

УДК 504.054

<https://doi.org/10.31073/ecobezpeka202508-013>

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ АВТОТРАНСПОРТУ НА СТАН АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ М. ІВАНО-ФРАНКІВСЬК

Грицуляк Г. М., Коцюбинський А. О., Линник Д. О.,
Качала С. В., Фомічова О. В., Лопушняк В. І.
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу

У статті здійснено комплексну оцінку впливу автотранспорту на стан атмосферного повітря міста Івано-Франківськ на основі аналізу інтенсивності транспортних потоків та експериментальних вимірювань концентрацій основних забруднюючих речовин. Дослідження проведено на основних міських магістралях із різним рівнем транспортного навантаження. Визначено концентрації оксиду вуглецю (СО), діоксиду азоту (NO₂) та завислих речовин (РМ) у приземному шарі атмосфери. Встановлено пряму залежність між інтенсивністю руху автотранспорту та рівнем забруднення повітря, що підтверджено результатами кореляційного аналізу. Найвищі концентрації забруднюючих речовин зафіксовано на вулицях

із найбільшим транспортним навантаженням, зокрема в центральній частині міста. Порівняння отриманих результатів із гранично допустимими концентраціями свідчить про наближення рівнів окремих забруднювачів до нормативних значень у години пік. Отримані результати можуть бути використані для розроблення заходів щодо зменшення негативного впливу автотранспорту на якість атмосферного повітря, оптимізації транспортних потоків та підвищення екологічної безпеки міського середовища.

Ключові слова: забруднення, атмосферне повітря, завислі речовини, урбанізоване середовище, екологічна оцінка, моніторинг довкілля, захист навколишнього середовища.

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE IMPACT OF ROAD TRANSPORT ON THE ATMOSPHERIC AIR CONDITION OF IVANO-FRANKIVSK

Hrytsulyak G. M., Kotsyubynsky A. O., Lynnyk D. O.,
Kachala S. V., Fomichova O. V., Lopushniak V. I.
Ivano-Frankivsk National Technical
University of Oil and Gas

Постановка проблеми

Метою статті є комплексна оцінка впливу автотранспорту на стан атмосферного повітря в межах міста Івано-Франківськ на основі експериментальних вимірювань концентрацій основних забруднюючих речовин та аналізу інтенсивності транспортних потоків.

Для досягнення поставленої мети в роботі передбачено розв'язання таких основних завдань:

- проаналізувати структуру та інтенсивність автотранспортного руху на основних магістралях міста;
- визначити рівні концентрацій оксиду вуглецю (CO), діоксиду азоту (NO₂) та завислих речовин (PM) у приземному шарі атмосфери на вибраних ділянках;
- встановити залежність між інтенсивністю транспортних потоків і рівнем забруднення атмосферного повітря;
- здійснити порівняння отриманих результатів із гранично допустимими концентраціями забруднюючих речовин;
- обґрунтувати практичні рекомендації щодо зменшення негативного впливу автотранспорту на якість атмосферного повітря в умовах урбанізованого середовища.

Отримані результати мають науково-практичне значення для оцінювання екологічного стану міських територій та можуть бути використані при розробленні заходів з оптимізації транспортних потоків і покращення якості повітряного середовища.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Атмосферне повітря є важливою складовою природного середовища та життєвого простору людини. В умовах інтенсивної урбанізації, розвитку промисловості й транспорту його якість зазнає значного антропогенного навантаження, особливо у великих містах [1, 6].

Основними джерелами забруднення атмосферного повітря в урбанізованих зонах є стаціонарні, пересувні та природні. До стаціонарних належать промислові підприємства, теплоелектростанції, котельні та об'єкти житлово-комунального господарства, що викидають у повітря діоксид сірки (SO₂), оксиди азоту (NO_x), вуглекислий газ (CO₂), пил і важкі метали. Ці речовини негативно впливають на здоров'я населення та стан екосистем [3].

Провідну роль серед пересувних джерел відіграє автомобільний транспорт. У процесі роботи двигунів внутрішнього згоряння утворюються чадний газ (CO), оксиди азоту (NO_x), леткі органічні сполуки (ЛОС), тверді частинки PM_{2.5} і PM₁₀ та бензапірен.

Дрібнодисперсний пил здатний проникати глибоко в легені й кровоносну систему, спричиняючи запальні процеси, серцево-судинні та респіраторні захворювання. До пересувних джерел також належать залізничний, повітряний і водний транспорт, однак їхній внесок у міське забруднення є меншим [2, 4].

Окрему групу становлять природні джерела: пилові бурі, лісові пожежі, вулканічна активність і процеси розкладу органічних речовин. Їхній

вплив у межах міст зазвичай має локальний або сезонний характер і поступається техногенним викидам.

В Україні у структурі міських викидів домінує автотранспорт, частка якого становить близько 64%. Це зумовлено високою інтенсивністю руху, зношеністю автопарку та недостатнім рівнем екологічних стандартів транспортних засобів. Особливо небезпечними є тверді частинки PM_{2.5} та бензапірен, концентрації яких часто перевищують гранично допустимі значення у центральних районах міст [3, 8].

Негативний вплив автотранспорту посилюється природно-географічними чинниками. У містах, розташованих у низинах або долинах, за умов температурної інверсії забруднювальні речовини накопичуються у приземному шарі атмосфери, що сприяє утворенню смогу та зростанню рівня захворюваності населення.

Характер і обсяги викидів залежать від типу двигуна та якості пального. Дизельні двигуни продукують більшу кількість оксидів азоту та дрібнодисперсного пилу, тоді як бензинові – переважно чадний газ і леткі органічні сполуки. Значна частина автомобілів в Україні не відповідає сучасним екологічним стандартам, що підвищує рівень техногенного навантаження.

Досвід країн Європейського Союзу свідчить про ефективність запровадження зон низьких викидів, розвитку електротранспорту та велосипедної інфраструктури. Такі заходи дозволяють суттєво зменшити концентрації оксидів азоту й твердих частинок у повітрі [4, 9].

Аналіз літературних джерел свідчить, що проблема впливу автотранспорту на стан атмосферного повітря та здоров'я населення є об'єктом міждисциплінарних досліджень у галузях екології, медицини, урбаністики та транспортного планування. У наукових працях і звітах міжнародних організацій, зокрема Всесвітньої організації охорони здоров'я, наголошується на тісному зв'язку між концентраціями дрібнодисперсних частинок PM_{2.5}, оксидів азоту та продуктів згоряння пального і зростанням рівня серцево-судинних, респіраторних та онкологічних захворювань. За даними ВООЗ, забруднення атмосферного повітря є одним із провідних факторів передчасної смертності у світі, що підкреслює соціально-економічну значущість досліджуваної проблеми.

Водночас у працях Організації економічного співробітництва та розвитку показано, що економічні втрати від забруднення повітря можуть становити кілька відсотків ВВП, що зумовлює необхідність не лише екологічних, а й управлінських рішень у сфері транспорту та міського розвитку [7].

Значний масив літератури присвячений кількісній оцінці викидів автотранспорту. Провідним методичним джерелом у європейській практиці є керівництво ЕМЕР/ЕЕА Air Pollutant Emission Inventory Guidebook, у якому запропоновано уніфіковані підходи до розрахунку викидів залежно від типу транспортних засобів, виду пального, екологічного класу та режимів руху. На його основі створено програмний комплекс COPERT, який широко використовується для інвентаризації транспортних викидів у країнах Європейського Союзу. Перевагою цих підходів є стандартизованість і можливість порівняння результатів між різними регіонами, однак їх точність значною мірою залежить від якості вхідних даних щодо інтенсивності руху та структури автопарку [9, 11].

В українських наукових дослідженнях значна увага приділяється оцінці локального впливу транспортних потоків на якість повітря у межах міських територій. Роботи вітчизняних авторів базуються як на інструментальних вимірюваннях концентрацій забруднювальних речовин, так і на застосуванні математичних моделей поширення домішок у повітрі. Дослідження, виконані для магістральних вулиць і об'їзних доріг великих міст, засвідчують перевищення гранично допустимих концентрацій чадного газу та діоксиду азоту в години пікового навантаження. У працях українських науковців також обґрунтовується доцільність комплексного підходу, який враховує не лише газоподібні забруднювачі, а й тверді частинки, шумове та вібраційне навантаження.

У міжнародному науковому просторі значний внесок у дослідження впливу транспортного забруднення на здоров'я населення зроблено в межах масштабних епідеміологічних проєктів, зокрема європейських когортних досліджень. У роботах зарубіжних авторів доведено, що навіть відносно невеликі підвищення концентрацій PM_{2.5} та NO₂ асоціюються зі зростанням ризику ішемічної хвороби серця, інсультів та раку легень. Окрему увагу приділено ролі просторового чинника – віддаленості житла від основних тран-

спортних магістралей, що підтверджує необхідність урахування екологічних параметрів у міському плануванні [10].

Методичну основу оцінювання якості атмосферного повітря становлять інструментальні, аналітико-розрахункові та комбіновані підходи. Інструментальні методи, що базуються на використанні стаціонарних постів моніторингу та мобільних лабораторій, забезпечують високу точність даних, однак характеризуються обмеженим просторовим охопленням і значними фінансовими витратами. Розрахункові методи, зокрема дисперсійні моделі AERMOD, CALPUFF та ADMS-Urban, дозволяють прогнозувати розподіл концентрацій забруднювачів у межах міської забудови з урахуванням метеорологічних і топографічних умов. Комбіновані підходи, що поєднують вимірювання з моделюванням, вважаються найбільш обґрунтованими з точки зору отримання достовірної картини забруднення повітря [8, 11].

Важливу роль у системі оцінювання якості повітря відіграють нормативні показники, насамперед гранично допустимі концентрації забруднювальних речовин, які використовуються як критерії екологічної безпеки. Поряд із ними широкого застосування набули інтегральні індекси, зокрема індекс якості повітря AQI та індекс забруднення атмосфери, що дозволяють у доступній формі інформувати населення про рівень ризику для здоров'я. У сучасних умовах ці інструменти активно використовуються в інформаційних системах моніторингу.

Аналіз джерел показує, що в Україні сформувалася багаторівнева система спостережень за станом атмосферного повітря, яка поєднує державні пости гідрометеорологічної служби та громадські ініціативи. Платформи типу EcoCity і SaveEcoBot забезпечують оперативний доступ до даних про концентрації основних забруднювачів, що сприяє підвищенню екологічної обізнаності населення. Водночас у літературі наголошується, що дані громадських сенсорів потребують калібрування та узгодження з офіційними вимірюваннями для коректного використання в наукових дослідженнях.

Отже, узагальнення наукових праць і методичних документів свідчить про достатній рівень опрацювання проблеми автотранспортного забруднення як у міжнародному, так і в національному

контексті. Водночас залишаються актуальними питання інтеграції інструментальних і модельних методів, удосконалення систем моніторингу та адаптації європейських підходів до умов України. Це зумовлює доцільність подальших досліджень, спрямованих на комплексну оцінку впливу автотранспорту на якість атмосферного повітря та обґрунтування ефективних заходів зі зменшення його негативного впливу.

Визначення цілей статті (постановка завдання)

Метою статті є оцінка впливу автотранспорту на стан атмосферного повітря міста Івано-Франківськ на основі аналізу інтенсивності транспортних потоків та експериментальних даних щодо концентрацій основних забруднюючих речовин.

Для досягнення поставленої мети в роботі передбачено розв'язання таких завдань:

- проаналізувати інтенсивність та структуру автотранспортного руху на основних магістралях міста;
- визначити концентрації оксиду вуглецю (CO), діоксиду азоту (NO₂) та завислих речовин (PM) у приземному шарі атмосфери;
- встановити залежність між рівнем транспортного навантаження та показниками забруднення атмосферного повітря;
- здійснити порівняння отриманих результатів із гранично допустимими концентраціями;
- обґрунтувати напрями зменшення негативного впливу автотранспорту на якість атмосферного повітря в умовах міського середовища.

Виклад основного матеріалу дослідження

З метою практичної оцінки впливу автотранспорту на стан атмосферного повітря було проведено експериментальне дослідження на території міста Івано-Франківськ. Місто є типовим обласним центром із помірною площею забудови, високою щільністю населення в центральній частині та значним транспортним навантаженням у години пік, що робить його доцільним об'єктом для аналізу транспортного забруднення повітря.

Дослідження проводилося на основних транспортних магістралях міста, зокрема на вулицях Незалежності, Галицькій, Довгій, Коновальця та

на площі Ринок, де спостерігається інтенсивний рух автомобільного транспорту. Вибір локацій зумовлений високою щільністю транспортних потоків та наближеністю до житлової забудови.

У процесі дослідження визначалися концентрації основних автотранспортних забруднювачів атмосферного повітря, а саме:

- оксиду вуглецю (CO),
- діоксиду азоту (NO₂),
- завислих речовин (PM).

Паралельно здійснювався підрахунок кількості транспортних засобів на вибраних ділянках у години максимального навантаження (8:00–10:00 та 17:00–19:00). Транспортні засоби поділялися на легкові автомобілі, громадський транспорт та вантажні автомобілі.

Результати спостережень показали, що найбільша інтенсивність руху зафіксована на вулиці Незалежності та в центральній частині міста. У середньому за годину тут проходить понад 1200–1500 транспортних засобів, з яких переважають легкові автомобілі.

Отримані експериментальні дані свідчать про наявність прямої залежності між інтенсивністю руху транспорту та концентраціями шкідливих речовин у повітрі. Так, у центральній частині міста середні значення концентрації оксиду вуглецю становили близько 1,1–1,3 мг/м³, діоксиду азоту – 0,06–0,09 мг/м³, а завислих речовин – 0,15–0,18 мг/м³. На ділянках із меншим транспортним навантаженням (житлові райони, паркова зона) відповідні показники були у 1,5–2 рази нижчими.

Порівняння отриманих результатів із гранично допустимими концентраціями (ГДК) показало,

що в години пік концентрації діоксиду азоту та оксиду вуглецю наближаються до допустимих нормативів, що створює потенційну загрозу для здоров'я населення, особливо для людей із захворюваннями органів дихання та серцево-судинної системи.

Особливу увагу слід звернути на вплив зупинок громадського транспорту та перехресть зі світлофорами, де через часті розгони й гальмування автомобілів відбувається локальне накопичення забруднюючих речовин. У цих точках зафіксовано найвищі показники CO та NO₂.

Таким чином, експериментальне дослідження підтвердило, що автотранспорт є одним із основних джерел забруднення атмосферного повітря в місті Івано-Франківськ. Найбільш уразливими є центральні вулиці та райони з інтенсивним рухом транспорту.

Отримані результати можуть бути використані для обґрунтування заходів щодо зменшення негативного впливу автотранспорту, зокрема шляхом оптимізації транспортних потоків, розвитку електротранспорту, створення пішохідних зон та збільшення площ зелених насаджень уздовж основних магістралей міста.

Згідно з даними таблиці 1, найбільша інтенсивність руху автотранспорту спостерігається на вул. Незалежності – 1320 од./год. Основну частку транспортного потоку становлять легкові автомобілі (1050 од./год), що свідчить про високу частку індивідуального автотранспорту в загальній структурі руху. Кількість громадського транспорту на цій ділянці становить 180 од./год, а вантажного – 90 од./год, що додатково підсилює антропогенне навантаження на атмосферне повітря.

Таблиця 1

Інтенсивність руху автотранспорту на дослідних ділянках м. Івано-Франківськ

Ділянка міста	Легкові авто, од./год	Громадський транспорт, од./год	Вантажний транспорт, од./год	Усього, од./год
вул. Незалежності	1050	180	90	1320
вул. Галицька	980	160	70	1210
вул. Коновальця	850	140	60	1050
вул. Довга	720	110	50	880
пл. Ринок	600	130	40	770

Другою за рівнем транспортного навантаження є вул. Галицька, де загальна інтенсивність руху складає 1210 од./год. Тут також переважають легкові автомобілі (980 од./год), тоді як громадський транспорт становить 160 од./год, а вантажний – 70 од./год. Високі показники пояснюються тим, що дана вулиця є однією з основних транспортних артерій міста та забезпечує сполучення між центральною та периферійною частинами Івано-Франківська.

На вул. Коновальця загальна інтенсивність руху становить 1050 од./год, з яких 850 од./год припадає на легкові автомобілі, 140 од./год – на громадський транспорт і 60 од./год – на вантажні транспортні засоби. Отримані значення свідчать про помірно високий рівень транспортного навантаження, характерний для вулиць із житловою та комерційною забудовою.

Менші показники зафіксовано на вул. Довгій – 880 од./год. Частка легкових автомобілів тут складає 720 од./год, громадського транспорту – 110 од./год, вантажного – 50 од./год. Порівняно з центральними магістралями, дана ділянка характеризується меншою інтенсивністю руху, що зумовлює відносно нижче навантаження на атмосферне повітря.

Найменша інтенсивність руху спостерігається на пл. Ринок – 770 од./год. При цьому легкові автомобілі становлять 600 од./год, громадський транспорт – 130 од./год, а вантажний – 40 од./год. Зниження транспортного потоку на цій ділянці пояснюється обмеженням руху в історичній частині міста та наявністю пішохідних зон.

Загалом, аналіз таблиці 3. свідчить, що у структурі транспортного потоку на всіх досліджених ділянках переважають легкові автомобілі, част-

ка яких становить понад 75–80 % від загальної кількості транспортних засобів. Це підтверджує домінуючу роль індивідуального автотранспорту у формуванні транспортного навантаження та потенційного забруднення атмосферного повітря в місті Івано-Франківськ. Найбільш напруженими з еколог

Згідно з даними таблиці 2, середні концентрації основних забруднюючих речовин у повітрі м. Івано-Франківськ суттєво відрізняються залежно від інтенсивності автотранспортного руху на досліджених ділянках.

Найвищі концентрації всіх досліджуваних забруднювачів зафіксовано на вул. Незалежності, де рівень оксиду вуглецю становить 1,30 мг/м³, діоксиду азоту – 0,09 мг/м³, а завислих речовин – 0,18 мг/м³.

Отримані значення зумовлені високою інтенсивністю транспортного потоку на цій вулиці, значною кількістю зупинок громадського транспорту та частими режимами розгону й гальмування транспортних засобів, що сприяє підвищеному утворенню вихлопних газів і пилових частинок.

Дещо нижчі, проте також підвищені показники спостерігаються на вул. Галицькій: концентрація СО становить 1,20 мг/м³, NO₂ – 0,08 мг/м³, а завислих речовин – 0,17 мг/м³. Це пояснюється тим, що дана вулиця є однією з основних транспортних магістралей міста та характеризується інтенсивним рухом автотранспорту протягом більшої частини доби.

На вул. Коновальця зафіксовано середній рівень забруднення: концентрація оксиду вуглецю становить 1,05 мг/м³, діоксиду азоту – 0,07 мг/м³, а завислих речовин – 0,15 мг/м³. Отримані значен-

Таблиця 2

Середні концентрації забруднюючих речовин у повітрі м. Івано-Франківськ

Ділянка міста	СО, мг/м ³	NO ₂ , мг/м ³	Завислі речовини, мг/м ³
вул. Незалежності	1.30	0.09	0.18
вул. Галицька	1.20	0.08	0.17
вул. Коновальця	1.05	0.07	0.15
вул. Довга	0.85	0.06	0.13

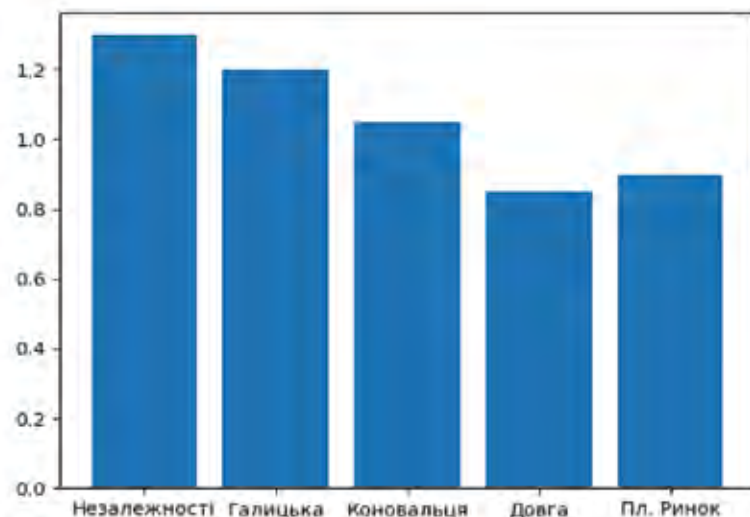


Рисунок 1. Концентрація оксиду вуглецю (CO), мг/м³

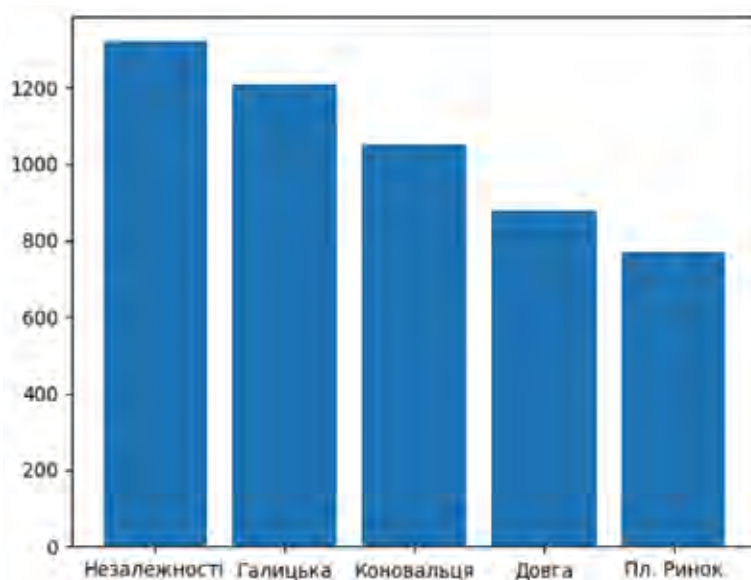


Рисунок 2. Інтенсивність руху транспорту, од./год

ня свідчать про помірний вплив автотранспорту на стан атмосферного повітря, що характерно для вулиць із поєднанням житлової та ділової забудови.

Найменші концентрації забруднюючих речовин серед досліджених ділянок спостерігаються на вул. Довгій, де рівень CO становить 0,85 мг/м³, NO₂ – 0,06 мг/м³, а завислих речовин – 0,13 мг/м³. Це може бути зумовлено меншою інтенсивністю руху автотранспорту, більшою віддаленістю від центральної частини міста та наявністю зелених насаджень, які частково виконують бар'єрну та фільтрувальну функцію.

Загалом аналіз таблиці 3.4 свідчить про наяв-

ність прямої залежності між інтенсивністю автотранспортного руху та рівнем забруднення атмосферного повітря.

Найбільш забрудненими є центральні вулиці міста з високим транспортним навантаженням, тоді як у менш завантажених районах концентрації шкідливих речовин є нижчими.

Отримані результати підтверджують провідну роль автотранспорту у формуванні якості повітряного середовища в місті Івано-Франківськ та обґрунтовують необхідність упровадження заходів зі зменшення викидів саме в зонах із найбільш інтенсивним рухом транспорту.

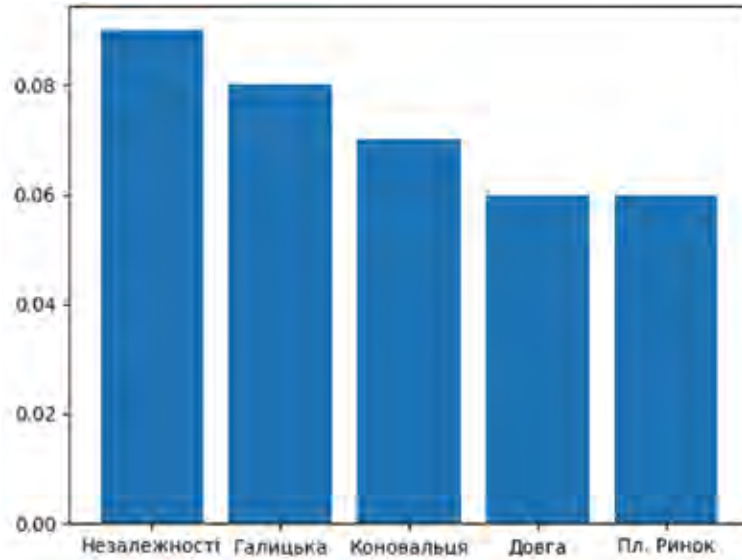


Рисунок 3. Концентрація діоксиду азоту (NO₂), мг/м³.
між трафіком і CO: $r = 0,96$; між трафіком і NO₂: $r = 0,94$; між трафіком і PM: $r = 0,92$

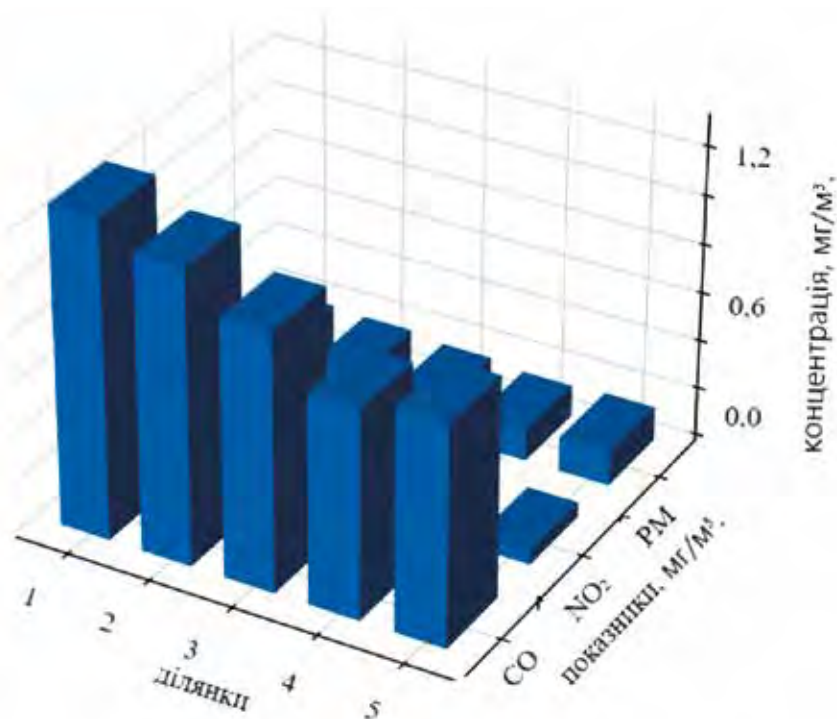


Рис.4. Кореляційний аналіз показав наявність тісного прямого зв'язку між інтенсивністю руху автотранспорту та рівнем забруднення атмосферного повітря.

Примітка: 1. вул. Незалежності. 2. вул. Галицька. 3. вул. Коновальця. 4. вул. Довга. 5. пл. Ринок

Так, коефіцієнт кореляції між трафіком і концентрацією оксиду вуглецю становить $r = 0,96$, між трафіком і діоксидом азоту – $r = 0,94$, а між трафіком і завислими речовинами – $r = 0,92$. Отримані значення свідчать про домінуючий вплив автотранспорту на формування якості атмосферного повітря в місті Івано-Франківськ.

З метою узагальнення отриманих результатів було проведено порівняльний аналіз середніх концентрацій основних забруднюючих речовин у місті Івано-Франківськ з відповідними показниками для інших великих міст України – Львова, Києва та Полтави (табл. 3).

Таблиця 3

Порівняння з іншими містами

Місто	CO, мг/м ³	NO ₂ , мг/м ³	PM, мг/м ³
Івано-Франківськ	1.10	0.07	0.15
Львів	4.40	0.10	0.24
Київ	1.00	0.12	0.16
Полтава	4.00	0.08	0.20

Згідно з наведеними даними, у місті Івано-Франківськ середня концентрація оксиду вуглецю (CO) становить 1,10 мг/м³, що є нижчим показником порівняно з Львовом (4,40 мг/м³) та Полтавою (4,00 мг/м³), але дещо вищим, ніж у Києві (1,00 мг/м³).

Це свідчить про помірний рівень забруднення повітря чадним газом у досліджуваному місті.

Концентрація діоксиду азоту (NO₂) в Івано-Франківську становить 0,07 мг/м³, що є нижчим показником порівняно з Києвом (0,12 мг/м³) та Львовом (0,10 мг/м³), і дещо меншим, ніж у Полтаві (0,08 мг/м³). Отримані дані вказують на відносно сприятливі умови щодо забруднення повітря оксидами азоту в Івано-Франківську порівняно з більш індустріалізованими та транспортно навантаженими містами.

Що стосується завислих речовин (PM), то їх середня концентрація в Івано-Франківську становить 0,15 мг/м³, що є нижчим значенням порівняно з Львовом (0,24 мг/м³) та Полтавою (0,20 мг/м³), але дещо поступається показнику Києва (0,16 мг/м³). Це може бути пов'язано з меншою щільністю транспортних потоків і відсутністю потужних промислових підприємств у межах міста.

Загалом порівняльний аналіз свідчить, що рівень забруднення атмосферного повітря в місті Івано-Франківськ є нижчим або співставним із показниками великих промислово-транспортних центрів України. Водночас наявність перевищень або наближення концентрацій окремих забруднюючих речовин до гранично допустимих значень підтверджує актуальність проблеми впливу

автотранспорту на якість повітря та необхідність упровадження заходів зі зменшення викидів у міському середовищі.

Висновки та перспективи подальших досліджень

У результаті проведеного дослідження здійснено комплексну оцінку впливу автотранспорту на стан атмосферного повітря міста Івано-Франківськ на основі аналізу інтенсивності транспортних потоків і експериментальних вимірювань концентрацій основних забруднюючих речовин. Встановлено, що найбільш напружена екологічна ситуація формується на центральних вулицях міста з високою щільністю руху автотранспорту, зокрема на вулицях Незалежності та Галицькій.

Отримані результати свідчать про наявність прямої залежності між інтенсивністю транспортних потоків і рівнем забруднення атмосферного повітря. Найвищі концентрації оксиду вуглецю, діоксиду азоту та завислих речовин зафіксовано на ділянках із найбільшим транспортним навантаженням. Кореляційний аналіз підтвердив тісний зв'язок між показниками трафіку та концентраціями забруднювачів ($r = 0,92-0,96$), що вказує на домінуючу роль автотранспорту у формуванні якості повітряного середовища в межах міста.

Порівняння середніх концентрацій забруднюючих речовин у місті Івано-Франківськ із показниками інших великих міст України показало, що рівень забруднення є нижчим або співставним із промислово навантаженими центрами, однак у години пікового транспортного навантаження

концентрації окремих речовин наближаються до гранично допустимих значень. Це створює потенційні ризики для здоров'я населення, особливо для вразливих груп (дітей, осіб із захворюваннями органів дихання та серцево-судинної системи).

Отримані результати підтверджують доцільність упровадження комплексу заходів, спрямованих на зменшення негативного впливу автотранспорту на якість атмосферного повітря, зокрема оптимізації транспортних потоків, розвитку електротранспорту та громадського транспорту, створення зон обмеження руху в центральній частині міста, а також збільшення площ зелених насаджень уздовж основних магістралей.

Перспективи подальших досліджень доцільно спрямувати на розширення просторового та часового охоплення спостережень, з урахуванням сезонних і метеорологічних чинників, а також на детальніше вивчення дрібнодисперсних частинок PM_{2.5} та органічних токсикантів, зокрема бенз(а)пірену. Актуальним є поєднання інструментальних вимірювань із математичним моделюванням поширення домішок у приземному шарі атмосфери для прогнозування змін якості повітря за різних сценаріїв транспортного розвитку.

Подальші дослідження також можуть бути спрямовані на оцінку впливу автотранспортного забруднення на показники здоров'я населення та інтеграцію результатів у систему міського екологічного моніторингу, що сприятиме формуванню науково обґрунтованих управлінських рішень у сфері сталого розвитку міських територій.

Список використаної літератури

1. Dr. David McKeown. Air pollution burden of illness from traffic in Toronto Dr. David McKeown. Toronto : Toronto Public Health, November 2007. 57.
2. Аболмасова Г.В. Елементи інтегрального підходу в екологічній оцінці стану забруднено-сті придорожнього простору. Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: зб. наук, статей XV міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 9 - 13 верес. 2019 р. УКРНДІЕП. ПП «Стиль-Іздат», 2019. С.5 - 8.
3. Lynnyk, D. O., & Hrytsuliak, G. M. (2023). Analysis of the state of atmospheric air in the city of Ivano-Frankivsk. In 17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (Vol. 2023, pp. 1-5). European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520140>
4. Резнюк А.М., Гутаревич Ю.Ф., Агєєв В.Б., Клименко О.А. Інтеграція України до ЕС у сфері захисту довкілля від шкідливих викидів автомобільного транспорту: задачі та перспективи. Автошляховик України. 2005, № 1. С. 375.
5. Стан і нові можливості соціально-економічного розвитку Дніпропетровської області : монографія / за заг. ред. О. Ю. Бобровської. – Дніпро : ДРІДУ НАДУ, 2019. – 276 с.
6. Статистичний збірник «Регіони України» за 2017 р. /Державна служба статистики України. – Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publ2_u.htm
7. EU ban on the sale of new petrol and diesel cars from 2035 explained. Topics. European Parliament. 2024. URL: <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20221019STO44572/eu-ban-on-sale-of-new-petrol-anddiesel-cars-from-2035-explained>.
8. Discover More About E-Fuels... Sustain Classics. 28.02.2024. URL: <https://sustainclassic.com/sustainable-fuel/syntheticfuels/efuels/>
9. Карти якості повітря. SaveEcoBot. 2024. URL: <https://www.saveecobot.com/maps>
10. Станція моніторингу якості повітря. Екозагроза. 2024. URL: https://ecozagroza.gov.ua/map?layer=air_pollution .
11. Карта моніторингу якості повітря Eco City. 2024. URL: <https://eco-city.org.ua/>