювання або модифікованими алгоритмами обчислення рекомендацій.

## РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛІТИЧНИЙ

### 3.1 Планування експерименту

Планування експерименту передбачає порівняння класичних підходів до розв'язку задачі з інтелектуальними, а також дослідження впливу параметрів моделі на результати.

Порівняння класичних методів розв'язку задачі, таких як експертні системи або прості евристичні методи, з інтелектуальними методами, заснованими на машинному навчанні, допоможе визначити переваги та недоліки кожного підходу.

Щодо вибору моделей для дослідження, вони можуть включати прості статистичні методи, класичні алгоритми машинного навчання або складніші нейронні мережі.

Один з ключових аспектів планування експерименту - це вивчення впливу різних параметрів моделі на результати. Дослідження цих параметрів дозволяє знайти оптимальні налаштування моделі для досягнення найкращих результатів.

Після проведення експерименту необхідно провести аналіз отриманих результатів. Це може визначити найкращі параметри моделі та виявити потенційні обмеження кожного підходу.

### 3.2 Формування гіпотез та опис механізму їх перевірки

Після тестування програми було виявлено проблему: Не зважаючи на результат немає можливості пропонування комбінування заходів. На основі даного тестування було висунуто гіпотезу, що при розрахунку оцінок система не має можливості перевірити чи є комбінування заходів умисним, що

призводить до неможливості комбінування заходів та можливо не найкращої продуктивності для користувача.

Для усунення даної проблеми було вирішено додати нову функцію, яка після розрахунку рейтингу, і використовує аналіз таких ключових параметрів, як ефективність поглинання CO<sub>2</sub> та бюджет, щоб визначити доцільність поєднання двох найкращих стратегій. Зокрема, вона перевіряє, чи має друга за рейтингом стратегія вищий вплив на CO<sub>2</sub>, і чи можна поєднати основну стратегію з більш бюджетною альтернативою, виходячи з їхніх нечітких ступенів приналежності до термінів "високий бюджет" чи "низький бюджет". Було прийняте рішення зробити так, щоб відбувався аналіз чи є прийнятним зосереджуватися на двох, або трьох заходах.

### 3.3 Результати експерименту

Після зміни впливу на систему відповіді з приводу бюджету взято дані тих самих клієнтів, які тепер мають можливість отримати комбіновані результати:

```

--- Топ-заходи ---
• Лісовідновлення 0.69
• Створення водно-болотних угідь 0.61
• Створення екологічних коридорів 0.60
--- Комбіновані пропозиції ---
Немає комбінованих пропозицій для відображення.

```

Рисунок 3.1 – Рейтинг заходів для Клієнта 1 з можливістю комбінування

За допомогою рисунку 3.1 стало зрозуміло, що хоч у клієнта і достатньо великий бюджет, але комбінувати їх не є доцільним

--- Топ-заходи ---

- Створення міських садів 0.90
- Створення водно-болотних угідь 0.75
- Лісовідновлення 0.74

--- Комбіновані пропозиції ---

Комбінація: Створення міських садів + Створення водно-болотних угідь (Оцінка: 0.82)

- Друга стратегія має вищий вплив на CO<sub>2</sub> порівняно з основною.

Рисунок 3.2 – Рейтинг заходів для Клієнта 2 з можливістю комбінування

На рисунку 3.2 показано можливість комбінування лише двох заходів, бо друга стратегія показує себе краще в очищенні викидів. Комбінація із третім заходом не можлива через невеликий бюджет

--- Топ-заходи ---

- Озеленення шкіл та дитячих садків 0.90
- Озеленення вздовж доріг 0.87
- Озеленення прибудинкових територій 0.43

--- Комбіновані пропозиції ---

Комбінація: Озеленення шкіл та дитячих садків + Озеленення вздовж доріг (Оцінка: 0.89)

- Друга стратегія має вищий вплив на CO<sub>2</sub> порівняно з основною.

Рисунок 3.3 – Рейтинг заходів для Клієнта 3 з можливістю комбінування

На рисунку 3.3 ситуація майже ідентична до минулого клієнта. Існує можливість комбінування лише двох заходів

Проведення експерименту щодо даної гіпотези показало, що можливість комбінованої відповіді значно покращило різноманітність програми. У разі неможливості комбінування пропонується зосередитися на одному заході.

### **Висновки за розділом**

У третьому розділі було проведено експериментально-аналітичне дослідження функціонування розробленої експертної системи для вибору заходів озеленення. В ході тестування системи була виявлена критична проблема - неможливість комбінування різних заходів озеленення, що значно обмежувало практичну цінність рекомендацій системи.

Для вирішення цієї проблеми було модифіковано алгоритм роботи системи, додавши функціональність комбінованих рішень. Це дозволило системі пропонувати не лише окремі заходи озеленення, але й їх оптимальні поєднання, що більш точно відповідає реальним потребам планування екологічних проектів.

Проведення експерименту щодо даної гіпотези показало, що можливість комбінованої відповіді значно покращило різноманітність програми. Система тепер здатна адаптуватися до різних обмежень: у разі замалого бюджету пропонується зосередитися максимум на двох заходах, тоді як за наявності достатніх ресурсів і більшої ефективності другого заходу, система рекомендує об'єднання трьох рішень.

Експериментальний аналіз підтвердив, що впровадження комбінованих рекомендацій підвищило практичну застосовність системи та її здатність надавати більш реалістичні та всебічні поради для планування заходів озеленення. Модифікована система демонструє кращу адаптивність до різноманітних умов проектів та потреб користувачів.

## ВИСНОВКИ

Екологічне планування та вибір оптимальних заходів озеленення є актуальною проблемою сучасного міського планування, яка потребує комплексного підходу та врахування множини факторів. Зважаючи на складність процесу прийняття рішень у цій сфері та необхідність врахування різноманітних критеріїв, було прийняте рішення про доцільність розробки експертної системи, яка могла б надавати обґрунтовані рекомендації щодо вибору заходів озеленення на основі характеристик проекту без необхідності залучення експертів на кожному етапі планування.

У першому розділі даної роботи було описане поняття експертних систем, їх структуру та принципи функціонування, а також надана інформація про методи представлення знань та алгоритми виведення рішень. Крім того, були розглянуті різні підходи до розробки систем підтримки прийняття рішень у галузі екологічного планування. Було проаналізовано як традиційні методи експертного оцінювання, так і сучасні підходи на основі правил та алгоритмів машинного навчання. Кожний з цих методів має свої переваги та недоліки, які були висвітлені у відповідних підрозділах даного розділу.

У другому розділі була розроблена та реалізована експертна система для вибору заходів озеленення з використанням мови програмування Python. Система була побудована на основі правил, що зберігаються у конфігураційному файлі `weights_fuzzy.csv`, який містить 10 різних стратегій озеленення з відповідними вагами для кожної характеристики проекту. Використання конфігураційних параметрів замість жорстко закодованих правил забезпечило гнучкість системи та можливість її швидкого налаштування без зміни основного коду програми. Алгоритм ранжування результатів дозволяє користувачам отримувати найбільш релевантні варіанти заходів озеленення відповідно до їхніх специфічних потреб.

У третьому розділі було проведено експериментально-аналітичне дослідження функціонування розробленої системи. В ході тестування була виявлена критична проблема неможливості комбінування різних заходів озеленення, що значно обмежувало практичну цінність рекомендацій. Для вирішення цієї проблеми було модифіковано алгоритм роботи системи, додавши функціональність комбінованих рішень. Експериментальний аналіз підтвердив, що впровадження комбінованих рекомендацій підвищило практичну застосовність системи та її здатність надавати більш реалістичні поради для планування заходів озеленення.

Таким чином, результати роботи свідчать про ефективність розробленого підходу до автоматизації процесу вибору заходів озеленення на основі експертної системи з правилами. Це дозволяє оптимізувати процес екологічного планування, зменшити залежність від експертних оцінок на початкових етапах проектування та підвищити обґрунтованість прийнятих рішень.

Слід зауважити, що дана система розроблялася на основі обмеженого набору критеріїв та заходів озеленення, що може обмежувати діапазон її використання в специфічних умовах. Розширення системи додатковими параметрами, такими як кліматичні умови, тип ґрунту, наявність інфраструктури тощо, є завданням для наступних досліджень.


## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кваліфікаційна робота бакалавра [Електронний ресурс] : методичні рекомендації для здобувачів ступеня бакалавра освітньо-професійної програми «Системний аналіз» зі спеціальності 124 Системний аналіз / уклад.: Т. А. Желдак, Т. В. Хом'як, А. В. Малієнко ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2025. – 32 с. url: <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/170863>
2. Darido G., Torres-Montoya M., Mehndiratta S. Urban transport and CO<sub>2</sub> emissions: some evidence from Chinese cities. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*. 2013. Vol. 3, no. 2. P. 122–155. URL: <https://doi.org/10.1002/wene.71> (date of access: 07.05.2025).
3. Dolcerocca A. Negotiating Climate Change in Crisis. *Contemporary Sociology: A Journal of Reviews*. 2023. Vol. 52, no. 3. P. 221–223. URL: <https://doi.org/10.1177/00943061231172096a> (date of access: 07.05.2025).
4. Kumar P., Parwani A. K. CFD Analysis of Chemical Looping Combustion with Special Emphasis on Indian Coal: A Review. *Climate Change and Green Chemistry of CO<sub>2</sub> Sequestration*. Singapore, 2021. P. 57–68. URL: [https://doi.org/10.1007/978-981-16-0029-6\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-16-0029-6_5) (date of access: 07.05.2025).
5. Levy J. M., Hirt S. A., Dawkins C. J. The Tools of Land-Use Planning. *Contemporary Urban Planning*. 12th ed. New York, 2024. P. 147–182. URL: <https://doi.org/10.4324/9781003291145-11> (date of access: 07.05.2025).
6. Nastasi B., Mauri A. Energy Consumption in a Smart City. *Energies*. 2022. Vol. 15, no. 20. P. 7555. URL: <https://doi.org/10.3390/en15207555> (date of access: 07.05.2025).
7. The co-benefit of emission reduction efficiency of energy, CO<sub>2</sub> and atmospheric pollutants in China under the carbon neutrality target / F.-r. Ren et al. *Energy*

- Strategy Reviews. 2023. Vol. 49. P. 101125. URL: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101125> (date of access: 07.05.2025).
8. MacQueen J. B. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. 1967. Vol. 1. P. 281–297. URL: <https://doi.org/10.1007/BF02289263> (date of access: 07.05.2025).
  9. Jain A. K. Data clustering: 50 years beyond K-means. Pattern Recognition Letters. 2010. Vol. 31, no. 8. P. 651–666. URL: <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2009.09.011> (date of access: 07.05.2025).
  10. Murtagh F., Contreras P. Algorithms for hierarchical clustering: an overview. Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery. 2012. Vol. 2, no. 1. P. 86–97. URL: <https://doi.org/10.1002/widm.53> (date of access: 07.05.2025).
  11. Ester M., Kriegel H. P., Sander J., Xu X. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. 1996. P. 226–231. URL: <https://doi.org/10.5120/739-1038> (date of access: 07.05.2025).
  12. Kriegel H. P., Kröger P., Sander J., Zimek A. Density-based clustering. Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery. 2011. Vol. 1, no. 3. P. 231–240. URL: <https://doi.org/10.1002/widm.30> (date of access: 07.05.2025).
  13. Reynolds D. Gaussian mixture models. Encyclopedia of Biometrics. 2009. P. 659–663. URL: [https://doi.org/10.1007/978-0-387-73003-5\\_196](https://doi.org/10.1007/978-0-387-73003-5_196) (date of access: 07.05.2025).
  14. Fraley C., Raftery A. E. Model-based clustering, discriminant analysis, and density estimation. Journal of the American Statistical Association. 2002. Vol. 97, no. 458. P. 611–631. URL: <https://doi.org/10.1198/016214502760047131> (date of access: 07.05.2025).

15. Ng A. Y., Jordan M. I., Weiss Y. On spectral clustering: Analysis and an algorithm. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2002. Vol. 14. P. 849–856. URL: <https://doi.org/10.5555/2980539.2980649> (date of access: 07.05.2025).
16. Коряшкіна, Л., Малієнко, А., Станіна, О., Шевченко, Ю., Кодола, Я. (2025). Системний аналіз та оптимальний вибір комплексу заходів для підвищення безпеки на підприємстві. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 72–80, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2025-2-7>
17. Von Luxburg U. A tutorial on spectral clustering. *Statistics and Computing*. 2007. Vol. 17, no. 4. P. 395–416. URL: <https://doi.org/10.1007/s11222-007-9033-z> (date of access: 07.05.2025).
18. Кавун, С. В. Системи штучного інтелекту [Текст]: навч. посіб. / С. В. Кавун, В. М. Коротченко. – Харків: Вид. ХНЕУ, 2007. – 320 с.
19. Нікольський Ю.В., Пасічник В.В. Системи штучного інтелекту. – Львів, Магнолія-Плюс, 2013. – 315 с.
20. Системи та методи прогнозування [Електронний ресурс] : методичні рекомендації до виконання практичних робіт для здобувачів ступеня бакалавра освітньо-професійної програми «Системний аналіз» зі спеціальності 124 Системний аналіз / уклад.: Т.В. Хом'як, О.Б. Владико, К.С. Хабарлак, Д.М. Гаранжа ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2025. – 56 с. <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/172379>

## Додаток А. ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Примітки					
1									
2		Документація							
3									
4	САУ.КР.25.58.ПЗ	Пояснювальна записка	56	Формат А4					
5									
6		Демонстраційний матеріал	14	Презентація на CD-R					
7									
8		Копія роботи	1	Диск CD-R					
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
					САУ.КР.25..ДА.ПЗ.				
Змін.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Матеріали кваліфікаційної роботи</b>	Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розроб.		Шевченко М.А.							
К. розд.		Гаранжа Д.М.							
Керівн.		Гаранжа Д.М.				НТУ «ДП», 12; 124-21-2			
Н.контр.		Хом'як Т.В.							
Зав. каф.		Желдак Т.А.							

**Відгук**  
**на кваліфікаційну роботу бакалавра**  
Шевченко Матвія Андрійовича  
студента групи 124 – 21 – 2  
спеціальності 124 Системний аналіз

**Тема кваліфікаційної роботи:** «Аналіз екологічної ситуації на основі щільності викидів та кліматичних умов з рекомендаціями щодо озеленення територій»

Обсяг кваліфікаційної роботи 56 стор.

**Мета кваліфікаційної роботи:** Розробка системи аналізу екологічної ситуації та отримання прогностичних даних для визначення пріоритетних зон озеленення урбанізованих територій.

Актуальність роботи обумовлена важливістю питання екології, особливо для регіонів\центрів, де наявна велика концентрація промисловості та транспортних логістичних вузлів.

Тема кваліфікаційної роботи безпосередньо пов'язана з об'єктом діяльності бакалавра спеціальності 124 Системний аналіз, оскільки в роботі демонструється системний підхід до аналізу поставленої задачі та пошук шляхів її вирішення. Демонструється вміння застосовувати методи кластеризації даних, а також розробки експертної системи на основі нечіткого логічного висновку.

Виконані в кваліфікаційній роботі завдання відповідають вимогам ступеня бакалавра.

Практичне значення результатів кваліфікаційної роботи полягає в тому, що запропоновано реалізацію експертної системи для формування стратегії покращення екологічної ситуації у складному регіоні. Звісно що дана задача потребує подальшого розвитку і більш детального дослідження.

Висновки підтверджують можливість використання результатів роботи в оперативному формуванні стратегії розвитку промислових регіонів з урахування екологічної ситуації в різних районах.

Оформлення пояснювальної записки та демонстраційного матеріалу до неї виконано згідно з вимогами. Роботу виконано самостійно, відповідно до завдання та у повному обсязі.

Кваліфікаційна робота в цілому заслуговує оцінки «відмінно», а автор заслуговує присвоєння кваліфікації «бакалавр з системного аналізу».

Керівник кваліфікаційної  
роботи бакалавра,  
старший викладач

\_\_\_\_\_ / Гаранжа Д.М.