

© М. С. Галактіонов, аспірант,  
ORCID: 0009-0006-7949-5713,  
e-mail: nikolay@galaktionov.com;  
© В. І. Бредун, канд. техн. наук, доцент,  
ORCID: 0000-0002-8214-3878  
(Національний університет  
«Полтавська політехніка  
імені Юрія Кондратюка»)

© Mykola Halaktionov, Postgraduate,  
ORCID: 0009-0006-7949-5713,  
e-mail: nikolay@galaktionov.com;  
© Viktor Bredun, PhD,  
Associate Professor,  
ORCID: 0000-0002-8214-3878  
(National University  
«Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»)

## ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ АВТОТРАНСПОРТУ НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ІСНУЮЧИХ ПРОГНОЗНИХ МОДЕЛЕЙ

### DETERMINING THE IMPACT OF MOTOR VEHICLES ON ATMOSPHERIC AIR USING EXISTING PREDICTIVE MODELS

**Анотація.** За останні роки забруднення повітря автотранспортом стає дедалі серйознішою екологічною проблемою, особливо у великих промислових містах, таких як Кривий Ріг, постійне збільшення кількості транспортних засобів, і промислова діяльність значно впливають на якість повітря. Незважаючи на те, що в таких районах постійно проводиться моніторинг якості повітря, точна оцінка прямого впливу автотранспорту залишається неоднозначною. Особливістю автомобільного забруднення є складний і мінливий характер викидів транспортних засобів, на які впливають такі фактори, як тип транспортних засобів, тип палива, щільність руху та погодні умови. Варто зазначити, що автомобільне забруднення створює унікальну проблему: шкідливі забруднюючі речовини, присутні в випускних газах, викидаються в приземні шари, де відбувається основна діяльність людини.

Для оцінки впливу автотранспорту на забруднення повітря використовують різні методи прогнозування, які ґрунтуються на математичних моделях. Ці моделі дають змогу оцінити концентрації забруднювальних речовин в атмосфері на основі різних змінних. У дослідженні, проведеному в Кривому Розі, для детального аналізу розсіювання забруднювальних речовин було визначено конкретні зони з інтенсивним рухом транспорту, зосереджуючись на ключових викидах, таких як оксид вуглецю (CO) і діоксид азоту (NO<sub>2</sub>). У цьому дослідженні використовувалося програмне забезпечення CALRoads View, яке використовує модель CALINE4, і програмне забезпечення EOL Plus, яке реалізує методологію ОНД-86.

Порівнюючи результати цих інструментів моделювання, дослідження встановило розуміння потенційних застосувань кожної моделі для оцінки викидів міських транспортних засобів. Порівняльний підхід не лише покращує розуміння джерел викидів, а й дає змогу ухвалювати більш обґрунтовані рішення щодо управління якістю повітря в міських умовах. Ця стратегія подвійної моделі забезпечує комплексну основу для оцінки впливу автотранспорту на якість повітря, покращуючи здатність розробляти цілеспрямовану та ефективну політику управління якістю повітря у великих містах і промислово розвинених районах.

**Ключові слова:** автотранспорт, атмосферне повітря, викиди забруднювальних речовин, прогнозні моделі, математичні моделі.

**Abstract.** In recent years, air pollution by motor vehicles has become an increasingly serious environmental problem, especially in large industrial cities such as Kryvyi Rih, the constant increase in the number of vehicles, and industrial activities have a significant impact on air quality. Despite the fact that air quality is continuously monitored in such areas, accurate assessment of the direct impact of motor vehicles remains difficult. Vehicle pollution is characterized by the complex and variable nature of vehicle emissions, which are influenced by factors such as vehicle type, fuel type, traffic density and weather conditions. It should be noted that automobile pollution creates a unique problem: harmful pollutants present in exhaust gases are released into the surface layers, where the main human activity takes place.

Various forecasting methods based on mathematical models are used to assess the impact of motor vehicles on air pollution. These models allow estimates of atmospheric pollutant concentrations based on a variety of variables, including the number of vehicles, traffic intensity, vehicle types, fuel characteristics, and meteorological conditions. A study in Kryvyi Rih identified specific areas with heavy traffic for a detailed analysis of pollutant dispersion, focusing on key emissions such as carbon monoxide (CO) and nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>). This study used CALRoads View software, which uses the CALINE4 model, and EOL Plus software, which implements the CIS-86 methodology.

By comparing the results of these modeling tools, the study established an understanding of the potential applications of each model for estimating urban vehicle emissions. A comparative approach not only improves the understanding of emission sources, but also allows for more informed decisions regarding air quality management in urban environments. This dual model strategy provides a comprehensive framework for assessing the impact of motor vehicles on air quality, improving the ability to develop targeted and effective air quality management policies in large cities and industrialized areas.

**Keywords:** motor vehicles, atmospheric air, pollutant emissions, predictive models, mathematical models.

## Вступ

Атмосферне повітря є ключовим середовищем для життя людей, і погіршення його якості через антропогенні фактори негативно впливає на якість життя та здоров'я населення. У промислових містах, таких як Кривий Ріг, якість повітря часто не відповідає встановленим нормам гранично допустимих концентрацій (далі – ГДК) через викиди від підприємств та автотранспорту.

З постійним зростанням кількості автомобілів у містах, викиди від автотранспорту стають домінуючим фактором забруднення повітря. Крім того, збільшення кількості автомобілів посилює навантаження на міську інфраструктуру, призводить до заторів на розв'язках та перехрестях, що, своєю чергою, спричиняє зростання викидів. У зв'язку з цим постає нагальна потреба у проведенні прогнозування викидів для розробки ефективних заходів щодо зменшення забруднення повітря.

**Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій.** Моделювання впливу автомобільного транспорту на навколишнє середовище є важливим інструментом для прогнозування екологічних наслідків, тому його активно вивчають у численних наукових роботах. Для вирішення різноманітних завдань, зокрема прогнозування рівня викидів транспорту, застосовуються різні методологічні підходи та моделі. Ці моделі часто є комплексом багатофакторних математичних рішень, що враховують безліч змінних [1, 2].

Особливу увагу приділяють побудові математичних моделей для оцінки поширення забруднюючих речовин у повітрі. Регресійні моделі, які аналізують вплив автотранспорту на забруднення атмосферного повітря, дають змогу не лише оцінити поточну ситуацію, а й ефективно прогнозувати зміни викидів, враховуючи фактори, такі як інтенсивність трафіку, тип транспортних засобів та умови експлуатації [2, 3].

У низці досліджень активно використовуються статистичні методи прогнозування, що допомагають встановлювати загальні тенденції викидів і їхній взаємозв'язок із параметрами транспортних потоків. Окрім того, поширеним є використання програмних комплексів для моделювання розсіювання забруднювальних речовин у атмосфері, що

дає можливість точно оцінити вплив транспорту на якість повітря в конкретних урбаністичних умовах [4].

З огляду на постійне зростання автомобільного парку та неоднорідну структуру транспортних потоків, інтеграція таких моделей у системи моніторингу є надзвичайно важливою для розробки стратегій зниження негативного впливу на довкілля.

Велике промислове навантаження у місті Кривий Ріг створює значний тиск на стан навколишнього середовища, і викиди від автотранспорту погіршують ситуацію із забрудненням атмосферного повітря. Рівень забруднення часто перевищує встановлені нормативи для окремих речовин, які викидають як підприємства, так і транспортні засоби. При цьому визначити точний внесок автотранспорту до загального рівня забруднення є складним завданням через змішаний характер джерел викидів.

З огляду на це, надзвичайно важливо провести ґрунтовні дослідження та побудувати прогнозні моделі викидів, які дають змогу точно оцінити вплив транспорту на екологічну ситуацію. Розробка комплексних природоохоронних заходів, створення системи моніторингу за викидами автотранспорту, а також належне правове регулювання є ключовими кроками для зменшення екологічних ризиків і захисту здоров'я населення.

Додатково, впровадження новітніх технологій у транспортну інфраструктуру, таких як електротранспорт і сучасні системи контролю викидів, може суттєво покращити екологічну ситуацію та сприяти сталому розвитку міста.

*Метою дослідження є аналіз внеску автотранспорту в загальний рівень забруднення атмосферного повітря Кривого Рогу, а також розробка прогнозної моделі для визначення цього впливу та розроблення заходів щодо зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.*

*Основні завдання дослідження:*

Провести аналіз джерел забруднення атмосферного повітря в м. Кривий Ріг, із викремленням автотранспорту як окремої категорії.

Побудувати модель для прогнозування впливу автотранспорту на якість повітря в різних частинах міста з урахуванням транспортних потоків та умов експлуатації.

Розробити рекомендації щодо комплексних природоохоронних заходів для зменшення впливу автотранспорту на стан атмосферного повітря.

### Основна частина

Автомобільний транспорт є одним із головних чинників забруднення довкілля, особливо повітряного середовища. Для оцінки впливу транспорту на якість повітря широко застосовуються різноманітні моделі прогнозування. Серед основних методів визначення впливу автотранспорту виділяють:

Моделювання викидів або статистичні методи – використання спеціалізованих програмних комплексів для розрахунку кількості шкідливих речовин, що виділяються транспортними засобами.

Емісійні моделі – ці моделі призначені для оцінки кількості викидів забруднювальних речовин транспортними засобами. Основна їхня мета – розрахувати масу шкідливих речовин, що виділяються автотранспортом за певний період часу залежно від заданих параметрів.

Дисперсійні моделі – визначення розподілу забруднювачів у повітряному просторі на основі метеорологічних умов та характеристик джерел викидів.

Транспортні моделі – спрямовані на аналіз транспортних потоків і прогнозування майбутніх змін у транспортних системах з урахуванням трафіку, дорожньої інфраструктури та планування міста.

Методи польових досліджень – проведення вимірювань вмісту забруднювальних речовин безпосередньо на місцевості.

Ці методи дають змогу точно оцінити масштаби та характер впливу автотранспорту на навколишнє середовище.

Моделювання викидів автотранспорту – це процес розрахунку кількості забруднювальних речовин, які виділяються транспортними засобами в атмосферу під час їхньої експлуатації. Для цього використовують спеціалізовані програмні продукти, в яких застосовуються емісійні моделі, що враховують такі фактори, як:

- тип транспортного засобу – різні типи транспорту (легкові автомобілі, вантажівки, автобуси) мають різний рівень викидів;

- технології двигунів і вид пального – дизельні та бензинові двигуни, а також електромобілі, мають відмінності у впливі на навколишнє середовище;

- стан доріг і режими руху – швидкість, зупинки, пробки та інші фактори також впливають на обсяги викидів;

- кількість транспорту – інтенсивність руху транспорту визначає загальну кількість викидів у конкретній місцевості.

Спеціалізовані програми для моделювання викидів автотранспорту, такі як MOVES, EMFAC чи COPERT, дають змогу проводити розрахунки, що допомагають планувати транспортні стратегії з метою зниження забруднення повітря. Вони використовуються для оцінки впливу транспортних засобів на навколишнє середовище, зокрема для розрахунку обсягів викидів забруднювальних речовин і парникових газів. Кожна з цих моделей має свої особливості та використовується в різних регіонах та умовах.

MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator) – модель, розроблена Агентством з охорони довкілля США (EPA) для розрахунку викидів автотранспорту[5].

EMFAC (Emission Factor Model) – модель, розроблена Каліфорнійською радою з охорони повітряних ресурсів (CARB) для оцінки викидів транспортних засобів у штаті Каліфорнія. Вона використовується виключно в межах цього штату і є ключовим інструментом для регулювання якості повітря [6].

COPERT (Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport) – це європейська модель, розроблена під егідою Європейського агентства з довкілля для оцінки викидів автотранспорту в країнах ЄС[7].

COPERT використовує дані ЕМАР (Керівництво ЕМЕП/ЕАОС по інвентаризації викидів 2019) [8] для визначення стандартів і методологій розрахунку викидів, базуючись на європейських екологічних нормах та результатах досліджень ЕМАР. Це дозволяє країнам ЄС ефективно оцінювати вплив транспортних систем на забруднення повітря, формуючи екологічні політики.

ЕМАР є програмою, створеною в рамках Конвенції про трансграничне забруднення повітря на великі відстані, що проводиться під егідою Європейської економічної комісії ООН (UNECE). Вона націлена на моніторинг і

оцінку якості повітря в Європі, забезпечуючи координацію міжнародних зусиль для зниження забруднення повітря.

Результати оцінок впливу від автотранспорту, що визначаються за допомогою програмного інструменту COPERT, представлені на інтерактивній карті викидів Emisia [9].



Рис. 1. Інтерактивна карта викидів Emisia

Для визначення концентрацій забруднюючих речовин в атмосфері використовують різноманітні підходи та методи, включаючи польові вимірювання та математичні моделі.

Польові вимірювання проводяться за допомогою мереж стаціонарних та мобільних станцій моніторингу, які безпосередньо вимірюють концентрації забруднювальних речовин у повітрі. Такі системи забезпечують реальні дані про рівні забруднення, але можуть бути обмежені зоною охоплення, та включати в собі викиди від усіх джерел забруднення таких як промислові викиди та викиди автотранспорту.

Дисперсійні моделі – це математичні моделі, які використовуються для визначення того, як забруднювальні речовини, випущені в атмосферу, розповсюджуються в просторі. Вони дають можливість оцінити концентрації забруднювачів на певній відстані від джерела викидів, з урахуванням таких факторів, як:

- метеорологічні умови – швидкість і напрямок вітру, температура, вологість та наявність опадів впливають на розсіювання забруднювачів;

- топографія місцевості – рельєф (гори, пагорби, рівнини) визначає, як повітряні потоки переміщують забруднювальні речовини;

- тип джерела викидів – різні джерела (наприклад, точкові або лінійні, такі як автомобільні дороги) створюють різні типи забруднення.

Прикладами дисперсійних моделей є CALRoads View (Lakes Environmental) CALINE4, AERMOD (Lakes Environmental)[9], ADMS, EOL+, які використовуються для оцінки впливу дорожнього транспорту на якість повітря в конкретних районах. Ці моделі дають змогу прогнозувати рівні концентрацій забруднювачів у певних точках, що є важливим для планування екологічно безпечної дорожньої інфраструктури та мінімізації впливу на здоров'я людей.

CALRoads View – використовується для моделювання впливу викидів від автотранспорту на якість повітря. Ця програма базується на моделях CALINE4, CAL3QHC і CAL3QHCR.

CALINE4 – модель для оцінки концентрацій викидів від автотранспорту на дорогах. Враховує різні типи дорожніх умов та метеорологічних факторів. Моделі CAL3QHC і CAL3QHCR – це покращені версії CALINE3, які включають можливість моделювання впливу заторів (черг) на концентрації забруднювачів повітря та більш детальне врахування часових змін у метеорологічних умовах і обсягах руху.

AERMOD є моделлю розсіювання атмосферних забруднювачів, розробленою Агентством з охорони навколишнього середовища США (EPA).

ADMS-Roads – модель для моделювання викидів від автотранспорту на міських дорогах і автомагістралях.

EOL+ – це модель, яка заснована на нормативному документі ОНД-86 (методика розрахунку розсіювання шкідливих речовин в атмосферу). ОНД-86 (Організаційно-Нормативний Документ 1986 року)[12] є основним керівництвом для розрахунку розсіювання шкідливих речовин у повітрі, зокрема для промислових підприємств і автотранспорту.

Програма, що базується на ОНД-86, призначена для розрахунку приземних концентрацій від викидів промислових підприємств. Однак через застарілість ОНД-86, його методики можуть не повністю відповідати сучасним екологічним нормативам і вимогам.

Для проведення дослідження в плив автотранспорту на стан забруднення атмосферного повітря нами визначено ділянки з найбільшою інтенсивністю руху в межах міста Кривий Ріг та побудовані моделі розповсюдження забруднюючих речовин.

Було виділено три ділянки з найбільшою інтенсивністю, які перебувають у межах перехресть:

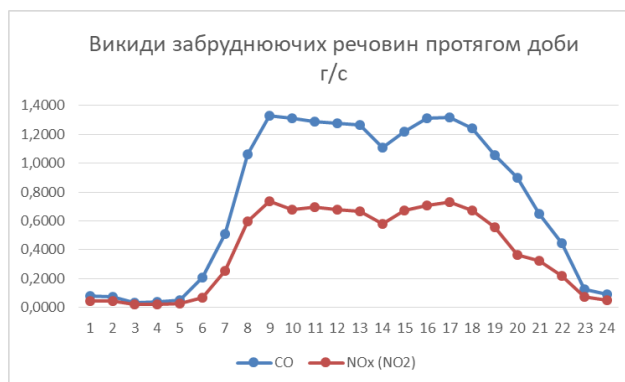
- Кільце 95 кварталу є одним з найжвавіших транспортних розв'язок м. Кривого Рогу, інтенсивність руху на цій ділянці в межах дослідження склала 1258 автомобілів за 20 хв або 3855 одиниць за годину, при цьому рух майже рівномірний з усіх напрямів з великою концентрацією громадського транспорту.

- Вул. Вільної Ічкерії інтенсивність руху на цій ділянці в межах дослідження склала 1548 автомобілів за 20 хв. або 4641 одиниць за годину, при цьому рух майже рівномірний з усіх напрямків з великою концентрацією громадського транспорту.

- Перехрестя просп. Металургів і Нікопольське шосе інтенсивність руху на цій ділянці в межах дослідження склала 1204 автомобілів за 20 хв. або 3609 одиниць за годину, при цьому рух майже рівномірний з усіх напрямків з великою концентрацією громадського транспорту.

Для подальших досліджень визначено речовини, за якими побудовані моделі розповсюдження забруднювальних речовин, діоксид азоту та оксид вуглецю, які належать до найпоширеніших забруднювальних речовин.

Для вказаних речовин значення потужності викидів г/с залежно від добової інтенсивності руху транспортних засобів та побудовано графік залежності [12].



**Рис. 2.** Графік добової інтенсивності руху транспортних засобів

Автошляховик України / Технології захисту навколишнього середовища

На графіку видно, що інтенсивність руху автотранспорту починає збільшуватися з 6 годин ранку до 9 годин ранку, після цього поступово зменшується упродовж дня, а з 14 годин до 18 годин знову починає збільшуватися, після чого знов починає зменшуватися. Пікові години припадають на 9 та 18 годин, коли відбувається переміщення населення в межах міста з дому на роботу та з роботи до дому. Також зі збільшенням кількості автотранспорту починають рости і викиди забруднювальних речовин.

Для визначення впливу автотранспорту було використано програмний комплекс CALRoads View із застосуванням моделі CALINE4. Дану модель було обрано через її високу точність у моделюванні поширення забруднювальних речовин, які виділяються транспортними засобами в межах дорожніх мереж. CALINE4 дає змогу моделювати викиди та їхню концентрацію з урахуванням різноманітних факторів, таких як швидкість вітру, рельєф місцевості, погодні умови та інтенсивність трафіку.

Тип моделі було визначено для напрямку вітру з найгіршою ситуацією, де програма автоматично вибирає напрямок вітру з найбільшою концентрацією забруднювальної речовини.

Розрахунковий майданчик вибраний розміром 3000\*3000 м.

Тип дороги визначено як міський – довжина шорсткості поверхні дорівнює 400. Це міра локальної турбулентності в повітря, яка впливає на розсіювання забруднювальних речовин.

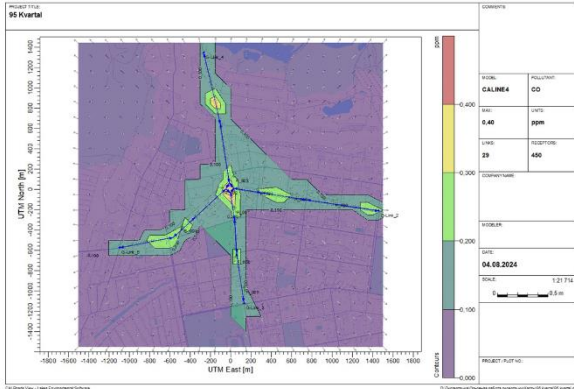
Швидкість вітру на всіх ділянках прийнята 3 м/с.

Температура повітря 20 С.

На цій ділянці дорожнє полотно має по 3 смуги руху в кожному напрямку, що дорівнює 22 м і додатково по 3 м з кожного боку, таким чином зона змішування складає 28 м.

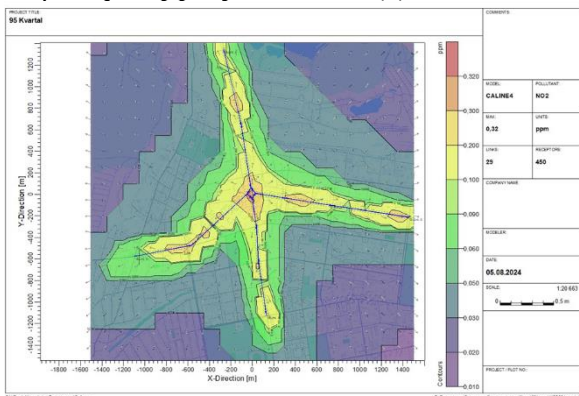
За даними параметрами нами побудовані моделі розповсюдження викидів за оксидом вуглецю CO, та діоксидом азоту NO<sub>2</sub>, визначені найбільші значення концентрацій які перебувають у межах кільця 95 кварталу, вул. Вільної Ічкерії, перехрестя пр. Металургів і Нікопольське шосе та на ділянках, які перебувають у межах інших перехресть. Прилеглих до ділянки досліджень.

Кільце 95 Кварталу – перехрестя з круговим рухом, не обладнане світлофорами. Воно об'єднує центральні проспекти міста, які мають по 3 смуги для руху в кожному напрямку. На даній ділянці спостерігається велика інтенсивність руху легкових автомобілів та громадського транспорту.



**Рис. 3.** Модель розповсюдження CO 95 квартал

Як бачмо, за результатами розрахунків викиди CO не перевищують значень, встановлених ГДК. У межах автодоріг максимальне значення для даної ділянки становить  $0,458 \text{ мг/м}^3$  ( $0,4 \text{ ppm}$ ) або  $0,09 \text{ ГДК}$ .

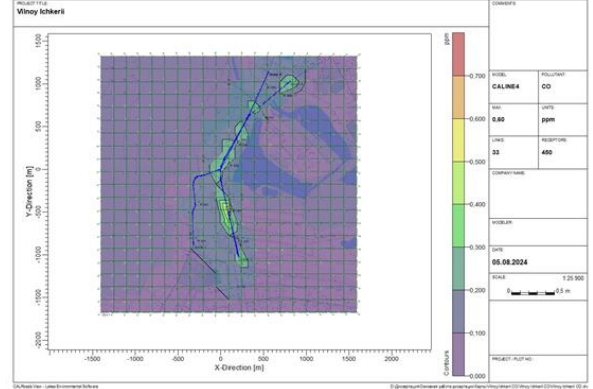


**Рис. 4.** Модель розповсюдження NO<sub>2</sub> 95 квартал

Результати розрахунків викидів NO<sub>2</sub> показують, що значення концентрацій перевищують встановлені ГДК у межах перехрестя, на якому проводилися дослідження. Максимальне значення для даної ділянки складає  $0,61 \text{ мг/м}^3$  ( $0,32 \text{ ppm}$ ) або  $3,04 \text{ ГДК}$ .

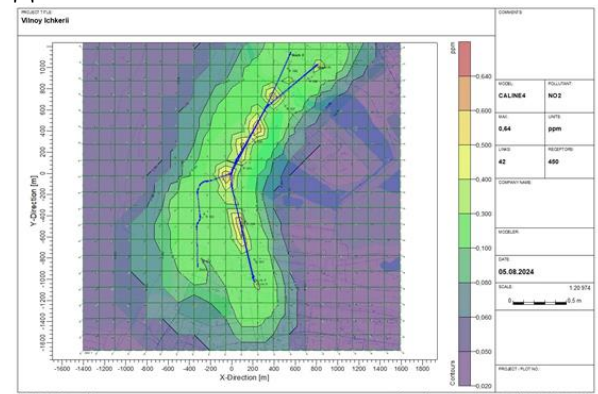
Для ділянки дороги по вул. Вільної Ічкерії також було побудовано модель розповсюдження забруднювальних речовин. Вул. Вільної Ічкерії починається в районі 95 кварталу та закінчується на U-подібному пере-

хресті шахта Артем 1 вул. Володимира Великого та вул. Марійська. Основні дослідження проводились у межах перехрестя з вул. Дарвіна, що є об'їзним шляхом великовантажного транспорту та характеризується великою інтенсивністю руху громадського, легкового та великовантажного транспорту.



**Рис. 5.** Модель розповсюдження CO вул. Вільної Ічкерії

На цій ділянці викиди CO не перевищують значень встановлених ГДК у межах автодоріг. Максимальне значення для даної ділянки становить  $0,687 \text{ мг/м}^3$  ( $0,6 \text{ ppm}$ ) або  $0,14 \text{ ГДК}$ .

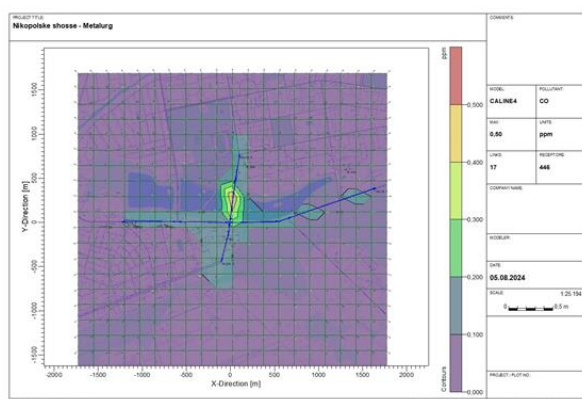


**Рис. 6.** Модель розповсюдження NO<sub>2</sub> вул. Вільної Ічкерії

Результати розрахунків викидів NO<sub>2</sub> показують, що значення концентрацій перевищують встановлені ГДК у межах перехрестя, на якому проводилися дослідження. Максимальне значення для даної ділянки становить  $1,2 \text{ мг/м}^3$  ( $0,64 \text{ ppm}$ ) або  $6,02 \text{ ГДК}$ .

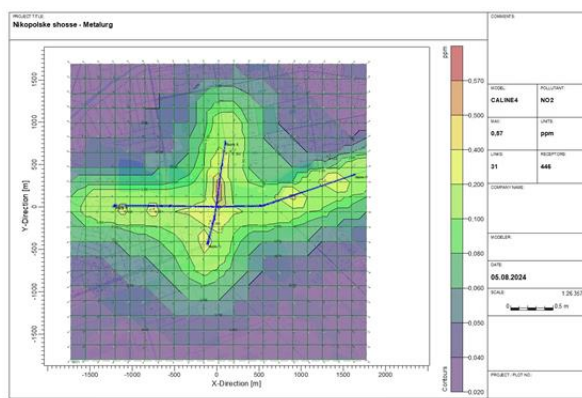
Перехрестя просп. Металургів і Нікопольське шосе – це ділянка, на якій відбувається перетин одного з центральних проспектів міста з об'їзною дорогою, через яку проходять основні транзитні автошляхи Н 23, Н 11, Р 74. Ділянка з великою інтенсивністю

руху громадського, легкового та великовантажного транспорту.



**Рис. 7.** Модель розповсюдження CO перехрестя пр. Металургів і Нікопольського шосе

Як бачмо, за результатами розрахунків викиди CO не перевищують значень встановлених ГДК у межах автодоріг. Максимальне значення для даної ділянки становить  $0,573 \text{ мг/м}^3$  ( $0,5 \text{ ppm}$ ) або  $0,115 \text{ ГДК}$ .



**Рис. 8.** Модель розповсюдження NO<sub>2</sub> перехрестя просп. Металургів і Нікопольського шосе

Результати розрахунків викидів NO<sub>2</sub> показують, що значення концентрацій перевищують встановлені ГДК у межах перехрестя, на якому проводилися дослідження. Максимальне значення для даної ділянки становить  $1,07 \text{ мг/м}^3$  ( $0,64 \text{ ppm}$ ) або  $5,36 \text{ ГДК}$ .

Також, на даних ділянках проведені розрахунки розсіювання забруднювальних речовин у приземному шарі атмосфери з використанням програмного комплексу «ЕОЛ Плюс», який реалізовує методику ОНД-86 «Методика розрахунків концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств».

Максимальні значення концентрацій за результатами розрахунків на ділянках що досліджувались наведені в **табл. 1**.

**Таблиця 1**

Максимальні значення концентрацій

Ділянка дослідження	Забруднювальна речовина	Концентрація, мг/м <sup>3</sup>	Концентрація, частка ГДК
Кільце 95 кварталу	CO	1,9	0,38
	NO <sub>2</sub>	1,09	5,49
Вул. Вільної Ічкерії	CO	2,21	0,44
	NO <sub>2</sub>	1,15	5,75
Перехрестя просп. Металургів і Нікопольського шосе	CO	2,21	0,44
	NO <sub>2</sub>	1,16	5,78

Аналіз результатів розрахунку розсіювання приземних концентрацій забруднювальних речовин показав, що спостерігається перевищення встановлених нормативів екологічної безпеки (ГДК) за діоксидом азоту NO<sub>2</sub>. За іншими речовинами, що присутні у викидах автотранспорту на досліджувальних ділянках, перевищення відсутні.

Варто зауважити, що розрахунок розсіювання забруднювальних речовин у атмосферному повітрі проводився за найгірших метеорологічних умов для кожної розрахункової точки за кожним інгредієнтом з урахуванням одночасного максимально-можливого викиду забруднювальних речовин.

Порівнюючи дві моделі розповсюдження забруднювальних речовин бачимо, що результати розрахунків щодо оксиду вуглецю відрізняються, при цьому викиди діоксиду азоту дуже схожі між собою. Це може бути пов'язано з відмінностями в алгоритмах розрахунків моделей та введених параметрах викиду. Але загалом тенденції розрахунків в обох моделях зберігаються.

### Висновки

За результатами проведених досліджень було встановлено, що вплив на якість атмосферного повітря Кривого Рогу автомобільним транспортом є дуже суттєвим. Із побудованих моделей видно, що викиди CO не

перевищують значень встановлених ГДК у межах автодоріг, але є додатковим фактором забруднення атмосферного повітря, тоді як викиди  $\text{NO}_2$  перевищують встановлені ГДК у межах перехресть на всіх ділянках дослідження.

Для подальших досліджень можуть бути використані обидві методики (як на основі ОНД-86, так і на основі CALINE4). Але ключовою перевагою CALINE4 є її здатність враховувати складні метеорологічні умови та геометрію доріг, що особливо важливо для урбанізованих територій, таких як Кривий Ріг, де велика кількість автомобільних доріг проходить поблизу житлових зон. Крім того, модель ефективно працює з різними типами забруднювальних речовин, такими як оксиди азоту ( $\text{NO}_x$ ) і чадний газ ( $\text{CO}$ ), що робить її універсальним інструментом для аналізу впливу автотранспорту на якість повітря.

Завдяки своїй точності та можливості адаптуватися до конкретних місцевих умов, CALINE4 допомагає не лише оцінювати поточну ситуацію із забрудненням, а й створювати прогнози моделі для розробки ефективних природоохоронних заходів

Так, модель ОНД-86 більше підходить для моделювання розповсюдження викидів від стаціонарних джерел забруднення, таких як промислові підприємства. Модель на основі ОНД-86 також може використовуватися для оцінки впливу автотранспорту, вона розглядає автомобільний транспорт як лінійне джерело викидів. Це дещо обмежує точність

моделювання, оскільки автотранспорт має специфічні динамічні характеристики викидів, що залежать від змін швидкості руху, типу транспортного засобу та інших факторів.

На відміну від CALINE4, яка спеціально розроблена для роботи з лінійними джерелами забруднення, такими як дороги. ОНД-86 не завжди враховує всі особливості руху автотранспорту та метеорологічних умов, що впливають на поширення забруднювальних речовин уздовж транспортних магістралей. Тому, хоча ОНД-86 залишається корисною для загального аналізу забруднення, її точність для оцінки впливу автотранспорту є нижчою порівняно з більш спеціалізованими моделями, такими як CALINE4.

Таким чином, за допомогою моделювання викидів автотранспорту можна проводити оцінки існуючої дорожньої інфраструктури, створювати прогнози моделі для розвитку існуючих і будівництво нових автомобільних доріг і транспортних розв'язок.

Важливість прогнозних моделей полягає у здатності оцінювати майбутні екологічні наслідки за різних сценаріїв розвитку транспортної інфраструктури та трафіку. Вони допомагають передбачати, як зміни в дорожньому русі, типах транспортних засобів або регуляторних заходах можуть вплинути на рівень забруднення повітря. Це дає змогу своєчасно розробляти стратегії для зменшення викидів, підвищувати ефективність міських екологічних ініціатив і мінімізувати ризики для здоров'я мешканців.

## References

1. V. S. Babkov, T. Yu. Tkachenko. (2011). Analysis of mathematical models of impurity diffusion from point sources. Scientific works of the Donetsk National Technical University. Series: Informatics, cybernetics and computer technology, 13, 147-155.
2. Petrosian A., Maremukha T., Morhulova V. (2020). Comparative analysis of modeling averaged concentrations of pollutants in the atmospheric surface layer. Young Scientist, 7, 83. Retrieved from <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-7-83-2>.
3. X. Wang et al. (2022). Apportionment of Vehicle Fleet Emissions by Linear Regression, Positive Matrix Factorization, and Emission Modeling. Atmosphere, 13, 7, 1066. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/atmos13071066>
4. Tatarchenko, H. (2022). Theoretical aspects of modeling the growth of turbulent speech in the atmosphere. Location and territorial planning, 79, 381-395. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2022.79.381-395>
5. EPA. (2024). MOVES and Related Models. EPA. Retrieved from <https://www.epa.gov/moves/latest-version-motor-vehicle-emission-simulator-moves>.
6. MSEL. (2024). On-Road (EMFAC). California Air Resources Board. Retrieved from <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/msei/on-road-emfac>.
7. COPERT. (2024). COPERT The industry standard emissions calculator. Retrieved from <https://copert.emisia.com/>.
8. European Environment Agency. (2019). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 Technical guidance to prepare national emission inventories. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/www/ru/publications/rukovodstvo-emeep-eaos-po-inventarizacii-vybrosov-2019>
9. EMISIA. (2024). Emissions report overview. Retrieved from <https://emissions-map.emisia.com/>.
10. Lakes Software. (2024). Software products. Retrieved from <https://www.weblakes.com/software/>.
11. USSR. (1986). ОНД-86 «Методика расчёта концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий» [ОНД-86 "Methodology for calculating the concentration of harmful substances in the atmospheric air contained in the emissions of enterprises"]. State Committee for Hydrometeorology of the USSR, № 192.
12. Halaktionov M., Bredun V. (2024). Infrastructural features of the city of Kryvyi Rih as an additional factor influencing the impact of motor vehicles on the environment. Bulletin of the Khmelnytskyi National University. Series: Technical Sciences, 339, 4, 310-315. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-339-4-49>