

МОН УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
(УНУС)

Факультет плодощовочівництва, екології та захисту рослин
Кафедра екології та безпеки життєдіяльності

Допущено до захисту
«___» _____ 2024 року
Зав. кафедри, к. с.-г., доцент
_____ Ольга ВАСИЛЕНКО

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ступеня вищої освіти магістр

МОНІТОРИНГ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ М. УМАНЬ

Виконала: студент 2 курсу, групи 21м-ек
спеціальності 101 Екологія
СТЕЦЕНКО Артур Володимирович
Керівник: ВАСИЛЕНКО Ольга,
к. с.-г. н., доцент

Умань – 2024

ЗМІСТ

Стор.

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНИХ ЗАБРУДНЮВАЧІВ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВІД АВТОТРАНСПОРТУ (огляд літератури).....	5
1.1. Атмосфера та вплив автотранспорту на її стан.....	5
1.2. Вплив чадного газу(CO) на стан повітряного басейну міста.....	7
1.3. Вплив пилу на стан повітряного басейну міста.....	10
РОЗДІЛ 2. УМОВИ, ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ..	14
2.1. Кліматичні та погодні умови м.Умань.....	14
2.2. Об'єкт дослідження.....	17
2.3. Методика проведення досліджень.....	17
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	22
3.1. Оцінка інтенсивності руху автотранспорту вулиць м. Умань.....	22
3.2. Визначення рівня забруднення атмосферного повітря чадним газом (CO) розрахунковим методом.....	24
3.3. Визначення рівня забруднення атмосферного повітря чадним газом (CO) експериментально-польовим методом.....	27
3.4. Моніторинг рівня пилового навантаження в м. Умань.....	30
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА.....	34
ВИСНОВКИ.....	37
ПРОПОЗИЦІЇ.....	39
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	40
ДОДАТКИ.....	44

ВСТУП

Актуальність теми. Проблемою міст є екологічна безпека, пов'язана зі станом повітря в місцях найбільш інтенсивних транспортних потоків, якими, перш за все, є перехрестя. Дослідження фахівців показують, що найбільш інтенсивне зменшення концентрації забруднювальних речовин відбувається у зоні 12-20 м від дороги [1].

Вихлопи автотранспорту призводять до порушення екологічної рівноваги. Щодня у повітряне середовище потрапляє величезна кількість суміші приблизно з двохсот різних речовин. Велика частина двигунів автомобілів споживає бензин, саме він при згорянні виділяє достатньо велику кількість свинцю, діоксиду вуглецю, оксиду вуглецю, оксиду азоту, вуглекислого газу. Також в атмосферу потрапляє деяка кількість саж і смол, які утворюються в моменти технічної несправності мотора. Важливим є і той факт, що автомобільний транспорт не тільки вносить значний внесок у забруднення атмосфери, але і споживає велику кількість природних матеріалів та сировини. За статистикою, в деяких містах України, викиди автотранспорту становлять більше половини всіх викидів, в тому числі і промислових [2].

Дана проблема вже зачіпає не тільки великі міста, де щодня можна нарахувати кілька десятків величезних пробок, але й маленькі міста та села, через які проходять живі магістралі, наприклад м. Умань. На жаль, не так просто усунути наслідки, завдані атмосфері автотранспортом. В зв'язку з цими факторами, імпактний моніторинг викидів автотранспорту і їх зменшення є дуже актуальними на даний момент часу.

Мета роботи. Метою роботи є оцінка забруднення атмосферного повітря м. Умань.

Для досягнення даної мети були поставлені наступні завдання:

- визначення понятійного апарату проблеми дослідження;
- оцінка інтенсивності руху автотранспорту вулиць м. Умань;
- визначення рівня забруднення атмосферного повітря чадним газом (CO) розрахунковим методом;

- визначення рівня забруднення атмосферного повітря чадним газом (CO) експериментально-польовим методом;
- оцінка ступеня забруднення атмосферного повітря пилом.

Наукове та практичне значення одержаних результатів.

На основі проведених власних теоретичних оцінено потенційну небезпеку забруднення атмосферного повітря. Поряд з цим, проведено дослідження інтенсивності автомобільного руху по дорогам міста і як наслідок проаналізовано рівень забруднення чадним газом повітря зон впливу автотранспорту і розрахунковим, і експериментальним шляхом. Також проведена оцінка забруднення атмосферного повітря

Об'єкт дослідження – атмосферне повітря м. Умань.

Предмет дослідження – вплив автотранспорту на рівень забруднення атмосферного повітря м. Умань чадним газом та пилом.

Апробація результатів досліджень відбулась на Всеукраїнській науковій конференції «Екологія – шляхи гармонізації природи та суспільства» у 2024 році (додаток А).

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНИХ ЗАБРУДНЮВАЧІВ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВІД АВТОТРАНСПОРТУ (огляд літератури)

1.1 Атмосфера та вплив автотранспорту на її стан

Атмосфера Землі — це шар газів, що оточує нашу планету, утримується гравітаційним полем і є основою для підтримки життя на Землі. Вона складається з кількох основних компонентів: азоту (78%), кисню (21%), аргону (0,93%), а також вуглекислого газу (0,04%) та інших газів у малих концентраціях. Атмосфера забезпечує необхідні умови для підтримки життя, зокрема, постачає кисень для дихання, захищає від надмірного ультрафіолетового випромінювання Сонця, регулює клімат і температурні умови на планеті [3].

Однак, через антропогенні впливи, зокрема через діяльність автотранспорту, склад атмосфери змінюється, що має серйозні наслідки для навколишнього середовища і здоров'я людей [4].

Автотранспорт є одним з основних джерел забруднення атмосферного повітря, особливо в міських районах з високою концентрацією транспортних засобів. Викиди від автомобілів містять широкий спектр шкідливих речовин, таких як:

1. Вуглекислий газ (CO_2) — основний газ, що сприяє ефекту парникового ефекту. Автомобілі є важливим джерелом викидів CO_2 , що негативно впливає на клімат і спричиняє глобальне потепління [5].

2. Оксиди азоту (NO_x) — утворюються при високих температурах у двигуні. Вони сприяють забрудненню повітря, викликаючи кислотні дощі та негативно впливаючи на здоров'я людей, викликаючи захворювання органів дихання [6].

3. Вуглеводні (HC) — летючі органічні сполуки, які викидаються через неідеальне згоряння пального. Вони можуть сприяти утворенню озону в приземному шарі атмосфери, що є основним компонентом смогу [7].

4. Частки пилу та тверді частинки (PM) — дрібні тверді частки, що можуть проникати глибоко в легені людини, викликаючи серйозні захворювання дихальних шляхів, серця і судин [8].

5. Сажа та інші токсичні речовини — це продукти неповного згоряння палива, які можуть викликати забруднення повітря та завдавати шкоди екології [9].

Викиди автотранспорту негативно впливають на екосистеми, здоров'я людей і клімат:

- Кислотні дощі: Оксиди азоту і сірки, що містяться у викидах автотранспорту, можуть перетворюватися в кислотні сполуки, які випадають у вигляді кислотних дощів. Це має руйнівний вплив на ґрунти, водні ресурси та рослинність.

- Парниковий ефект: Викиди CO_2 , що накопичуються в атмосфері, сприяють посиленню парникового ефекту, що викликає глобальне потепління, зміну клімату та екстремальні погодні умови.

- Захворювання: Тривалий вплив забрудненого повітря, що містить токсичні гази та частки пилу, може призводити до розвитку респіраторних та серцево-судинних захворювань. Дослідження показують, що люди, які живуть в районах з високим рівнем забруднення повітря, мають підвищений ризик розвитку астми, бронхітів, інфарктів та інсультів.

- Озон у приземному шарі: Вуглеводні та оксиди азоту, що утворюються при роботі автомобілів, сприяють утворенню озону в приземному шарі атмосфери, що призводить до появи смогу. Цей озон є шкідливим для людей, особливо в поєднанні з високими температурами [10].

Для зменшення негативного впливу автотранспорту на атмосферу пропонуються різноманітні заходи:

1. Використання альтернативних джерел енергії: Заміна традиційних двигунів внутрішнього згоряння на електричні та водневі автомобілі дозволить значно зменшити викиди парникових газів та токсичних речовин у повітря.

2. Зниження норм викидів: Впровадження більш жорстких стандартів для автомобільних викидів, таких як EURO 6, може значно знизити рівень

забруднення від автотранспорту. Системи фільтрації, наприклад, каталітичні нейтралізатори, дозволяють зменшити викиди токсичних речовин.

3. Розвиток громадського транспорту та велосипедної інфраструктури: Перехід від індивідуальних автомобілів до більш екологічних варіантів транспорту, таких як електричний громадський транспорт, велосипеди, може значно зменшити кількість викидів.

4. Оптимізація дорожнього руху: Впровадження інтелектуальних транспортних систем, які допомагають зменшити затори та оптимізувати використання транспорту, може зменшити витрати пального та рівень викидів [11, 12].

Атмосфера є критично важливою складовою для існування життя на Землі, і її стан безпосередньо залежить від діяльності людини, зокрема від використання автотранспорту. Забруднення атмосфери, спричинене викидами автотранспорту, має серйозні наслідки для здоров'я людей, екосистем та клімату планети. Тому необхідно впроваджувати технології, які зменшують вплив транспорту на навколишнє середовище, зокрема розвиток альтернативних видів палива, впровадження екологічно чистих транспортних засобів та поліпшення інфраструктури для зручного та безпечного громадського транспорту [13].

1.2. Вплив чадного газу (CO) на стан повітряного басейну міста.

Чадний газ (CO) є безбарвним, без запаху, отруйним газом, який утворюється внаслідок неповного згоряння органічних сполук, зокрема в процесах, пов'язаних з автотранспортом, промисловими викидами, опаленням, сільським господарством тощо. Відзначається високою токсичністю навіть у малих концентраціях, оскільки він зв'язується з гемоглобіном крові, утворюючи карбоксигемоглобін, що порушує постачання кисню до тканин організму [14].

Джерела викидів CO можуть бути як природними (пожежі в лісах, вулканічна активність), так і антропогенними. В умовах міста основним

джерелом забруднення є транспорт, промислові підприємства, а також невідповідне використання опалювальних систем [15].

Повітряний басейн міста — це об'єм атмосферного повітря, що знаходиться в межах певної території та знаходиться під впливом різноманітних природних і антропогенних факторів. Структура повітряного басейну міста формується під впливом особливостей рельєфу, кліматичних умов, а також соціально-економічної діяльності. У містах із високою густотою забудови, значним потоком транспорту та інтенсивним промисловим виробництвом концентрація забруднюючих речовин може перевищувати допустимі норми, що негативно впливає на здоров'я мешканців та екологічну ситуацію загалом [16].

Основними джерелами забруднення атмосферного повітря чадним газом у міському середовищі є:

Автотранспорт: Оскільки майже кожен автомобіль, особливо старі моделі, виділяє СО під час неповного згоряння палива, транспорт є основним джерелом викидів у більшості великих міст.

Промислові викиди: Виробничі підприємства, що працюють на органічному паливі або використовують процеси згоряння, також є важливим джерелом забруднення. Викиди чадного газу можуть виникати внаслідок роботи котлів, печей, генераторів.

Житлово-комунальні послуги: У зимовий період, при використанні газових плит та котлів, можливі викиди СО через неправильне функціонування систем вентиляції та неповне згоряння палива.

Сільське господарство: Використання сільськогосподарських машин, а також процеси спалювання залишків сільськогосподарських культур можуть сприяти викидам СО в атмосферу [17].

Забруднення атмосферного повітря чадним газом може мати серйозний вплив на стан повітряного басейну міста. Підвищення концентрації СО в атмосфері веде до наступних змін:

Зниження якості повітря: Високі концентрації СО значно погіршують якість повітря, що особливо небезпечно для жителів міста, де вже й так

спостерігається висока концентрація інших забруднювачів (наприклад, діоксидів азоту, сірчистого газу та ін.).

Зміни в атмосферному складі: Чадний газ взаємодіє з іншими забруднювачами, зокрема оксидами азоту, утворюючи нові сполуки, які можуть посилювати ефект забруднення. Це може привести до розвитку вторинних забруднень, таких як озон на рівні земної поверхні.

Зниження видимості: Високі концентрації СО можуть знижувати видимість у міських агломераціях, що, в свою чергу, може спричинити дорожні аварії та інші небезпечні ситуації.

Погіршення здоров'я населення: Довгострокове перебування в умовах високої концентрації чадного газу негативно впливає на здоров'я. СО, зв'язуючись із гемоглобіном крові, порушує транспортування кисню до органів і тканин, що може викликати головні болі, запаморочення, втрату свідомості, а в окремих випадках – навіть смерть [18, 19].

З метою контролю та зменшення рівня чадного газу в атмосфері існують певні екологічні нормативи, які визначають максимально допустимі концентрації СО в повітрі. Наприклад, згідно з нормами, встановленими органами охорони здоров'я, рівень чадного газу в атмосфері не повинен перевищувати 5 мг/м³ для середньодобових значень та 30 мг/м³ для короткочасних піків [20].

Для моніторингу концентрації СО використовуються різноманітні методи, серед яких найпоширенішими є:

Хімічні методи: Використовуються спеціальні індикаторні трубки, що реагують на наявність СО.

Фізико-хімічні методи: Наприклад, методи спектрофотометрії, які дозволяють визначити концентрацію СО у повітрі з високою точністю.

Автоматизовані системи моніторингу: Вони складаються з датчиків, які здійснюють постійний моніторинг забруднення повітря в реальному часі [21].

Для зменшення викидів чадного газу в атмосферу міст необхідно вжити низку комплексних заходів:

Перехід на екологічно чисті джерела енергії: Використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні та вітрові станції, дозволяє значно знизити викиди CO в атмосферу.

Модернізація транспорту: Впровадження електричних автомобілів, поліпшення стандартів енергоефективності та зменшення викидів від автотранспорту сприятимуть зниженню концентрації CO в міському повітрі.

Покращення системи опалення: Використання ефективних та екологічно безпечних опалювальних систем, а також проведення технічного обслуговування котлів і печей дозволить знизити рівень забруднення від невірно налаштованих систем.

Зелені зони та лісонасадження: Створення зелених зон в межах міста сприяє очищенню повітря, оскільки рослини здатні поглинати частину забруднюючих речовин, у тому числі CO [22].

Вплив чадного газу на стан повітряного басейну міста є суттєвим і має негативні наслідки для здоров'я населення та загального екологічного стану міської території. Оскільки основними джерелами забруднення є транспорт і промислові підприємства, вирішення проблеми потребує комплексного підходу, що включає модернізацію транспорту, поліпшення енергетичних систем, а також вдосконалення методів моніторингу і контролю за якістю атмосферного повітря. Вживання цих заходів може істотно знизити концентрацію CO в атмосфері та забезпечити більш комфортні умови для мешканців міста.

1.3. Вплив пилу на стан повітряного басейну міста

Пил — це суміш твердих часток різного розміру, що перебувають у підвішеному стані в атмосфері. Він може бути як природного, так і антропогенного походження. Пил складається з часток, що варіюються за розміром від декількох мікрон до десятків мікрометрів [23]. Залежно від розміру часток пил поділяється на три основні категорії:

Крупні частки (діаметр більше 10 мкм): Це частки, які здатні осідати на земній поверхні через вплив гравітації, зокрема через вітрові та водні процеси.

Середні частки (діаметр від 2,5 до 10 мкм): Вони можуть залишатися в повітрі на деякий час і впливати на якість повітря, але в основному осідають ближче до джерел їхнього викиду.

Дрібні частки (PM_{2,5} і менше): Час їх перебування в атмосфері може бути значно довшим, і вони здатні проникати глибше в дихальні шляхи людини, що створює серйозну загрозу для здоров'я [24].

Антропогенні джерела пилу включають промислові підприємства, будівельні роботи, автомобільний транспорт, а також інші діяльності, пов'язані з переміщенням або обробкою землі. Природні джерела пилу — це процеси, пов'язані з ерозією ґрунтів, пиловими бурями, пожежами та вулканічною активністю [25].

У містах джерела пилу значною мірою пов'язані з антропогенною діяльністю. Найбільш виразні фактори, що призводять до забруднення повітря пилом у міському середовищі, це:

Транспорт: Автомобільний та інший транспорт (зокрема вантажні автомобілі, автобуси, трамваї) є основними джерелами пилових забруднень в містах. Пил потрапляє в атмосферу як результат зносу доріг, гальмівних колодок, а також через викиди вихлопних газів, що містять мікрочастки твердих речовин.

Будівництво та дорожні роботи: В процесі будівництва, ремонту доріг, знесення будівель та інших будівельних робіт утворюється велика кількість пилу. Часто ці роботи проводяться без достатніх заходів контролю за викидами пилу в повітря, що призводить до значного забруднення повітря.

Промислові підприємства: Викиди пилу з виробничих об'єктів, таких як цементні, металургійні та добривні заводи, можуть значно погіршити якість повітря. Ці пилові частки можуть мати хімічно активні властивості, що додатково погіршує ситуацію.

Сільськогосподарська діяльність: Агроіндустріальна діяльність, зокрема обробка ґрунтів, збирання врожаю, спалювання рослинних залишків, може також сприяти утворенню пилу, що потрапляє в атмосферу.

Невідповідність системи утилізації сміття: Неконтрольоване спалювання сміття або неправильно організоване складування відходів може також призвести до утворення пилу, що потрапляє в атмосферу [26].

Пил є одним із основних забруднювачів атмосферного повітря, який має численні негативні наслідки для якості повітряного басейну міста. Серед основних впливів пилу можна відзначити:

Погіршення якості повітря: Пил, особливо дрібні його частки (PM_{2,5} і PM₁₀), є одним із найбільш небезпечних забруднювачів, оскільки вони можуть проникати глибоко в легені і потрапляти в кровообіг, викликаючи хронічні захворювання, такі як бронхіти, астма, серцево-судинні захворювання.

Зниження видимості: Наявність великої кількості пилу в атмосфері знижує видимість, що може створювати небезпеку на дорогах, спричиняти дорожні аварії та знижувати якість життя в місті.

Шкода для здоров'я людини: Пил, особливо дрібні частки, може проникати в дихальні шляхи і викликати захворювання органів дихання (бронхіт, пневмонія), загострювати хронічні захворювання, а також призводити до серцево-судинних порушень, раку легень та ін.

Вплив на довкілля: Пил може призводити до забруднення водойм, ґрунтів та рослинності. Частки пилу осідають на поверхні водних об'єктів і ґрунту, що погіршує якість води та земельних ресурсів, а також може пошкоджувати рослинність через забруднення листя.

Зміни в кліматі: Пил може мати вплив на локальний клімат. Частки пилу здатні відбивати або поглинати сонячне випромінювання, що змінює температурні режими в межах міського повітряного басейну, а також сприяє утворенню мікрокліматичних аномалій [27].

Для збереження здоров'я мешканців міст і забезпечення сприятливих умов для життя важливо контролювати рівень пилу в атмосфері. У більшості країн існують нормативи, які визначають максимальні дозволені концентрації

пилу в повітрі. Зокрема, для часток PM10 та PM2,5 встановлені норми, які регулюють їхні максимально допустимі рівні для середньодобових і середньогодинних показників [28].

Основні методи моніторингу концентрації пилу в атмосфері включають:

Фільтраційні методи: Збір пилових часток за допомогою спеціальних фільтрів, на яких осідають частки пилу. Цей метод дозволяє отримати дані про концентрацію пилу в конкретному місці.

Метод відбірних трубок: Використовуються спеціальні індикаторні трубки, що дають змогу визначити рівень пилу в атмосфері за допомогою хімічної реакції.

Автоматизовані системи моніторингу: Сучасні технології дозволяють здійснювати безперервний моніторинг концентрацій пилу, використовуючи різні датчики та аналізатори [29].

Для зниження рівня пилу в атмосфері та покращення стану повітряного басейну в місті необхідно вживати комплексні заходи:

Контроль за викидами пилу з транспорту: Встановлення стандартів на викиди пилу та інших забруднювачів для автомобільного транспорту, заохочення використання електричних та екологічно чистих транспортних засобів.

Покращення техніки будівництва та дорожніх робіт: Використання технологій, що знижують рівень пилу під час будівництва та ремонту, зокрема застосування водяних розпилювачів, використання пиловловлюючих систем на будівельних майданчиках.

Зелені зони та лісонасадження: Створення додаткових зелених зон в межах міста, саджання дерев та чагарників допоможе зменшити кількість пилу в повітрі, оскільки рослини здатні поглинати частки пилу та очищати атмосферу [30, 31].

РОЗДІЛ 2. УМОВИ, ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Кліматичні та погодні умови м. Умань

Місто Умань – туристичне, економічно розвинене місто в Україні, також є адміністративним центром Уманського району Черкаської області. Географічно визначене розташування: 48°46' північної широти та 30°14' східної довготи.

Місто розташоване на Придніпровській височині вздовж берегів р. Уманка за 186 км на південний захід від обласного міста Черкаси. Через місто проходять два автошляхи. Першим є шлях М05Е95 міжнародного значення Київ – Одеса, який є частиною Європейського транспортного коридору № 9. Другий автомобільний шлях М12/Е50 міжнародного значення Стрий – Тернопіль – Кропивницький – Знам'янка. А також третій, але не менш важливий автомобільний шлях Н16 національного значення Золотоноша – Черкаси – Сміла – Умань, проходить територією Черкаської області сполучаючи усі її чотири районних центри. Історично місто знаходиться на межі Поділля та Наддніпрянської України.

Клімат м. Умань обумовлений його розташуванням. Середня температура січня становить $-5,6^{\circ}\text{C}$, липня $+20,2^{\circ}\text{C}$. Середньорічна кількість опадів – 474 мм (у середньому за рік у місті спостерігається 130 днів з опадами), найменше – у березні та жовтні, найбільше – у липні.

Найнижча середньомісячна температура повітря в січні ($-15,1^{\circ}\text{C}$) зафіксована 1963 року, найвища ($+1,6^{\circ}\text{C}$) – 2007 року. Найнижча середньомісячна температура в липні ($+17,6^{\circ}\text{C}$) спостерігалась у 1912 році, найвища ($+25,6^{\circ}\text{C}$) – в 1936 році. Абсолютний мінімум температури повітря ($-35,3^{\circ}\text{C}$) зафіксовано 9 січня 1935 року, абсолютний максимум ($+38,7^{\circ}\text{C}$) – 27 липня 1909 року і 20 серпня 1929 року.

За останні 100-120 років температура повітря в Умані, так само як і в цілому на Землі, має тенденцію до підвищення. Протягом цього періоду середньорічна температура повітря підвищилася щонайменше на 1,0 °С. Найтеплішим за всю історію спостережень виявився 2007 рік. Більшим у цілому є підвищення температури в першу половину року.

Переважні напрями вітрів узимку – північно-західні, влітку – південні. Найбільша швидкість вітру – в лютому, найменша – влітку. У січні вона в середньому становить 4,5 м/с, у липні – 3,4 м/с.

Кількість опадів в даному районі знаходиться в межах від 550 до 700 мм за рік. Найбільша кількість опадів (65–75 %) буває з квітня по вересень. Відносна вологість повітря в середньому за рік становить 70 %, мінімальна вона у травні (55 %), максимальна – у грудні (85 %) [32].

Показники вологості та швидкості вітру за даними «Українського гідрометеорологічного центру» (табл. 2.1).

**Показники вологості та швидкості вітру за даними «Українського гідрометеорологічного центру» в дні
проведення досліджень**

	01.04.2024			10.04.2024			20.04.2024			30.04.2024			10.05.2024		
	8:00	13:00	18:00	8:00	13:00	18:00	8:00	13:00	18:00	8:00	13:00	18:00	8:00	13:00	18:00
Вологість повітря, %	100	100	93	93	64	65	71	72	100	93	74	64	70	49	55
Швидкість вітру, м/с	3	3	3	1	4	3	2	2	1	5	6	2	10	12	8

2.2. Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є повітряні басейни вулиць міста Умань такі як:

1. Європейська, протяжністю 2,3 км
2. Незалежності, протяжністю 2,3 км
3. Степана Бандери, протяжністю 5,4 км
4. Велика Фонтанна, протяжністю 1,5 км
5. Шевченка, протяжністю 1,1 км
6. Глібка, протяжністю 0,8 км
7. Захисників України, протяжністю 0,75 км
8. Індустріальна, протяжністю 0,86 км
9. Дерев'янка, протяжністю 1,45 км.

2.3. Методика проведення досліджень

Для визначення завантаженості вулиць міста користувались методом підрахунку автотранспорту різних типів у три підходи:

- Вранці, з 8:00 до 9:00
- В обідню пору доби, з 13:00 до 14:00
- Ввечері, з 18:00 до 19:00.

Із отриманих даних у першій таблиці, визначили склад автотранспорту в частках одиниць.

Розраховували концентрацію СО за формулою Бегма (1984), модифікованою Шаповаловим (1990) [33]:

$$K_{CO} = (0,5 + 0,01 \times N \times K_m) \times K_a \times K_y \times K_c \times K_e \times K_n,$$

де 0,5 – фонове забруднення атмосферного повітря нетранспортного походження, мг/м³

N – сумарна інтенсивність руху автомобілів на міській дорозі, автомобілів, годину,

K_m – коефіцієнт токсичності автомобілів за викидами в атмосферне повітря оксидів карбону,

K_a – коефіцієнт, що враховує аерацію місцевості,

K_y – коефіцієнт, що враховує зміни забруднення атмосферного повітря оксидом карбону в залежності від величини поздовжнього нахилу,

K_c – коефіцієнт, що враховує зміни концентрації окису карбону в залежності від швидкості вітру,

K_v – те ж у залежності від відносної вологості повітря,

K_n – коефіцієнт збільшення забруднення атмосферного повітря оксидом карбону біля перехресть.

Коефіцієнт токсичності автомобілів K_m визначали як середній для потоку автомобілів за формулою:

$$K_m = \sum P_i K_{mi},$$

де P_i – склад автотранспорту в частках одиниці,

K_{mi} – визначали за таблицею 2.2

Таблиця 2.2.

Коефіцієнт токсичності автомобілів

Тип автомобіля	Коефіцієнт K_{mi}
Легкий вантажний	2,3
Середній вантажний	2,9
Важкий вантажний (дизельний)	0,2
Автобус	3,7
Легковий	1,0

Таблиця 2.3

Коефіцієнт за ступенем аерації місцевості

Тип місцевості за ступенем аерації	Коефіцієнт K_a
Транспортні тунелі	2,7
Транспортні галереї	1,5
Магістральні вулиці та дороги з багатоповерховою забудовою з двох сторін	1,0
Жилі вулиці з одноповерховими будівлями, вулиці та дороги у виїмці	0,6
Міські вулиці та дороги з односторонніми будівлями, набережні, естакади, високі насипи	0,4
Пішохідні тунелі	0,3

Таблиця 2.4.
**Коефіцієнт, що враховує
поздовжній нахил
автодороги**

Таблиця 2.5.
**Коефіцієнт, що враховує
швидкість вітру**

Таблиця 2.6.
**Коефіцієнт, що враховує
вологість повітря**

Повздовжній нахил, °	Коефіцієнт K_v	Швидкість вітру, м/с	Коефіцієнт K_c , %	Відносна вологість	Коефіцієнт K_e
0	1,00	1	2,7	100	1,45
2	1,06	2	2,00	90	1,30
4	1,07	3	1,50	80	1,15
6	1,18	4	1,20	70	1,00
8	1,55	5	1,05	60	0,85
		6	1,00	50	0,75

Таблиця 2.7

**Коефіцієнт збільшення забруднення атмосферного повітря оксидом
карбону біля перехресть**

Тип перехрестя	Коефіцієнт K_n
Регульоване перехрестя:	
- зі світлофорами звичайне	1,8
- зі світлофорами регульоване	2,1
- саморегульоване	2,0
Нерегульоване:	
- зі зниженням швидкості	1,9
- кільцеве	2,2
- з обов'язковою зупинкою	3,0

Для визначення рівня забруднення чадним газом атмосферного повітря м. Умань польовим методом ми застосовували спеціальний прилад – детектор чадного газу фірми BENETECH Carbon Monoxide Meter GM8805 (рис. 2.1, 2.2).

Детектор чадного газу може визначати концентрацію чадного газу постійно спостерігаючи значення концентрації. Він має досить чіткий великий рідкокристалічний екран і звукову і світлову індикацію, завдяки чому він може виявити небезпечний газ і проінформувати операторів про запобіжні заходи в несприятливих ситуаціях. Він широко використовується в нафтовій, хімічній, вугільній промисловості, металургії, паперовому, муніципальному управлінні, телекомунікаціях, харчовій, текстильній та інших галузях.



Рис. 2.1. Детектор чадного газу фірми BENETECH Carbon Monoxide Meter GM8805

Рівень забруднення вимірювали через кожні 10 днів починаючи з 1.04.2023 року п'ять разів в одні і ті самі години дня, тричі на день.

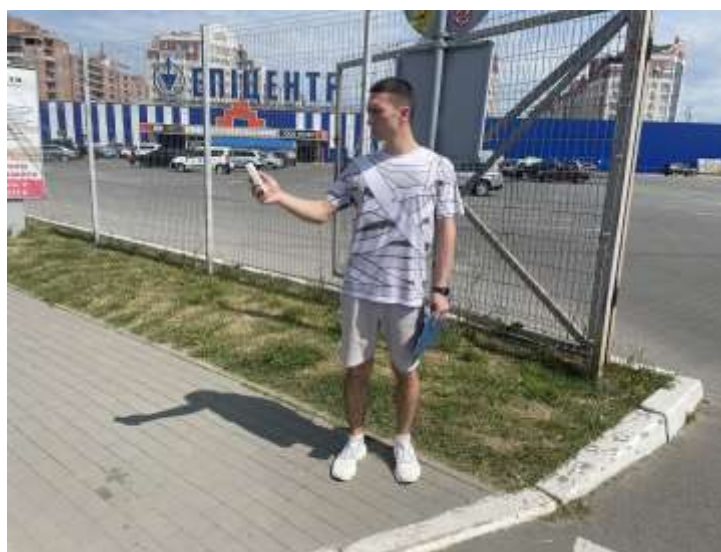


Рис. 2.2. Вимірювання рівня чадного газу в повітрі на вул. Захисників України

В місті розміщена стаціонарна станція моніторингу за станом атмосферного повітря (вул. Садова). Дана станція входить до мережі станцій ГО Есо Сіті. На сьогодні за кількістю станцій ця платформа є найбільшою мережею громадського моніторингу якості повітря в Україні. Результати даного моніторингу фіксуються і на платформі Airnet проєкту World Air Index (Всесвітнього індексу якості повітря – Air Quality Index, China) [34]. AQI (Air

Quality Index) – індекс якості повітря, що розроблений Агенцією з охорони довкілля США і використовується у багатьох країнах світу. Чим більше значення AQI, тим вищий рівень забруднення повітря і негативніший вплив на здоров'я. Типова класифікація якості повітря згідно AQI виглядає наступним чином:



- 0-50: Якість повітря вважається задовільною;
- 51-100: Якість повітря прийнятна (помірна);
- 101-150: Якість повітря вважається поганою;
- 151-200: Якість повітря вважається нездоровою (дуже поганою);
- 201-300: Якість повітря вважається надзвичайною поганою;
- 300+: Якість повітря вважається небезпечною.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Оцінка інтенсивності руху автотранспорту вулиць м. Умань

Сьогодні автомобільний транспорт в містах стає найбільшим джерелом забруднення атмосферного повітря. Внаслідок наявності розгалуженої мережі вулиць з високою інтенсивністю транспортних потоків, що проходять через центральну територію міста, створюються всі умови для забруднення викидами автотранспорту повітряного середовища міського ландшафту.

В м. Умань згідно містобудівного плану простежується центрична радіально-кільцева структура всієї території, а дві вулиці взагалі є продовженням двох головних автомагістралей. Загалом, основні автомобільні зв'язки м. Умань в межах нашої країни забезпечуються мережою автомагістралей державного значення, це – міжнародна автомагістраль Е-95 та М-12, що стало причиною високої інтенсивності руху автотранспорту.

Для оцінки інтенсивності руху автомобілів на досліджуваних вулицях міста застосовувалась методика підрахунку автомобілів різного типу тричі на добу по 20 хвилин на кожній локації. Результати підрахунку візуалізовані на рис. 3.1.

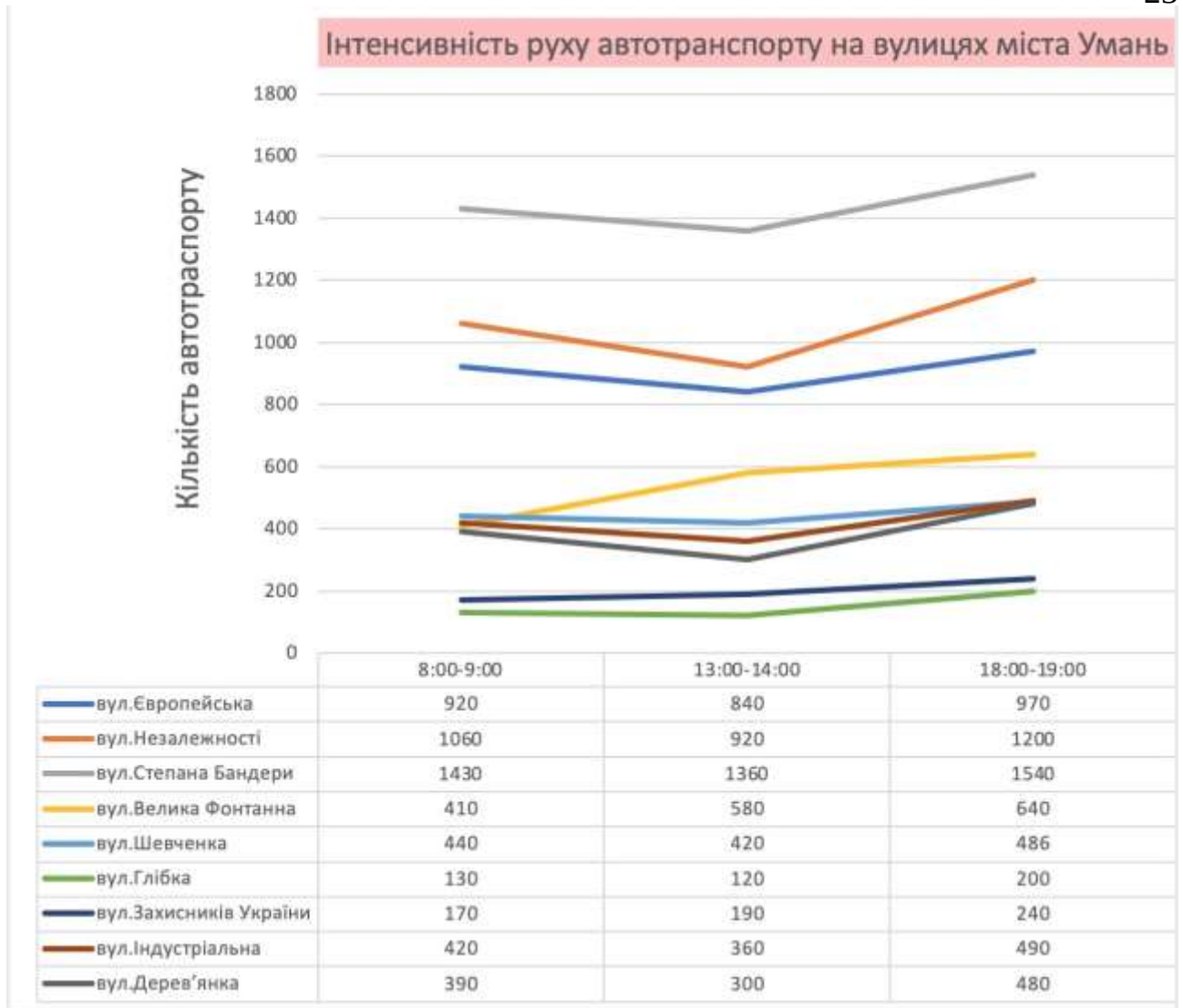


Рис. 3.1. Інтенсивність руху автотранспорту на вулицях м. Умань

Аналіз проведених розрахунків за вибраною методикою дозволяє зробити наступні висновки:

1. На вибраних дослідних ділянках основними забруднювачами повітря є легкові автомобілі. Кількість автомобілів з часом збільшується, що збільшує загрозу навколишньому середовищу.

2. Найбільша кількість серед різних типів автотранспорту – це легкові автомобілі. Тому, практично половину шкідливих викидів в атмосферу приходить саме на них.

3. В залежності від завантаженості вулиці автотранспортом, відрізняється і кількість викидів у атмосферу шкідливих речовин. Вул. Європейська та Незалежності є одними із головних транспортних артерій міста, тому кількість автомобілів на ній найбільша. Крім того, вулиця С.Бандери, яка межує із

автомагістраллю Е-95 найбільш завантажена автотранспортом, але проходить околицею міста.

3.2. Визначення рівня забруднення атмосферного повітря чадним газом (CO) розрахунковим методом

Користуючись формулою Бегма-Шаповалова отримали наступні результати:

Показники рівня чадного газу (CO) на вулицях міста Умань (отримані розрахунковим шляхом)

Рівень чадного газу (CO) за розрахунковим методом, мг/м ³															
Дата та час спостережень	01.04.2024			10.04.2024			20.04.2024			30.04.2024			10.05.2024		
	8:00	13:00	18:00	8:00	13:00	18:00	8:00	13:00	18:00	8:00	13:00	18:00	8:00	13:00	18:00
Точка №1	38,5	34,3	32,8	36,2	29,3	33,2	27,0	31,3	37,8	29,8	31,7	37,0	34,1	29,4	35,2
Точка №2	21,9	25,9	28,8	31,8	24,4	29,4	27,6	21,4	30,0	23,1	22,3	29,1	21,9	22,5	26,8
Точка №3	36,5	44,5	31,4	49,8	34,3	46,6	47,4	39,7	43,6	56,2	46,3	52,0	39,8	32,5	44,7
Точка №4	20,6	32,5	31,2	21,4	27,2	28,2	31,1	30,2	34,0	27,6	32,9	47,4	31,3	25,5	26,4
Точка №5	14,5	14,2	17,9	16,4	13,6	15,7	14,5	13,2	14,4	12,9	14,6	16,2	13,1	12,9	15,3
Точка №6	12,5	10,2	14,9	11,4	9,9	13,7	13,8	11,2	14,4	11,9	12,6	14,3	9,8	10,0	13,1
Точка №7	17,2	14,4	15,2	14,6	12,1	16,0	12,5	13,0	15,1	12,7	12,9	13,8	17,0	14,2	15,9

Таким чином, за результатами обрахунків можна зробити висновок, що від завантаженості вулиць автотранспортом прямо пропорційно залежить і забруднення атмосферного повітря чадним газом. Найбільш завантажена вулиця С.Бандери – розрахунковий рівень забруднення від 31,4 до 56,2 мг/м³ за середнього розрахункового рівня 25,4 мг/м³.

Гранично-допустиме значення чадного газу для атмосферного повітря міст становить 5 мг/м³. Якщо порівняти це з розрахованим значенням, то різниця становить майже 5 разів. Отже рівень забруднення чадним газом повітря м. Умань надзвичайно високий.

3.3. Визначення рівня забруднення атмосферного повітря чадним газом (CO) експериментально-польовим методом

Крім розрахункового методу, існує можливість моніторингу забруднення атмосферного повітря м. Умань за допомогою спеціального приладу. Нами був проведений такий моніторинг і визначені рівні забруднення (табл. 3.2).

Показники рівня чадного газу (CO) на вулицях міста Умань (отримані експериментально-польовим методом)

Рівень чадного газу (CO) за експериментально-польовим методом, мг/м³																
Дата та час спостережень	01.04.2024			10.04.2024			20.04.2024			30.04.2024			10.05.2024			
	8:00	13:00	18:00	8:00	13:00	18:00	8:00	13:00	18:00	8:00	13:00	18:00	8:00	13:00	18:00	
Точка №1	26	22	29	33	21	27	25	25	27	24	18	24	24	21	26	
Точка №2	30	28	26	29	23	25	21	25	30	23	25	28	27	23	28	
Точка №3	30	33	26	39	28	36	37	31	35	44	37	41	32	27	35	
Точка №4	16	26	25	17	22	22	25	24	27	21	27	35	25	20	21	
Точка №5	17	21	23	25	20	23	21	17	26	19	18	23	18	17	21	
Точка №6	9	8	12	10	9	11	11	9	12	10	9	12	9	8	11	
Точка №7	14	11	13	12	10	14	10	10	12	11	11	12	14	11	13	
Точка №8	11	11	14	13	11	12	12	11	12	10	12	12	11	11	12	

Таким чином, результати експериментально-польового моніторингу забруднення повітря чадним газом дещо відрізняються від розрахункових. Це можна пояснити тим, що м. Умань все таки не є великим мегаполісом і інтенсивність руху автотранспорту по внутрішньо міським вулицям дещо менша ніж в обласних центрах. Виняток становлять лише вулиці Степана Бандери та Дерев'янка, які співпадають з автомагістралями державного значення.

Загальне середнє забруднення досліджуваних вулиць м. Умань становить 19 мг/м^3 , що менше від розрахункового рівня на $6,4 \text{ мг/м}^3$. Але, все рівно, це високий рівень забруднення. За норми 5 мг/м^3 перевищення становить 14 мг/м^3 .

Вулиці з найвищими показниками забруднення визначеними експериментально-польовим методом ті самі: Степана Бандери, Європейська, Незалежності, Дерев'янка та Індустріальна.

Вулиці з наявністю великих паркувальних майданчиків – Захисників України (біля ТЦ «Епіцентр») та Велика Фонтанна (біля ТЦ «Сільпо») мають рівень забруднення атмосферного повітря чадним газом в середньому $17,7 \text{ мг/м}^3$ при нормі 5 мг/м^3 .

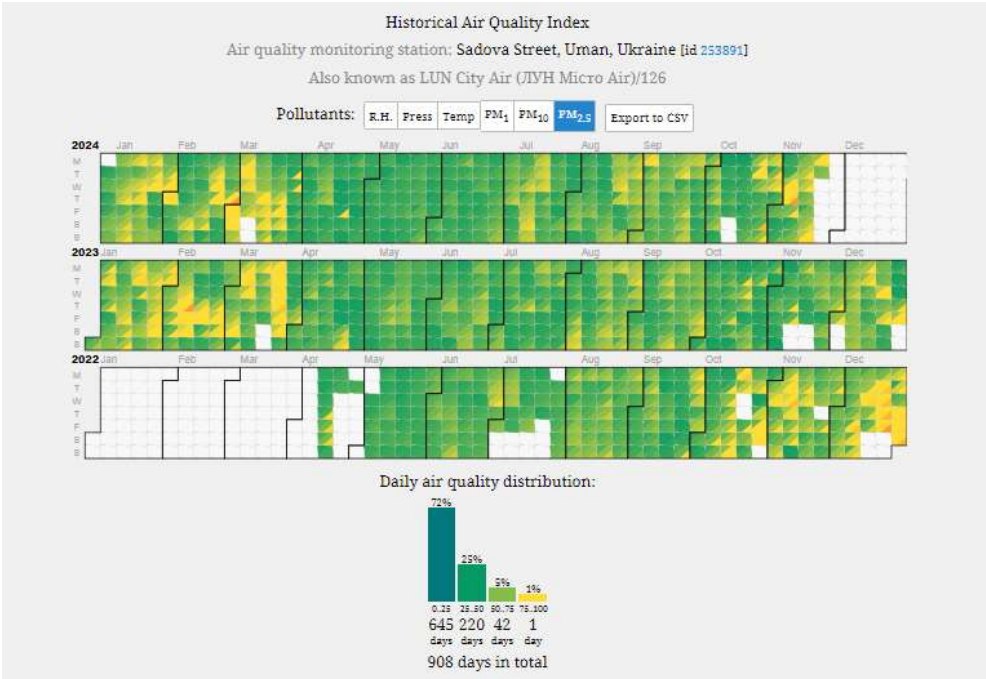
Отже, автотранспорт, як є найбільшим забруднювачем атмосферного повітря м. Умань. Слід зазначити, що в умовах переходу до ринкової економіки необхідність постійного збільшення автотранспортних перевезень обумовила зростання до 50–80 % внеску відпрацьованих газів (зокрема і чадного газу) у забруднення атмосферного повітря міст, а відтак – і збільшення ризику для здоров'я населення.

3.4. Моніторинг рівня пилового навантаження в м. Умань

В місті розміщена стаціонарна станція моніторингу за станом атмосферного повітря (вул. Садова). Дана станція входить до мережі станцій ГО Eco City. На сьогодні за кількістю станцій ця платформа є найбільшою мережею громадського моніторингу якості повітря в Україні [34]. Результати даного

моніторингу фіксуються і на платформі Airnet проєкту World Air Index (Всесвітнього індексу якості повітря – Air Quality Index, China).

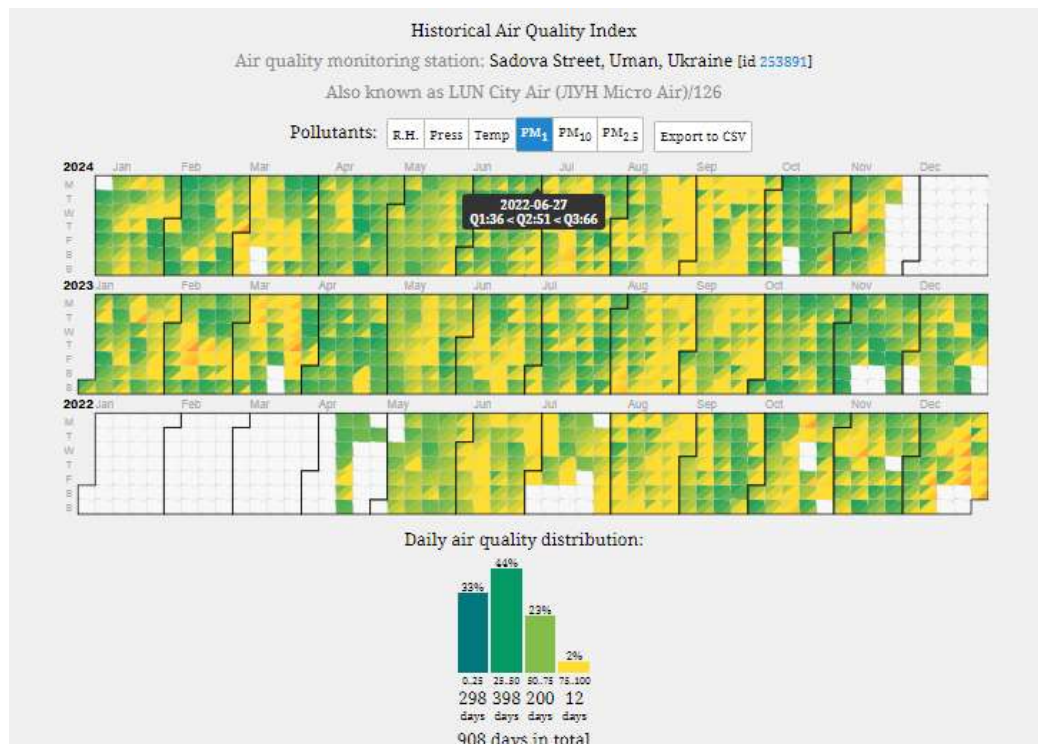
Отже, згідно результатів спостереження, висвітлених на платформі Airnet, рівень забруднення атмосферного повітря пилом в межах м. Умань представлений на рис. 1 (А, Б, В).



А



Б



В

Рис. 3.3. Рівень забруднення атмосферного повітря пилом (Air Quality Index) в межах м. Умань (А – частинки пилу розміром до 1 мкм (PM1), Б – частинки пилу розміром до 10 мкм (PM10), В – частинки пилу розміром до 2,5 мкм (PM2,5))

Частинки пилу поділяються на різні фракції залежно від їхніх розмірів. Частинки, розмір яких менший за 1 мікрометр (PM1), досягають альвеол та потім можуть потрапляти в кровоносну систему. Частинки з розміром близько 2,5 мікрометра (PM2,5) проникають глибше і можуть досягти легень під час дихання. Частинки з розміром до 10 мікрометрів (PM10) можуть затримуватися в носі та горлі. Вони є особливо небезпечними і здатні глибоко проникати в легені. Збільшення концентрації таких частинок у тілі людини корелює з підвищенням рівня смертності серед населення.

Згідно моніторингу індексу якості повітря проблема запилення повітря в м. Умань є актуальною. Особливо, це стосується пилу, розмір частинок якого 1 та 2,5.

Щоб пом'якшити проблему запилення атмосферного повітря у містах, часто пропагується використання міської рослинності як ефективного засобу зниження концентрації пилу у повітрі, так, як дерева (і рослинність загалом) мають здатність очищати повітря шляхом фільтрації забруднюючих речовин. Листя рослин поглинають газоподібні забруднюючі речовини, крім того, тверді частинки видаляються з повітря шляхом осідання на листках і гілках [35, 36].

РОЗДІЛ 4.

ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА

Для розрахунку економічних витрат на моніторинг якості повітря в місті Умань ми скористаємося типовими категоріями витрат та врахуємо основні компоненти, які необхідні для встановлення та обслуговування системи моніторингу. Урахуємо капітальні витрати, поточні витрати та витрати на персонал.

Розрахунки економічних витрат на моніторинг якості повітря в м. Умань:

1. Капітальні витрати. Придбання та встановлення моніторингового обладнання: для визначення рівня забруднення атмосферного повітря необхідно встановити датчики та моніторингові станції. Кожна автоматична моніторингова станція коштує приблизно 500 000 грн. Для покриття міста потрібно мінімум 3 станції.

Капітальні витрати = 500,000 грн. $\times$ 3 станції = 1,500,000 грн.

Інфраструктурні витрати (монтаж та підключення): для підключення обладнання до електромереж, забезпечення зв'язку та установки програмного забезпечення необхідно витратити додатково 10% від вартості обладнання.

Інфраструктурні витрати = $10\% \times 1,500,000$ грн. = 150,000 грн.

2. Поточні витрати. Зарплата персоналу: для обслуговування системи моніторингу потрібно 2 технічних працівники. Зарплата одного працівника складає приблизно 12 000 грн. на місяць. Витрати на зарплату за рік:

Зарплата персоналу = $2 \text{ чоловіки} \times 12,000 \text{ грн./міс} \times 12 \text{ міс} = 288,000 \text{ грн./рік}$.

Експлуатаційні витрати: включають витрати на електроенергію, матеріали для обслуговування та калібрування обладнання. Вартість на рік складає 50 000 грн.

Експлуатаційні витрати = 50,000 грн./рік

3. Адміністративні витрати. Організаційні витрати: витрати на управління системою, підготовку звітності, комунікацію з громадськістю та адміністрацією. Оцінюється в 30 000 грн. на рік.

Організаційні витрати = 30,000 грн./рік.

4. Загальні витрати на рік. Для визначення загальних витрат на рік необхідно скласти всі категорії витрат.

Загальні витрати на рік = Капітальні витрати + Поточні витрати + Адміністративні витрати = 1,500,000 грн. + 288,000 грн. + 50,000 грн. + 30,000 грн. = 1,868,000 грн./рік.

Таблиця 4.1.

Економічні витрати на моніторинг якості повітря в м. Умань

Категорія витрат	Сума (грн.)
Капітальні витрати	1,500,000
Придбання та встановлення обладнання	1,500,000
Інфраструктурні витрати	150,000
Поточні витрати	
Зарплата персоналу	288,000
Експлуатаційні витрати	50,000
Адміністративні витрати	30,000
Загальні витрати на рік	1,868,000

Оцінка економічних вигод:

Оцінка економічних вигод від покращення якості повітря передбачає зниження витрат на лікування захворювань, пов'язаних із забрудненням, зниження соціальних витрат та покращення продуктивності праці.

- Зниження витрат на медичні послуги: Забруднення повітря спричиняє ряд захворювань, таких як хвороби дихальних шляхів, серцево-судинні захворювання. За оцінками, щорічні витрати на лікування цих захворювань можуть складати близько 5 млн. грн. Зниження рівня забруднення повітря завдяки моніторингу дозволяє зекономити 10–20% цих витрат.

Економія на медичних витратах = $10\% \times 5,000,000 = 500,000$ грн./рік.

- Зниження витрат на непрацездатність. Забруднення повітря також впливає на продуктивність праці, що може призводити до зростання витрат на лікарняні та зниження ефективності праці. За оцінками, ці витрати можуть

становити до 2 млн. грн. на рік. Зниження рівня забруднення дозволить знизити ці витрати на 5-10%.

Економія на витратах через непрацездатність = $5\% \times 2,000,000 = 100,000$ грн./рік.

- Екологічні та соціальні вигоди: Покращення екологічної ситуації в місті зменшує витрати на очищення води та ґрунтів, сприяє підвищенню якості життя. Вартість цих вигод можна оцінити в додаткові 300 000 грн. на рік.

Загальний економічний ефект

Загальний економічний ефект = Економія на медичних витратах + Економія на витратах через непрацездатність + Екологічні та соціальні вигоди = $500,000$ грн. + $100,000$ грн. + $300,000$ грн. = $900,000$ грн./рік = $500,000$.

На основі розрахунків, можна зробити висновок, що загальні витрати на моніторинг якості повітря в місті Умань складають 1868000 грн. на рік. Проте економічні вигоди від покращення якості повітря, що включають зниження витрат на медичні послуги, зменшення витрат на непрацездатність та екологічні вигоди, оцінюються в 900,000 грн. на рік.

Таким чином, проведення моніторингу якості повітря є економічно доцільним заходом, оскільки вигоди від зниження забруднення перевищують витрати на його реалізацію та підтримку.

ВИСНОВКИ

1. Основним складовим вихлопних газів автомобілів в місті є окис вуглецю (CO).

2. В м. Умань згідно містобудівного плану простежується центрична радіально-кільцева структура всієї території, а дві вулиці взагалі є продовженням двох головних автомагістралей.

3. В залежності від завантаженості вулиці автотранспортом, відрізняється і кількість викидів у атмосферу шкідливих речовин. Вул. Європейська та Незалежності є одними із головних транспортних артерій міста, тому кількість автомобілів на ній найбільша. Крім того, вулиця с, Бандери, яка межує із автомагістраллю Е-95 найбільш завантажена автотранспортом, але проходить околицею міста.

4. Таким чином, за результатами обрахунків можна зробити висновок, що від завантаженості вулиць автотранспортом прямо пропорційно залежить і забруднення атмосферного повітря чадним газом. Найбільш завантажена вулиця С.Бандери – розрахунковий рівень забруднення від 31,4 до 56,2 мг/м³ за середнього розрахункового рівня 25,4 мг/м³.

Гранично-допустиме значення чадного газу для атмосферного повітря міст становить 5 мг/м³. Якщо порівняти це з розрахованим значенням, то різниця становить майже 5 разів. Отже рівень забруднення чадним газом повітря м. Умань надзвичайно високий.

6. Загальне середнє забруднення досліджуваних вулиць м. Умань становить 19 мг/м³, що менше від розрахункового рівня на 6,4 мг/м³. Але, все рівно, це високий рівень забруднення. За норми 5 мг/м³ перевищення становить 14 мг/м³. Вулиці з найвищими показниками забруднення визначеними експериментально-польовим методом ті самі: Степана Бандери, Європейська, Незалежності, Дерев'янка та Індустріальна.

7. Вулиці з наявністю великих паркувальних майданчиків – Захисників України (біля ТЦ «Епіцентр») та Велика Фонтанна (біля ТЦ «Сільпо») мають рівень забруднення атмосферного повітря чадним газом в середньому 17,7 мг/м³ при нормі 5 мг/м³.

8. Згідно моніторингу індексу якості повітря проблема запилення повітря в м. Умань є актуальною. Особливо, це стосується пилу, розмір частинок якого 1 та 2,5.

ПРОПОЗИЦІЇ

Отже, найбільшим забруднювачем атмосферного повітря м. Умань є окис вуглецю (CO) та пил. Для вирішення екологічних проблем, спричинених забрудненням повітря автомобілями, необхідно систематично та всебічно впроваджувати заходи, що базуються на пріоритетних цілях, контролюючи фактори вплив, стан дорожньої транспортної системи та стан екосистеми. Рекомендації місцевому самоврядуванню: фінансувати заходи пов'язані з покращенням стану атмосферного повітря, зокрема щодо покращення стану доріг міста.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Данилевич Я. Б., Денисов В. Я. Системні рішення проблем екологічної безпеки автотранспортного комплексу, як метод покращення екологічної ситуації у мегаполісах. Доп. IV Міжнар. наук.-практ. конф. «Автотранспорт: від екологічної політики до щоденної практики». К.: ЦУЛ, 2015.
2. Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В., Говорун А.Г., Корпач А.О., Мержиєвська Л.П. Екологія та автомобільний транспорт: навч. посібник. Вид. 2-ге, [перероб. та доп.]. К.: Вид-во "Арістей", 2008.
3. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища: [Навчальний посібник]. К.: Т-во «Знання», 2007. С. 166-182.
4. Seto K. C., Guneralp B., and Hutyra L. R. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, 2022. 109. P. 16083–16088.
5. Горбачов П.Ф., Холодова О.О. Аналіз забруднення повітря транспортними потоками. *Автомобільний транспорт*: [зб. наук. праць]. Х.: ХНАДУ, 2018. Вип. 22. С. 77-81.
6. Архіпова Г. І., Ткачук І. С., Глушков Є. І. Аналіз впливу відпрацьованих автомобільних газів на стан атмосферного повітря в густонаселених районах. *Вісник НАУ*. 2019. № 1.
7. Русіло П.О., Костюк В.В., Афонін В.М. Вплив на довкілля автомобільного транспорту на всіх стадіях його життєвого циклу. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. Вип.18.3. С.85-89.
8. Клименко В. Г., Цигічко О.Ю. Забруднення атмосферного повітря: навч. посібник. Харків: ХНУім.В.Н.Каразіна, 2020. 127 с.
9. Kusumaningtiar, Devi & Vionalita, Gisely. AIR POLLUTION OF CARBON MONOXIDE: A CASE STUDY ON CITY TRAFFIC JAM. *Pollution Research*. 2020. 39 p.
10. Geurts D., Schreurs B., Petetrs M. Mananing Euro 1V: Cost – Effective Solution for Emission– Busting Technology. *Engine Technology International*. 2018. Vol. 2. P. 23–26.

11. Столяренко Г.С. Екологічні аспекти вирішення проблеми зниження токсичності відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згорання. *Екологічний вісник*. 2020. № 3. С. 7-10.
12. Козак Ф.В., Мельник В.М. Про методи зниження токсичності відхідних газів автомобільних двигунів внутрішнього згорання. *Журнал «Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ»*. ІФТУНГ. 2022. № 3(44). С. 121–127.
13. Колесник С.І. Статистичне визначення обсягів забруднення атмосферного повітря автомобільним транспортом. *Статистика України*. 2022. № 3. С. 22- 24.
14. Хижняк М.І., Нагорна А.М. Здоров'я людини та екологія. К.: Вища школа, 2010. 143с.
15. Harper A., Croft-Baker J. Carbon monoxide poisoning/: undetected. *Age and Ageing*. 2022. 33 (2): 105–109.
16. Dutheil F, Baker JS, Navel V. *Environmental pollution (Barking, Essex)*, 263 (Pt A), 2020. P. 114–466.
17. He J, Gong S, Yu Y, Yu L, Wu L, Mao H, Song C, Zhao S, Liu H, Li X, Li R. Air pollution characteristics and their relation to meteorological conditions during 2014– 2015 in major Chinese cities. *Environmental Pollution*. 2017 (223). P. 484–496.
18. Бєлоконь К. В., Єрмоєнко В. О., Полив'яна А. К., Ригас Т. Є. Оцінка ризику для здоров'я населення внаслідок забруднення довкілля автотранспортом. 6-й Міжнародний молодіжний конгрес “Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. Львів: Західно-Український Консалтинг Центр, 2021. С. 305.
19. Фоменко Г. Р. Транспортні потоки та їхній вплив на рівень забруднення міських магістралей, *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*, 2020. N. 31 (70), ч. 2, № 3, С. 119–123.
20. Данилевич Я. Б. Системні рішення проблем екологічної безпеки автотранспортного комплексу, як метод покращення екологічної ситуації у

мегаполісах. Доп. IV Міжнар. наук.-практ. конф. «Автотранспорт: від екологічної політики до щоденної практики». К: ЦУЛ, 2015. С. 26–31.

21. Бабій В. Ф., Худова В. М., Кондратенко О. Є. Нагальні проблеми впливу сучасного автотранспорту на довкілля. *Гігієна населених місць*: зб. наук. пр., 2021. Вип. 58, С. 53–60,

22. Чернишов О. Вплив транспорту на екологію міста. Аналіз та стратегії для України. Харків, Україна, 2017. URL: <https://ucn.org.ua/wp-content/uploads/2017/02/transport>

23. Baidourela A., Zhayimu K. Patterns of dust retention by urban trees in oasis cities. *Nature Environment and Pollution Technology*, 2020. 14(1). P. 53–57.

24. Vanegas S., Trejos E.M., Aristizábal B.H., Pereira G.M., Hernández J.M., Murillo J.H., Ramírez O., Amato F., Silva L.F.O., Rojas N.Y., et al. Spatial Distribution and Chemical Composition of Road Dust in Two High-Altitude Latin American Cities. *Atmosphere*, 2021. 12. P. 1109.

25. Faisal M., Wu Z., Wang H., Hussain Z., Azam M.I. Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in the Urban Road Dust of Zhengzhou Metropolis, China. *Atmosphere*, 2021. 12. P. 1213.

26. Aguilar Y., Bautista F., Quintana P., Aguilar D., Trejo-Tzab R., Goguitchaichvili A., Chan-Te R. Color as a New Proxy Technique for the Identification of Road Dust Samples Contaminated with Potentially Toxic Elements: The Case of Mérida, Yucatán, México. *Atmosphere*, 2021. 12. P. 483.

27. Kim M.-S., Kim J.-Y., Park J., Yeon S.-H., Shin S., Choi J. Assessment of Pollution Sources and Contribution in Urban Dust Using Metal Concentrations and Multi-Isotope Ratios (^{13}C , $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$) in a Complex Industrial Port Area, Korea. *Atmosphere*, 2021. 12. P. 840.

28. Sun S., Zheng N., Wang S., Li Y., Hou S., Song X., Du S., An Q., Li P., Li X., et al. Source Analysis and Human Health Risk Assessment Based on Entropy Weight Method Modification of $\text{PM}_{2.5}$ Heavy Metal in an Industrial Area in the Northeast of China. *Atmosphere*, 2021. 12. P. 852.

29. Сагайдак Д.А., Боголюбов В.М. Аналіз систем моніторингу атмосферного повітря в місті Києві. *Екологічні науки*, 2024. № 1(52), Том 1. С. 51–58.
30. Слободянюк А. О., Гарсія Камачо Ернан Улліанодт, Сільва Рубіо Луїс Антоніо, Васильківський І. В. Дослідження аерозольного забруднення Вінниці. *Тези XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ*, Вінниця, 14–23 березня 2018 р., 2018. С. 5.
31. Fitz D.R., Bumiller K. Characterization of PM10 Emission Rates from Roadways in a Metropolitan Area Using the SCAMPER Mobile Monitoring Approach. *Atmosphere*, 2021. 12. P. 1332.
32. Умань. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Умань#Транспорт>
33. Васенко О. Г., Рибалова О. В., Артем'єв С. Р. Інтегральні та комплексні оцінки стану навколишнього природного середовища: монографія. Харків, Україна: НУГЗУ, 2015.
34. Worldwide Air Quality. AirNet Sensor Network. URL: <https://aqicn.org/station/>
35. Beckett K.P., Freer-Smith P.H., Taylor G. Particulate pollution capture by urban trees: effect of species and windspeed. *Global Change Biology*. 2020. 6(8). P. 995–1003.
36. Freer-Smith P.H., Beckett K.P., Taylor G. Deposition velocities to *Sorbus aria*, *Acer campestre*, *Populus deltoides* X *trichocarpa* 'Beaupre', *Pinus nigra* and X *Cupressocyparis leylandii* for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment. *Environmental Pollution*, 2021. 133 (1). P. 157–167.

ДОДАТКИ