

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра автоматики та управління в технічних системах

«На правах рукопису»
УДК 004.02

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Олександр РОЛІК

« ____ » _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Інтегровані інформаційні системи»
зі спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології»**

**на тему: «Автоматизована система моніторингу та управління транспортними
викидами»**

Виконав (-ла):

студент (-ка) VI курсу, групи ІА-392мп

Куліш Дар'я Сергіївна _____

Керівник:

доцент каф. АУТС, к.т.н., доцент,

Репнікова Наталія Борисівна _____

Рецензент:

доцент каф. АСОіУ, к.т.н., доцент,

Жданова Олена Григорівна _____

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра автоматизації та управління в технічних системах

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 126 «Інформаційні системи та технології»

Освітньо-професійна програма «Інтегровані інформаційні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олександр РОЛІК

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Куліш Дар'ї Сергіївни

1. Тема дисертації «Автоматизована система моніторингу та управління транспортними викидами», науковий керівник дисертації Репнікова Наталія Борисівна, к.т.н., доц., затверджені наказом по університету від «26» 10 2020 р. №3132-с
2. Термін подання студентом дисертації _____
3. Об'єкт дослідження: транспортні викиди
4. Вихідні дані: система моніторингу та управління транспортними викидами: оновлення графу загазованості кожні 10 секунд, точність визначення місцезнаходження не більше 5 метрів, доступність визначення місцезнаходження >90%.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: огляд та аналіз організації спостережень за станом повітря; експеримент з підрахунку загазованості над транспортними шляхами Києва та аналіз результатів; розроблення структурної та функціональної схем; розроблення алгоритмів для підрахунку викидів від автомобільного транспорту та побудови оптимального за загазованістю маршруту; розроблення стартап-проекту.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: секторні діаграми специфіки пробігових значень викидів за групами автомобілів; часові діаграми концентрації шкідливих речовин над проспекті С.Бандери у порівнянні з ГДК; секторні

діаграми визначення долі кожної групи авто у викидах на проспекті С.Бандери; схема структурна; схема функціональна; блок-схема алгоритму підрахунку загазованості на стороні клієнта; блок-схема алгоритму підрахунку загазованості на серверній частині; блок-схема алгоритму побудови оптимального за загазованістю маршруту.

7. Орієнтовний перелік публікацій: Куліш Д.С. Система моніторингу та управління загазованістю шляхів населеного пункту /Куліш Д.С., Репнікова Н.Б.// Winter InfoCom 2020: Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції з інформаційних систем та технологій, м. Київ, 1-2 грудня 2020 р. – К.: Вид-во ТОВ "Інжиніринг", 2020. – С. 29-30

8. Дата видачі завдання 04.09.2020

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
	Отримання завдання та узгодження вихідних даних	04.09.2020	
1.	Огляд та аналіз організації спостережень за станом повітря в Європі та Україні	04.09.2020-21.09.2020	
2.	Проведення експерименту з підрахунку загазованості над транспортними шляхами міста Києва та аналіз результатів	21.09.2020-10.10.2020	
3.	Розроблення структурної і функціональної схем системи	10.10.2020-25.10.20	
4.	Розроблення алгоритму для підрахунку викидів від автомобільного транспорту	25.10.2020-12.11.2020	
5.	Розроблення алгоритму побудови оптимального за загазованістю маршруту для руху	12.11.2020-23.11.2020	
6.	Розроблення стартап-проекту	23.11.2020-25.11.2020	
7.	Оформлення дисертації	25.11.2020-01.12.2020	
8.	Подання дисертації до попереднього захисту	01.12.2020	
9.	Проведення експерименту з підрахунку загазованості над транспортними шляхами міста Києва та аналіз результатів	04.09.2020	

Студент

Дар'я КУЛІШ

Науковий керівник

Наталія РЕПНІКОВА

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на здобуття ступеня «магістр» за освітньо-професійною програмою підготовки «Інтегровані інформаційні системи» на тему «Автоматизована система моніторингу та управління транспортними викидами».

Дисертація містить 128 сторінок, 28 рисунків, 50 таблиць, 10 додатків, 27 джерел.

Актуальність. Забруднення повітря парниковими газами на сьогоднішній день є однією з глобальних проблем людства. Адже це явище впливає не тільки на здоров'я кожного окремого жителя, а й на стан середовища існування. Останнім часом викиди парникових газів від транспорту зросли набагато більше ніж від діяльності інших галузей і очікується продовження тенденції.

Метою магістерської дисертації є зменшення рівня загазованості над транспортними шляхами населеного пункту.

Об'єкт дослідження – транспортні викиди, предмет дослідження – система моніторингу та управління транспортними викидами.

На базі проведеного дослідження з підрахунку загазованості навколишнього середовища двох маршрутів у м. Києві запропоновано новий підхід для розроблення системи моніторингу та управління загазованістю над транспортними шляхами. Запропонована система базується на наступних принципах: краудсорсинг, використання гібридної системи позиціонування й оптимального алгоритму для побудови маршруту, візуалізація загазованості у реальному часі. Така система дозволила розвантажити популярні маршрути та скорити викиди шкідливих речовин в атмосферу в цілому.

Апробація результатів дисертації. Результати дослідження обговорювались на науково-практичній конференції «Winter InfoCom Advanced Solutions 2020». Результати були впроваджені та використовуються у діяльності підприємства ТОВ «Мобілуніті».

Ключові слова: ЗАГАЗОВАНІСТЬ, ТРАНСПОРТ, МОНІТОРИНГ, УПРАВЛІННЯ, КАРТОГРАФІЧНИЙ СЕРВІС, КРАУДСОРСИНГ, ГІБРИДНА СИСТЕМА ПОЗИЦІОНУВАННЯ, ПОБУДОВА МАРШРУТУ.

ABSTRACT

Master's dissertation on the educational-professional level training program “Master” on the theme “Automated system for monitoring and managing transport emissions”.

The dissertation contains 128 pages, 28 figures, 50 tables, 10 applications, 27 sources. Relevance. Today, air pollution by greenhouse gases is one of the global problems of mankind. After all, this phenomenon affects not only the health of each individual resident, but also the state of the environment. Recently, greenhouse gas emissions from transport have increased much more than from other industries and the trend is expected to continue. In addition, in cities a significant part of the road network is congested with traffic flows, which exacerbates the problem of air pollution by emissions in specific areas to a critical level.

The purpose of the master's dissertation is to reduce the level of pollution over the transport routes of the settlement.

The object of research is transport emission, the subject of research is the system of monitoring and management of transport emissions.

On the basis of a study on the calculation of environmental pollution of two routes in Kyiv, a new approach to the development of a system for monitoring and managing of transport emission of locality routes has been proposed. The proposed system is based on the following principles: crowdsourcing, the use of a hybrid positioning system and the optimal algorithm for route construction, real-time visualization of air pollution. This system has allowed to unload popular routes and reduce emissions of harmful substances into the atmosphere as a whole.

Approbation of dissertation results. The results of the study were discussed at the scientific-practical conference “Winter InfoCom Advanced Solutions 2020”. The results were implemented and used in the activities of LLC “Mobilunity”.

Keywords: GAS POLLUTION, TRANSPORT, MONITORING, CONTROL, CARTOGRAPHIC SERVICE, CROWDSOURCING, HYBRID POSITIONING SYSTEM, ROUTE CONSTRUCTION.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	8
ВСТУП.....	9
1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ	11
2 СУЧАСНИЙ СТАН МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ ТА НОРМАТИВНА БАЗА. 13	
2.1 Система моніторингу якості повітря у Великобританії	13
2.2 Система моніторингу якості повітря у Норвегії	18
2.3 Система моніторингу якості повітря у Швейцарії.....	19
2.4 Система моніторингу якості повітря в Україні	19
2.5 Норми викидів та концентрацій.....	25
3 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ У ЄВРОПЕЙСЬКИХ КРАЇНАХ	27
3.1 Методи відбору проб повітря в системах моніторингу.....	27
3.2 Вимірювальне обладнання в автоматизованих системах моніторингу	29
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ НАД МАГІСТРАЛЯМИ М.КИЄВА АВТОТРАНСПОРТОМ	51
4.1 Методика підрахунку загазованості від пересувних джерел.....	51
4.2 Проведення експерименту по підрахунку загазованості над транспортними шляхами м. Києва	54
4.3 Обробка результатів експерименту	67
5 ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО СИСТЕМИ.....	77
6 СТРУКТУРНА СХЕМА СИСТЕМИ.....	79
7 ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА СИСТЕМИ.....	81

8 ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ.....	84
8.1 Краудсорсингова модель збору даних.....	84
8.2 Гібридна система позиціонування.....	85
9 РОЗРОБКА ТА ВИБІР АЛГОРИТМІВ	93
9.1 Алгоритм підрахунку загазованості.....	93
9.2 Алгоритм для прокладання маршруту.....	96
10 СТАРТАП-ПРОЕКТ.....	100
10.1 Опис ідеї проекту.....	100
10.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	104
10.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	106
10.4 Розроблення ринкової стратегії.....	117
10.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	120
ВИСНОВКИ.....	125
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	126
Додаток А	
Додаток Б	
Додаток В	
Додаток Г	
Додаток Д	
Додаток Е	
Додаток Ж	
Додаток И	
Додаток К	
Додаток Л	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АСКЗА – автоматизована станція контролю забруднення атмосфери

ГДК – гранично допустима концентрація

ПАВ – поліциклічні ароматичні вуглеводні

УФ – ультрафіолетова фотометрія

API – Application Programming Interface

AURN – Automatic Urban and Rural Network

CO – оксид вуглецю

GSM – Global System for Mobile Communications

GPS – Global Positioning System

NABEL – Національна мережа моніторингу забруднення повітря Швейцарії

NO – оксид азоту

MAC – управління доступом до середовища

SSID – ідентифікатора набору послуг

SO₂ – діоксид сірки

O₃ – озон

PM – тверді частинки

ВСТУП

Можливості впливу людини на навколишнє середовище постійно ростуть і вже досягли такого рівня, коли вона може власноруч зруйнувати умови для свого нормального існування. З початком неолітичної революції характер взаємодії «людина-природа» якісно змінився, а з видобутком і використанням вуглецевого палива навколишнє середовище зазнало таких істотних змін, у зв'язку з якими постала проблема вивчення та мінімізації їх впливу на здоров'я, умови проживання та взагалі майбутнє існування населення на планеті.

Щоб починати щось змінювати в екологічній ситуації, необхідно дослідити першопричини виникнення проблем. Ученими визначено глобальні характеристики Землі та встановлено так звані «планетарні межі» – дев'ять змінних величин, які в загальному масштабі визначають придатність планети для існування життя. Серед них: окислення океану, втрата біорізноманіття видів, викиди аерозолів та органічних забрудників, зміна клімату, вирубка лісів та зміна ландшафту, зменшення озонового шару, використання прісної води, домішки фосфору, азоту та інших елементів в різні екосистеми. На чотири з наведених величин безпосередньо впливають так звані парникові гази – вуглекислий газ, метан, оксид азоту, фторкарбони. Вони утворюються внаслідок згоряння різних видів палива та носять згубний характер не тільки для планети в глобальному масштабі, а й для здоров'я окремого жителя.

Основними об'єктами викидів парникових газів в Україні є: енергетика (35%), сільське та лісове господарство (24%), тваринництво (18%), промисловість (21%), транспорт (14%) та житловий сектор (6%). Проте у великих містах основним забруднюючим фактором все ж залишається автотранспорт (від 44 до 90% від суми загальних викидів) та має тенденцію зростання. Найбільш поширеними шкідливими речовинами, які надходять в атмосферу від машин, є оксид вуглецю (CO), оксид азоту (NO), діоксид сірки (SO₂), тверді частки (PM) і вуглеводні.

Кожен складник викидів автомобілів сприяє зменшенню озонового шару та негативно впливає на самопочуття людини. Особливо це помітно у великих містах, коли з погіршенням якості повітря зростає кількість людей зі скаргами на стан здоров'я. Оксид вуглецю, який становить основну частку транспортних викидів, за властивостями – речовина без запаху та смаку, але при високій концентрації може стати причиною нудоти, головного болю та, навіть, непритомності. Оксид сірки, який створює специфічний запах вихлопних газів блокує рецептори нюху, а вуглеводні під дією сонячного випромінювання окислюються та трансформуються в токсичні сполуки, які впливають на функціонування дихальних шляхів та можуть призвести до загострення хронічних захворювань дихальної системи організму. Канцерогени (тверді частинки, бензопірен, сажа) діють на утворення та розвиток доброякісних та злоякісних пухлин. У сумарній своїй дії хімічний склад викидів автомобілів може призвести і до смерті людини від отруєння. Особлива небезпека транспортних викидів полягає в їх кількості і концентрації на конкретній місцевості, швидкому розповсюдженні та легкості проникнення напряду в легені. Регулярний вплив та проживання в районі з забрудненою атмосферою є запорукою розвитку імунодефіциту, бронхітів, пошкоджень судин головного мозку, дихальної та нервової систем тощо.

Значна частина мережі автомобільних доріг міста перевантажена потоками транспортних засобів, що загострює проблему забруднення атмосфери транспортними викидами в конкретних районах до критичного рівня, а в деяких випадках – і небезпечного для життя та здоров'я людини. Окрім цього у сучасних умовах велику роль відіграє також обізнаність та надання інформації про стан довкілля з метою попередження й надання рекомендацій щодо правильної поведінки для збереження здоров'я. Моніторинг якості повітря досить досліджене питання в світі, проте в Україні знаходиться на низькому рівні. Розподілення транспортних викидів в масштабах міста задля уникнення критично високої концентрації шкідливих речовин в атмосфері в певному районі та зменшення загазованості в цілому за допомогою зміни дорожньої поведінки не досліджується як на локальному, так і на загальнодержавному рівнях. Тому

питання моніторингу стану повітря в реальному часі та розподілення й мінімізація викидів шкідливих речовин від транспорту є актуальними питаннями.

Метою магістерської дисертації є зменшення рівня загазованості над транспортними шляхами населеного пункту.

Для досягнення мети вирішено такі задачі:

- огляд та аналіз організації спостережень за станом повітря в Європі та Україні;
- експеримент з підрахунку загазованості над транспортними шляхами міста Києва та аналіз результатів;
- розроблення структурної та функціональної схем автоматизованої системи моніторингу та управління транспортними викидами;
- розроблення алгоритму для підрахунку викидів від автомобільного транспорту та алгоритму побудови оптимального за загазованістю маршруту для руху.

У процесі вирішення вищезазначених задач було використано наступні методи: емпіричне дослідження (проведення експерименту з підрахунку загазованості над двома транспортними шляхами міста), індукція (пізнання загального через одиничне, спираючись на дані експерименту), аналогія для принципів роботи системи (з відомим інформаційно-картографічним сервісом).

Об'єкт дослідження – транспортні викиди.

Предметом дослідження є система моніторингу та управління транспортними викидами.

Апробація результатів дисертації. Результати дослідження обговорювались на науково-практичній конференції «Winter InfoCom Advanced Solutions 2020» та були впроваджені у діяльність підприємства ТОВ «Мобілуніті».

Автоматизована система моніторингу та управління транспортними викидами має забезпечити впровадження сучасних методів у контроль за станом навколишнього середовища та вирішити проблему критичного рівня концентрації шкідливих речовин в атмосфері населеного пункту.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ

Розроблена система призначена для збору, обробки, аналізу та візуалізації даних про якість повітря над головними автотранспортними шляхами країни, а також для управління транспортними викидами в межах конкретного населеного пункту з метою однорідного розподілення шкідливих речовин (які містяться у вихлопних газах машин), уникнення критичного рівня загазованості над найпопулярнішими районами місцевості та мінімізації шкідливого впливу на життя і здоров'я пересічного жителя.

Система може бути використана будь-яким користувачем для моніторингу поточної ситуації з загазованості на місцевості, а також кожним водієм (з наявністю смартфона та доступом до інтернету) для прокладання маршруту до пункту призначення найменш загазованими районами. Результати роботи підсистеми моніторингу можуть бути передані на загальнодержавний рівень для коригування розташування стаціонарних станцій моніторингу, оцінки масштабів загазованості, прогнозування її змін і ступеня небезпеки, розробки рекомендацій для прийняття рішень в області охорони атмосферного повітря.

2 СУЧАСНИЙ СТАН МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ ТА НОРМАТИВНА БАЗА

Моніторинг якості повітря – систематичне вимірювання кількості забруднюючих речовин в атмосфері з метою оцінки рівня впливу цих речовин на чутливі об'єкти (наприклад, людей, тварин, рослини) на підставі нормативів і вказівок, виведених з спостережуваних наслідків, а також/або з метою встановлення джерела забруднення повітря [1].

На сьогоднішній день більшість таких спостережень проводиться в реальному часі та з доступом до результатів в онлайні. Для моніторингу застосовують спеціально призначені прилади та станції, які розташовуються в конкретно визначених місцях населеного пункту та фіксують вміст певних речовин у повітрі. Станції використовують зазвичай стаціонарні, проте в екстрених ситуаціях доповнюють систему і мобільними, щоб отримати якомога повнішу картину стану атмосфери. У більшості країн моніторинг якості повітря здійснюється на загальнодержавному рівні, проте рівень організації та автоматизації різний.

2.1 Система моніторингу якості повітря у Великобританії

Всього у Великобританії існує близько 1000 контрольованих ділянок моніторингу, які з'єднані в декілька мереж, що збирають певний вид інформації з використанням певного методу. Методи вимірювання залежать від причини створення мережі і від того, для чого будуть використовуватися дані. У Великобританії існує два основних типи мереж моніторингу – неавтоматичні і автоматичні.

Неавтоматичні мережі проводять вимірювання рідше в порівнянні з автоматичними мережами (щодня, щотижня або щомісяця) і зразки збираються за допомогою фізичних пристроїв (таких як дифузійна трубка або фільтр). Потім ці зразки піддаються хімічному аналізу, і за результатами розраховуються остаточні концентрації

забруднюючих речовин в атмосфері. Неавтоматичні мережі у Великобританії створені для вимірювання таких груп шкідливих речовин: поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ), дим та діоксид сірки, важкі метали.

ПАВ представляють собою групу стійких органічних забруднювачів, які містять два або більше бензольних кільця, зазвичай вони утворюються в результаті неповного згоряння або піролізу. Основними джерелами емісії техногенних ПАВ у навколишнє середовище є підприємства енергетичного комплексу, автомобільний транспорт, хімічна і нафтопереробна промисловість.

Вимірювання ПАВ в мережі почалося в 1991 році. На даний момент вона складається з більш ніж 30 пунктів вимірювання в Англії, Уельсі, Шотландії та Північній Ірландії, де вимірюються концентрації ПАВ в атмосфері Великобританії. Мережа використовує неавтоматичний метод, при якому речовини збираються на фільтрах, які потім знімаються та аналізуються [2]. У таблиці 2.1 наведені види ПАВ, які на сьогоднішній день вимірюються неавтоматичною мережею Великобританії.

Таблиця 2.1 – Види ПАВ, які вимірюються неавтоматичною мережею Великобританії

ПАВ в РМ	5-метилхризен, антантрен, бензоантрацен, бензопирен, бензофлуорантен, бензофлуорантен, бензонафтотиофен
ПАВ у відкладенні	1-метилнафталін, 1-метилантрацен, 1-метилфенантрен, 2-метилантрацен, 5-метилхрицентацетилен, бензоантрацен, бензопирен, бензофлуорантен, бензонафтотиофен, бензофенантрен, бензоперилен, бифенил, холантрен, хризен, коронен, циклопента пирен, дибензол

Концентрацію бензолу в навколишньому середовищі на різних ділянках по всій Великобританії вимірює неавтоматична вуглеводнева мережа. Бензол – найпростіший ароматичний вуглеводень, входить до складу бензину, широко застосовується в промисловості, є вихідною сировиною для виробництва ліків, різних пластмас, синтетичної гуми, барвників.

Відокремлення мережі для вимірювання окремо бензолу відбулось в 2007 році. Оскільки цілі і граничні значення для бензолу відносяться до середньорічної концентрації, немає необхідності використовувати метод моніторингу з постійним спостереженням. Тому відбір проб здійснюється за допомогою насосних пробовідбірників, розташованих на станціях моніторингу, яких близько 30. Навколишнє повітря прокачується через пробовідбірні трубки, що містять абсорбент, з використанням спеціально сконструйованих насосних агрегатів, які перемикаються між двома трубками для отримання двох номінально ідентичних проб, що беруться кожні два тижні. Після відбору проб трубки змінюються, а інструменти перевіряються місцевими операторами. Відкриті трубки відправляються в блок управління мережею для аналізу.

Автоматичні мережі визначають щогодинні концентрації забруднюючих речовин, при цьому дані збираються з окремих ділянок за допомогою модему.

Automatic Urban and Rural Network (AURN) – це найбільша у Великобританії мережа автоматичного моніторингу та основна мережа, яка використовується для звітності про відповідність директивам про якість навколишнього повітря. Вона включає в себе автоматичні станції моніторингу якості повітря, що вимірюють оксид азоту (NO), діоксид сірки (SO₂), озон (O₃), оксид вуглецю (CO) і частки (PM₁₀, PM_{2,5}).

Станції AURN надають погодинну інформацію з високою роздільною здатністю, яка швидко доводиться до громадськості з використанням широкого спектру електронних, медіа та веб-платформ (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Параметри моніторингу автоматичної мережі Великобританії

Параметри, які вимірюються	Станції та доступ до даних
Температура навколишнього середовища	
Барометричний тиск	
Окис вуглецю	
PM ₁₀ , PM _{2.5}	
Напрямок та швидкість вітру	
Оксид азоту, двоокис азоту	
Окиси азоту у вигляді діоксиду азоту	
Озон	
Діоксид сірки	
Загальна кількість твердих частинок	
Відносна вологість	

Автоматичні щогодинні вимірювання певних вуглеводнів, які здійснюються за допомогою вдосконаленого автоматичного газового хроматографа, були розпочаті в Великобританії в 1992 році. До 1995 року моніторинг значно розширився за рахунок створення спеціалізованої мережі з 13 ділянок, де безперервно вимірюються 26 видів речовин в міських районах, промислових підприємствах і в сільській місцевості. На даний момент існує 4 ділянки, де безперервно вимірюється 29 видів речовин в міських і сільських районах з використанням сучасного автоматичного газового хроматографа (таблиця 2.3).

Мережа автоматичного моніторингу вуглеводнів в тому вигляді, в якому вона була спочатку створена, використовувала найсучасніші методи вимірювання в поєднанні з передовими технологіями програмного забезпечення для обробки та перевірки сигналів. Це була перша мережа такого типу в світі. Автоматична вуглеводнева мережа успішно

пропрацювала 10 років, перш ніж в 2002 році програма була змінена, перероблена і спрощена.

Таблиця 2.3 – Моніторинг автоматичних вуглеводнів у Великобританії

Параметри, які вимірюються	Моніторинг сайтів та даних
Тріметілбензол	
Пента	
Метилпентан	
Бутадиєн	
Бутен	
Бензол	
Етан	
Етен	
Етилбензол	
Пропан	
Пропен	

До 2008 року британська автоматична вуглеводнева мережа складалася з п'яти ділянок, розташованих в Глазго, Харвелле, Елтеме, Мерілебон-Роуд і Ошенкорт-Мосс. У 2011 році аналізатор в Глазго був замінений на неавтоматичний пробовідбірник, в результаті чого кількість ділянок скоротилася до 4. На початку 2016 року прилад у Харвелле був переміщений в обсерваторію Чілболтон.

Чотири станції моніторингу оснащені автоматичними газовими хроматографами, що вимірюють широкий діапазон летючих органічних сполук, еквівалентним тим, які вивчалися в рамках початкової програми вимірювань. Ці інструменти здатні вимірювати і реєструвати не менше 29 видів вуглеводнів.

Результати вимірювань на всіх чотирьох об'єктах передаються в Європейську комісію, що відповідає вимогам Директиви по озону, яка пізніше була замінена Директивою про якість навколишнього повітря для моніторингу летючих органічних сполук, що є попередниками фотохімічного озону. Відповідні дані по бензолу і бутадієну використовуються для порівняння з цільовими показниками якості повітря в Великобританії, а дані по бензолу передаються в Європейську комісію для виконання вимог Директиви за якістю повітря. Дані про якість повітря, виміряні як в обсерваторії Ошенкорт-Мосс, так і в обсерваторії Чілболтон, передаються в базу даних EBAS, яку веде Норвезький інститут досліджень повітря.

2.2 Система моніторингу якості повітря у Норвегії

Національна мережа моніторингу якості повітря в Норвегії складається з 10 станцій моніторингу. Усі вони в переважній більшості орієнтовані на рух транспорту. Станції вимірюють рівень забруднення атмосфери в результаті викидів автомобілів і зазвичай знаходяться поруч з дорогою. Частина з них є фоновими і розташовані там, де можуть вловлювати загальне забруднення повітря з різних джерел (транспорт, міські підприємства, житлові комплекси, природні джерела і т. д.). У деяких житлових районах також є так звані «промислові» станції моніторингу. Вони вловлюють потенційне забруднення повітря в результаті промислової діяльності в даній місцевості [3].

Прилади на станціях моніторингу безперервно вимірюють 24 години на добу, 365 днів у році, адже усі станції є автоматичними. Щогодини дані про типи і рівні забруднюючих речовин записуються і відображаються в режимі реального часу на веб-сайті www.luftkvalitet.info. Ця інформація особливо важлива для людей, що живуть із захворюваннями, які можуть посилюватися високим рівнем забруднення повітря, такими як респіраторні і серцево-судинні захворювання.

2.3 Система моніторингу якості повітря у Швейцарії

Національна мережа моніторингу забруднення повітря (NABEL) вимірює рівень забруднення повітря в 16 точках Швейцарії. Автоматичні станції розподілені по всій країні і контролюють забруднення в типових місцях (наприклад, на вулицях в центрі міста, житлових районах, сільських місцевостях).

Влітку 2016 року була введена нова станція NABEL Beromünster на вищій радіопередачі. Нова станція дозволила вимірювати більш широкий спектр забруднюючих речовин.

Система моніторингу розпочала роботу поетапно з 1979 року і знаходиться у підпорядкуванні федерального управління навколишнього середовища. NABEL виконує вимірювання для міжнародних програм моніторингу та бере участь в європейському обміні даними. З початку діяльності з моніторингу різні сільські станції стали частиною Європейської програми моніторингу та оцінки, яка в основному досліджує перенесення забруднювачів повітря на великі відстані по всій Європі. Крім того, NABEL надає свої дані в розпорядження EUROAIRNET, який був заснований Європейським агентством з навколишнього середовища і в основному включає станції з міських і приміських районів всіх європейських країн. Станція Юнгфрауїох є частиною Глобальної служби атмосфери Всесвітньої метеорологічної організації [4].

2.4 Система моніторингу якості повітря в Україні

Україна є однією з найбільших за територією країн в Європі та на сьогоднішній день налічує 42 мільйони населення, більшість з яких проживають у містах. Наша держава стикнулася з низкою екологічних викликів, як це визначено в Національній екологічній стратегії. Основними серед них є: забруднення повітря шкідливими речовинами, деградація родючих земель, якість водних ресурсів, утилізація побутових відходів, втрата біологічного різноманіття та проблеми зі здоров'ям населення, пов'язані

з факторами екологічного ризику (в першу чергу з забрудненням повітря в міських та промислових районах). Для вирішення вищезазначених екологічних проблем в країні з 1991 року робляться важливі кроки в побудові та реорганізації екологічних інституцій, створенні нормативної бази щодо охорони чистоти навколишнього середовища.

Моніторинг якості повітря в Україні здійснюється відповідно до указу Кабінету Міністрів України «Про організацію та проведення моніторингу у сфері охорони атмосферного повітря» від 1999 року Державною службою з надзвичайних ситуацій Міністерства оборони, санітарно-епідеміологічною службою, державною гідрометеорологічною службою, а також підприємствами та організаціями, діяльність яких може призвести до негативного впливу на якість повітря [5].

Державна служба з надзвичайних ситуацій Міністерства оборони України проводить спостереження й контролює чистоту повітря та його хімічний склад (до того ж аналізує також атмосферні опади і сніговий покрив). На державному рівні моніторинг здійснюється в 53 містах країни, в переважній більшості це стаціонарні станції з відбором проб 2-4 рази на добу (156 станцій). Автоматизованих постів контролю забруднення атмосфери (АСКЗА) є лише 6 в 5 містах держави. Розміщення станцій системи моніторингу України зображено на рисунку 2.1.

Моніторинг якості повітря на загальнодержавному рівні здійснюється з метою з метою отримання, збору, обробки, зберігання і аналізу даних про викиди забруднюючих речовин та рівні забруднення атмосфери, оцінки та прогнозування її змін і ступеня небезпеки і розробки науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень в області охорони атмосферного повітря [6].

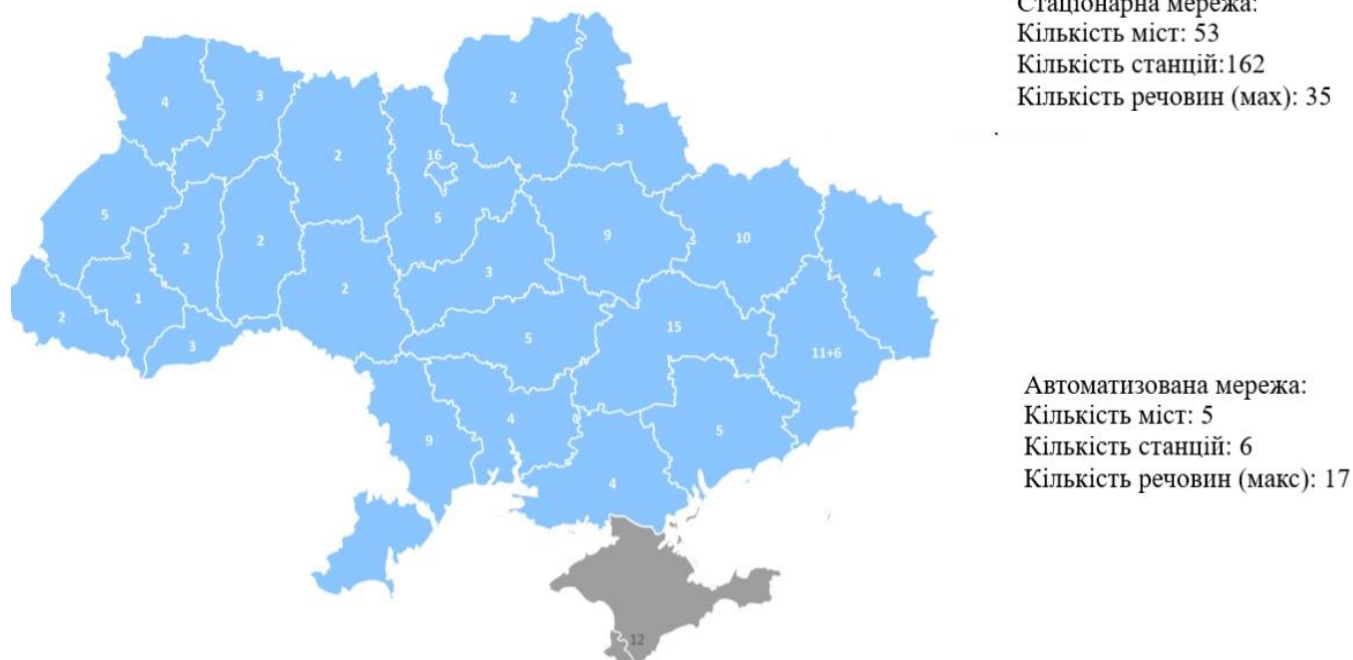


Рисунок 2.1 – Розміщення станцій системи моніторингу якості повітря України

На сьогоднішній день в Україні доступні такі джерела інформації з даними про якість повітря:

- IQAir (<https://www.iqair.com/>);
- AQICN (<https://aqicn.org/map/ukraine/>);
- SaveEcoBot (<https://www.saveecobot.com/maps>);
- WAQI (<https://waqi.info/>).

Структура потоку даних при сучасній організації системи моніторингу якості повітря зображена на рисунку 2.2.

За програмою обов'язкового моніторингу чистоти повітря на загальнодержавному рівні, здійснюється контроль таких семи речовин: діоксид азоту, формальдегід, тверді частинки, діоксид сірки, свинець, оксид вуглецю, бензопірен. Деякі зі станцій здійснюють моніторинг додаткових забруднюючих речовин.

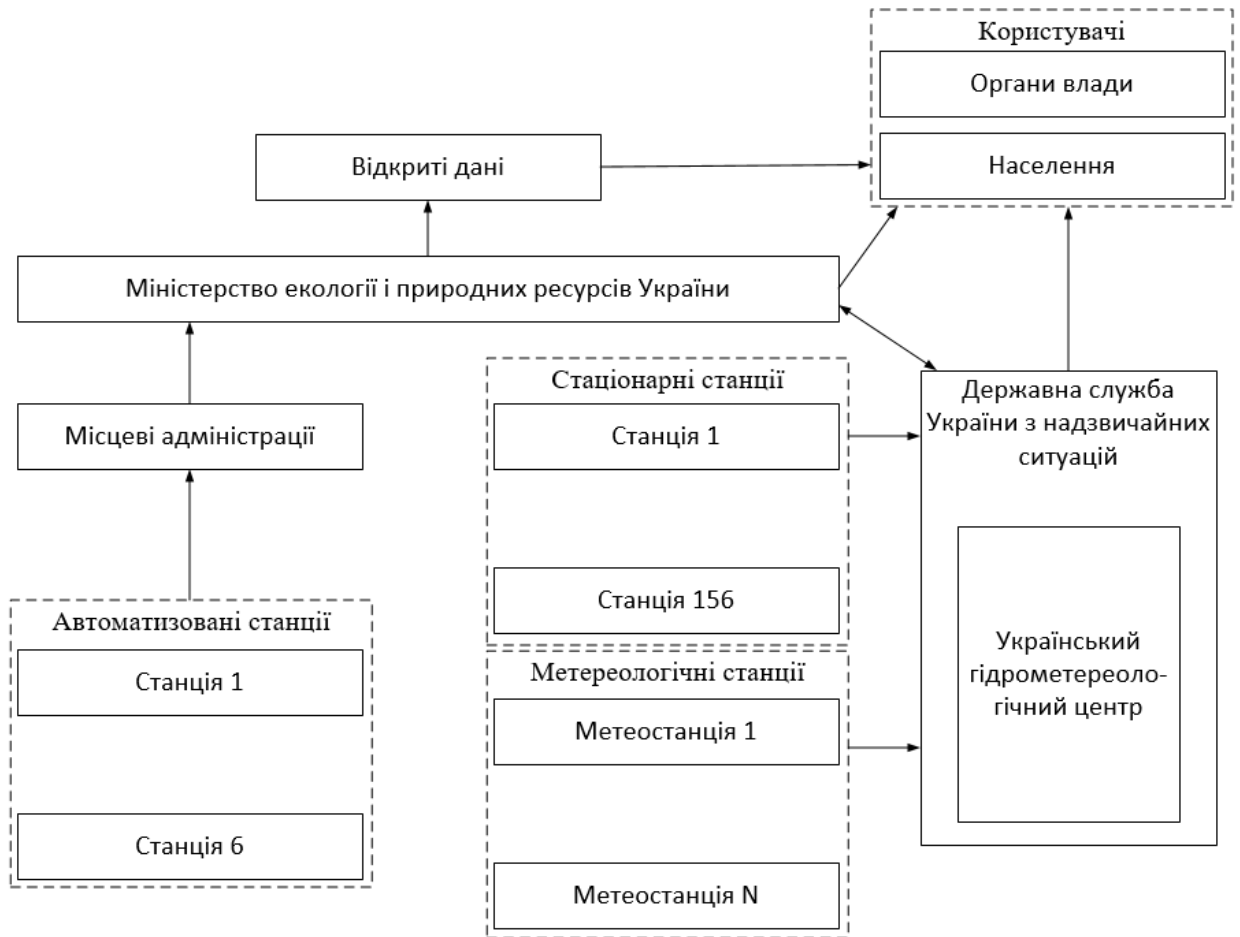


Рисунок 2.2 – Структура потоку даних в системі моніторингу якості повітря України

Відповідно до Положення про організацію та проведення моніторингу у сфері охорони атмосферного повітря, моніторинг інших 28 забруднювачів здійснюється лише на обласному рівні згідно з регіональними програмами. Перелік цих речовин подано в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Параметри та додаткові речовини для моніторингу національної системи України

Перелік речовин	Станції моніторингу та доступ до даних
Аміак, анілін, бензол	

Водень хлористий, водень ціаністий, етилбензол	Всього станцій: 162 Доступність даних: з 01.01.1999 по поточний день
Залізо та його сполуки, кадмій та його сполуки	
Кислота азотна, кислота сірчана, ксилол	
Марганець та його сполуки, мідь та її сполуки	
Миш'як і його сполуки, нікель та його сполуки	
Озон, оксид азоту, ртуть та її сполуки	
Сажа, сірководень, сірковуглець, толуол	
Фенол, водень фтористий, хлор, хлораніліни	
Хром та його сполуки, цинк і його сполуки	

За отриманими результатами дослідження з організації моніторингу якості повітря в різних країнах Європи та безпосередньо України можна зробити висновки про наступні недоліки:

- недостатня кількість АСКЗА, які в реальному часі передають показники забрудненості повітря;
- відносно низький показник кількості станцій моніторингу на кількість населення, що свідчить про недостатню інформативність (враховуючи, що більшість населення України проживає в містах, кількість яких становить 460);
- відсутність мобільних постів моніторингу в національній мережі;
- великий показник задіяності людських ресурсів в системі у зв'язку з недостатньою автоматизацією процесів збору та обробки інформації.

У таблиці 2.5 здійснено порівняльний аналіз систем моніторингу якості повітря в Україні та досліджених європейських країнах [7].

Таблиця 2.5 – Порівняльний аналіз систем моніторингу якості повітря в Україні та досліджених європейських країнах

	Австрія	Норвегія	Великобританія	Швейцарія	Україна
Населення (млн. осіб)	8.8	5.4	64.5	8.5	41.9
Наявність національної мережі	так	так	так	так	так
Кількість фіксованих станцій моніторингу: - лише національна мережа - загальна кількість	- 8 - 197	- 10 - близько 50	- 143 - близько 1000	- 16 - 100	- 162 - 468
К-сть станцій / 100000 жителів	2,23	0,93	1,55	1,17	1,11
Забруднюючих речовин, що вимірюються в доповнення до європейських норм	Cl, HCl, H ₂ S	-	бутадиєн	-	Cl, HCl, H ₂ S
Класифікація сайтів моніторингу	Національні критерії	Європейські критерії	Національні критерії	Exchange of Information	Європейські критерії

Мобільні блоки моніторингу для національної мережа	1	ні	ні	ні	ні
Оцінка забруднюючих речовин, які не регулюється європейською директивою	кислотність дощу, діоксини та фурани (переривчасті)	ні	1-, 3- бутадиєн, дим	PM, підраховується і розмір і розподіл, Pb, Cd Zn, Cu, Ti	Визначення шкідливих речовин в атмосферних опадах
Людські ресурси для національної мережі (еквівалент повного робочого часу)	-12	- 23	- 10	- 15.5	- 50
Фінансові ресурси для національної мережі	Експлуатація 1млн € Інвестиції: 300 тис. €	-	7 млн €	Експлуатація: 1,1 млн € Інвестиції: 600 тис. €	Близько 5 млн €

2.5 Норми викидів та концентрацій

У 1997 році був підписаний Кіотський протокол, одним з аспектів якого було питання зменшення викидів парникових газів [8]. З його ратифікуванням країни юридично зобов'язалися дотримуватися плану по зменшенню викидів від різних сфер життєдіяльності, а також їх нормування в залежності від типу джерела. У транспортній галузі існують норми викидів згідно з якими конструюється вихлопна система автомобіля, що забезпечує певний рівень концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах.

В Україні загальна оцінка забруднення повітря домішками здійснюється відповідно до Державних санітарних правил охорони атмосфери населених місць. Існуючі норми передбачають визначення трьох типів гранично допустимих значень (ГДК, мг/м³) концентрацій шкідливих речовин у повітрі:

- ГДК_{мр} – максимальна разова концентрація (за одиницю часу або визначений інтервал усереднення), встановлюється для попередження рефлекторних реакцій (чутливість до світла, відчуття смаку, запаху тощо);
- ГДК_{сд} – концентрація шкідливої речовини у повітрі (за певний проміжок часу), встановлюється для визначення рівня небезпеки повітря у випадку цілодобового впливу з метою попередження токсичної, мутагенної, канцерогенної дій;
- ГДК_{рз} – концентрація шкідливої речовини, яка не повинна викликати у робітників при щоденному вдиханні протягом робочого часу поганого самопочуття.

У таблиці 2.6 наведено гранично допустимі значення концентрацій основних шкідливих речовин в атмосфері (ГДК_{мр} та ГДК_{сд}) в Україні, які стосуються в тому числі і транспортної галузі [9].

Таблиця 2.6 – ГДК_{мр} та ГДК_{сд} основних шкідливих речовин в Україні

Речовина	ГДК _{мр}	ГДК _{сд}	Клас небезпеки
Діоксид азоту	0,085	0,04	2
Діоксид сірки	0,5	0,05	3
Оксид вуглецю	5,0	3,0	4
Пил	0,5	0,15	3

Таким чином здійснено огляд та порівняльний аналіз організації спостережень за станом якості повітря у європейських країнах та Україні. Виявлені недоліки в українській системі моніторингу: низький відсоток автоматизації та покриття станціями моніторингу, відсутність мобільних постів, великий показник задіяності людських ресурсів. Також з'ясована нормативна база для оцінки загазованості повітря.

3 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ У ЄВРОПЕЙСЬКИХ КРАЇНАХ

3.1 Методи відбору проб повітря в системах моніторингу

На сьогоднішній день існує велика кількість методів, які використовуються в системах моніторингу якості повітря для відбору на аналізу проб. В залежності від способу вони поділяються на автоматизовані та ручні, від масштабів вимірювань – локальні та дистанційні.

В Україні велика кількість проб для подальшого аналізу складу повітря відбираються вручну наступними методами: обмінним, вакуумним та відбору в гумові камери.

При обмінному методі ємність для відбору приєднують до аспіратору і проганяють через неї десятикратний об'єм повітря (при чому швидкість протягування не повинна перевищувати 2 л за хвилину, адже таким чином домішки не будуть осідати на стінках). Після цього ємність від'єднують від аспіратора, а на гумові трубки кріплять зажим.

При вакуумному методі повітря набирають в ємності по 1-2л або в газові піпетки. Відкачування здійснюється за допомогою вакуумного насосу до тиску 10-15 мм рт. ст., а для заміру вакууму застосовують ртутний манометр.

Ручний відбір в гумові камери використовують виключно для речовин, які не вступають в реакцію з гумою. Для відбору повітря на практиці застосовують складчасті камери з повітронепроникної тканини, які наповнюють за допомогою гумового балону. Для подальшого аналізу повітря перекачують в прилади з поглинальною рідиною (за допомогою трубки і різниці тисків у ємностях).

У системах моніторингу, в яких присутній відсоток автоматизації процесів застосовують такі аспіраційні методи відбору проб: абсорбцію в рідкі середовища,

адсорбцію на твердих сорбентах, криогенне концентрування та концентрування на фільтрах.

Абсорбція при відборі проб – процес поглинання суміші газів рідиною, при якому вони розчиняються або вступають в хімічну реакцію з середовищем поглинання. Ефективність цього методу напряду залежить від конструкції абсорберів (поглинальних посудин). В якості абсорбуючого середовища найчастіше використовуються кислоти, спирти, органічні розчинники та звичайна дистильована вода.

Адсорбцію на твердих сорбентах зазвичай використовують при низьких концентраціях шкідливих речовин в атмосфері, адже вона дозволяє концентрувати забрудники з більшого об'єму повітря (що є неможливим при, наприклад, абсорбції в рідке середовище). Домішки «вловлюють» на нерухомий або на «киплячий» (для збільшення швидкості відбору) шар сорбенту. Основними адсорбентами для відбору проб повітря є силікагель, активоване вугілля та полімери.

Криогенне концентрування в переважній більшості використовується для відбору повітря в складі якого передбачається наявність нестабільних та здатних до реакцій хімічних сполук. Процес відбору відбувається за допомогою сталених або скляних трубчастих посудин, які містять охолоджений сорбуючий пристрій наповнений інертним носієм (наприклад, скловатою). В якості охолоджувача використовують хлорид натрію, ацетон, твердий діоксид вуглецю та рідкий азот.

Найпопулярнішим методом відбору проб повітря є концентрування на фільтрах, адже цей метод найкраще працює для високодисперсних аерозолів (дим, туман, пил тощо). Шкідливі речовини осідають на волокнистих матеріалах фільтру (найчастіше це перхлорвинилова тканина або скловолокно) та далі передаються на аналіз [10].

Для визначення концентрації шкідливих речовин відбір проб повітря проводиться на відстані 1,5-3,5 м від поверхні. Режим відбору залежить від структури системи моніторингу та відсотку її автоматизації: разовий (один раз на добу) тривалість 20-30 хв, середній добовий – у один поглинальний пристрій чи фільтр тривалістю біля години або

дискретно для відстеження в реальному часі (більше 4 проб за добу через однакові інтервали часу).

3.2 Вимірювальне обладнання в автоматизованих системах моніторингу

У ході дослідження систем моніторингу якості повітря у європейських країнах було з'ясовано склад обладнання на кожній станції і визначено найпопулярніші вимірювальні пристрої та їх моделі [11]. Дану інформацію подано в таблицях 3.1 – 3.4.

Таблиця 3.1 – Вимірювальні прилади системи моніторингу Великобританії

Забруднювач	Вимірювальне обладнання	Метод вимірювання
Двоокис азоту	Аналізатор NO _x Monitor Labs модель 2041	Хемілюмінесценція
Окис азоту	Хемілюмінесцентний аналізатор NO _x Teledyne API T200	Хемілюмінесценція
Озон	Teledyne API 400E УФ-фотометричний аналізатор O ₃	Ультрафіолетова (УФ) фотометрія
	Модель Palas FIDAS 200	Оптичний лічильник частинок + перетворення в масову концентрацію
	TEOM 1400 FDMS + 8500 В або СВ сушарка	Колісний елемент –коливальні мікроваги із системою вимірювання динаміки фільтра
Тверді частинки <2,5 мкм (аерозоль)	TEOM 1400 FDMS + 8500 В або СВ сушарка	Колісний елемент –коливальні мікроваги із системою вимірювання динаміки фільтра

Діоксид сірки	Teledyne API 100E УФ-флуоресцентний аналізатор SO ₂	УФ
Бензол	Perkin Elmer Clarus 500	Газова хроматографія з подальшим полум'яно-іонізаційним детектуванням
Окис вуглецю	Кореляційний аналізатор CO для газового фільтра Teledyne API 300A	Недисперсна інфрачервона спектроскопія

Таблиця 3.2 – Вимірювальні прилади системи моніторингу Австрії

Забруднювач	Вимірювальне обладнання	Метод вимірювання
Двоокис азоту	Horiba модель Arpa 370 NETx аналізатор	Хемілюмінесценція
Окис азоту	Хемілюмінесцентний аналізатор NOx Teledyne API 200EU	Хемілюмінесценція
Озон	Аналізатор O ₃ Teledyne API 400	УФ
Тверді частинки <10 мкм (аерозоль)	Thermo Andersen ESM FH 62 IR	Загасання бета-променів
Тверді частинки <2,5 мкм	Модель Palas FIDAS 200	Оптичний лічильник частинок + перетворення в масову концентрацію
Діоксид сірки (повітря)	Аналізатор Horiba модель APSA 360 SO ₂	УФ-флуоресценція

Бензол (повітря)	Airmotec BTH 1000	Газова хроматографія з подальшим полум'яно-іонізаційним детектуванням
Окис вуглецю (повітря)	Аналізатор CO Thermo model 48c	Газова хроматографія з подальшим полум'яно-іонізаційним детектуванням

Таблиця 3.3 – Вимірювальні прилади системи моніторингу Норвегії

Забруднювач	Вимірювальне обладнання	Метод вимірювання
Двоокис азоту	Монітор Labs модель 9841 NOx аналізатор або хемілюмінесцентний аналізатор NOx Teledyne API 200	Хемілюмінесценція
Окис азоту	Хемілюмінесцентний аналізатор NOx Teledyne API 200	Хемілюмінесценція
Озон	УФ-фотометричний аналізатор O3 Teledyne API 400E	УФ
Тверді частинки <10 мкм (аерозоль)	ТЕОМ 1405DF з дихотомічним монітором FDMS для PM _{2,5} і PM ₁₀	Коливальні мікроваги з конічним елементом
Тверді частинки <2,5 мкм (аерозоль)	ТЕОМ 1400	Коливальні мікроваги з конічним елементом
Діоксид сірки	УФ-флуоресцентний аналізатор SO2 Teledyne API 100	УФ

Бензол	Airmotec BTH 1000	Газова хроматографія з подальшим полум'яно-іонізаційним детектуванням
Окис вуглецю	Кореляційний аналізатор CO з газовим фільтром Teledyne API 300	Недисперсована інфрачервона спектроскопія

Таблиця 3.4 – Вимірювальні прилади системи моніторингу Швейцарії

Забруднювач	Вимірювальне обладнання	Метод вимірювання
Двоокис азоту	Horiba модель Arpa 370 NOx аналізатор	Хемілюмінесценція
Окис азоту	Аналізатор NO / NOx Thermo model 42i	Хемілюмінесценція
Озон	Аналізатор Monitor Labs модель 9810 O3	УФ
Тверді частинки <10 мкм (аерозоль)	Thermo Andersen ESM FH 62 IR	Загасання бета-променів
Тверді частинки <2,5 мкм (аерозоль)	Модель Palas FIDAS 200	Оптичний лічильник частинок + перетворення в масову концентрацію
Діоксид сірки	Аналізатор Monitor Labs модель 9850 SO	УФ-флуоресценція
Бензол	Agilent HP 6890	Газова хроматографія з подальшим полум'яно-іонізаційним детектуванням

Окис вуглецю	Аналізатор CO модель APMA 370 компанії Horiba	Недисперсована інфрачервона спектроскопія
--------------	---	---

Найпопулярнішим пристроєм для визначення концентрацій двоокису азоту в повітрі є газоаналізатор Horiba APNA-370 NO_x. Він призначений для безперервного моніторингу залишкових концентрацій NO, NO_x, NO₂ та NH₃. Основним методом вимірювання є технологія перехресної модуляції потоків з використанням незалежного внутрішнього саплера сухого типу. Даний газоаналізатор визнаний найкращим варіантом для моніторингу атмосферного повітря, адже має високу експлуатаційну надійність та надає можливість проводити безперервний аналіз без впливу на речовину. Відібраний зразок та еталонний газ по черзі подаються до вимірювальної комірки. Як еталонний газ використовується проба з усуненою часткою NO_x [12].

Особливості та переваги:

- використовується принцип подвійної перехресної модуляції потоків з використанням хімічної люмінесценції в комбінації з референсним розрахунковим методом. Така особливість дозволяє використовувати один тип датчика, забезпечує високу чутливість і стабільність результатів вимірювань в безперервному режимі роботи;
- комплект поставки входить модуль сушки з функцією автоматичного відновлення, що забезпечує подачу сухого повітря, який є джерелом озону. Таким чином, забезпечується можливість проведення безперервних вимірювань протягом тривалого часу;
- у приладі використовується напівпровідниковий датчик, що забезпечує компактність;
- усі необхідні модулі вбудовані в корпус, придатний для установки в 19" стійку (включаючи генератор еталонного газу, модуль сушки – джерело озону, модуль розкладання озону і насос для відбору проб);
- не потребує джерела додаткового газу;

- кремнійфодіодний датчик швидко реагує на концентрацію газу.

Технічні характеристики газоаналізатору Horiba APNA-370 NO_x наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики газоаналізатору Horiba APNA-370 NO_x

Принцип	Перехресна модуляція, хемілюмінесценція зі зниженим тиском
Застосування	NO ₂ , NO та NO _x в повітрі
Діапазон	Стандартні діапазони: 0-0,1 / 0,2 / 0,5 / 1,0 ppm; автоматичний діапазон ~ вибір діапазону вручну; може управлятися дистанційним перемиканням.
Відтворюваність	±1.0% від повної шкали приладу
Лінійність	±1.0% від повної шкали приладу
Швидкість потоку зразка газу	Приблизно 0.8л/хв
Індикація	Вимірне значення, діапазон, сигнал тривоги, екран обслуговування
Сигналізація	Під час вимірювання нульова помилка калібрування, помилка калібрування прольоту, похибка температури в перетворювачі тощо.
Екранні повідомлення доступні чотирма мовами	Англійська, німецька, французька та японська.
Введення-виведення	0-1 В / 0-10 В / 4-20 мА, які слід вказати (2 системи: або (1) моментне значення та інтегроване, або (2) середнє значення) Вхід / вихід контакту RS-232C
Потужність	100/110/115/120/220/230/240 VAC, 50/60 Гц

Розміри	430(Ш) x 550(Д) x 221(В) мм
Маса	Приблизно 20 кг

Зовнішній вигляд газоаналізатора Horiba APNA-370 NO_x зображено на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд газоаналізатора Horiba APNA-370 NO_x

Найпоширенішим приладом для визначення концентрацій озону в атмосфері є фотометричний аналізатор Teledyne API T400 (Рисунок 3.2). Він використовує систему, засновану на законі Бугера - Ламберта - Бера для вимірювання низьких діапазонів озону в навколишньому середовищі.

Ультрафіолетовий світловий сигнал довжиною 254 нм проходить через осередок зразка, де він поглинається пропорційно кількості наявного озону. Періодично перемикальний клапан чергує вимірювання між потоком проби і пробою, яка була очищена від озону. В результаті отримується точне та стабільне визначення концентрації озону [13].



Рисунок 3.2 – Фотометричний аналізатор Teledyne API T400

Усі прилади цієї серії оснащені удосконаленим кольоровим дисплеєм, сенсорним екраном, інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом користувача, входами/виходами і вбудованою функцією збору даних. Всі налаштування приладу, управління і доступ до збережених даних і діагностичної інформації доступні через передню панель або через порти RS232, Ethernet або USB, як локально, так і через віддалене підключення.

Teledyne API моделі T400 поставляється з програмним забезпеченням, яке дозволяє віддалено підключатися до віртуального інтерфейсу і завантажувати дані для аналізаторів.

Технічні характеристики та особливості:

- діапазони: 0-100 ppb (частин на мільярд) до 0-10 ppm, на вибір користувача;
- однопрохідне ультрафіолетове поглинання;
- діапазони, які можна вибирати, з можливістю подвійного діапазону;
- великий, яскравий і міцний кольоровий графічний дисплей з інтерфейсом сенсорного екрану;
- порти Ethernet, RS-232 і (опціонально) USB;
- порти USB на передній панелі для периферійних пристроїв і оновлення мікропрограмного забезпечення;
- 8 аналогових входів (опціонально);
- адаптивна фільтрація сигналів оптимізує час відгуку;
- вирівнювання температури і тиску;
- внутрішні програмовані нульові, прогонові і точні точки (опціонально);

- комплексна внутрішня реєстрація даних з програмованими періодами усереднення;
- можливість реєстрації практично будь-якого операційного параметра.

Для аналізу концентрації мікрочастинок в системах моніторингу європейських країн найчастіше використовується аналізатор Palas Fidas 200 (Рисунок 3.3). Він здійснює постійне вимірювання зважених в повітрі частинок в діапазоні 180 нм-18 мкм з автоматичним перерахунком в значення PM_{10} і $PM_{2.5}$. Крім цього вимірювання аналізатор також реєструє значення PM_1 , PM_4 , концентрацію C_n , розподіл за розмірами і проводить запис вимірювань. Fidas 200 оснащений кріпленням в стандартну стійку 19" [14].

Лінійка приладів Fidas 200 складається з трьох модифікацій:

- Fidas 200 – аналізатор для установок в приміщеннях, в тому числі кондиціонованих (діапазон температур від 5 до - 40°C);
- Fidas 200 E – аналізатор з виносним датчиком (наприклад, для отворів у покрівлі);
- Fidas 200 S – аналізатор, оснащений захисним кожухом, для установки поза приміщенням, працює в діапазоні температур від -20°C до + 50°C.

В основі роботи Fidas 200 лежить принцип оптичного розсіювання світла, тому він оснащений світлодіодним джерелом світла високої інтенсивності. Калібрування приладу легко проводиться за допомогою монодисперсного тестового аерозолі навіть в польових умовах.

Sigma 2 – пробовідбірна система Fidas 200 з об'ємним потоком 0.3 м³/год. Вона розроблена, щоб проводити вимірювання в складних погодних умовах, таких як, сильний вітер. Система пробовідбору оснащена сушаркою, яка дозволяє запобігти виникненню конденсату. Вона здійснює роботу на основі даних про температуру, тиск і відносну вологість, отриманих з метеостанції. У систему відбору проб повітря вмонтований тримач фільтра (діаметром 47 мм), що дозволяє робити в тому числі хімічний аналіз аерозолі.



Рисунок 3.3 – Аналізатор частинок Palas Fidas 200

Fidas 200 надає велику кількість засобів комунікації, віддалений контроль і управління, а також онлайн доступ до даних. Технічні характеристики аналізатору частинок Palas Fidas 200 наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики аналізатору частинок Palas Fidas 200

Інтерфейси	USB, Ethernet, RS232/485, Wi-Fi
Діапазон вимірювання (розмір)	0.18-100 мкм (3 вимірювальні діапазони)
Канали	64 (32/декаду)
Принцип вимірювання	Оптичне світлорозсіювання
Діапазон вимірів (число частинок)	0-20000 част/см ³
Об'ємний потік	4.8 л/хв ± 0.3 м ³ /ч
Електроспоживання	Приблизно 200 Вт
Інтерфейс користувача	Touchscreen, 800*480 пікселів
Електроживлення	115-230 В, 50-60 Гц
Розміри	450 x 320 x 180,5 мм (Ш x Д x В), 19 дюймів
Вага	9.3 кг (тільки модуль управління)
Операційна система	Windows embedded

Сховище даних	4 ГБ
Збір даних	Процесор 20 МГц, 256 каналів даних
Програмне забезпечення	PDAnalyze Fidas®
Інтерфейс користувача	Сенсорний екран, 800 x 480 pixel, 7 "
Підготовка аерозолю	Термічна з IADS
Живлення	115-200 В, 50 - 60 Гц
Діапазон вимірювання (Маса)	0 - 10000 мкг/м ³
Умови установки	+5 - +40 °С
Пробовідбірник	Sigma-2

Широкого розповсюдження в системах моніторингу якості повітря для визначення концентрації SO₂ набув УФ-флуоресцентний аналізатор Teledyne T100 (Рисунок 3.4). Він дозволяє визначити вміст цієї домішки в діапазонах від 0-0,1 мг / м³ до 0-60 мг / м³.



Рисунок 3.4 – УФ-флуоресцентний аналізатор Teledyne T100

Сучасний інтерфейс дозволяє з легкістю проводити точні вимірювання низького рівня концентрацій SO₂. Виняткова стабільність показань досягається завдяки шторці, що компенсує фотометричний дрейф, і детектору порівняння для корекції змін

інтенсивності УФ-лампи. Поглинач вуглеводнів і особливий дизайн оптики значно знижує вплив інтерференції на показання приладу.

Усі пристрої Т-серії оснащені сучасним кольоровим дисплеєм, сенсорною панеллю, інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом користувача, зручним налаштуванням входів/виходів і вбудованою системою обробки даних.

Налаштування, контроль, управління, діагностика доступні як з передньої панелі приладу, так і через інтерфейс RS232, Ethernet, USB-з'єднання.

Управляти приладами можна локально або за допомогою віддаленого з'єднання, з використанням програмного забезпечення APISoft.

Основні технічні характеристики УФ-флуоресцентного аналізатора діоксиду сірки Teledyne T100 подано в таблиці 3.7 [15].

Таблиця 3.7 – Технічні характеристики аналізатора діоксиду сірки Teledyne T100

Діапазон вимірювань	мін: 0-50 ppb макс: 0- 20 000 ppb (за вибором користувача, автоматично)
Одиниці вимірювання	ppb, ppm, мкг/м ³ , мг/м ³ (за вибором користувача)
Шум нуля	< 0.2 ppb
Діапазон шуму	< 0.5 % від виміряного значення (вище 50 ppb)
Нижня межа виявлення	0,4 ppb
Дрейф нуля	< 0.5 ppb/24 год
Діапазон дрейфу	< 0,5 % від повної шкали / 24 години
Час затримки	20 секунд
Час спаду і відновлення	< 100 секунд до 95 %
Лінійність	1 % від повної шкали
Точність	0,5 % від виміряного значення (вище 50 ppb)

Швидкість подачі зразка	650 см ³ /хв ± 10 %
Вимога до живлення	220-240 V, 50/60 Гц
Аналоговий діапазон виходів	10 V, 5 V, 1 V, 0.1 V (за вибором користувача)
Вбудовані вх / вих	1 x Ethernet: 10/100 Base-T 2 x RS232 (300 – 115 200 бод) 2 x USB порту 8 оптоізованих цифрових виходів 6 оптоізованих цифрових входів 4 аналогових виходи
Опціональні вх / вих	1 x USB com порт 1 x RS485 8 аналогових входів (0-10 V, 12 біт) 4 цифрових сигнальних реле Multidrop RS232 3 x 4-20 mA елемента з струмовим виходом
Робочий діапазон температур	5 – 40 C
Розміри (ВхШхД)	178 мм x 432 мм x 597 мм
Вага	16,2 кг

Окрім концентрацій основних забруднюючих газів визначених європейською директивою, у більшості систем моніторингу здійснюється кількісний хімічний аналіз органічних і неорганічних сумішей речовин (наприклад, бензолу). Для цього використовується газовий хроматограф Agilent HP 6890 з методом подальшого полум'яно-іонізаційного детектування (Рисунок 3.5).

Хроматограф укомплектований трьома типами детекторів: по теплопровідності (ДТП), полум'яно-іонізаційний (ПІД) і мас-селективним (МСД). Одночасно можуть працювати два детектора (крім МСД).

Залежно від детектора, який використовується, хроматограф 6890N володіє наступними межами детектування:

- ДТП: $1 \cdot 10^{-9}$ г/л;
- ПІД: $5 \cdot 10^{-12}$ г/л;
- МСД: $2 \cdot 10^{-13}$ г/л.

Прилад забезпечений вбудованою панеллю з дисплеєм і кнопками для включення і виключення, перегляду інформації, що реєструється на дисплеї.



Рисунок 3.5 – Газовий хроматограф Agilent HP 6890

Газовий хроматограф Agilent HP 6890 може працювати з капілярними і насадочними колонками. Газоподібні і рідкі проби речовин можуть бути введені в хроматограф вручну і за допомогою автосемплеру на 9 проб за заданою програмою. Можливі наступні типи дозування: з розподілом і без поділу потоку, прямий ввід проби на колонку. У приладі реалізовані електронний контроль режимних параметрів (температура блоків, тиску і витрати газів тощо), видача сигналів тривоги і зупинка

приладу в разі відхилення параметрів від заданих значень. Передбачено програмування температури термостата колонок і зміни швидкості потоку або тиску на вході в колонку.

У програмному забезпеченні є стандартні блоки для формування методики вимірювання, є можливість створювати спеціальні методики, що включають періодично градування і контроль точності вимірювань. Хроматограф може працювати в автоматичному режимі не менше 24 годин. Прилад може працювати в комплекті з системою ChemStation (персональний комп'ютер плюс програмне забезпечення), укомплектований спектрометричною базою даних NIST98 для проведення автоматичної ідентифікації речовин [16].

На українських автоматизованих станціях моніторингу використовуються повні комплектації міні-лабораторії «Повітря-І». До її складу входить обладнання для пробовідбору (електроаспіратори ЕА-1 для відбору разових проб, ЕА-2 – для добових на наявність твердих частинок, «Компонент» – для подальшого визначення концентрацій додаткових забруднювачів, вакуумні насоси для протягування повітря), автоматичні газоаналізатори, комплекс для проведення метрологічного моніторингу, датчик вітру та опора для його монтажу, системи електропостачання та освітлення, охоронна та пожежна сигналізації. Для реєстрації об'ємів відібраного повітря використовуються ротаметри та реометри. До складу електроаспіраторів входять: обладнання для прогону повітря (насоси, вентилятори, пилососи), фільтри та кріплення для них, блоки аспірації, витратоміри, пульти керування [17].

Умови роботи автоматизованих станцій наступні:

- температура: 10-35 °С;
- відносна вологість: не більше 80%;
- тиск: 900-1040 гПа.

Українська система моніторингу якості повітря не оновлювалася десятки років, тому на автоматизованих станціях використовується певною мірою застаріле обладнання.

На 3.6 зображено структурну схему АСКЗА «Повітря-І».

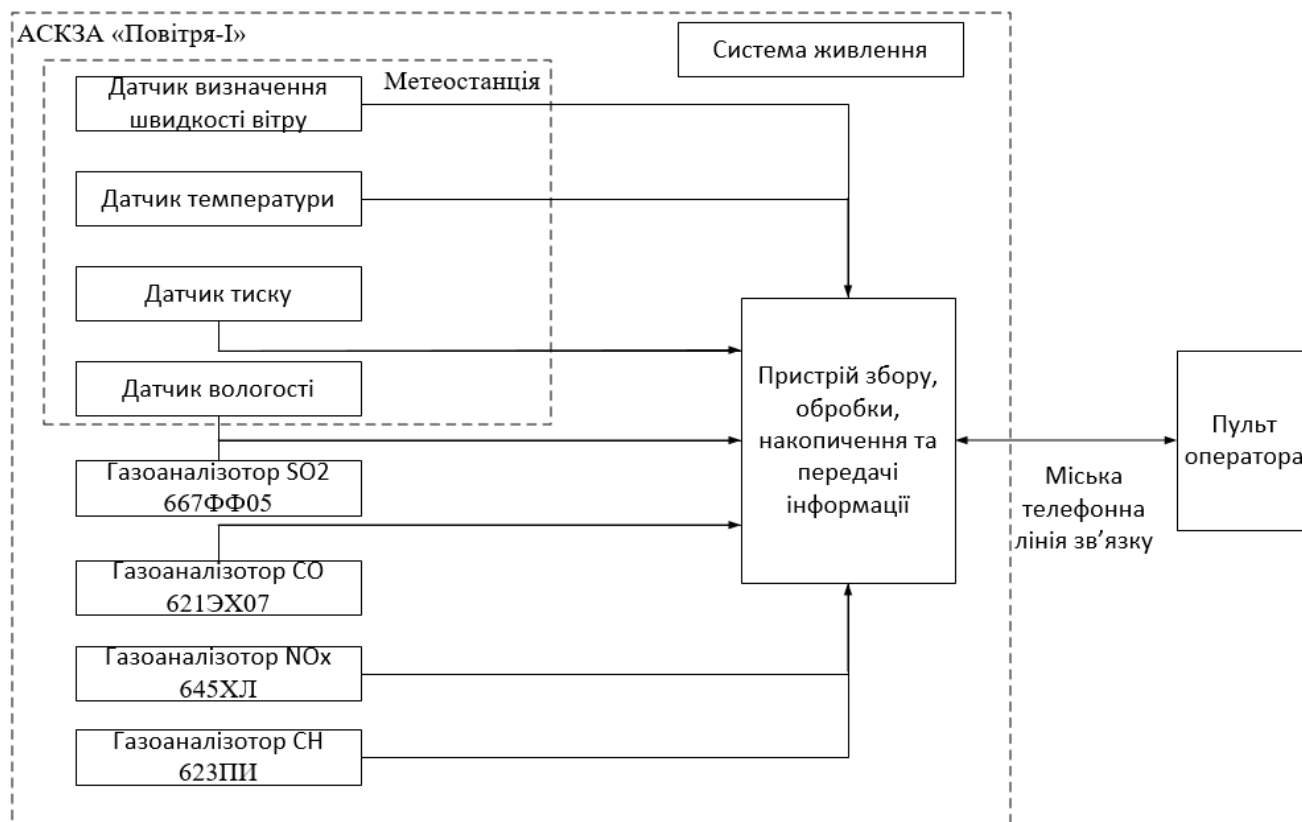


Рисунок 3.6 – Структурна схема АСКЗА «Повітря-І»

Найбільш поширені вимірювальні прилади на станціях системи моніторингу України наведено в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Найбільш поширені вимірювальні прилади системи моніторингу України

Забруднювач	Вимірювальне обладнання	Метод вимірювання
Окис та двоокис азоту	Газоаналізатор 645ХЛ	Хемілюмінесценція
Озон	Газоаналізатор 652ХЛ	Хемілюмінесценція
Діоксид сірки (повітря)	Газоаналізатор 667ФФ05	УФ-флуоресценція

Вуглеводні	Іонізаційний газоаналізатор 623ПИ05	Газова хроматографія з подальшим полум'яно- іонізаційним детектуванням (GC-FID)
Окис вуглецю	Газоаналізатор 621ЭХ07	Електрохімічний метод

Газоаналізатор 645ХЛ (Рисунок 3.7) призначений для безперервного автоматичного вимірювання масових або об'ємних концентрацій оксидів азоту та озону. Він може використовуватись як у складі постів (стаціонарних або мобільних), так і автономно. Обробка інформації і керування приладом забезпечується мікропроцесором. Результати вимірювань за останні 128 діб роботи газоаналізатора зберігаються в незалежній пам'яті. Метод вимірювання – хемілюмінесценція [18].



Рисунок 3.7 – Газоаналізатор оксидів азоту та озону моделі 645ХЛ

Основні технічні характеристики газоаналізатора 645ХЛ оксидів азоту та озону наведено в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Технічні характеристики газоаналізатора 645ХЛ

Діапазон вимірювань, мг/м ³	0 ... 10
Час усереднення (дискретно), хв.	Від 2 до 30

Час виходу на робочий режим, хв	60
Основна абсолютна похибка, мг/м ³	$\pm (0,005 + 0,15 C_x)$, де C_x – значення виміряної концентрації
Порогова чутливість, мг/м ³	0,006
Вихідні сигнали	RS 232, RS 485, 0-10 В
Дрейф нуля за 24 год, мг/м ³	0,005
Дрейф сигналу на рівні 1,0 мг/м ³ за 24 год, мг/м ³	0,005
Споживана потужність, ВА	100
Витрата проби, л/хв	0,8 \pm 0,3
Маса, кг	10
Електричне живлення:	
напруга, В	187 ... 242
частота, Гц	50 \pm 1
Умови експлуатації:	
температура, °С	5 ... 40
відносна вологість, %	95
тиск, кПа	86,6 ... 107

Для визначення концентрації діоксиду сірки в діапазоні від 0,15 до 10,0 мг/м³ на українських станціях моніторингу використовують флуоресцентний газоаналізатор 667ФФ05 (Рисунок 3.8). Датчик складається з чотирьох основних вузлів:

- системи збору проб та пилоочищення з фільтром ФГ-6;
- електрохімічного осередку;
- системи підтримки сталої витрати для постійного відбору проб та протягування через вищезазначений вузол;

- термостат для підтримки одного температурного режиму.

З'єднання усіх вузлів приладу здійснюється за допомогою пульта управління.

Робочий сигнал знімається з результатів вимірювального та порівняльного електродів комірки і передається по екранованому кабелю на пульт управління і далі подається на вхід самописного потенціометра [19].

Основні технічні характеристики приладу:

- основна похибка вимірювання: 20%;
- час запізнювання початку реагування – 2 хв;
- час виходу на робочий режим – 8 хв.
- умови експлуатації: температура для датчика від -30°C до $+50^{\circ}\text{C}$, для самописця – від 5 до 40°C ;
- витрата повітря 50 л/год (0,83 л / хв).



Рисунок 3.8 – Флуоресцентний газоаналізатор діоксиду сірки 667ФФ05

Для аналізу різних видів вуглеводнів в Україні використовується газоаналізатор 623ПІ05, принцип роботи якого заснований на полум'яно-іонізаційному детектуванні (Рисунок 3.9). Основними його вузлами є 2 датчики, які працюють одночасно, поділяючи все відібране повітря на два потоки. Перший датчик фіксує загальну кількість вуглеводнів (повітряний потік до нього надходить в первинному вигляді). Перед

подачею іншої половини відібраної проби на другий датчик повітря проганяється через пристрій для відокремлення метану від інших видів вуглеводнів, в результаті чого другий датчик реєструє виключно метан. Наступним кроком обраховується електрична різниця сигналів датчиків (як різниця зареєстрованих значень обома датчиками). Іонізаційний спосіб газового аналізу заснований на залежності іонного струму, що виникає в процесі іонізації досліджуваного газу, від змісту контрольованого компонента [20].



Рисунок 3.9 – Полум'яно-іонізаційний газоаналізатор вуглеводнів 623ПІ05

Основні технічні характеристики газоаналізатора вуглеводнів 623ПІ05 подано в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Технічні характеристики газоаналізатора 623ПІ05

Діапазон вимірювань, мг/м ³	0 ... 50,0
Час усереднення (дискретно), хв.	Від 2 до 20
Час виходу на робочий режим, хв	45
Основна абсолютна похибка, мг/м ³	± (0,03 + 0,15 від значення вимірної концентрації),
Порогова чутливість, мг/м ³	0,05
Вихідні сигнали	RS 232, 0-20 mA

Витрата проби, л/хв	0,8±0,2
Електричне живлення:	
напруга, В	187 ... 242
частота, Гц	50 ± 1
Умови експлуатації:	
температура, °С	5 ... 35
відносна вологість, %	95
тиск, кПа	86,6 ...107

Газоаналізатор 621ЭХ07 (Рисунок 3.10) призначений для визначення масових концентрацій оксиду вуглецю повітрі міст і виробничих приміщень. Його дія заснована на електрохімічному методі. Вимірюваний газ шляхом дифузії проникає в сенсор, викликає на електродах датчика електричний струм, пропорційний концентрації газу. Напруга, що знімається з резистора навантаження, надходить на аналого-цифровий перетворювач і відображається на цифровому рідкокристалічному індикаторі. Вимірювальний діапазон даного газоаналізатора становить 0,7-50,0 мг/м³, межі допустимих похибок: абсолютна ± 0,75 мг/м³, відносна ± 15 %. Газоаналізатор призначений для роботи при температурі навколишнього повітря 5... 40 °С, відносній вологості 30...98% та атмосферному тиску 86,6 ...107 кПа [21].



Рисунок 3.10 – Електрохімічний газоаналізатор оксиду вуглецю 621ЭХ07

Таким чином здійснено огляд обладнання, яке використовується для аналізу якості повітря в системах моніторингу України та Європи.

З'ясовано, що обладнання на європейських станціях моніторингу сучасне, забезпечує високу чутливість і стабільність результатів вимірювань в безперервному режимі роботи, малу похибку вимірювань. Переважна більшість пристроїв обладнана дисплеєм з інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом користувача та великою кількістю засобів комунікації: віддалений контроль і управління, а також онлайн доступ до даних. Усе обладнання є дорогим.

Українські станції моніторингу не оновлювались близько 20 років, обладнання є застарілим з низькою точністю вимірювань.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ НАД МАГІСТРАЛЯМИ М.КИЄВА АВТОТРАНСПОРТОМ

4.1 Методика підрахунку загазованості від пересувних джерел

Загазованість від потоку автомобільного транспорту (M_i) визначається для кожної i -тої забруднюючої речовини на окремій магістралі по всій довжині (L), враховуючи її структуру та інтенсивність руху. Якщо інтенсивність в межах 20-25%, то автомагістраль розглядається як одне джерело забруднення (M_L).

У випадку, коли інтенсивність транспортного потоку вище зазначеного відсотка, автомагістраль поділяють на декілька ділянок з близькими характеристиками. Більшість магістралей в місті мають одне або декілька регульованих на нерегульованих перехрестях, при зупинці на яких авто викидають значну кількість відпрацьованих газів (M_{Π} , розрахунок їх кількості змінюється, адже враховуються кількість авто в черзі, які працюють на холостому ході, а також затрати на гальмування і розгін).

Тому для завантажених ділянок дороги (інтенсивність руху $> 400-500$ авто/год) загазованість враховується як на рівномірній ділянці, так і на перехресті і обчислюється за формулою:

$$M_i = M_{L_i} + M_{\Pi_i}, \quad (4.1)$$

де M_{Π_i} – викид i -тої забруднюючої речовини транспортом, який працює на холостому ході в зоні перехрестя (коли на світлофорі червоний сигнал);

M_{L_i} – викид i -тої забруднюючої речовини транспортом, який знаходиться в русі по магістралі, яка розглядається в конкретний період часу.

Викид i -тої шкідливої речовини (мг/с) для одиниці транспортного потоку, що рухається по магістралі або її частині (яка розглядається як окреме джерело) з протяжністю L (км) розраховується за формулою:

$$M_{L_i} = \frac{L}{3600} \sum_1^k M_{k_i}^{\text{П}} * G_k * r_{k_v,i} \quad (4.2)$$

де $M_{k_i}^{\text{П}}$ (мг/км) – пробіговий викид і-тої забруднюючої речовини автомобілями k-ї групи, який визначається за таблицею 4.1;

k – кількість груп автомобілів;

G_k (од/год) – фактична інтенсивність руху, тобто кількість одиниць транспорту кожної з груп, що проходять через фіксований перетин обраної ділянки автомагістралі в одиницю часу в обох напрямках по всіх смугах руху [22];

$r_{k_v,i}$ – поправочний коефіцієнт, що залежить від середньої швидкості руху потоку транспортних засобів ((км/год) на ділянці, яка розглядається, визначається за таблицею 4.2);

L (км) – довжина ділянки, що розглядається (без врахування довжини черги транспорту перед світлофором).

Таблиця 4.1 – Пробігове значення викидів ($M_{k_i}^{\text{П}}$) для кожної з груп автомобілів

Найменування групи автомобілів	CO	NO x (в перерахунку на NO ₂)	CH	PM	SO ₂
Легкові	19,0	1,8	2,1	-	0,065
Легкові дизельні	2,0	1,3	0,25	0,1	0,21
Вантажні	75,0	5,2	13,4	-	0,22
Вантажні дизельні	8,5	7,7	6,0	0,3	1,25
Автобуси	97,6	5,3	13,4	-	0,32
Автобуси дизельні	8,8	8,0	6,5	0,3	1,45

При розрахунку рівня викидів від транспорту в зоні регульованого перехрестя враховується частка забруднюючих речовин у відпрацьованих газах при трьох режимах роботи – розгону, холостого ходу та гальмуванні.

Таблиця 4.2 – Значення поправочних коефіцієнтів $r_{k,v,i}$

	Швидкість руху (V, км/год)												
V	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	80	100
$r_{k,v,l}$	1,35	1,28	1,2	1,1	1,0	0,88	0,75	0,63	0,5	0,3	0,45	0,5	0,65

Викид i -тої шкідливої речовини (мг/хв) для одиниці транспортного потоку, що знаходиться в районі регульованого перехрестя розраховується за формулою:

$$M_{\Pi_i} = \frac{P}{40} \sum_{n=1}^{N_{\text{ц}}} \sum_{k=1}^{N_{\text{гр}}} M'_{\Pi_{i,k}} * G_{k,n}, \quad (4.3)$$

де P (хв) – тривалість червоного та жовтого сигналів світлофору;

$N_{\text{ц}}$ – кількість циклів дії червоного та жовтого сигналів світлофора за 20 хв;

$N_{\text{гр}}$ – кількість груп автомобілів;

$M'_{\Pi_{i,k}} \left(\frac{\text{мг}}{\text{хв}} \right)$ – викид i -тої забруднюючої речовини автомобілями, кожної з груп, що перебувають у черзі;

$G_{k,n}$ – кількість автомобілів k групи, що знаходяться в «черзі» в зоні перехрестя в кінці n -го циклу заборонного сигналу світлофора.

У таблиці 4.3 подано усереднені значення $M'_{\Pi_{i,k}}$ для кожної з груп авто, що враховують частку забруднюючих компонентів у відпрацьованих газах при трьох режимах роботи транспорту, які характерні для руху на перехресті.

Таблиця 4.3 – Усереднені значення викидів шкідливих речовин при русі на перехресті ($M'_{Pi,k}$)

Найменування групи автомобілів	CO	NO _x (в перерахунку на NO ₂)	CH	PM	SO ₂
Легкові	3,5	0,05	0,25	-	0,01
Легкові дизельні	0,13	0,08	0,06	0,035	0,04
Вантажні	18,4	0,2	2,96	-	0,028
Вантажні дизельні	2,85	0,81	0,3	0,07	0,075
Автобуси	16,1	0,16	2,64	-	0,03
Автобуси дизельні	3,07	0,7	0,41	0,09	0,09

У таблицях 4.1 та 4.3 під твердими частинки (PM) мається на увазі діапазон PM_{2.5}. Більша фракція частинок у відпрацьованих газах (тобто > 2,5 мкм) вважається малою (якою можна знехтувати), тому PM = PM_{2.5}.

4.2 Проведення експерименту по підрахунку загазованості над транспортними шляхами м. Києва

Алгоритм проведення експерименту:

- вибір ділянок Києва;
- з'ясування характеристик ділянок (довжини та структури);
- визначення інтенсивності руху на ділянці;
- підрахунок загазованості на ділянці з однаковою інтенсивністю руху;
- підрахунок загазованості на перехрестях (якщо такі наявні).

Основні магістралі міста Києва зображено на рисунку 4.1 [23].

Для наглядності обрано дві ділянки Києва, якими можна прокласти маршрут з однієї точки в іншу (у даному випадку з перетину проспекту Степана Бандери і вулиці Новокостянтинівська до початку Північного моста): проспект Степана Бандери з

надвисокою інтенсивністю руху та маршрут вулиця Набережно-Рибальська – вулиця Електриків – вулиця Новокостянтинівська – з високою інтенсивністю руху.

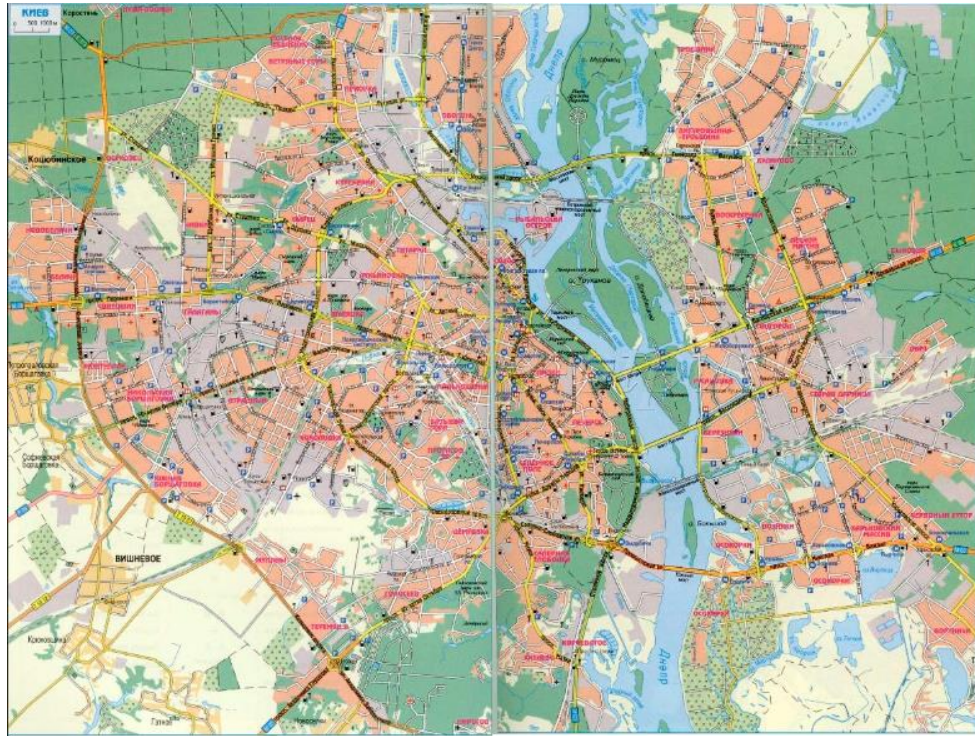


Рисунок 4.1 – Транспортна розв'язка м.Києва

Виконано дослідження на проспекті Степана Бандери (просп. Московський).

Проспект Степана Бандери (рисунок 4.2) починається від вулиці Семена Скляренка та проходить до Північного моста. Його довжина 4,5 кілометра. Наявне одне завантажене перехрестя.

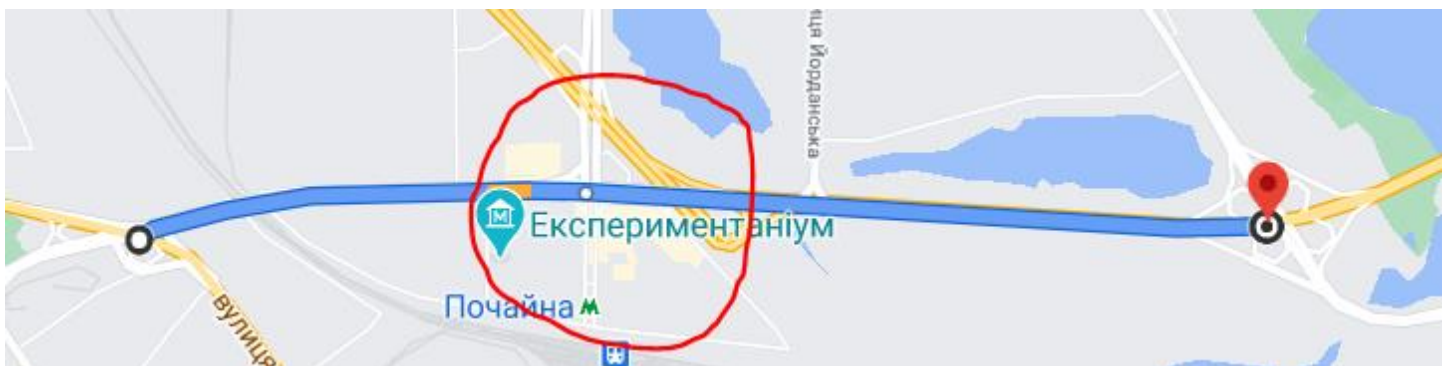


Рисунок 4.2 – Маршрут по проспекту Степана Бандери

Інтенсивність руху на проспекті: підвищена.

Для підрахунку загазованості на обраній ділянці дороги необхідно окремо підрахувати викиди транспортними потоками на протяжності проспекту та окремо на регульованому перехресті. У ході проведення експерименту підраховано кількість видів транспорту для кожної з груп (легковий, вантажний, автобуси) по руху вздовж проспекту та на перехресті в різні частини доби – ранок (8:00), обід (14:00), вечір (18:00). Результати подано в таблицях 4.4 – 4.12.

Транспортні викиди зранку (8:00), швидкість руху потоку $V_{cp} = 40$ км/год.

Таблиця 4.4 – Дані для обрахунку загазованості вздовж проспекту зранку

Тип транспорту	Кількість, шт за 20 хв N_m	За 1 годину N_p
Легкові	1714	5142
Вантажні	210	630
Автобуси	22	66

За даними аналітичного агентства «Автостат» розподіл типу двигуна (палива відповідно) серед українського автопрому має наступний вигляд:

- бензин – 84.1%;
- дизельне паливо – 10.4%;
- інші – 5.5%

За формулою 4.2 обраховуються викиди кожної і-ї шкідливої речовини у викидах вздовж проспекту, беручи до уваги вищенаведену статистику:

$$M_{LCO} = \frac{3}{3600} (M_{LCO}^{\Pi} * G_L * r_{k40} + M_{BCO}^{\Pi} * G_B * r_{k40} + M_{ACO}^{\Pi} * G_A * r_{k40}) =$$

$$0,0008 (0,841(19,0 * 5142 * 0,88 + 75,0 * 630 * 0,88 + 97,6 * 66 * 0,88) +$$

$$0,104 (2,0 * 5142 * 0,88 + 8,5 * 630 * 0,88 + 8,8 * 66 * 0,88)) =$$

$$0,0008 (0,841(85\,974,24 + 41\,580 + 5\,668,608) + 0,104(9\,049,92 + 4\,712,4 + 511,104)) = 0,0008 (280240, 415168 + 1\,484,436096) = 225,3798810112 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{LNO} = \frac{3}{3600} (M_{LNO}^{\Pi} * G_L * r_{k_{40}} + M_{BNO}^{\Pi} * G_B * r_{k_{40}} + M_{ANO}^{\Pi} * G_A * r_{k_{40}}) = 0,0008 (0,841(1,8 * 5142 * 0,88 + 5,2 * 630 * 0,88 + 5,3 * 66 * 0,88) + 0,104 (1,3 * 5142 * 0,88 + 7,7 * 630 * 0,88 + 8,0 * 66 * 0,88)) = 0,0008(0,841(8\,144,928 + 2\,882,88 + 307,824) + 0,104(5\,882,448 + 4\,268,88 + 464,64)) = 0,0008 (9\,533,266512 + 1\,104,060672) = 8,5098617472 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{LCH} = \frac{3}{3600} (M_{LCH}^{\Pi} * G_L * r_{k_{40}} + M_{BCH}^{\Pi} * G_B * r_{k_{40}} + M_{ACH}^{\Pi} * G_A * r_{k_{40}}) = 0,0008 (0,841(2,1 * 5142 * 0,88 + 13,4 * 630 * 0,88 + 13,4 * 66 * 0,88) + 0,104 (0,25 * 5142 * 0,88 + 6,0 * 630 * 0,88 + 6,5 * 66 * 0,88)) = 0,0008(0,841(9\,502,416 + 7\,428,96 + 778,272) + 0,104(1\,131,24 + 3\,326,4 + 377,52)) = 0,0008 (14\,893,813968 + 502,85664) = 12,3173364864 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{LPM} = \frac{3}{3600} (M_{LPM}^{\Pi} * G_L * r_{k_{40}} + M_{BPM}^{\Pi} * G_B * r_{k_{40}} + M_{APM}^{\Pi} * G_A * r_{k_{40}}) = 0,0008 (0,104 (0,1 * 5142 * 0,88 + 0,3 * 630 * 0,88 + 0,3 * 66 * 0,88)) = 0,0008(0,104(452,496 + 166,32 + 17,424)) = 0,052935168 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{LSO} = \frac{3}{3600} (M_{LSO}^{\Pi} * G_L * r_{k_{40}} + M_{BSO}^{\Pi} * G_B * r_{k_{40}} + M_{ASO}^{\Pi} * G_A * r_{k_{40}}) = 0,0008 (0,841(0,065 * 5142 * 0,88 + 0,22 * 630 * 0,88 + 0,32 * 66 * 0,88) + 0,104 (0,21 * 5142 * 0,88 + 1,25 * 630 * 0,88 + 1,45 * 66 * 0,88)) = 0,0008(0,841(294,1224 + 121,968 + 18,5856) + 0,104(950,2416 + 693 + 84,216)) = 0,0008 (365,562516 + 179,6555904) = 0,43617448512 \text{ (мг/с)}$$

Таблиця 4.5 – Дані для обрахунку загазованості на регульованому перехресті зранку

Номер циклу	Авто в «черзі» у заборонного сигналу світлофора за 20 хв (G_k)			Тривалість заборонного сигналу світлофора (хв), $P = 1$
	Тип транспорту			
	Легкові	Вантажні	Автобуси	
1	145	25	1	
2	152	17	2	
3	166	16	1	
4	146	21	3	

5	142	15	3	Кількість циклів, $N_{Ц} = 10$
6	139	22	2	
7	158	16	2	
8	164	14	1	
9	182	25	2	
10	175	30	3	
ВСЬОГО	1569	201	20	

За формулою 4.3 обраховуються викиди кожної i -ї шкідливої речовини в зоні регульованого перехрестя проспекту:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{ПСО}} &= \frac{1}{40} (M'_{\text{ПСО,Л}} * G_{\text{Л,1}} + M'_{\text{ПСО,В}} * G_{\text{В,1}} + M'_{\text{ПСО,А}} * G_{\text{А,1}} + M'_{\text{ПСО,Л}} * G_{\text{Л,2}} + M'_{\text{ПСО,В}} * \\
 &G_{\text{В,2}} + M'_{\text{ПСО,А}} * G_{\text{А,2}} + \dots + M'_{\text{ПСО,Л}} * G_{\text{Л,10}} + M'_{\text{ПСО,В}} * G_{\text{В,10}} + M'_{\text{ПСО,А}} * G_{\text{А,10}}) = \\
 &0,025 (0,814(3,5 * 145 + 18,4 * 25 + 16,1 * 1 + 3,5 * 152 + 18,4 * 17 + 16,1 * 2 + \\
 &3,5 * 166 + 18,4 * 17 + 16,1 * 1 + 3,5 * 146 + 18,4 * 21 + 16,1 * 3 + 3,5 * 142 + \\
 &18,4 * 15 + 16,1 * 3 + 3,5 * 139 + 18,4 * 22 + 16,1 * 2 + 3,5 * 158 + 18,4 * 16 + 16,1 * \\
 &2 + 3,5 * 164 + 18,4 * 14 + 16,1 * 1 + 3,5 * 182 + 18,4 * 25 + 16,1 * 2 + 3,5 * 175 + \\
 &18,4 * 30 + 16,1 * 3) + 0,104 (0,13 * 145 + 2,85 * 25 + 3,07 * 1 + 0,13 * 152 + 2,85 * \\
 &17 + 3,07 * 2 + 0,13 * 166 + 2,85 * 17 + 3,07 * 1 + 0,13 * 146 + 2,85 * 21 + 3,07 * 3 + \\
 &0,13 * 142 + 2,85 * 15 + 3,07 * 3 + 0,13 * 139 + 2,85 * 22 + 3,07 * 2 + 0,13 * 158 + \\
 &2,85 * 16 + 3,07 * 2 + 0,13 * 164 + 2,85 * 14 + 3,07 * 1 + 0,13 * 182 + 2,85 * 25 + \\
 &3,07 * 2 + 0,13 * 175 + 2,85 * 30 + 3,07 * 3) = 0,025 (0,841 (5 491,5 + 3 698,4 + 322) + \\
 &0,104(203,97 + 572,85 + 61,4)) = 0,025 (15 485,3732 + 87,17488) = 389,313702 \text{ (мг/хв)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{ПНО}} &= \frac{1}{40} (M'_{\text{ПНО,Л}} * G_{\text{Л,1}} + M'_{\text{ПНО,В}} * G_{\text{В,1}} + M'_{\text{ПНО,А}} * G_{\text{А,1}} + M'_{\text{ПНО,Л}} * G_{\text{Л,2}} + M'_{\text{ПНО,В}} * \\
 &G_{\text{В,2}} + M'_{\text{ПНО,А}} * G_{\text{А,2}} + \dots + M'_{\text{ПНО,Л}} * G_{\text{Л,10}} + M'_{\text{ПНО,В}} * G_{\text{В,10}} + M'_{\text{ПНО,А}} * G_{\text{А,10}}) = \\
 &0,025 (0,814(0,05 * 145 + 0,2 * 25 + 0,16 * 1 + 0,05 * 152 + 0,2 * 17 + 0,16 * 2 + \\
 &0,05 * 166 + 0,2 * 17 + 0,16 * 1 + 0,05 * 146 + 0,2 * 21 + 0,16 * 3 + 0,05 * 142 + \\
 &0,2 * 15 + 0,16 * 3 + 0,05 * 139 + 0,2 * 22 + 0,16 * 2 + 0,05 * 158 + 0,2 * 16 + 0,16 * \\
 &2 + 0,05 * 164 + 0,2 * 14 + 0,16 * 1 + 0,05 * 182 + 0,2 * 25 + 0,16 * 2 + 0,05 * 175 + \\
 &0,2 * 30 + 0,16 * 3) + 0,104 (0,08 * 145 + 2,85 * 25 + 0,7 * 1 + 0,08 * 152 + 2,85 * 17 + \\
 &0,7 * 2 + 0,08 * 166 + 2,85 * 17 + 0,7 * 1 + 0,08 * 146 + 2,85 * 21 + 0,7 * 3 + 0,08 * \\
 &142 + 2,85 * 15 + 0,7 * 3 + 0,08 * 139 + 2,85 * 22 + 0,7 * 2 + 0,08 * 158 + 2,85 * 16 + \\
 &0,7 * 2 + 0,08 * 164 + 2,85 * 14 + 0,7 * 1 + 0,08 * 182 + 2,85 * 25 + 0,7 * 2 + 0,08 *
 \end{aligned}$$

$$* 175 + 2,85 * 30 + 0,7 * 3)) = 0,025 (0,814 (78,45 + 40,2 + 3,2) + 0,104(125,52 + 572,85 + 14)) = 0,025 (99,1859 + 74,08648) = 4,3318095 \text{ (мг/хв)}$$

$$M_{\text{ПЧ}} = \frac{1}{40} (M'_{\text{ПЧ,Л}} * G_{\text{Л,1}} + M'_{\text{ПЧ,В}} * G_{\text{В,1}} + M'_{\text{ПЧ,А}} * G_{\text{А,1}} + M'_{\text{ПЧ,Л}} * G_{\text{Л,2}} + M'_{\text{ПЧ,В}} * G_{\text{В,2}} + M'_{\text{ПЧ,А}} * G_{\text{А,2}} + \dots + M'_{\text{ПЧ,Л}} * G_{\text{Л,10}} + M'_{\text{ПЧ,В}} * G_{\text{В,10}} + M'_{\text{ПЧ,А}} * G_{\text{А,10}}) =$$

$$0,025 (0,814(0,25 * 145 + 2,96 * 25 + 2,64 * 1 + 0,25 * 152 + 2,96 * 17 + 2,64 * 2 + 0,25 * 166 + 2,96 * 17 + 2,64 * 1 + 0,25 * 146 + 2,96 * 21 + 2,64 * 3 + 0,25 * 142 + 2,96 * 15 + 2,64 * 3 + 0,25 * 139 + 2,96 * 22 + 2,64 * 2 + 0,25 * 158 + 2,96 * 16 + 2,64 * 2 + 0,25 * 164 + 2,96 * 14 + 2,64 * 1 + 0,25 * 182 + 2,96 * 25 + 2,64 * 2 + 0,25 * 175 + 2,96 * 30 + 2,64 * 3) + 0,104 (0,06 * 145 + 0,3 * 25 + 3,07 * 1 + 0,06 * 152 + 0,3 * 17 + 3,07 * 2 + 0,06 * 166 + 0,3 * 17 + 3,07 * 1 + 0,06 * 146 + 0,3 * 21 + 3,07 * 3 + 0,06 * 142 + 0,3 * 15 + 3,07 * 3 + 0,06 * 139 + 0,3 * 22 + 3,07 * 2 + 0,06 * 158 + 0,3 * 16 + 3,07 * 2 + 0,06 * 164 + 0,3 * 14 + 3,07 * 1 + 0,06 * 182 + 0,3 * 25 + 3,07 * 2 + 0,06 * 175 + 0,3 * 30 + 3,07 * 3)) = 0,025 (0,814 (392,25 + 594,96 + 52,8) + 0,104(94,14 + 60,3 + 61,4)) = 0,025 (846,56814 + 22,44736) = 21,7253875 \text{ (мг/хв)}$$

$$M_{\text{ПРМ}} = \frac{1}{40} (M'_{\text{ПР,Л}} * G_{\text{Л,1}} + M'_{\text{ПР,В}} * G_{\text{В,1}} + M'_{\text{ПР,А}} * G_{\text{А,1}} + M'_{\text{ПР,Л}} * G_{\text{Л,2}} + M'_{\text{ПР,В}} * G_{\text{В,2}} + M'_{\text{ПР,А}} * G_{\text{А,2}} + \dots + M'_{\text{ПР,Л}} * G_{\text{Л,10}} + M'_{\text{ПР,В}} * G_{\text{В,10}} + M'_{\text{ПР,А}} * G_{\text{А,10}}) = 0,025 * 0,104$$

$$(0,035 * 145 + 0,07 * 25 + 0,09 * 1 + 0,035 * 152 + 0,07 * 17 + 0,09 * 2 + 0,035 * 166 + 0,07 * 17 + 0,09 * 1 + 0,035 * 146 + 0,07 * 21 + 0,09 * 3 + 0,035 * 142 + 0,07 * 15 + 0,09 * 3 + 0,035 * 139 + 0,07 * 22 + 0,09 * 2 + 0,035 * 158 + 0,07 * 16 + 0,09 * 2 + 0,035 * 164 + 0,07 * 14 + 0,09 * 1 + 0,035 * 182 + 0,07 * 25 + 0,09 * 2 + 0,035 * 175 + 0,07 * 30 + 0,09 * 3)) = 0,0026 (54,915 + 14,07 + 1,8) = 0,184041 \text{ (мг/хв)}$$

$$M_{\text{ПСО}} = \frac{1}{40} (M'_{\text{ПСО,Л}} * G_{\text{Л,1}} + M'_{\text{ПСО,В}} * G_{\text{В,1}} + M'_{\text{ПСО,А}} * G_{\text{А,1}} + M'_{\text{ПСО,Л}} * G_{\text{Л,2}} + M'_{\text{ПСО,В}} * G_{\text{В,2}} + M'_{\text{ПСО,А}} * G_{\text{А,2}} + \dots + M'_{\text{ПСО,Л}} * G_{\text{Л,10}} + M'_{\text{ПСО,В}} * G_{\text{В,10}} + M'_{\text{ПСО,А}} * G_{\text{А,10}}) =$$

$$0,025 (0,814(0,01 * 145 + 0,028 * 25 + 0,03 * 1 + 0,01 * 152 + 0,028 * 17 + 0,03 * 2 + 0,01 * 166 + 0,028 * 17 + 0,03 * 1 + 0,01 * 146 + 0,028 * 21 + 0,03 * 3 + 0,01 * 142 + 0,028 * 15 + 0,03 * 3 + 0,01 * 139 + 0,028 * 22 + 0,03 * 2 + 0,01 * 158 + 0,028 * 16 + 0,03 * 2 + 0,01 * 164 + 0,028 * 14 + 0,03 * 1 + 0,01 * 182 + 0,028 * 25 + 0,03 * 2 + 0,01 * 175 + 0,028 * 30 + 0,03 * 3) + 0,104 (0,04 * 145 + 0,075 * 25 + 0,09 * 1 + 0,04 * 152 + 0,075 * 17 + 0,09 * 2 + 0,04 * 166 + 0,075 * 17 + 0,09 * 1 + 0,04 * 146 + 0,075 * 21 + 0,09 * 3 + 0,04 * 142 + 0,075 * 15 + 0,09 * 3 + 0,04 * 139 + 0,075 * 22 + 0,09 * 2 + 0,04 * 158 + 0,075 * 16 + 0,09 * 2 + 0,04 * 164 + 0,075 * 14 + 0,09 * 1 + 0,04 * 182 + 0,075 * 25 + 0,09 * 2 + 0,04 * 175 + 0,075 * 30 + 0,09 * 3)) =$$

$$0,025 (0,814 (15,69 + 5,628 + 0,6) + 0,104(62,76 + 15,075 + 1,8)) = 0,025 (17,841252 + 8,28204) = 0,6530823 \text{ (мг/хв)}$$

За формулою 4.1 підраховується загальна загазованість на проспекті для кожної з шкідливих речовин:

$$M_i = M_{Li} + M_{Pi}$$

$$M_{CO} = M_{LCO} + M_{PCO} = 225,3798810112 + 389,313702/60 = 231,8684427112 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{NO} = M_{LNO} + M_{PNO} = 8,5098617472 + 4,3318095/60 = 8,5820585722 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{CH} = M_{LCH} + M_{PCH} = 12,3173364864 + 21,7253875/60 = 12,67942627806667 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{PM} = M_{LPM} + M_{PPM} = 0,052935168 + 0,184041/60 = 0,05600251 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{SO} = M_{LSO} + M_{PSO} = 0,43617448512 + 0,6530823/60 = 0,44705919012 \text{ (мг/с)}$$

Транспортні викиди вдень (14:00), швидкість руху потоку $V_{cp} = 60\text{км/год}$.

Таблиця 4.6 – Дані для обрахунку загазованості вздовж проспекту вдень

Тип транспорту	Кількість, шт За 20 хв N_m	За 1 годину N_p
Легкові	1872	5616
Вантажні	118	354
Автобуси	40	120

$$M_{LCO} = \frac{4}{3600} (M_{LCO}^{II} * G_L * r_{k_{60}} + M_{BCO}^{II} * G_B * r_{k_{60}} + M_{ACO}^{II} * G_A * r_{k_{60}}) = 0,001 (0,841(19,0 * 5616 * 0,3 + 75,0 * 354 * 0,3 + 97,6 * 120 * 0,3) + 0,104 (2,0 * 5616 * 0,3 + 8,5 * 354 * 0,3 + 8,8 * 120 * 0,3)) = 0,001 (0,841(32 011,2 + 7 965 + 3 513,6) + 0,104(3 369,6 + 902,7 + 316,8)) = 0,001 (36 574,9218 + 477,2664) = 37,0521882 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{LNO} = \frac{4}{3600} (M_{LNO}^{II} * G_L * r_{k_{40}} + M_{BNO}^{II} * G_B * r_{k_{60}} + M_{ANO}^{II} * G_A * r_{k_{60}}) = 0,001 (0,841(1,8 * 5616 * 0,3 + 5,2 * 354 * 0,3 + 5,3 * 120 * 0,3) + 0,104 (1,3 * 5616 * 0,3 + 7,7 * 354 * 0,3 + 8,0 * 120 * 0,3)) = 0,001 (0,841(3 032,64 + 552,24 + 190,8) + 0,104(2 190,24 + 817,74 + 288)) = 0,001 (3 175,34688 + 342,78192) = 3,5181288 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{LCH} = \frac{4}{3600} (M_{LCH}^{II} * G_L * r_{k_{60}} + M_{BCH}^{II} * G_B * r_{k_{60}} + M_{ACH}^{II} * G_A * r_{k_{60}}) = 0,001 (0,841(2,1 * 5616 * 0,3 + 13,4 * 354 * 0,3 + 13,4 * 120 * 0,3) + 0,104 (0,25 * 5616 * 0,3 + 6,0 * 354 * 0,3 + 6,0 * 120 * 0,3)) = 0,001 (0,841(3 672,36 + 1407,24 + 154,8) + 0,104(474,0 + 637,8 + 637,8)) = 0,001 (4234,44 + 1749,4) = 5,98384 \text{ (мг/с)}$$

$$354 * 0,3 + 6,5 * 120 * 0,3)) = 0,001 (0,841(3\ 538,08 + 1\ 423,08 + 482,4) + 0,104(421,2 + 637,2 + 234)) = 0,001 (4\ 578,03396 + 134,4096) = 4,71244356 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{Lc} = \frac{4}{3600} (M_{Lc}^{\Pi} * G_L * r_{k_{60}} + M_{Bc}^{\Pi} * G_B * r_{k_{60}} + M_{Ac}^{\Pi} * G_A * r_{k_{60}}) = 0,001 (0,104 (0,1 * 5616 * 0,3 + 0,3 * 354 * 0,3 + 0,3 * 120 * 0,3)) = 0,001 (0,104(168,48 + 31,86 + 10,8)) = 0,02195856 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{Lso} = \frac{4}{3600} (M_{Lso}^{\Pi} * G_L * r_{k_{60}} + M_{Bso}^{\Pi} * G_B * r_{k_{60}} + M_{Aso}^{\Pi} * G_A * r_{k_{60}}) = 0,001 (0,841(0,065 * 5616 * 0,3 + 0,22 * 354 * 0,3 + 0,32 * 120 * 0,3) + 0,104 (0,21 * 5616 * 0,3 + 1,25 * 354 * 0,3 + 1,45 * 120 * 0,3)) = 0,001 (0,841(109,732 + 23,364 + 11,52) + 0,104(353,808 + 132,75 + 52,2)) = 0,001 (121,622056 + 56,030832) = 0,177652888 \text{ (мг/с)}$$

Таблиця 4.7 – Дані для обрахунку загазованості на регульованому перехресті вдень

Номер циклу	Авто в «черзі» у заборонного сигналу світлофора за 20 хв (G _k)			Тривалість заборонного сигналу світлофора (хв), P = 1
	Тип транспорту			
	Легкові	Вантажні	Автобуси	
1	170	11	5	
2	162	7	3	
3	180	13	2	
4	166	15	0	
5	149	10	3	
6	168	7	5	
7	135	13	4	
8	179	10	3	
9	153	8	3	
10	156	8	5	
Всього	1618	102	33	

$$M_{\text{ПСО}} = 0,025 (0,814(3,5 * 1618 + 18,4 * 102 + 16,1 * 33) + 0,104 (0,13 * 1618 + 2,85 * 102 + 3,07 * 33)) = 0,025 (0,814 (5 663 + 1 876,8 + 531,3) + 0,104(210,34 + 290,7 + 101,31)) = 0,025 (6 569,8754 + 62,6444) = 165,812995 \text{ (мг/хв)}$$

$$M_{\text{ПНО}} = 0,025 (0,814(0,05 * 1618 + 0,2 * 102 + 0,16 * 33) + 0,104 (0,08 * 1618 + 2,85 * 102 + 0,7 * 33)) = 0,025 (0,814 (80,9 + 20,4 + 5,28) + 0,104(129,44 + 290,7 + 23,1)) = 0,025 (86,75612 + 46,09696) = 3,321327 \text{ (мг/хв)}$$

$$M_{\text{ПСН}} = 0,025 (0,814(0,25 * 1618 + 2,96 * 102 + 2,64 * 33) + 0,104 (0,06 * 1618 + 0,3 * 102 + 3,07 * 33)) = 0,025 (0,814 (404,5 + 301,92 + 87,12) + 0,104(97,08 + 30,6 + 101,31)) = 0,025 (645,94156 + 23,81496) = 23,83996 \text{ (мг/хв)}$$

$$M_{\text{ПРМ}} = 0,025 * 0,104 (0,035 * 1618 + 0,07 * 102 + 0,09 * 33) = 0,0026 (56,63 + 7,14 + 2,97) = 0,173524 \text{ (мг/хв)}$$

$$M_{\text{ПСО}} = 0,025 (0,814(0,01 * 1618 + 0,028 * 102 + 0,03 * 33) + 0,104 (0,04 * 1618 + 0,075 * 102 + 0,09 * 33)) = 0,025 (0,814 (16,18 + 2,856 + 0,99) + 0,104(64,72 + 7,65 + 2,97)) = 0,025 (16,301164 + 7,83536) = 0,6034131 \text{ (мг/хв)}$$

Підрахунок загальної загазованості на проспекті для кожної з шкідливих речовин:

$$M_{\text{СО}} = M_{\text{ЛСО}} + M_{\text{ПСО}} = 37,0521882 + 165,812995/60 = 39,81573811666667 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{\text{НО}} = M_{\text{ЛНО}} + M_{\text{ПНО}} = 3,5181288 + 3,321327/60 = 3,57348425 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{\text{СН}} = M_{\text{ЛСН}} + M_{\text{ПСН}} = 4,71244356 + 23,83996/60 = 5,109776226666667 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{\text{РМ}} = M_{\text{ЛРМ}} + M_{\text{ПРМ}} = 0,02195856 + 0,173524/60 = 0,0248506266666667 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{\text{СО}} = M_{\text{ЛСО}} + M_{\text{ПСО}} = 0,177652888 + 0,6034131/60 = 0,187709773 \text{ (мг/с)}$$

Транспортні викиди ввечері (18:00), швидкість руху потоку $V_{\text{сп}} = 20 \text{ км/год}$.

Таблиця 4.8 – Дані для обрахунку загазованості вздовж проспекту ввечері

Тип транспорту	Кількість, шт За 20 хв Nm	За 1 годину Np
Легкові	1326	3978
Вантажні	90	270
Автобуси	20	60

$$M_{LCO} = \frac{2.5}{3600} (M_{LCO}^{\Pi} * G_L * r_{k_{20}} + M_{BCO}^{\Pi} * G_B * r_{k_{20}} + M_{ACO}^{\Pi} * G_A * r_{k_{20}}) =$$

$$0,000694 (0,841(19,0 * 3978 * 1,2 + 75,0 * 270 * 1,2 + 97,6 * 60 * 1,2) + 0,104 (2,0 * 3978 * 1,2 + 8,5 * 270 * 1,2 + 8,8 * 60 * 1,2)) = 0,000694(0,841(90\ 773,4 + 24\ 300 + 7\ 027,2) + 0,104(9\ 547,2 + 2\ 754 + 633,6)) = 0,000694 (102\ 686,6046 + 1\ 345,2192) = 72,1980857172 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{LNO} = \frac{2.5}{3600} (M_{LNO}^{\Pi} * G_L * r_{k_{20}} + M_{BNO}^{\Pi} * G_B * r_{k_{20}} + M_{ANO}^{\Pi} * G_A * r_{k_{20}}) =$$

$$= 0,000694(0,841(1,8 * 3978 * 1,2 + 5,2 * 270 * 1,2 + 5,3 * 60 * 1,2) + 0,104 (1,3 * 3978 * 1,2 + 7,7 * 270 * 1,2 + 8,0 * 60 * 1,2)) = 0,000694(0,841(8\ 592,48 + 1\ 684,8 + 381,6) + 0,104(6\ 205,68 + 2\ 494,8 + 576)) = 0,000694 (8\ 964,11808 + 377,18512) = 6,4828644208 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{LCH} = \frac{2.5}{3600} (M_{LCH}^{\Pi} * G_L * r_{k_{20}} + M_{BCH}^{\Pi} * G_B * r_{k_{20}} + M_{ACH}^{\Pi} * G_A * r_{k_{20}}) =$$

$$0,000694(0,841(2,1 * 3978 * 1,2 + 13,4 * 270 * 1,2 + 13,4 * 60 * 1,2) + 0,104 (0,25 * 3978 * 1,2 + 6,0 * 270 * 1,2 + 6,5 * 60 * 1,2)) =$$

$$0,000694(0,841(3\ 538,08 + 1\ 423,08 + 482,4) + 0,104(385,65 + 1\ 134 + 128,7)) =$$

$$= 0,000694 (4\ 578,03396 + 964,75392) = 3,84669478872 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{LC} = \frac{2.5}{3600} (M_{LC}^{\Pi} * G_L * r_{k_{60}} + M_{BC}^{\Pi} * G_B * r_{k_{60}} + M_{AC}^{\Pi} * G_A * r_{k_{60}}) = 0,000694(0,104 (0,1 * 3978 * 1,2 + 0,3 * 270 * 1,2 + 0,3 * 60 * 1,2)) = 0,0005 (0,104(477,36 + 97,2 + 21,6)) = 0,04302844416 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{LSO} = \frac{2.5}{3600} (M_{LSO}^{\Pi} * G_L * r_{k_{20}} + M_{BSO}^{\Pi} * G_B * r_{k_{20}} + M_{ASO}^{\Pi} * G_A * r_{k_{20}}) =$$

$$0,000694(0,841(0,065 * 3978 * 1,2 + 0,22 * 270 * 1,2 + 0,32 * 60 * 1,2) + 0,104 (0,21 * 3978 * 1,2 + 1,25 * 270 * 1,2 + 1,45 * 60 * 1,2)) =$$

$$0,000694 (0,841(310,284 + 71,28 + 23,04) + 0,104(1\ 002,456 + 405 + 104,4)) = 0,000694 (340,271964 + 157,233024) = 0,345268461672 \text{ (мг/с)}$$

Таблиця 4.9 – Дані для обрахунку загазованості на регульованому перехресті ввечері

Номер циклу	Авто в «черзі» у заборонного сигналу світлофора за 20 хв (G_k)			Тривалість заборонного сигналу світлофора (хв), $P = 1$
	Тип транспорту			
	Легкові	Вантажні	Автобуси	
1	745	72	19	

2	726	70	17	Кількість циклів, $N_{Ц} = 10$
3	736	68	16	
4	750	67	15	
5	756	71	14	
6	781	69	15	
7	766	65	14	
8	752	66	13	
9	745	66	12	
10	756	65	11	
	7 513	769	146	

$$M_{\Pi_{CO}} = 0,025 (0,814(3,5 * 7 513 + 18,4 * 769 + 16,1 * 146) + 0,104 (0,13 * 7 513 + 2,85 * 769 + 3,07 * 146)) = 0,025 (0,814 (26 295,5 + 14 149,6 + 2 350,6) + 0,104(976,69 + 2 191,65 + 448,22)) = 0,025 (34 835,6998 + 376,12224) = 880,295551 \text{ (мг/хв)}$$

$$M_{\Pi_{NO}} = 0,025 (0,814(0,05 * 7 513 + 0,2 * 769 + 0,16 * 146) + 0,104 (0,08 * 7 513 + 2,85 * 769 + 0,7 * 146)) = 0,025 (0,814 (375,65 + 153,8 + 23,36) + 0,104(601,04 + 2 191,65 + 102,2)) = 0,025 (449,98734 + 301,06856) = 18,7763975 \text{ (мг/хв)}$$

$$M_{\Pi_{CH}} = 0,025 (0,814(0,25 * 7 513 + 2,96 * 769 + 2,64 * 146) + 0,104 (0,06 * 7 513 + 0,3 * 769 + 3,07 * 146)) = 0,025 (0,814 (1 878,25 + 2 276,24 + 385,44) + 0,104(450,78 + 230,7 + 448,22)) = 0,025 (3 695,50302 + 117,4888) = 95,3247955 \text{ (мг/хв)}$$

$$M_{\Pi_{PM}} = 0,025 * 0,104 (0,035 * 7 513 + 0,07 * 769 + 0,09 * 146) = 0,0026 (262,955 + 53,83 + 13,14) = 0,857805 \text{ (мг/хв)}$$

$$M_{\Pi_{SO}} = 0,025 (0,814(0,01 * 7 513 + 0,028 * 769 + 0,03 * 146) + 0,104 (0,04 * 7 513 + 0,075 * 769 + 0,09 * 146)) = 0,025 (0,814 (75,13 + 21,532 + 4,38) + 0,104(300,52 + 57,675 + 13,14)) = 0,025 (82,248188 + 38,61884) = 3,0216757 \text{ (мг/хв)}$$

Підраховано загальну загазованість на проспекті для кожної з шкідливих речовин:

$$M_{CO} = M_{LCO} + M_{\Pi_{CO}} = 72,1980857172 + 880,295551/60 = 86,86967823386667 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{NO} = M_{LNO} + M_{\Pi_{NO}} = 6,4828644208 + 18,7763975/60 = 6,795804379133333 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{CH} = M_{LCH} + M_{ПCH} = 3,84669478872 + 95,3247955/60 = 5,435441380386667 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{PM} = M_{LPM} + M_{ПPM} = 0,04302844416 + 0,857805/60 = 0,05732519416 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{SO} = M_{LSO} + M_{ПSO} = 0,345268461672 + 3,0216757/60 = 0,3956297234 \text{ (мг/с)}$$

Для порівняння загазованості виконано розрахунки для другого маршруту (Рисунок 4.3) у вечірній час-пік.

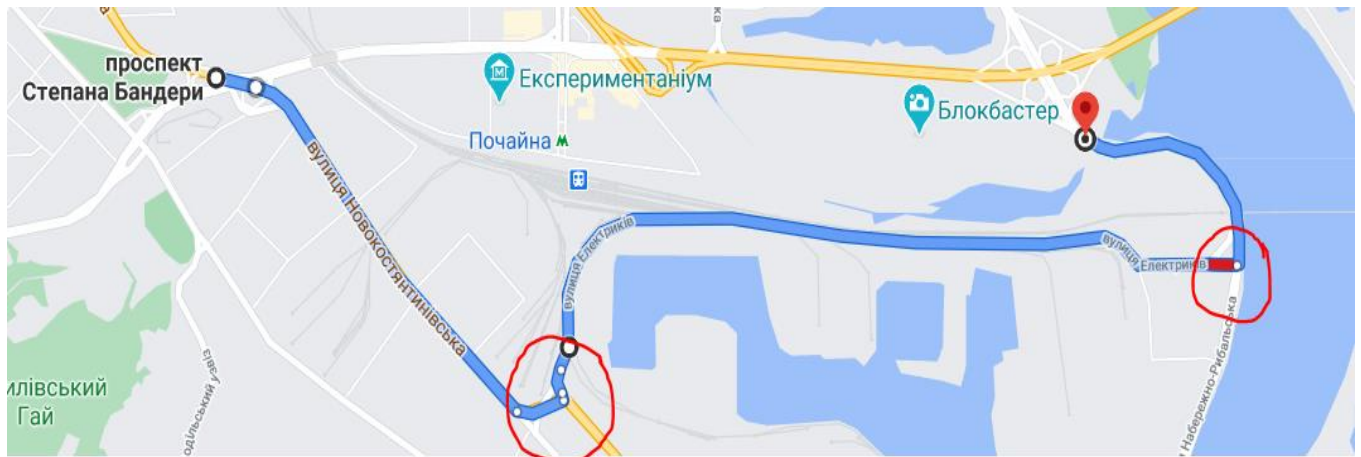


Рисунок 4.3 – Маршрут вул. Новокосянтинівська–вул. Електриків–вул. Набережно-Рибальська

Інтенсивність руху на маршруті: висока.

Для підрахунку загазованості по обраному маршруті доцільно його поділити на 3 ділянки, адже інтенсивність руху на них відрізняється: вулиця Новокосянтинівська, вулиця Електриків, вулиця Набережно – Рибальська. З обчислень для попереднього маршруту очевидно, що загазованість на перехресті становить не більше чверті від загальних викидів. Тому здійснювати аналіз загазованості на маршрутах також доцільно для ділянок активного руху.

Дані для обрахунків для маршруту вулиця Новокосянтинівська, вулиця Електриків, вулиця Набережно – Рибальська ввечері наведені в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Дані для обрахунку загазованості вздовж проспекту ввечері

Ділянка	Тип транспорту	Кількість, шт За 20 хв Nm	За 1 годину Nr	Середня швидкість руху, V_{cp} , км/год	Довжина ділянки, L, км
	Легкові	1233	3 699		
	Вантажні	65	195		
	Автобуси	20	60		
	Легкові	1256	3 768		
	Вантажні	52	156		
	Автобуси	16	48		
	Легкові	1012	3036		
	Вантажні	38	114		
	Автобуси	15	45		

Для вулиці Новокостянтинівська:

$$M_{LCO} = 0,0005(0,841(35\,140,5 + 7\,312,5 + 2\,928) + 0,104(3\,699 + 828,75 + 264)) = 0,0005 (106\,015,0583 + 791,019) = 53,403 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{LNO} = 0,0005(0,841(3\,329,1 + 507 + 36) + 0,104 (2\,404,35 + 750,75 + 240)) = 0,0005 (5\,333,1414 + 560,46095) = 2,946 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{LCH} = 0,0005(0,841(3\,883,95 + 1\,306,5 + 36) + 0,104 (462,375 + 585 + 195)) = 0,0005 (6\,976,8960 + 205,09) = 3,590993 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{LPM} = 0,0005 * 0,104 (184,95 + 29,25 + 29) = 0,02009 \text{ (г/с)}$$

$$M_{LSO} = 0,0005(0,841(120,2175 + 2145 + 9,6) + 0,104 (388,395 + 121,875 + 43,5)) = 0,0005 (540,1142 + 249,5762) = 0,3348452 \text{ (мг/с)}$$

Для вулиці Електриків:

$$M_{LCO} = 0,0008(0,841(21\,477,6 + 3\,510 + 1\,405,44) + 0,104(2\,206,8 + 93,6 + 126,72)) = 0,0008 (53\,271,711936 + 605,8091) = 43,10201 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{LNO} = 0,0008(0,841(2\,034,72 + 243,36 + 76,32) + 0,104 (1434,42 + 360,36 + 115,2)) = 0,0008 (4\,752,12096 + 476,731) = 4,18308 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{LCH} = 0,0008(0,841(2\,373,84 + 627,12 + 192,96) + 0,104 (1\,434,42 + 280,8 + 93,6)) = 0,0008 (6\,446,6081 + 451,481472) = 5,51847 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{LPM} = 0,0008 * 0,104 (110,34 + 14,04 + 4,32) = 0,0256 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{L_{SO}} = 0,0008(0,841(71,721 + 10,296 + 4,608) + 0,104 (231,714 + 58,5 + 20,88)) = 0,0008 (207,9 + 77,6490624) = 0,22843 \text{ (мг/с)}$$

Для вулиці Набережно - Рибальська:

$$M_{L_{CO}} = 0,0002(0,841(36\,340,92 + 11\,221,875 + 3\,294) + 0,104(3\,825,36 + 1\,271,8125 + 297)) = 0,0002 (57\,027,41946 + 747,99192) = 11,55508 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{L_{NO}} = 0,0002(0,841(3\,442,824 + 778,05 + 40,5) + 0,104 (2\,486,484 + 1\,152,1125 + 270)) = 0,0002 (4\,778,420712 + 541,992048) = 1,06408 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{L_{CH}} = 0,0002(0,841(4\,016,628 + 2\,004,975 + 40,5) + 0,104 (478,17 + 897,75 + 219,375)) = 0,0002 (6\,797,638164 + 221,21424) = 1,40377 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{L_{PM}} = 0,0002 * 0,104 (191,268 + 44,8875 + 32,625) = 0,0074541 \text{ (мг/с)}$$

$$M_{L_{SO}} = 0,0002(0,841(124,3242 + 15,8004 + 10,8) + 0,104 (401,6628 + 121,875 + 75,10)) = 0,0002 (201,2328 + 83,0111) = 0,05684878 \text{ (мг/с)}$$

4.3 Обробка результатів експерименту

У ході проведення експерименту було здійснено аналіз можливих маршрутів, якими можна дістатися з однієї точки міста в іншу (з перетину вул. Новокостянтинівської та проспекту С.Бандери до початку Північного моста). Обрано два маршрути – по проспекту С.Бандери та вул. Новокостянтинівська – вулиця Електриків – вул. Набережно-Рибальська.

Спочатку проаналізовано специфіку пробігових значень викидів шкідливих речовин кожною з груп авто як при рівномірному русі (рисунок 4.5) так і при зміні режимів роботи на перехресті – гальмуванні, холостому ході, розгону (рисунок 4.6). Результати аналізу пробігових значень двох можливих режимів роботи наведено у додатку В.

Встановлено, що при рівномірному русі оксид вуглецю найбільше викидають в атмосферу автобуси (46%) та вантажівки на бензині (36%), оксид азоту – приблизно рівними долями автобуси та вантажівки на дизелі (27% та 26%), трохи менше, але також

значна доля припадає на автобуси та вантажівки на бензині (по 18%), основними джерелами викидів вуглеводнів (в конкретному випадку метану) є легкові та вантажні авто на бензині (по 32 %), у 2 рази менше – автобуси на дизелі, приблизно стільки ж – легкові на бензині. Тверді частинки та сажа міститься виключно у викидах транспорту, який працює на дизелі, в основному – вантажного та автобусів (по 43%). Діоксид сірки викидають під час рівномірного руху в більшій мірі автобуси (41%) та вантажні авто (36%) на дизельному паливі.

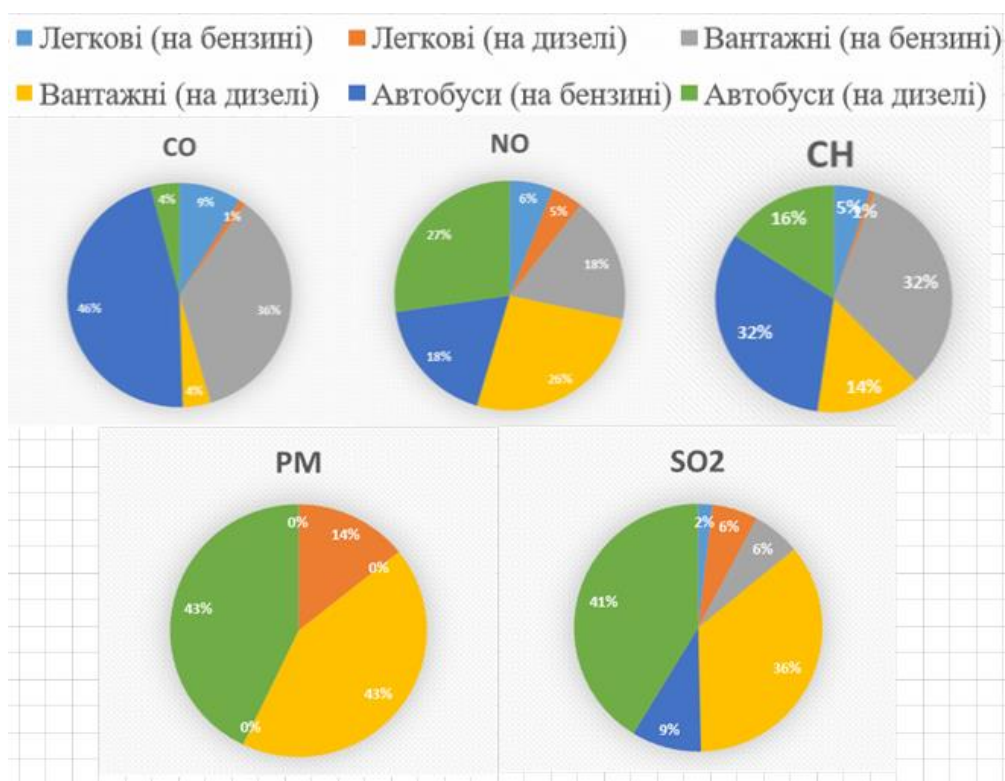


Рисунок 4.5 – Доля кожної групи авто у викидах шкідливих речовин при рівномірному русі

Що стосується викидів на перехресті, для оксиду вуглецю лідерами залишаються автобуси та вантажівки на бензині (37% та 42 %), а для діоксиду сірки – автобуси та вантажівки на бензині. Оксид азоту міститься в переважній більшості у вихлопах автобусів (35%) та вантажівок (41%) на дизелі і значно зменшилась доля авто на бензині (8% та 10%). Аналогічна ситуація й з вуглеводнями – значно збільшились частки

вантажівок та автобусів на бензині (40% та 45%). У викиді твердих частинок і сажі лідируючі позиції займають автобуси на бензині (87%). Для діоксиду сірки розподілення майже не змінилось – коливання значень в межах $\pm 8\%$.

Легкове авто, як на дизелі, так і на бензині, викидає малу долю шкідливих речовин у порівнянні з більш габаритним транспортом (бензин – максимум 9%, дизель – 15%).

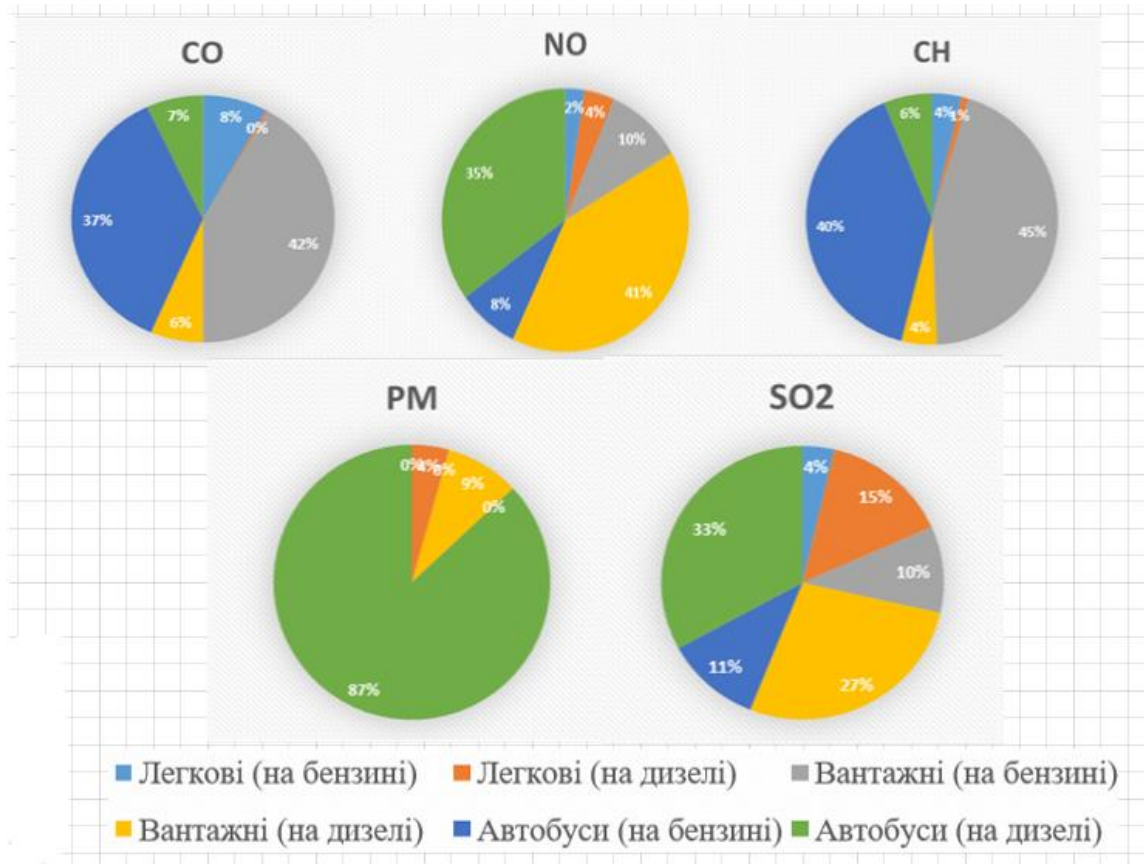


Рисунок 4.6 – Доля кожної групи авто у викидах шкідливих речовин при русі на перехресті

Для першого маршруту проведено максимально повний експеримент, здійснено аналіз завантаженості дороги протягом робочого часу доби (рисунок 4.7), обраховано загазованість над проспектом та регульованим перехрестям посеред нього для кожної речовини (рисунок 4.8).

Проспект С. Бандери є досить популярним маршрутом у Києві, адже це одна з небагатьох транспортних розв'язок, якою можна дістатися до/з Північного моста та Троєщини. Найбільша кількість авто ним проїжджає вдень, коли зовсім немає пробок. Значно менша кількість авто на проспекті – зранку, за рахунок початку робочого дня та більшої завантаженості усіх транспортних шляхів Києва. Ввечері під кінець робочого дня, кількість авто, які проїжджають по проспекту за одиницю часу різко зменшується, адже швидкість пересування мінімальна, на проспекті утворюється затор. Найбільша частина легкових авто та автобусів проїжджає за одиницю часу вдень, вантажівок – зранку.

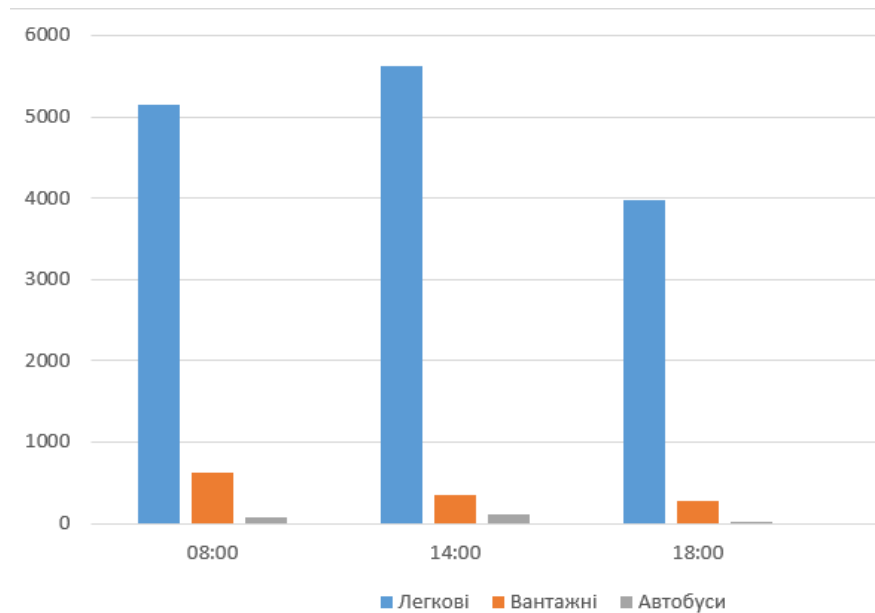


Рисунок 4.7 – Завантаженість проспекту С.Бандери протягом робочого часу доби

Обрахувавши загазованість від транспорту протягом дня на проспекті С. Бандери можна зробити висновок, що зранку концентрація всіх шкідливих речовин у повітрі є найбільшою. Скоріше за все це пов'язано з комбінованим характером руху – досить велика кількість авто проїжджає, але з невеликою швидкістю (при якій поправочний коефіцієнт, що враховує середню швидкість руху транспортного потоку є достатньо вагомим). Також високою є загазованість ввечері, коли на проспекті затор і потік рухається з низькою швидкістю (проте вона нижча ніж зранку, адже пробігове значення

викидів шкідливих речовин в русі значно вище ніж при гальмуванні, розгоні чи холостому ході). Вдень загазованість найнижча за робочу частину доби, адже швидкість руху максимальна в межах дозволеної – рівна 60 км/год (поправочний коефіцієнт, що враховує середню швидкість руху транспортного потоку найменший з можливих).

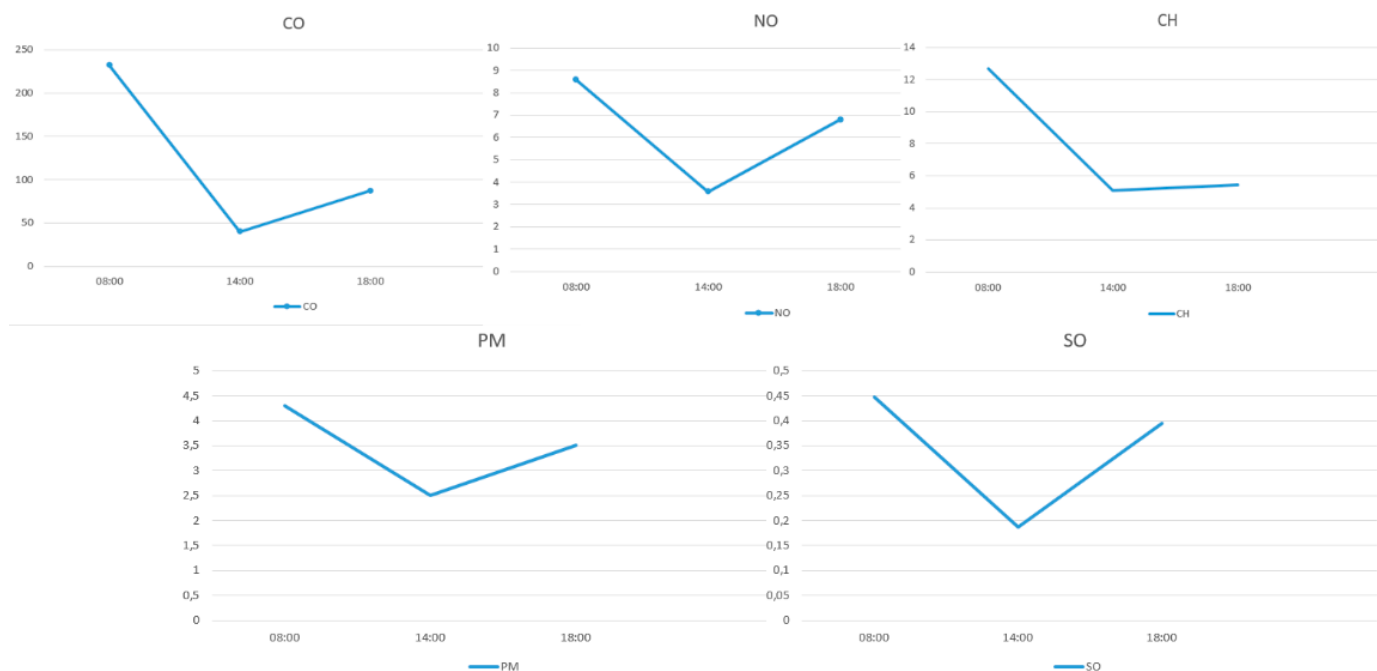


Рисунок 4.8 – Загазованість протягом робочого часу над проспектом С.Бандери шкідливими речовинами, які містяться у викидах транспорту

Щоб зрозуміти наскільки рівень загазованості на проспекті є шкідливим для здоров'я, необхідно здійснити додаткові розрахунки концентрації шкідливих речовин у так званій робочій зоні – 2 м над поверхнею землі – повсякденне середовище життєдіяльності людини та порівняти з гранично допустимими значеннями.

Концентрація шкідливої речовини у повітрі розраховується за наступною формулою:

$$C_i = \frac{m_i}{V_{\text{пов}}}, \quad (4.4)$$

де $V_{\text{пов}}$ – об'єм повітря в робочій зоні;

m_i – маса і-тої шкідливої речовини.

Об'єм повітря в робочій зоні над автомагістраллю розраховується за її параметрами – довжиною та шириною. Проспект С. Бандери має наступні параметри: довжина 4,5 км, ширина 36,35 м (рисунок 4.9).



Рисунок 4.9 – Структура проспекту С. Бандери

Розрахуємо концентрацію CO_2 над проспектом С. Бандери (розрахунки проводяться відносно інтервалу усереднення в 1 годину, встановлюється для попередження рефлекторних реакцій людини – відчуття запаху, смаку, світлочутливість тощо).

Об'єм повітря в «робочій зоні»: $V_{\text{пов}} = 4500 * 36,35 * 2 = 327\ 150 \text{ (м}^3\text{)}$

Зранку:

$$C_{\text{CO}} = \frac{231,8684427112 * 3600}{327\ 150} = 2,551509685955433 \text{ (мг/м}^3\text{)}$$

$$C_{\text{NO}} = \frac{8,5820585722 * 3600}{327\ 15000} = 0,0944380585661623 \text{ (мг/м}^3\text{)}$$

$$C_{\text{PM}} = \frac{12,67942627806667 * 3600}{327\ 150} = 6,1625 * 10^{-4} \text{ (мг/м}^3\text{)}$$

$$C_{\text{SO}} = \frac{0,44705919012 * 3600}{327\ 150} = 0,004915 \text{ (мг/м}^3\text{)}$$

Вдень:

$$C_{\text{CO}} = \frac{39,81573811666667 * 3600}{327\ 150} = 0,438137 \text{ (мг/м}^3\text{)}$$

$$C_{\text{NO}} = \frac{3,57348425 * 3600}{327\ 150} = 0,03932 \text{ (мг/м}^3\text{)}$$

$$C_{PM} = \frac{0,0248506266666667 * 3600}{327\ 150} = 2,73459 * 10^{-4} \text{ (мг/м}^3\text{)}$$

$$C_{SO} = \frac{0,187709773 * 3600}{327\ 150} = 0,00206 \text{ (мг/м}^3\text{)}$$

Ввечері:

$$C_{CO} = \frac{86,86967823386667 * 3600}{327\ 150} = 0,95592 \text{ (мг/м}^3\text{)}$$

$$C_{NO} = \frac{6,795804379133333 * 3600}{327\ 150} = 0,07478 \text{ (мг/м}^3\text{)}$$

$$C_{PM} = \frac{0,05732519416 * 3600}{327\ 150} = 6,308 * 10^{-4} \text{ (мг/м}^3\text{)}$$

$$C_{SO} = \frac{0,3956297234 * 3600}{327\ 150} = 0,0043 \text{ (мг/м}^3\text{)}$$

Порівнявши отримані значення з гранично допустимими концентраціями (ГДК_{сд}) з таблиці 2.6 можна зробити висновок, що загазованість зранку має шкідливий вплив на здоров'я людини (особливо дія діоксиду азоту, концентрація якого перевищує гранично допустиме значення). Повітря вдень над проспектом безпечно, а ввечері концентрація шкідливих речовин не перевищує гранично допустимих значень, проте є досить високою (особливо для оксиду азоту, який серед представлених речовин має найвищий клас небезпеки).

Часові діаграми концентрацій шкідливих речовин над проспектом С.Бандери у порівнянні з ГДК наведено у додатку Г.

Для маршруту по проспекту С. Бандери проведено також аналіз долі викидів різних груп авто у сумарні викиди протягом часу проведення експерименту. Результати аналізу наведено у додатку Д.

Основними джерелами викидів оксиду вуглецю зранку та вдень є легкові авто на бензині, проте ввечері ситуація змінилася і лідируючу позицію зайняла група автобусів на дизелі (рисунок 4.10). На концентрації оксиду азоту (рисунок 4.11) та метану (рисунок 4.12) в повітрі над проспектом у будь-який час доби більшою мірою вплинули викиди легкових авто на бензині (63-71%), проте досить значна частка серед викидів вуглеводню належить також вантажівкам на бензині (41% зранку, 26% вдень, 35%

ввечері). Тверді частки та сажа (рисунок 4.13) – результат роботи виключно транспорту на дизелі, більшу частину якого становлять легкові авто не залежно від частини доби. Концентрація діоксиду сірки (рисунок 4.14) найвища зранку, коли основну частину проїжджаючого транспорту становлять легкові авто на бензині та рівною мірою легкові на дизелі та вантажівки на бензині.

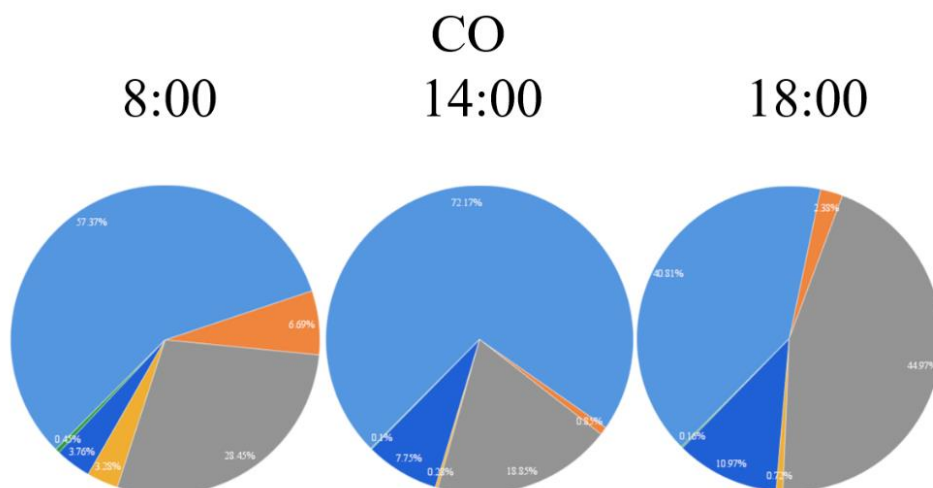


Рисунок 4.10 – Доля кожної групи авто у викидах CO на проспекті С. Бандери

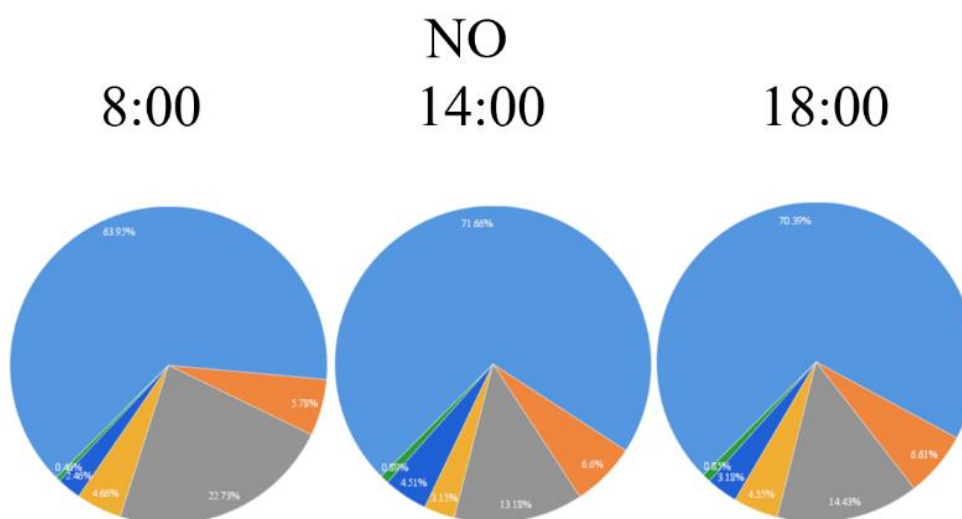


Рисунок 4.11– Доля кожної групи авто у викидах NO на проспекті С. Бандери

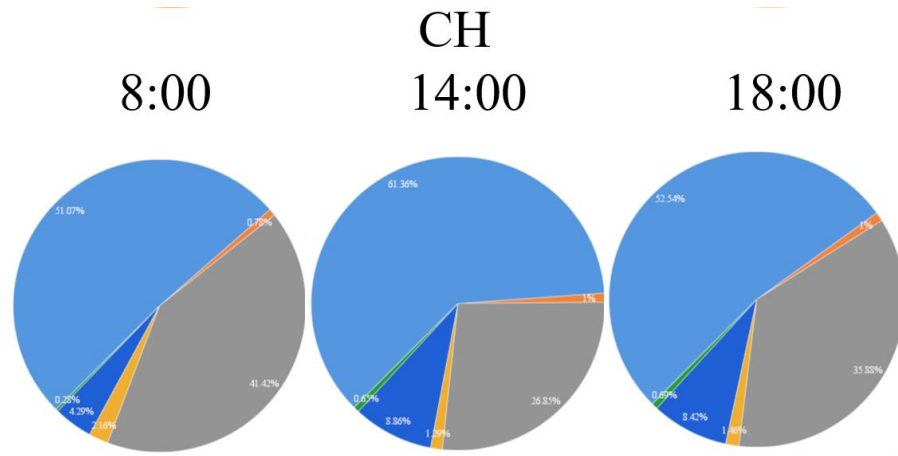


Рисунок 4.12 – Доля кожної групи авто у викидах СН на проспекті С. Бандери

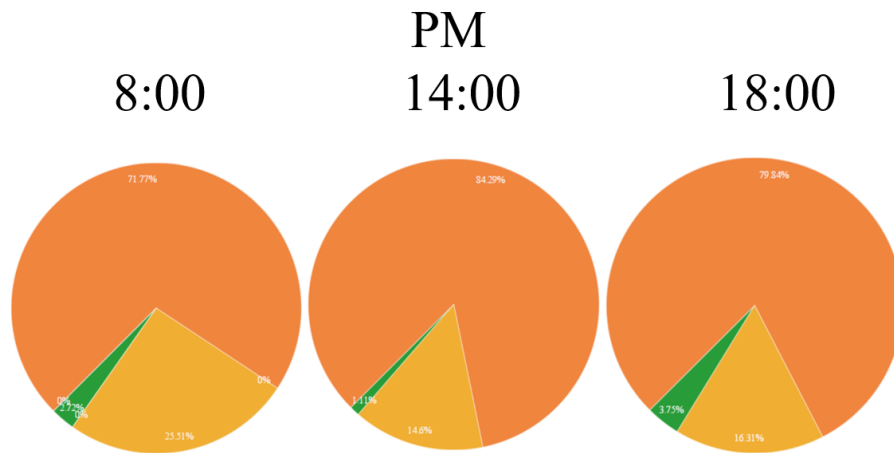


Рисунок 4.13 – Доля кожної групи авто у викидах PM на проспекті С. Бандери

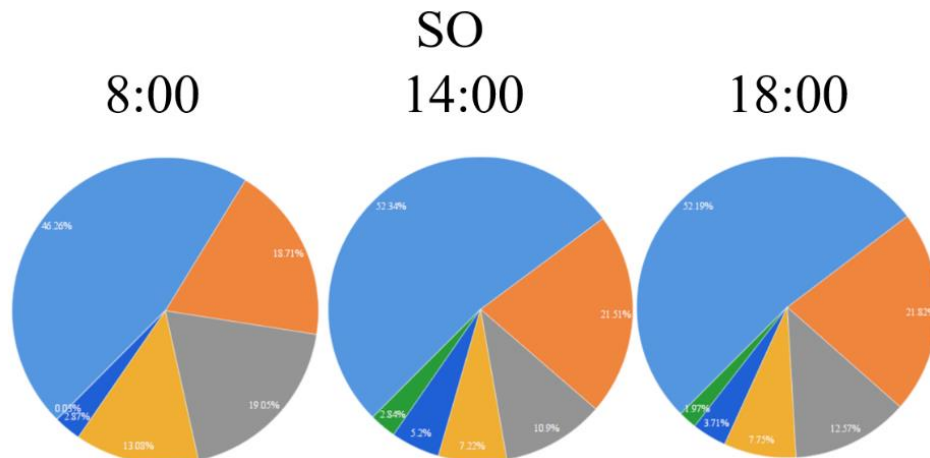


Рисунок 4.14 – Доля кожної групи авто у викидах SO на проспекті С. Бандери

Для другого маршруту вул. Новокостянтинівська – вул. Електриків – вул. Набережно-Рибальська було проведено підрахунок загазованості ввечері на ділянках рівномірного руху (адже, як видно з підрахунку загазованості на першому маршруті, загазованість на перехресті становить не більше п'ятої частини від загальних викидів, навіть при заторі). Загазованість на кожному відрізку другого маршруту значно нижча за загазованість першого маршруту (таблиця 4.11). Звичайно, навіть при швидкості 20 км/год з пункту відправлення до пункту призначення по першому маршруту можна дістатись швидше, ніж по другому ($4,5/20 = 0,225$ год, $2/30 + 3,2/25 + 0,8/30 = 0,0667 + 0,16 + 0,0267 = 0,2534$ год). Проте якщо рухатись по другому – можна дістатися до пункту призначення менш загазованими шляхами Києва, де ще є великий запас до гранично допустимої концентрації по кожній речовині, тим самим розвантажити перший маршрут і зробити проспект менш загазованим. До того ж, рухаючись другим маршрутом можна скоротити викид від власного транспорту в цілому за дану поїздку (на прикладі легкового авто):

- викид шкідливих речовин по першому маршруту – 0,0064125;
- викид шкідливих речовин по другому маршруту – $0,000704 + 0,00297 + 0,0001127 = 0,0037867$.

Таблиця 4.11 – Загазованість ввечері на обраних маршрутах

	Прспект С.Бандери	Вулиця Новокостянтинівська	Вулиця Електриків	Вулиця Набережно- Рибальська
CO	72,1980857172	53,403	43,10201	11,55508
NO	6,4828644208	2,946	4,18308	1,06408
CH	3,84669478872	3,590993	3,51847	1,40377
PM	0,04302844416	0,02009	0,0256	0,0074541
SO	0,345268461672	0,3348452	0,22843	0,05684878

5 ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО СИСТЕМИ

Огляд та аналіз існуючих систем моніторингу якості повітря в світі й сучасного стану справ в цій сфері в Україні дозволили знайти інноваційне вирішення проблем автоматизації, спостережуваності у реальному часі якості повітря, а проведений експеримент наглядно продемонстрував необхідність створення системи для однорідного розподілення транспортних викидів у масштабі населеного пункту з метою уникнення перевищення гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин над популярними маршрутами.

З кожним роком користувачів картографічного сервісу від Google (зокрема Google Maps Mobile та Google Traffic) стає все більше, адже це зручний спосіб в реальному часі спостерігати за умовами дорожнього руху – відслідковувати трафік на основних транспортних шляхах, знайти оптимальний по часу маршрут до місця призначення, відслідковувати рух громадського транспорту, а також проглядати вулиці, користуватися картами в режимі офлайн, переглядати історію відвіданих місць тощо. Враховуючи успіх сервісу виникла ідея «спроєктувати» таку вже звичну для кожного водія систему на потреби екології та застосувати основні її принципи роботи для створення системи моніторингу та управління транспортними викидами.

Сформовано основні принципи роботи системи моніторингу та управління транспортними викидами на базі вже існуючої географічно-інформаційної системи:

- використання моделі пасивного краудсорсингу для збору даних – залучення до вирішення різного роду проблем інноваційної виробничої діяльності широкого кола осіб для використання їх знань чи досвіду із застосуванням інформаційних технологій;
- використання гібридної системи позиціонування для швидкого, точного та енергозберігаючого визначення місцезнаходження окремого користувача та визначення швидкості його руху;
- обчислення викидів транспорту в різних режимах роботи – рівномірний рух, гальмування-розгін-холостий хід;

- інтеграція сервісу Google Maps для візуального представлення загазованості повітря над основними транспортними шляхами, яке оновлюється в реальному часі;
- прокладання маршруту найменш загазованими шляхами міста з використанням оптимального алгоритму для його побудови;
- інтеграція сервісу Google Maps для надання інформації про параметри поїздки найменш загазованими районами міста (довжина, час тощо) та прокреслення маршруту;
- побудова системи на основі клієнт-серверної архітектури;
- розподілена робота алгоритму підрахунку загазованості на сервері та клієнті з метою оптимізації навантаження.

Таким чином з використанням наукового методу аналогії на основі аналізу функціональності існуючої популярної географічно-інформаційної системи сформовано базові вимоги до автоматизованої системи моніторингу та управління транспортними викидами.

6 СТРУКТУРНА СХЕМА СИСТЕМИ

Автоматизована система моніторингу та управління транспортними викидами складається з трьох підсистем, які об'єднані за структурним принципом: підсистема гібридного позиціонування, моніторингу загазованості і побудови найкращого маршруту, та девайсів користувачів.

Підсистема гібридного позиціонування складається з трьох блоків визначення місцезнаходження – глобального позиціонування, GSM-позиціонування та Wi-Fi-позиціонування. Така комбінація використовується для більш точного, швидкого та надійного знаходження геолокації об'єкта. У свою чергу кожен з представлених складників взаємодіє з зовнішніми ресурсами: блок глобального позиціонування з супутниками різних систем (GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou), які обертаються навколо Землі і передають свій поточний час та місцезнаходження на орбіті всім приймачам на своїй півкулі, блок Wi-Fi-позиціонування – з бездротовими точками доступу населеного пункту, блок GSM-позиціонування з вишками стільникового зв'язку певного оператора (в залежності від оператора користувача). Робота кожного блоку забезпечується наявністю відповідних модулів у девайсах користувачів системи. Шина даних, по якій відбувається передача інформації, – повітря. Отримане місцезнаходження за допомогою позиціонування зберігається у пам'яті девайса користувача та передається для подальших маніпуляцій до підсистем моніторингу та побудови найкращого маршруту.

Девайси користувачів включають усі можливі клієнтські машини – смартфони, планшети, ноутбуки тощо. Взаємодіють вони з усіма підсистемами і призначені в системі для збору даних (місцезнаходження, викидів) та у відповідь надання функціоналу системи користувачеві. Усі види клієнтських машин зареєстрованих користувачів мають можливість отримати інформацію про стан повітря над транспортними шляхами населеного пункту та побудувати маршрут найменш загазованими з них.

Підсистема моніторингу загазованості складається з двох блоків: картографічної інформації та підрахунку загазованості. Блок картографічної інформації – для

класифікації доріг в залежності від його рівня та взаємодії зі стороннім ресурсом (сервіс Google), який надає доступ до візуального представлення транспортних шляхів населеного пункту та використовується у даній підсистемі для відображення рівня загазованості над ними. Блок підрахунку загазованості призначений для остаточної обробки результатів забруднення повітря (отриманих від девайсів користувачів).

Підсистема побудови найкращого маршруту також містить дві складові: спільний з попередньою підсистемою – блок картографічної інформації та блок побудови найкращого маршруту. Блок побудови найкращого маршруту здійснює розрахунок оптимального за загазованістю маршруту, використовуючи актуальні дані підсистеми моніторингу (блоку підрахунку загазованості) та задані точки відправки та призначення. Блок картографічної інформації – відмінна (від вищеописаної підсистеми) частина стороннього ресурсу, яка призначена для прокреслювання знайденого оптимального маршруту по контрольним точкам та візуального супроводження користувача в процесі руху.

Структурна схема автоматизованої системи моніторингу та управління транспортними викидами представлена у додатку Е.

7 ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА СИСТЕМИ

Функціональна схема автоматизованої системи моніторингу та управління транспортними викидами представлена у документі Ж.

Автоматизована система моніторингу та управління транспортними викидами повинна мати наступну функціональність:

- швидке та надійне визначення максимально точного місцезнаходження користувача;
- виконувати збір даних про транспортні викиди напряму від користувачів;
- здійснювати підрахунок автомобільних викидів над основними транспортними шляхами;
- розраховувати концентрацію шкідливої речовини у повітрі та надавати інформацію про стан якості повітря над транспортними шляхами користувачам системи;
- здійснювати побудову маршруту по найменш загазованим дорогам, надавати інформацію про час такої поїздки.

Центральними елементами та запорукою функціонування системи моніторингу та управління транспортними викидами є девайси користувачів, за допомогою яких виконується збір даних та надається інтерфейс для користувача.

Сучасні мобільні пристрої містять усі (або декілька) необхідні модулі (датчики) для визначення місцезнаходження, що і дозволяє використовувати технологію краудсорсингу в цьому аспекті роботи системи. Визначення геолокації користувачів здійснюється гібридно, комбінацією трьох способів – глобального позиціонування (з використанням GPS модулів клієнтських девайсів), GSM-позиціонування (з використанням вмонтованих GSM модулів) та Wi-Fi-позиціонування (з використанням модулів Wi-Fi).

Для кожного з девайсів обирається доступний спосіб позиціонування в даний момент. Деякі мобільні пристрої, можуть приймати інформацію від одного джерела визначення місцезнаходження, деякі від двох та трьох різних джерел. В ідеальному

випадку – це комбінація визначення від декількох джерел та апроксимація результатів. При доступі до трьох можливих способів, у першу чергу, здійснюється стільникова триангуляція для з'ясування місцезнаходження в межах стільникової зони (для мобільних пристроїв). Цей спосіб працює на базі використання сигнальних даних аналізу для обчислення часу, який потрібен сигналу для переміщення від мобільного пристрою до мінімум трьох вишок стільникового зв'язку. Кожна з них детектує об'єкт в межах певного радіуса свого сигналу та визначається загальна область приблизного розташування абонента. Такий спосіб не враховує перешкод (будівлі, погодні умови тощо) та має низьку точність, але є найшвидшим та найбільш енергозберігаючим варіантом.

Далі для підвищення точності визначення місцезнаходження застосовується глобальне позиціонування. Пристрій за допомогою наявного GPS модуля приймає радіосигнали від супутників (мінімум чотирьох). Використовуючи різницю у часових мітках (власних та супутників) і постійну швидкість світла, з якою розповсюджуються радіохвилі, приймач GPS може визначати відстань між тим, де знаходиться він, і кожен із задіяних супутників. Потім використовуючи метод триангуляції знаходиться зона розташування. Цей спосіб є найбільш точним, але може бути недоступним на щільно забудованій ділянці або вузькій вулиці в межах міста. Тому у разі відсутності зв'язку з супутниками, для уточнення місцезнаходження використовується Wi-Fi-позиціонування. У цьому випадку Wi-Fi модуль мобільного пристрою детектує доступні бездротові точки доступу, відправляє запит на сервер 1 зі списком їх MAC-адрес. Сервер 1 у свою чергу порівнює MAC-адреси, надіслані мобільним користувачем, з геокодованими MAC-адресами з бази даних і визначає приблизне місце розташування користувача. Потім приблизне місце розташування відправляється назад на мобільний пристрій.

Для моніторингу загазованості над транспортними шляхами також використовується краудсорсинг. Від кожного користувача збираються дані про тип його транспортного засобу і відповідно викиди в певний період часу. Ця інформація передається на сервер 1 разом з місцезнаходженням користувача. Він здійснює кінцеву

обробку з підрахунку загазованості та визначення концентрації – окремо для кожної ділянки дороги і записує результат у базу даних. Сервер 3 за допомогою графу загазованості і картографічної інформації з бази даних і використовуючи Google API для доступу до візуальної картографічної інформації населеного пункту стороннього сервісу Google та, в залежності від рівня концентрації шкідливої речовини, визначає колір ділянки в кінцевому представленні інтерфейсі користувача.

Для побудови маршруту девайс користувача відправляє дані точок відправки та призначення на сервер 2, який у свою чергу отримує поточний стан графу загазованості населеного пункту з бази даних. Сервер 2 геокодує отримані дані для побудови маршруту та знаходить їх на графі. За допомогою жадібного алгоритму з обмеженням знаходить маршрут пересування найменш загазованими ділянками дороги та передає вузлові точки маршруту серверу 3. Сервер 3 використовує Google API для прокреслювання маршруту на карті місцевості по заданих точках, отримання інформації про час, який займе пересування, та подальшого візуального супроводження користувача.

8 ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ

8.1 Краудсорсингова модель збору даних

Як зазначалося вище, краудсорсинг – модель вирішення різного роду задач, в якій невизначена кількість учасників залучена до досягнення певної мети [24]. Вона базується на спільному використанні інтелекту, знань та/або досвіду групи осіб для відповіді на питання, вирішення проблеми або управління процесом. Така концепція досить швидко набрала популярність і на сьогоднішній день знаходить все більше застосування у платформах для збору даних, виконання задач і розробки проектів.

З появою Інтернету та підключення девайсів, потенціал краудсорсингу почав збільшуватись в геометричній прогресії. Портативні мобільні пристрої (смартфони, планшети, ПК тощо) збільшили залученість людей у створенні великого об'єму даних. Якщо розглядати з точки зору генерації краудсорсингових даних, то цей процес можна поділити на два способи досягнення мети – активний та пасивний. При активному – залучена кількість людей проінформована про кінцеву ціль, працює на проектом та бере безпосередню участь в якості агентів – анкетування, опитування, конкурси тощо. При пасивному краудсорсингу в якості даних відслідковується активність людей – інформація про веб-трафік, коментарі в соціальних мережах та блогах, грошові транзакції тощо. Користувач напряду не бере активну участь, але своєю діяльністю надає необхідну інформацію і дані для подальшої обробки.

Концепція пасивного краудсорсингу в транспортній галузі виникла як альтернатива встановленню великої кількості датчиків, які дозволяли отримувати інформацію про завантаженість доріг. Загалом рух на дорогах є досить складним сценарієм для моделювання часу та простору, адже тут присутня велика кількість змінних величин. Потік трафіку у розвиненій транспортній мережі може змінюватися внаслідок різних факторів, таких як швидкість, пропускну спроможність дороги, людський фактор, погодні умови, особливі події тощо. У таких випадках контроль трафіку та оптимізація руху в транспортної мережі за короткий проміжок часу неможливі

без збору даних в реальному часі. Дані краудсорсингу є оптимальним підходом для збору інформації від водіїв, які активно пересуваються транспортною мережею в реальному часі. Це дозволяє миттєво отримувати інформацію як про часові, так і про просторові параметри руху в масштабах населеного пункту, як мінімум. Тому доцільно у системі моніторингу та управління транспортними викидами використовувати саме модель краудсорсингу для збору даних. До того ж, такий принцип забезпечує високу масштабованість системи в будь-якому середовищі без вихідної бази користувачів.

У обраній концепції користувацька база – це безпосередньо водії зі смартфонами, на яких встановлена система. Під час реєстрації кожен користувач обирає тип власного транспортного засобу (від якого залежать пробігові значення викидів в різних режимах роботи) та дає дозвіл на обробку інформації. Далі дані збираються в пасивному режимі (без безпосередньої участі самих користувачів) – кожні декілька секунд передається інформація про місцезнаходження та обчислюється швидкість пересування, обраховуються поточні викиди конкретного авто та це значення передається на сервер для подальшої обробки.

8.2 Гібридна система позиціонування

На сьогоднішній день існує багато способів визначення місцеположення користувача, найпопулярніші з них три: за допомогою супутників (глобального позиціонування), стільникових вишок та Wi-fi [25].

Глобальними системами позиціонування вважаються дві: GPS (США) та ГЛОНАСС (Росія), в процесі розширення заходяться – Galileo (Європейський Союз) та Beidou (Китай). Сучасний смартфон з вбудованим модулем здатен приймати сигнал від супутників із будь-якої системи, проте найпоширенішою є американська GPS (адже виведено на орбіту найбільшу кількість супутників – 32).

Глобальна система позиціонування від США була представлена у 1970-х роках – спочатку у військових цілях, з 2000-го – доступна для громадського користування . Суть

її полягає у визначенні положення об'єктів в порівнянні з певним еталоном. Система складається з трьох основних компонентів – супутників GPS (еталон), наземного командного центру, який передає орбітальні дані й позиції та часові поправки, і безпосередньо, приймачів GPS (об'єктів). Принцип роботи такого способу визначення місцеположення полягає в наступному (рисунок 8.1): у будь-якій точці Землі, приймач GPS (В) отримує відмітки часу від синхронізованого годинника на кожному із супутників (P1, P2, P3). Дані точного часу – один з найважливіших факторів для визначення географічних координат: орієнтуючись на різницю між відправкою і прийомом радіосигналу, супутники обчислюють відстань між собою і навігатором.

Усі сучасні смартфони оснащені модулем GPS (може бути як вбудованим у процесор, так і встановлюватися окремо), який приймає радіосигнали від супутників. Використовуючи різницю у часових мітках і постійну швидкість світла, з якою розповсюджуються радіохвилі, приймач GPS може визначати відстань між тим, де знаходиться він, і кожен із задіяних супутників. Наприклад:

- а) Усі чотири супутники передають одну і ту ж мітку часу на телефон в 16:17:41;
- б) Модуль отримує цю мітку часу в 16:17:42 з супутника P1, в 16:17:43 з супутника P3, в 16:17:44 з супутника P2;
- в) Це для модуля означає, що радіосигнал прийшов за 1 секунду від супутника P1, за 2 секунди від супутника P3 і 3 секунди від супутника P2;
- г) Використовуючи постійну швидкість світла (299 792 458 м/с), GPS-приймач розраховує, що він знаходиться приблизно на 300 000 м від P1, 600 000 м від P3 і 900 000 м від P2.

Кожен супутник рухається по заздалегідь відомій орбіті, приймач може використовувати збережений альманах з даними про положення усіх супутників. На основі отриманих відстаней до 3 супутників та їх координати, приймач знаходить приблизне місцеположення, умовно будуючи 3 сфери з супутниками в центрі, місце перетину їх на поверхні Землі – положення об'єкту. Ці дані уже можна відображати на карті, але використовується ще сигнал 4 супутника для визначення висоти та

калібрування внутрішнього годинника приймача GPS, що дозволяє точно визначити затримки приймальних сигналів.

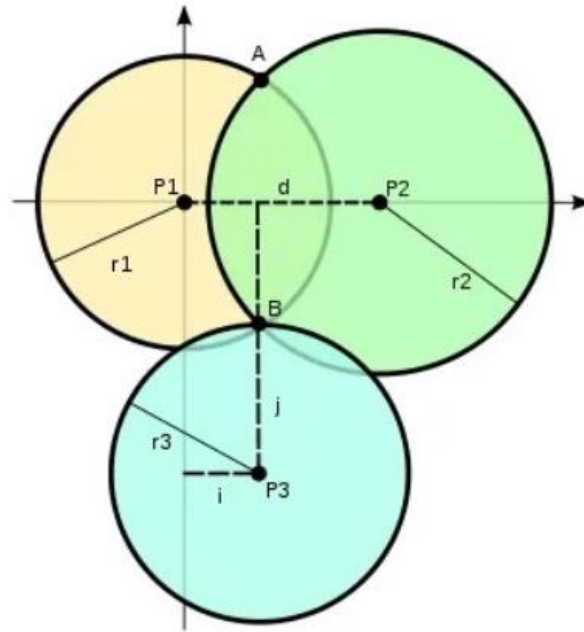


Рисунок 8.1 – Принцип визначення місцезнаходження

Недоліки GPS позиціонування: рух супутників навколо планети – необхідно додатковий час для фіксації параметрів у певний момент часу, вплив атмосфери та погодних умов на сигнал, відбиття сигналу від будівель, блокування сигналу громіздкими об'єктами (дерева, будівлі, гори тощо)

Точність визначення місцезнаходження: 0,6 м-5 м.

Принцип визначення місцезнаходження за допомогою вишок стільникового зв'язку аналогічний до попереднього та носить назву триангуляція [26]. У цьому способі в якості еталону використовується точне розташування трьох вишок стільникового зв'язку, до кожної з яких обчислюється відстань наступними методами:

- за допомогою часу отримання сигналу (Time of Arrival) – в цьому методі сигнал відправляється зі станції на мобільний пристрій і назад. Швидкість сигналу відома і визначає різницю в часі між відправленням і отриманням сигналу на вишці стільникового зв'язку. На першому етапі визначається базова станція, з якою працює

телефон, при цьому відстань і напрямок до нього невідомі. За допомогою часової затримки розраховується віддалення телефону і окреслюється коло, на якому може розташовуватися термінал;

- за допомогою кута приходу (Angle of Arrival) – з огляду на те, що базові станції мають антени (три), розташовані по секторах, можна дізнатися, в якому секторі знаходиться апарат, тобто його приблизні координати. Проблема в тому, що сектор становить від 30 до 45 градусів і розкид величин залишається досить великим (в середньому точність близько 200-300 м);

- за допомогою параметру рівня прийнятого сигналу – рівень прийнятого по певному каналу радіосигналу на вході в приймач телефону. Вимірюється в «децибелах до мілівата» (dBm). Розраховується за формулою $RxLev = 10 \lg R_x \text{ (мВт)}/1\text{мВт}$. Чим чисельно менше отримане значення, тим сигнал краще. У стільникових мережах стандарту GSM потужність сигналу коливається в межах приблизно 35 dBm-111 dBm. Цей параметр дає інформацію про втрату потужності сигналу передавача базової стільникової вишки. Він дозволяє визначати відстань до телефону по втраті потужності опорного сигналу.

Коли відстань від кожної вишки відома, можна визначити коло з радіусом, рівним відстані. Використовуючи три таких кола, визначається відносна площа, в якій може перебувати пристрій. Стільникова триангуляція є менш точним способом визначення місцезнаходження, ніж GPS, проте кращим за швидкістю та уникненню перешкод.

Використання технології Wi-Fi для визначення місця розташування є економічним методом при великій кількості точок доступу. Якщо розглядати місто, точки доступу Wi-Fi можна знайти майже в кожному будинку. Тому застосування такого способу визначення місця розташування мобільного пристрою є оптимальним методом використання існуючої інфраструктури.

Wi-Fi використовує електромагнітні хвилі для передачі даних в просторі. Сила сигналу і його затримка є основними параметрами, які використовуються в системах позиціонування Wi-Fi для визначення місця розташування. Подібно системам

стільникового зв'язку, при ідентифікації місця розташування додатково використовуються потужність прийнятого сигналу, часова затримка прибуття і кут прибуття. Також популярним є позиціонування Wi-Fi «по відбитку пальця». За допомогою цієї технології можна визначити локацію будь-якого мобільного пристрою з увімкненим Інтернетом. Це здійснюється шляхом сканування Wi-Fi, позначаючи BSSID (унікальні числові апаратні MAC-адреси) точок доступу Wi-Fi (бездротових маршрутизаторів) в діапазоні, і відправляючи цей список BSSID для веб-служби, яка шукає відомі географічні координати цих точок доступу й повідомляє, якими мають бути географічні дані користувача, виходячи з того, до яких точок доступу він найближче знаходиться. Бази даних про точки доступу Wi-Fi знаходяться в актуальному стані на смартфонах і планшетах 3G/4G (якщо таку інформацію наразі зібрано). У ці пристрої вмонтовано GPS-приймачі, тому можна визначити локацію за допомогою супутникового позиціонування. Вони періодично перевіряють місце розташування по GPS, а потім виконують сканування Wi-Fi, щоб побачити, які точки доступу знаходяться поблизу. Далі повідомляють цю інформацію постачальнику з метою оновлення бази геолокації.

Визначити місцезнаходження за допомогою Wi-Fi позиціонування можна також і без підключення до Інтернету, але для цього необхідно кешувати копію бази даних, яка займає великий об'єм пам'яті. Але сучасний смартфон може здійснювати оптимізацію, де він кешує розділи бази даних для міста/району, в якому він найчастіше буває.

Застосування системи Wi-Fi позиціонування забезпечить наявність сигналу в місцях, де блокується GPS сигнал. Точність – 5-100м.

Гібридне позиціонування – це об'єднання різних способів геолокації і оптимізованих методів позиціонування разом. Ідея полягає підвищенні точності та швидкості за рахунок використання двох або більше способів, які можуть дати кращі результати, ніж використання окремої системи позиціонування (таблиця 8.1). Окрім цього в сучасних операційних системах використовують ці способи разом (GPS, стільникові вишки, Wi-Fi), щоб отримати місцезнаходження пристрою і зробити його

доступним для додатків через API «Location Services» та для веб-сайтів через API геолокації веб-браузера.

Таблиця 8.1 – Порівняння гібридна системи позиціонування з GPS

Параметр	Гібридна система	GPS-позиціонування	GSM-позиціонування	Wi-Fi-позиціонування
Точність	5 метрів	5 -15 метрів	100-500 метрів	5 метрів
Час першої фіксації	1 секунда	65 секунд	1 секунда	5 секунд
Доступність	99,8%	80%	80%	90%
Ціна	Середня	Низька	Низька	Середня

У автоматизованій системі моніторингу та управління транспортними викидами доцільно використовувати саме гібридну систему позиціонування (рисунок 8.2), адже надважливими параметрами є швидкість, надійність та точність визначення місцезнаходження для моніторингу загазованості в реальному часі та побудови маршруту.

Доступ до GPS-інформації девайсу користувача забезпечується наявністю вбудованого модуля за допомогою звернення до телефонного менеджера. Щоб організувати гібридну систему позиціонування у системі необхідно зібрати дані про точки доступу Wi-Fi у базу даних. Це можна зробити на прикладі того, як подібна інформація збиралася для картографічного сервісу Google Maps. Всеспрямована радіоантена була закріплена на транспортному засобі, що рухався звичайними дорогами. Вона могла приймати загальнодоступні радіосигнали Wi-Fi в межах досяжності

автомобіля. Це обладнання могло отримувати адреси ідентифікатора набору послуг (SSID) і управління доступом до середовища (MAC) доступних точок Wi-Fi. SSID – це ім'я точки доступу Wi-Fi, що складається з 32 знаків (букв та цифр). Адреса управління доступом до середовища (MAC) – це унікальний 48-значний ідентифікатор, який призначається кожній точці Wi-Fi. Місцезнаходження кожної окремої точки бездротового доступу до мережі в межах діапазону сигналу можна визначити за допомогою SSID і MAC-адреси та включення датчика положення згідно даних GPS, встановленого на транспортному засобі.

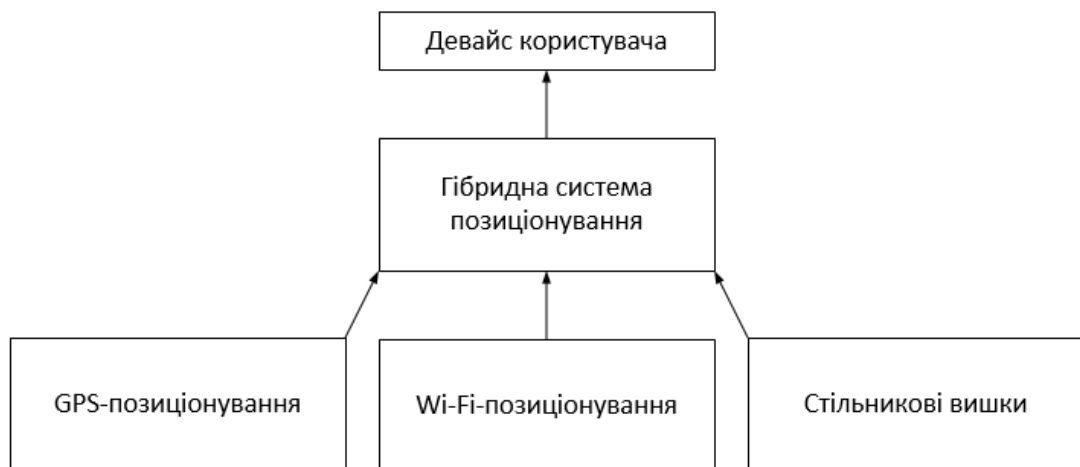


Рисунок 8.2 – Визначення локації в гібридній системі позиціонування

Після проведення подібних маніпуляцій будь-який мобільний телефон з GPS або без GPS зможе використовувати служби визначення місцезнаходження системи моніторингу та управління транспортними викидами за допомогою серверів розташування. Якщо мобільному пристрою необхідно визначити своє місцезнаходження, він відправляє запит на сервер позиціонування зі списком MAC-адрес точок доступу Wi-Fi, які в даний час видно пристрою. Потім сервер позиціонування порівнює MAC-адреси, надіслані мобільним користувачем, з геокодованими MAC-адресами на сервері і визначає приблизне місце розташування користувача. Потім приблизне місце розташування геокодується і відправляється назад

на мобільний пристрій. Точність визначення місця розташування підвищується, якщо на мобільному пристрої доступні послуги GPS.

Коли така гібридна система позиціонування активована в місті, можна визначити місце розташування користувачів мобільних телефонів, які підключаються до послуги GSM, точки доступу Wi-Fi або/і приймають сигнали глобальної системи позиціонування.

Оскільки гібридна система має мінімальне значення часу отримання локації в порівнянні з традиційною системою GPS, можна визначити переміщення і швидкість користувачів мобільних телефонів у транспортних засобах. Таким чином, об'єднуючи користувачів системи в місті, можна зрозуміти стан дорожнього руху.

9 РОЗРОБКА ТА ВИБІР АЛГОРИТМІВ

Для системи необхідно розробити два алгоритми роботи основних її функцій – підрахунку загазованості для частини моніторингу та прокладання найкращого шляху (за мінімальною загазованістю) для частини управління транспортними викидами.

9.1 Алгоритм підрахунку загазованості

Для раціонального використання ресурсів та розподілення навантаження алгоритм підрахунку загазованості доцільно умовно поділити на дві частини. Перша буде виконуватись на клієнтській частині, друга – на сервері.

На клієнтській частині підрахунок загазованості починається з моменту отримання від користувача даних про тип його транспортного засобу (легковий/вантажний/автобус та тип палива який використовується). В залежності від цього встановлюються наступні параметри для роботи: пробігове значення для такого типу авто при рівномірному русі та в режимах гальмування-холостий хід-розгін. Далі відбувається визначення місцезнаходження користувача за допомогою гібридного позиціонування (або одного з його доступних способів). Якщо це зробити неможливо, тобто користувач не надав дозволу до подібних даних, робота алгоритму припиняється.

Якщо вдалося встановити місцезнаходження, то наступний крок – визначення швидкості користувача. Коли це відбувається вперше в даній поїздки, то запам'ятовується початкова точка, через певний відрізок часу (у даній системі час оновлення становить 10 секунд) знову визначається місцезнаходження, та за різницею координат знаходиться відстань, поділяється на час руху і отримується швидкість руху. Якщо визначення швидкості не вперше – то вона визначається на основі двох геолокацій з різницею в 10 секунд. Далі на клієнтській частині аналізується швидкість:

а) швидкість рівна нулю – підрахунок викидів транспортним засобом здійснюється за формулою:

$$M_{\Pi} = 1/240 * M'_{\Pi_k}, \quad (9.1)$$

$M'_{\Pi_{i,k}}$ – пробігове значення для конкретного типу авто в режимах роботи гальмування-холостий хід-розгін.

б) швидкість більше нуля – підрахунок викидів транспортним засобом здійснюється за формулою:

$$M_L = \frac{L}{3600} * M_K^{\Pi} * r_{k_{v,l}}, \quad (9.2)$$

де L – довжина ділянки дороги, якій належить поточне місцезнаходження, з бази даних;

M_K^{Π} – пробігове значення з для конкретного типу авто при рівномірному русі;

$r_{k_{v,l}}$ – поправочний коефіцієнт, береться в залежності від швидкості руху, округлення швидкості в меншу сторону.

На клієнтській стороні підрахунок загазованості завершується передачею отриманого значення викидів, даних про користувача та його місцезнаходження на сервер 1.

Далі сервер приймає ці дані від усіх N користувачів системи і продовжує їх обробку. У відповідність кожній ділянці дороги (ребру графа транспортної інфраструктури) сервер ставить у відповідність дані користувачів з викидати їх транспортних засобів за минувші 10 секунд пересування зважаючи на їх географічні координати. Далі йде підсумування загальних викидів на кожному з m ребер за формулою.

$$M_m = \sum M_{L_{m,x}} + \sum M_{\Pi_{m,y}}, \quad (9.3)$$

де $M_{L_{m,x}}$ – сума викидів від транспортних засобів користувачів, які знаходяться у русі;

$\sum M_{П_{m,y}}$ – сума викидів від транспортних засобів користувачів, які знаходяться на світлофорі.

Далі для кожного ребра визначається концентрація шкідливої речовини у повітрі за формулою:

$$C = M_m * V_m , \quad (9.4)$$

де V_m – коефіцієнт з бази даних для узгодження одиниць вимірювання, в який враховано об'єм повітря над ділянкою, розрахований заздалегідь як 3600 поділено на V (об'єм повітря в робочій зоні).

Підрахувавши концентрацію шкідливої речовини на кожній ділянці графу, сервер формує граф загазованості, який буде збережено в базі. Далі наступний сервер отримує картографічну інформацію від сервісу Google (за допомогою API), а саме карту населеного пункту, створює новий шар накладення, перевизначає метод промальовки і співставляючи координати з пікселями і для кожного з ребер визначає необхідний колір промальовки:

- якщо $C > \text{ГДК}$, то червоний;
- якщо $\text{ГДК}/2 < C < \text{ГДК}$, то жовтий;
- якщо $C < \text{ГДК}$, то зелений.

Далі ці дані відправляються на клієнт, де безпосередньо здійснюється візуалізація для користувача.

Блок-схема алгоритму підрахунку загазованості на стороні клієнта в автоматизованій системі моніторингу та управління транспортними викидами представлений у додатку И.

Блок-схема алгоритму підрахунку загазованості на серверній частині в автоматизованій системі моніторингу та управління транспортними викидами представлений у додатку К.

9.2 Алгоритм для прокладання маршруту

У сучасних географічно-інформаційних системах для побудови найкращого маршруту використовуються в основному два алгоритми: Дейкстри та A^* . Вивчивши принципи дії кожного з них, зроблено висновок, що за швидкодією краще використовувати A^* . Але для системи моніторингу та управління транспортними викидами виникла певна невизначеність з евристичною функцією, яка повинна бути в одному вимірі з основною величиною. Вона використовується для прогнозування мінімально необхідного значення проходу для досягнення мети. У системах, де таким параметром є час або відстань така функція досить легко визначається та обчислюється (Евклідова відстань), проте у побудові оптимального за загазованістю маршруту мінімальна величина, яку у будь-якому випадку необхідно буде включити до маршруту – це загазованість над кінцевою ділянкою з пунктом призначення, а отже для всіх маршрутів вона буде однаковою.

У випадку алгоритму Дейкстри, його також неможливо застосувати для системи з прокладанням маршрутів по загазованості, адже він знайде шлях мінімальний по сумарній загазованості. Тобто якщо буде стояти вибір між двома маршрутами як в проведеному експерименті, алгоритм обере одну ділянку з меншою загазованістю на противагу декільком з більшою сумарною загазованістю (хоча окремо над кожною загазованість менша за перший варіант). Тому для прокладання маршрутів у системі моніторингу та управління транспортними викидами краще скористатися жадібним алгоритмом, який на кожному кроці обирає локально оптимальне рішення – мінімальну за загазованістю ділянку. Додатково необхідно взяти заходи для забезпечення максимально оптимального маршруту з мінімальною загазованістю – використання обмеження щодо розміру графу, щоб не вийшло так, що система прокладе маршрут в обхід навколо міста шляхами з низькою загазованістю.

Структура даних, яка використовується для побудови маршруту – граф, при чому зважений (вага ребра – концентрація шкідливої речовини у повітрі над ним у певний

момент часу). Візуальне представлення дорожнього графу зображено на рисунку 9.1 [27].

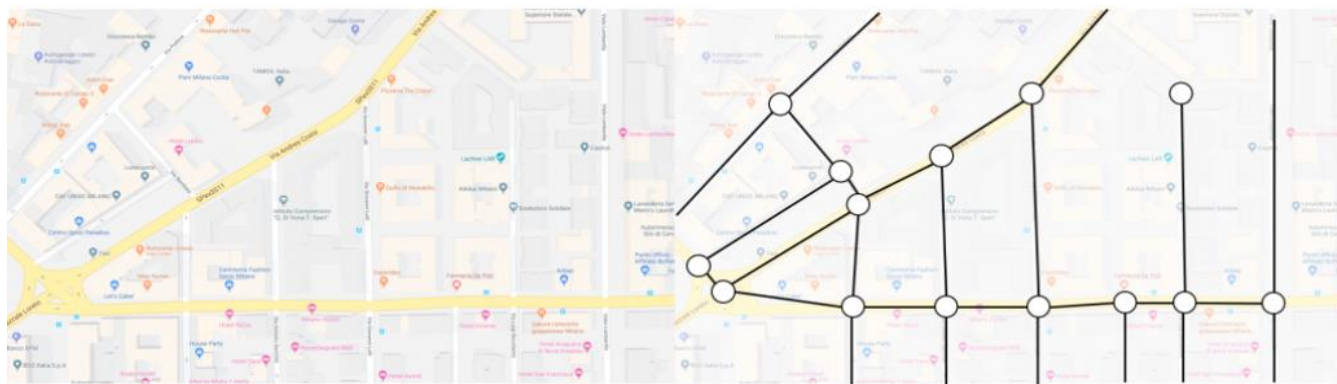


Рисунок 9.1 – Візуальне представлення дорожнього графу

Робота алгоритму побудови оптимального за загазованістю маршруту починається з отримання даних від користувача про пункт відправки А та пункт призначення В. Далі здійснюється перевірка коректності введених даних, а саме чи є відповідні заданим адресам координати. Якщо ні, то користувачу повідомляється про некоректність введених даних і пропонується спробувати ще раз. Якщо дані коректні, то алгоритм продовжує роботу далі і отримує поточний граф загазованості з бази даних (обрахований підсистемою моніторингу). Далі відбувається знаходження точок відправки та призначення на графі, та лінії прямого сполучення (Евклідова відстань). Адже під час планування оптимального маршруту для двох заданих точок у реальній міській дорожній мережі, напрямок лінії від початку до пункту призначення в основному відображає тенденцію оптимального шляху. Тобто, остаточний оптимальний шлях в основному знаходиться з двох сторін лінії між двома вузлами у певному радіусі R . Адже при побудові оптимального шляху за загазованістю необхідно врахувати щоб транспортний засіб викинув якнайменше відпрацьованих газів під час руху. Радіус R знаходиться: формується прямокутник 1 з відрізком АВ в якості діагоналі, далі формується більший прямокутник 2 (додається стале значення r з кожної сторони). Остаточна область обмежена двома паралельними прямими на відстані R від АВ по обидві сторони. Далі

застосовується жадібний алгоритм для знаходження оптимального за загазованістю маршруту на відокремленій радіусом R місцевості. Якщо пошук невдалий, – радіус збільшується на певну величину R_0 і знову застосовується жадібний алгоритм. Коли пошук маршруту успішний, на виході отримано множину точок (перехресть) для подальшої побудови маршруту за використанням Google API. Результати побудови відображаються на клієнті.

Побудова маршруту за жадібним алгоритмом на прикладі: необхідно знайти маршрут з точки A в точку B . Перед застосуванням відокремлюється граф для пошуку радіусом R , алгоритм починає методично перебирати всі можливі варіанти в межах кожного кроку. Насамперед він прокладає маршрут на один крок (фрагмент графа, відрізок дороги) в усі сторони від точки A . Зважаючи на поточну загазованість на кожному з ребер, – обирає точку (вузол графа), до якої можна добратися найменш загазованим відрізком дороги. Це точка C . Потім алгоритм будує маршрут ще на один крок – на всі боки від точки C . І знову аналізує, в яку з точок можна було б потрапити по найменш загазованому відрітку. На цей раз це точка D . На наступному кроці алгоритм буде будувати маршрут вже від неї. Продовжуючи виконувати подібні маніпуляції на кожному кроці, маршрутизатор знаходить варіант проїзду, який виявляється мінімально загазованим та оптимально коротким. Роботу жадібного алгоритму для знаходження маршруту проілюстровано на рисунку 9.2.

Особливий аспект – двори. Як відомо, наскрізний проїзд через двори заборонений. Крім того, на рух по ним часто йде більше часу, ніж на проїзд по прямій. Щоб сервіс не будував маршрути через двори, за них ставляться додаткові коефіцієнти (вони не впливають на стан загазованості, яку бачить користувач). Тому в більшості випадків алгоритм вибирає інші варіанти проїзду, однак якщо кінцева точка маршруту знаходиться у дворі, алгоритму в будь-якому випадку доведеться побудувати туди маршрут.

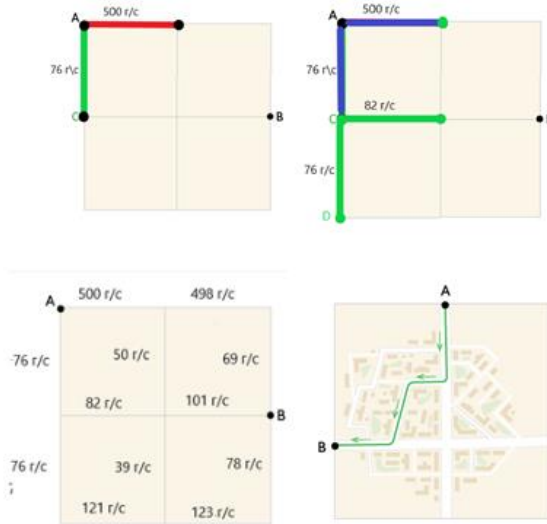


Рисунок 9.2 – Ілюстрація роботи жадібного алгоритму для знаходження маршруту оптимального за загазованістю

Блок-схема алгоритму побудови оптимального за загазованістю маршруту в автоматизованій системі моніторингу та управління транспортними викидами представлений у додатку Л.

10 СТАРТАП-ПРОЕКТ

10.1 Опис ідеї проекту

У магістерській дисертації запропоновано створення системи з застосуванням нового підходу до моніторингу якості повітря над транспортними шляхами та інноваційної ідеї зміни дорожньої поведінки методом прокладання маршрутів найменш загазованими районами населеного пункту. Опис ідеї стартап-проекту з можливими напрямками застосування та перевагами використання наведено у таблиці 10.1.

Таблиця 10.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
	1. Моніторинг поточної ситуації з загазованості повітря на місцевості	Доступність інформації про якість повітря в реальному часі у смартфоні кожного пересічного громадянина. Можливість використання зібраних даних (методом краудсорсингу) для застосування на загальнодержавному рівні: <ul style="list-style-type: none"> - статистика щодо розподілення груп транспорту серед населення; - завантаженість доріг в різний час доби; - надання інформації для коригування розташування стаціонарних станцій моніторингу,

<p>найменш загазованими районами населеного пункту</p>		<ul style="list-style-type: none"> - надання інформації для оцінки масштабів загазованості від пересувних джерел та загальних; - прогнозування змін загазованості і ступеня небезпеки; - надання інформації для розробки рекомендацій для прийняття рішень в області охорони атмосферного повітря.
	<p>2. Прокладання маршруту до пункту призначення найменш загазованими районами</p>	<p>Для користувача системи при русі маршрутом, побудованим системою, – мінімізація впливу шкідливих домішок у складі повітря на здоров'я. На загальнодержавному рівні – однорідне розподілення шкідливих транспортних викидів, уникнення критичного рівня загазованості над найпопулярнішими районами місцевості.</p>

Ідея створення системи моніторингу та управління транспортними викидами є абсолютно інноваційною і аналогів як до цільного об'єкту немає. Проте можна розглядати аналоги в кожному із напрямків застосування. Для моніторингу – це існуюча на загальнодержавному рівні система, для управління – прокладення маршрутів за допомогою сучасного картографічного сервісу (наприклад, Google Maps). Для кожного

з напрямків визначено техніко-економічні властивостей й характеристики ідеї та проведено порівняльний аналіз показників (таблиця 10.2).

Таблиця 10.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів		W	N	S
		Напрямок застосування – моніторинг		(слабка сторона)	(нейтральна сторона)	(сильна сторона)
		Мій проект	Існуюча система моніторингу			
1.	Здійснення моніторингу в реальному часі, доступ до актуальної інформації 24/7	Оновлення інформації про загазованість здійснюється кожні 10с, доступна актуальна інформація 24/7	Відбір проб 3-4 рази на добу, доступ до інформації 24/7, але вона може бути не актуальною	-	-	+
2.	Площа охоплення вимірювання загазованості	Вимірювання здійснюються над усією площею транспортних шляхів	Вимірювання здійснюються однією станцією в одній фіксованій точці	-	-	+

3.	Використання сучасних інформаційних технологій	Використовуються останні тенденції у зборі та представлені даних з моніторингу	Система не оновлювалася протягом декількох останніх десятиліть	-	-	+
4.	Надання інформації про загазованість від усіх видів джерел	Враховується загазованість лише від пересувних джерел	Враховується загазованість від стаціонарних та пересувних джерел	+	-	-
		Напрямок застосування – управління та побудова маршруту				
		Мій проект	Картографічний сервіс Google Maps			
5.	Швидкість визначення геолокації	1 секунда	1 секунда	-	+	-
6.	Складність алгоритму для побудови маршруту	$O(n \log n + n)$, застосовується жадібний алгоритм	Залежить від евристичної функції $O(\log h(x))$, застосовується алгоритм A^*	+	-	-

7.	Актуальність даних	Збір методом краудсорсингу в реальному часі	Збір методом краудсорсингу в реальному часі	-	+	-
8.	Побудова маршруту з врахуванням екологічного стану місцевості	Враховується	Не враховується	-	-	+
9.	Побудова маршруту з врахуванням швидкості його подолання	Не враховується	Враховується	+	-	-

За визначеними сильними, слабкими та нейтральними характеристиками ідеї проекту можна стверджувати, що подібний стартап є конкурентноспроможним.

10.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Для реалізації автоматизованої системи моніторингу та управління транспортними викидами необхідно першочергово визначити технології, на яких базуються принципи роботи системи. У даному випадку це: краудсорсинг у зборі даних, гібридна система позиціонування, Google API для інтеграції картографічної інформації, мова програмування для розробки алгоритмів. Аналіз складових технологічної здійсненності ідеї проекту наведено в таблиці 10.3.

Таблиця 10.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
		Краудсорсинг	Наявна	Доступна
		Інформація від стаціонарних станцій моніторингу	Наявна	Недоступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: краудсорсинг				
		Гібридна система позиціонування (3 складники)	Наявна GPS-складова, WI-Fi та стільникову складову необхідно доробити	Доступна GPS-складова, для реалізації гібридної системи позиціонування необхідно зібрати дані про точки доступу Wi-Fi та вишки стільникового зв'язку у бази
		Гібридна система позиціонування (2 складники)	Наявна GPS-складова, другий складник необхідно доробити	Доступна GPS-складова, для другого складника необхідно зібрати дані

		GPS- позиціонування	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: гібридна система позиціонування (3 складники)				
		Google API	Наявна	Доступна
		Yandex API	Наявна	Недоступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Google API				

Висновок: технологічна реалізація ідеї створення автоматизованої системи моніторингу та управління транспортними викидами можлива. Для досягнення перш за все необхідно зібрати дані для створення гібридної системи позиціонування, усі інші обрані технології (краудсорсинг, інтеграція Google API) є наявними та доступними.

10.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

У таблиці 10.4 проведено аналіз попиту: наявність, обсяг, динаміка розвитку ринку.

Таблиця 10.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	0
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	0
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	Невідома

Вихід на ринок не має перешкод, при чому останнім часом проблеми екології стоять на передньому плані у багатьох країнах, що вказує на те, що попит на подібні системи буде тільки збільшуватись.

Потенційними клієнтами є все населення (в цілях особистого використання) та органи державної влади (для впровадження на загальнодержавному рівні). У таблиці 10.5 сформовано вимоги до системи для кожної групи.

Таблиця 10.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1		Населення	Поведінку клієнтів	Зручність, доступність та

	забрудненості навколишнього середовища		формують стандарти по наданню інформації з природоохоронної політики	наочність подання інформації, актуальність 24/7
2		Органи державної влади	Поведінку клієнтів формують європейські стандарти	Охоплення всіх транспортних шляхів, доступність до статистичних даних
3		Водії	Поведінку клієнтів формує загальноприйнята дорожня поведінка	Швидкість побудови маршруту, вибір найкращого варіанту по загазованості
4		Органи державної влади	Поведінку клієнтів формують європейські стандарти	Побудова маршрутів найменш загазованими районами міста з метою розвантаження популярних напрямоків

У таблицях 10.6 та 10.7 проведено аналіз ринкового середовища, а саме факторів перешкоджання та сприяння впровадженню проекту відповідно.

Таблиця 10.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Несвідомість населення та упереджене ставлення до нового підходу	Серед населення є відсоток громадян, які не турбуються за екологію та несвідомі про наслідки впливу шкідливих речовин на їх здоров'я, новий підхід не завжди сприймається 100% користувачів	Створення рекламної компанії, соціального ролику
2	Нові інноваційні рішення в даній ніші	Методологія та принципи розроблення системи можуть перейти на рівень застарілих при винайденні нових більш результативних рішень у даній сфері	Об'єднання з конкурентом для подальшої діяльності

Таблиця 10.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Тенденція збільшення популярності запровадження інформаційних технологій у різних сферах життя населення	Зацікавленість держави в запровадженні прогресивних рішень в сфері охорони природи	Монополізація ринку
2	Потенційне розширення функціоналу	Додавання функцій в систему на прикладі Google Maps	Аналіз ринку та його потреб на предмет існування подібної системи
3	Зростання інтересу до нового підходу	Зацікавленість зовнішніх інвесторів	Прийняття до розробки та експлуатації нового підходу

Надалі проводиться аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку (таблиця 10.8). У даному випадку розглядається окремо за кожним напрямком – моніторинг та управління викидами.

Таблиця 10.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції - олігополія	Національна система моніторингу займає 80 %, інші 20 % – декілька приватних мереж, у побудові маршруту більшу частину займає сервіс Google Maps	Розробка максимально зручного інтерфейсу та збільшення швидкості роботи
2. За рівнем конкурентної боротьби: - для моніторингу національний, для управління – немає аналогів	В Україні наявна мережа моніторингу	Вдосконалювати знайдений підхід, розробка нового функціоналу
3. За галузевою ознакою внутрішньогалузева	Конкуренція на ринку ведеться в галузях охорони природи та здоров'я населення	Необхідно сконцентруватись на підвищенні якості надання послуг та збільшенні кількості переваг
4. Конкуренція за видами товарів:	Конкуренція приватними системами	Необхідно вдосконалювати підходи та алгоритми роботи, використовувати останні

- надання інформаційних послуг	моніторингу та географічно-інформаційними системами	тенденції в інформаційних технологіях
5. За характером конкурентних переваг нецінова	При виборі ресурсу споживач звертає увагу на доступність, актуальність інформації	Основний фокус – унікальність підходу до організації моніторингу та побудова маршруту зважаючи на екологічну ситуацію
6. За інтенсивністю - не марочна	Для надання кінцевої послуги необхідно задіяти сторонні послуги	Диференціація послуги за мотивом отримання доступної та актуальної інформації

У таблиці 10.9 проведено детальніший аналіз умов конкуренції за М. Портером (для моніторингу).

Таблиця 10.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Національна система моніторингу	Високий бар'єр через високі затрати на організацію системи	Компанії, що надають володіють картографічною інформацією	Актуальність інформації	Копіювання функціоналу, плагіат ідеї

Висновки	Конкуренції серед приватних підприємств майже немає	Вихід на ринок є Конкурентів немає	Ні	Залежить від свідомості та зацікавленості населення	Існує система, проте вона не оновлювалась декілька десятиліть
----------	---	------------------------------------	----	---	---

Підхід до моніторингу абсолютно новий, тому прямих конкурентів немає, національна мережа стосується більшої кількості джерел, проте технології її організації та обладнання є застарілими. Підхід заснований на використанні сучасних інформаційних технологій, що робить його привабливим для клієнтів.

З врахуванням проведеного аналізу в таблицях 10.2, 10.5, 10.6, 10.7 та 10.9 визначимось з переліком факторів конкурентоспроможності та обґрунтуємо кожен з них (таблиця 10.10).

Таблиця 10.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Мінімізація витрат людських ресурсів	За рахунок запропонованого підходу моніторинг відбувається в реальному часі без відбору проб вручну
2	Універсальність	Функціонал системи можна розширювати і з застосуванням аналогічного підходу визначати загазованість від будь-яких джерел

3	Використання існуючих картографічних сервісів для заощадження ресурсів API	Для візуалізації моніторингу та прокреслювання маршрутів використовується існуюча картографічна система
4	Прокладення маршрутів по мінімально загазованим трасам з метою мінімізації впливу на здоров'я та розвантаження транспортних шляхів	Застосування алгоритму для прокладання маршруту по найменш загазованим шляхам, опираючись на поточний стан якості повітря
5	Використання новітніх методів у зборі даних та визначенні місцезнаходження	Використання краудсорсингу та гібридного позиціонування

Проведено аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (таблиця 10.11).

Таблиця 10.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін автоматизованої системи моніторингу та управління транспортними викидами

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг системи-конкурента (Д) у порівнянні з запропонованою						
			-3	--2	--1	-0	++ 1	++2	++3
1.	Мінімізація витрат людських ресурсів	20		Д					

2.	Універсальність	18					Д		
3.	Використання API існуючих картографічних сервісів для заощадження ресурсів	6	Д						
4.	Прокладення маршрутів по мінімально загазованим трасам з метою мінімізації впливу на здоров'я та розвантаження транспортних шляхів	20	G						
5.	Використання новітніх методів у зборі даних та визначенні місцезнаходження	12				G			

У таблиці 10.11 порівняння відбувалося з національною системою моніторингу (Д в таблиці) та картографічним сервісом від Google (G).

У таблиці 10.12 здійснено SWOT-аналіз – сильних та слабких сторін, загроз та можливостей.

Таблиця 10.12 – SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: мінімізація витрат людських ресурсів на моніторинг, використання інформаційних технологій для моніторингу загазованості, використання API існуючих картографічних сервісів для заощадження ресурсів, прокладення маршрутів по	Слабкі сторони: універсальність в моніторингу (поки спостереження в системі лише за пересувними джерелами), швидкість побудови маршруту (неможливість використання алгоритму A*).
---	---

мінімально загазованим трасам з метою мінімізації впливу на здоров'я та розвантаження транспортних шляхів	
Можливості: тенденція збільшення популярності запровадження інформаційних технологій у різних сферах життя населення, додавання нових функцій, моніторинг за викидами шкідливих речовин від стаціонарних джерел, впровадження на загальнодержавному рівні.	Загрози: несвідомість населення та упереджене ставлення до нового підходу, нові інноваційні рішення в даній ніші

Час, за який можливо впровадити систему моніторингу та управління транспортними викидами залежить від можливості отримання ресурсів. Аналіз визначених альтернатив зі сторони строків та імовірності отримання ресурсів наведено у таблиці 10.13.

Таблиця 10.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Розробка системи з розширеним функціоналом та залучення усіх джерел (пересувних та стаціонарних) для моніторингу	Середня	3-5 (роки)

2.	Розширення функціоналу системи для пересувних джерел	Висока	1-2 роки
3.	Інтеграція підсистеми моніторингу з національною мережею	Низька	1-2 роки

У результаті аналізу в якості альтернативи впровадження обрано розширення функціоналу системи для пересувних джерел, так як ймовірність отримання ресурсів є високою і строки з реалізації складають 1-2 роки.

10.4 Розроблення ринкової стратегії

Перш за все, необхідно визначити стратегії охоплення ринку та цільові групи споживачів (таблиця 10.14).

Таблиця 10.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Державні структури (у сфері охорони природи та охорони здоров'я)	Середня	Високий	Низька	Висока складність

2	Населення	Висока	Середній	Середня	Середня складність
3	Водії	Середня	Середній	Середня	Середня складність
Які цільові групи обрано: населення та водії.					

На базі аналізу цільових аудиторій сформовано стратегію для розвитку в обраних сегментах (таблиця 10.15).

Таблиця 10.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1.	Розширення функціоналу системи для пересувних джерел	Диференційований маркетинг	Екологічність, актуальність, інноваційність рішення	Стратегія диференціації

Базовою стратегією обрано стратегію диференціації. Наступний етап – вибір конкурентної поведінки (таблиця 10.16).

Таблиця 10.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Так	Так, ні	Ні	Стратегія лідеру

Обрано стратегію лідеру в якості базової стратегії конкурентної поведінки. Наступний етап – вибір стратегії позиціонування (таблиця 10.17).

Таблиця 10.17 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	Екологічність	Стратегія диференціації	Прокладення маршрутів по мінімально загазованим маршрутам	Екологічність

2.	Актуальність наданої інформації та доступ 24/7	Стратегія диференціації	Використання краудсорсингу та моніторинг загазованості в реальному часі	Актуальність
3.	Швидкість роботи	Стратегія диференціації	Використання гібридного позиціонування	Швидкість

10.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

У таблиці 10.18 сформовано маркетингову концепцію товару.

Таблиця 10.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Інформація про стан забрудненості навколишнього середовища	Доступність інформації про якість повітря в реальному часі у смартфоні кожного пересічного громадянина.	Актуальна інформація про загазованість повітря над транспортними шляхами 24/7

2.	Можливість побудови маршруту по найменш загазованих шляхах міста	Мінімізація впливу шкідливих речовин на здоров'я, однорідне розподілення шкідливих транспортних викидів, уникнення критичного рівня загазованості над найпопулярнішими районами місцевості.	Конкурентів немає
----	--	---	-------------------

Наступним кроком розроблено тривірневу маркетингову модель товару (таблиця 10.19).

Таблиця 10.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Система для моніторингу загазованості та управління транспортними викидами		
	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Трудомісткість моніторингу	1 Нм	Тх
	2. Витрати на збір даних	2 Нм	Вр
	3. Інформаційна виразність	3 Нм	Е
	4. Оптимальність алгоритму	4 М	Тл
	побудови маршруту по найменш загазованим дорогах	5 Нм	Тл
	5. Швидкість знаходження місцезнаходження		

	Якість: якість даної моделі підтверджено в магістерській дисертації
	Пакування: відсутнє
	Марка: «ЕкоРух»
	До продажу: пропозиція про встановлення системи на смартфон
	Після продажу: сервісне обслуговування
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: ліцензування і патентування	

Наступний крок – визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (таблиця 10.20).

Таблиця 10.20 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1.	-	-	Доходи споживачів – середня заробітна плата за жовтень 2020 року: 12174 грн.	Надання інформації для користувачів безкоштовне, ціна оговорюватиметься при впровадженні на загальнодержавному рівні

Подальшим етапом є визначення оптимальної системи збуту (таблиця 10.21).

Таблиця 10.21 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Знаходження Продукту в Play маркеті або на веб-сайті	функції, пов'язані з угодами, обслуговування.	Однорівневий – виробник-споживач	Play маркет, веб-сайт

Останнім етапом розроблення маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, яка базується на позиціонуванні та специфіці поведінки клієнтів (таблиця 10.22).

Таблиця 10.22 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікації, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1.	Поведінку клієнтів формують стандарти по наданню інформації з	Інтернет та Телебачення	Унікальність послуги	Надати інформацію про шкідливість для здоров'я	Доступність актуальної інформації про якість повітря 24/7

	природоохоронної політики			забрудненого повітря	
2.	Поведінку клієнтів формують європейські стандарти	Технічні виставки, Інтернет, Телебачення	Інноваційність	Інформація про інноваційне вирішення проблеми	Застосування нових підходів у моніторингу та можливість розвантаження доріг
3.	Поведінку клієнтів формує загальноприйнята дорожня поведінка	Інтернет, Телебачення	Доступність та об'єктивність інформації про пропозицію	Сформувані свідоме ставлення до забруднення атмосфери	Екологічність пересування

Запропонований стартап-проект має можливість на комерціалізацію, оскільки екологічні проблеми на сьогоднішній день стоять на передньому плані суспільства, динаміка ринку зростає, попит на інноваційні рішення високий. Наявні також перспективи впровадження, факторів можливостей багато, бар'єри входження можуть бути вирішені якісною рекламною компанією. У якості альтернативи впровадження можна запропонувати систему з базовим функціоналом, згодом можливе розширення функцій та можливостей. Подальший розвиток проекту є перспективним та доцільним.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання магістерської дисертації було спроектовано автоматизовану систему моніторингу та управління транспортними викидами. За основу взято принципи функціонування сучасного популярного географічно-інформаційного сервісу Google Maps.

У магістерській дисертації проведено аналіз організації моніторингу та обладнання у провідних країнах Європи та в Україні, розроблено структурну та функціональну схеми системи моніторингу та управління транспортними викидами.

Розроблено план та проведено експеримент з підрахунку загазованості на обраних ділянках дороги, аналітично визначено значення викидів транспортними потоками на протяжності ділянок з однорідним рухом і на регульованому перехресті в різні частини доби – ранок (8:00), обід (14:00), вечір (18:00).

На базі проведених досліджень запропоновано новий підхід для розроблення системи моніторингу та управління загазованістю над транспортними шляхами. Запропонована система базується на наступних принципах: краудсорсинг, використання гібридної системи позиціонування й оптимального алгоритму для побудови маршруту, візуалізація загазованості у реальному часі. У магістерській дисертації розроблено алгоритми для підрахунку викидів від автомобільного транспорту та побудови оптимального за загазованістю маршруту для руху. Така система дозволила розвантажити популярні маршрути та скорити викиди шкідливих речовин в атмосферу в цілому.

Результати дослідження обговорювались на науково-практичній конференції «Winter InfoCom Advanced Solutions 2020». Отримано акт впровадження результатів магістерської дисертації у діяльність підприємства ТОВ «Мобілуніті».

Подальша реалізація спроектованої системи не тільки допоможе вирівняти транспортні потоки й загазованість, а й розвантажить рух і відповідно підвищить ефективність використання пального та скоротить викиди від транспорту в цілому.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Н. Pfeffer Air quality monitoring [Електронний ресурс]/ Н. Pfeffer, Р. Bruckmann // Encyclopedia ILO – 2012. – Режим доступу до ресурсу: <http://base.safework.ru/iloenc>.
2. UK AIR: Air Information Resource [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk-air.defra.gov.uk/>
3. Norwegian Institute for Air Research: Atmosphere and climate [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.nilu.com/>
4. Air quality in Switzerland [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft.html>
5. Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря: постанова Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 р. № 827// Офіційний вісник України. – 2019. – № 70. – 108 с.
6. Моніторинг качества атмосферного воздуха в Украине [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://eni-seis.eionet.europa.eu/east/areas-of-work/communication/events/project-related-events/2018-workshop-on-air-quality-monitoring-and-reporting-under-the-eni-seis-east-ii-project/presentations/session-5-practices-from-eni-east-countries-on-aq-monitoring-and-reporting>
7. Federation Atmo France International comparison of air quality monitoring systems / Federation Atmo France. – Paris: « Atmo France», 2011. – р. 14
8. Н. Dalkmann Urban transport and climate change / Н. Dalkmann, Ch. Brannigan. – Eschborn: GTZ, 2014. – р. 79
9. Мусієнко М.М. Екологія. Охорона природи: словник-довідник / Мусієнко М.М., Серебряков В.В., Брайон О.В. – К. :Либідь, 2004. – 376 с.
10. Важинський С. Е. Методика та організація наукових досліджень: навч. Посібник / Важинський С. Е., Щербак Т. І. – Суми : СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2016. – 260 с.

11. Air quality assessment methods (data flow) [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://aided.apps.eea.europa.eu/?source=%7B%22query%22%3A%7B%22match_all%22%3A%7B%7D%7D%2C%22display_type%22%3A%22tabular%22%2C%22from%22%3A80%7D
12. APNA-370 Газоанализатор оксидов азота [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.horiba.com/ru/process-environmental/products/ambient/details/apna-370-ambient-nox-monitor-274/>
13. UV Absorption O3 Analyzer Model T400 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.teledyne-api.com/products/oxygen-compound-instruments/t400>
14. Palas - Fidas® 200 Fine Dust Monitor System [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://liberohk.com/en/palas-fidas-200>
15. Model T100 UV Fluorescence SO2 Analyzer [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://www.teledyne-ml.com/products/_instruments/gaseous/sulfur/Pages/T100.aspx
16. Agilent 6890N Network Gas Chromatograph [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.agilent.com/cs/library/specifications/Public/5989-3290EN.pdf>
17. Дашковський А.А. Автоматическіє станції контролю забруднення атмосфери в екологічному моніторингу України / Дашковський А.А., Рыжков В. Ф. // научно-технический журнал. Технологии и конструирование в электронной аппаратуре. – Одесса : Політехперіодика, 2002. – № 1. – с. 10–12.
18. 645ХЛ 20 автоматический газоанализатор окислов азота [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.ukranalyt.com.ua/645HL-20.htm>
19. 667ФФ 20 автоматический газоанализатор диоксида серы [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.ukranalyt.com.ua/667ff-20.htm>

20. Автоматический газоанализатор углеводородов 623 ПИ 08 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.ukranalyt.com.ua/623PI-08.htm>
21. Стационарный газоанализатор оксида углерода 621ЭХ 07 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.ukranalyt.com.ua/621EH-07.htm>
22. Дрябжинский О.Е. Воздействие автотранспорта на окружающую среду / Дрябжинский О.Е, Гапоненко А.В. // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – Т. 3, №2. – С. 285.
23. Карта Киева (Украина карта автомобильных дорог столицы г.Киев) [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://map1.com.ua/90520.html>
24. How Does Google Maps Know About Traffic Conditions? [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.scienceabc.com/innovation/how-does-google-maps-know-about-traffic-conditions.html>
25. D. Hongwei A hybrid outdoor localization scheme with high-position accuracy and low-power consumption[Электронный ресурс] / D. Hongwei, Ch. Zhang // EURASIP Journal. Wireless Communications and Networking.– 2018. – Режим доступа до ресурсу: <https://jwcn-urasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/s13638-017-1010-4#article-info>
26. Дворкина Н.Б. Мобильные навигационные сервисы и применение технологии OpenCellID для определения местоположения [Электронный ресурс] / Дворкина Н.Б., Намиот Д.Е., Дворкин Б.А. // Интернет-журнал. Геоматика. – 2010. – №2. – с. 80-87. – Режим доступа до ресурсу: https://sovzond.ru/upload/iblock/fbf/2010_02_014.pdf
27. P. Crovari Google Maps and Graph Theory [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://magazine.impactscool.com/en/speciali/google-maps-e-la-teoria-deigrafi/#:~:text=Google%20Maps%20is%20based%20on,pioneering%20founders%20of%20modern%20computing.>