

УДК 504

Кондрич К.А., здобувач; Роман Л.Ю., к.х.н., доц.

МОДЕЛЮВАННЯ ВМІСТУ СО У АТМОСФЕРНОМУ ПОВІТРІ ВІД ВИКИДІВ АВТОТРАНСПОРТУ У МІСТІ УЖГОРОД

*ДВНЗ «Ужгородський національний університет», 88000,**м. Ужгород, вул. Підгірна 46**e-mail: kondrych.karina@student.uzhnu.edu.ua*

Забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту у містах набуло масового характеру та з кожним роком збільшується, що становить неабияку загрозу для здоров'я населення. Особливо небезпечним є карбон(II)оксид, який згубно впливає на живі організми.

Робота присвячена моделюванню вмісту карбон(II)оксиду у повітряному басейні м. Ужгород з використанням математичних розрахунків, на основі кількості транспортних засобів та кліматичних характеристик місцевості. Дослідження проведено у центральній частині міста на перехрестях з інтенсивним рухом та різним типом регулювання: кільцеве, регульоване світлофорами та нерегульоване, зі зниженою швидкістю. Встановлено, що у час-пік, а саме з 8:00 до 9:00 к.ч., у всіх досліджуваних місцях спостерігається високий рівень інтенсивності руху автомобільних транспортних засобів: від 831 до 1453 авто на годину. На основі отриманих результатів розраховано, що концентрація СО перевищує нормовані значення у 2,87-5,34 рази та становить 14,37 – 26,68 мг/м³. Серед основних причин даного явища є: обмеженість пропускної здатності вуличної мережі міста, відсутність достатньої кількості паркомісць (створюються затори), скупчення транспорту, зниження інтенсивності руху, тощо. Для покращення ситуації необхідним є комплексний підхід з використанням екосистемного підходу: правильне озеленення територій, створення нових (підземних) паркомісць, розвиток інфраструктури міста, тощо.

Ключові слова: транспортні засоби, автодороги, місто Ужгород, карбон(II)оксид, повітряне середовище, якість повітря.

Загальновідомим є факт, що якість атмосферного повітря є одним з головних чинників, що впливають на стан здоров'я населення [1, 2]. Відповідно до даних ВООЗ [3] (Всесвітньої організації охорони здоров'я) забруднення повітря є основним чинником захворюваності та смертності у світі, з якими пов'язано близько 3,7 млн. передчасних смертельних випадків у рік: 80% - це ішемічні хвороби серця та інсульт; 14% - хронічні обструктивні хвороби легень та гострих інфекцій верхніх дихальних шляхів. Тому контроль якості атмосферного повітря є важливою екологічною складовою кожної держави.

Екологічна проблема забруднення повітря триває десятиліттями та носить не локальний, а глобальний характер [4]. Щоденно атмосферне повітря забруднюється як природним шляхом, так і внаслідок

антропогенної діяльності людини. Техногенні чинники (стаціонарні джерела забруднення) у поєднанні з автотранспортом (пересувні джерела забруднення) складають особливу небезпеку для об'єктів довкілля, і, в першу чергу, для повітряного басейну [5-7]. Щорічно в повітря України виділяється більше 17 млн. тон забруднюючих речовин, неорганічної (оксиди карбону, нітрогену, сульфур, пил, тощо) та органічної природи (формальдегід, метан, бенз(а)пірен, тощо) [8]. Третина цих викидів (6,5 млн. тон) належить автотранспортним засобам.

З підвищенням рівня урбанізації стан навколишнього середовища різко погіршився, особливо для великих міст [9], де спостерігається значне збільшення кількості автотранспортних засобів. Проте дана проблема характерна не тільки для великих міст чи автомагістралей мегаполісів. Вона

гостро постає і на автомобільних дорогах загального користування, на яких відбувається щоденний інтенсивний рух транспортних засобів [10]. Специфіка автомобілів (особливо легкових) проявляється у низькому розташуванні та просторової розподіленості. Відтак, пересувні джерела забруднення повітряного басейну міста створюють стійкі зони з підвищеним вмістом домішок [11, 12].

Вплив автотранспорту на якість атмосферного повітря – об'єкт численних наукових досліджень [4-7, 11], але окремі праці, присвячені якості атмосферного повітря малим непромисловим містам [13].

Мета дослідження: оцінка рівня забруднення атмосферного повітря від викидів автотранспорту у місті Ужгород на перехрестях з інтенсивним рухом з

використанням розрахункових методів (на прикладі розрахунку вмісту CO).

По всій території Закарпатської області у забрудненні атмосферного повітря більшу частку становлять викиди автомобільних транспортних засобів. Сумарний обсяг таких забруднень сягає 39,8 тис.тонн/рік (93,43%) від загального 42,6 тис.тонн/рік [14, 15]. Основним джерелом забруднення повітряного басейну м. Ужгорода також є автотранспорт. Серед основних причин цього можна виділити обмеженість пропускної здатності вуличної мережі невеликого міста, скупчення транспорту, зниження інтенсивності руху, тощо. Варто відмітити, що довкола Ужгорода є об'їзна дорога (Е 50, рис. 1.), що значно зменшує кількість авто, які рухаються через місто, особливо вантажівок.



Рис. 1. Карта м. Ужгород з об'їзними дорогами (Googlemaps).

Моніторинг якості атмосферного повітря в м. Ужгород щорічно здійснює Закарпатський центр з гідрометеорології [16] на двох стаціонарних постах спостереження: у адміністративно-житловому кварталі міста (проспект Свободи, 2) та у промисловому

районі (вулиця Паризької Комуни, 2). За результатами спостережень [15] виявлено, що серед числа п'яти основних забруднювачів міста є карбон(II) оксид. Індекс забруднення за цим показником у 2023 році становив 0,33

(розраховано за результатами досліджень на стаціонарних постах спостережень).

Експериментальна частина

Моделювання вмісту CO у повітряному басейні міста Ужгород проведено з

використанням розрахункового методу [17, 18]. Для дослідження було обрано центральні вулиці міста, з різними типами перехресть (табл. 1, рис. 1) та на яких відсутні стаціонарні пости спостереження або SaveEcoBot.

Таблиця 1. Перелік досліджуваних ділянок з інтенсивним рухом автотранспорту у м. Ужгород

№ перехрестя	Назва вулиць	Характеристика типу перехрестя
I	вул.Минайська / вул. Грушевського	кільцеве
II	вул. Швабська / вул. Мукачівська	регульоване світлофорами
III	площа Корятовича/ вул.Фединця	кільцеве
IV	вул. Академіка Шпеніка / вул.Дайки	кільцеве
V	Словянська набережна /вул. Лінтура	нерегульоване, зі зниженою швидкістю

На даних ділянках найчастіше створюються затори та скупчення машин. Найменша концентрація карбон(II)оксиду викидається в атмосферу за швидкості автомобіля в межах 70-75 км/год [10]. Із зменшенням швидкості до меж 0-30 км/год концентрація карбон(II)оксиду у викидах збільшується у 2,2 рази. Із підвищенням швидкості до 80 км/год – вміст CO зростає у 3,7 рази. Враховуючи правила дорожнього руху, відповідно до яких у населених пунктах максимально можлива швидкість автомобіля

50 км/год, а у житлових кварталах – 20 км/год очевидним є загрозові викиди CO.

Результати та їх обговорення

Дослідження проведено у теплий бездошовий період у квітні 2025 року у час-пік (8:00-9:00 к.ч.) та відзначено високий рівень інтенсивності руху автомобільних транспортних засобів: від 831 до 1453 авто на годину (табл. 2.).

Таблиця 2. Інтенсивність руху транспортних засобів у м. Ужгород

Тип автомобіля	№ досліджуваного перехрестя м. Ужгород				
	I	II	III	IV	V
Важкий вантажний	0	0	0	0	0
Середній вантажний	9	7	7	10	0
Легкий вантажний	15	10	14	17	3
Автобус	53	58	51	55	8
Легковий транспорт	1351	1363	1381	1358	820
Всього, од. авто/год:	1428	1438	1453	1440	831
Всього, авт./добу:	34272	34512	34872	34560	19944

Відповідно до даних табл. 1 спостерігаємо високу інтенсивність руху автотранспорту у місті Ужгород, особливо легкових автомобілів. Їх частка становить понад 94% від сумарних видів транспорту на всіх досліджуваних перехрестях.

Розрахунковим методом встановлено, що концентрація CO на досліджуваних перехрестях у всіх місцях перевищує встановлені норми ГДК_{мр}: у 5,27-5,34 раз на

чотирьох (I-IV) досліджуваних перехрестях м. Ужгорода та у 2,87 раз біля Боздоського парку (V), який є однією з основних озелених рекреаційних зон міста.

Відповідно до результатів досліджень, зокрема розрахованого вмісту CO можна впевнено сказати, що такий потік автотранспорту у м. Ужгород є дуже небезпечним. Проте варто зазначити, що застосована математична модель [17] не

враховує багатьох факторів (час стояння машин, тип пального, вік машин, висоту вимірювання, тощо), які також мають вплив

на концентрацію шкідливих компонентів у повітрі.

Таблиця 3. Розрахований вміст карбон(II)оксиду від викидів автотранспорту у м. Ужгород

№	Досліджувані ділянки м.Ужгород (перехрестя)	C(CO), мг/м ³	Значення ГДК _{мр} , мг/м ³ [19]	Перевищення ГДК _{мр} , у скільки разів
I	вул. Минайська / вул. Грушевського	26,33	5,00	5,27
II	вул. Швабська / вул. Мукачівська	26,55	5,00	5,31
III	площа Корятовича/ вул. Фединця	26,55	5,00	5,31
IV	вул. Академіка Шпеника / вул. Дайки	26,68	5,00	5,34
V	Словянська набережна / вул. Лінтура	14,37	5,00	2,87

Отримані дані (табл. 3) носять тільки моделюючий (емпіричний) характер. Їх верифікація потребує подальших спостережень, експериментальних досліджень та розрахунків. Проте вони вже вказують на існуючу проблему погіршення якісного складу повітря м. Ужгород внаслідок високої інтенсивності транспортних засобів та необхідних кроків по вирішенню даної проблеми: правильного планування забудов, регульованих та нерегульованих перехресть, озеленення території, тощо.

Висновки

Основними причинами підвищеного забруднення повітряного басейну міста Ужгород є продукти неповного згорання палива двигунів авто, що спостерігається під час змінного режиму руху різних транспортних засобів, часті зупинки, скупчення автотранспорту на перехрестях, тощо. Рівень забруднення повітря міста Ужгород характеризується як підвищений. Індекс забруднення атмосферного повітря (ІЗА) за останні п'ять років складав 5,99-6,21. Висока інтенсивність руху автотранспортних засобів (831 до 1453 авто на годину) на перехрестях центральних вулиць міста обумовлює перевищення у 5,27-5,34 раз нормованих значень карбон(II)оксиду у повітряному басейні Ужгорода та у 2,87 рази

– на перехресті біля основної рекреаційної зони міста.

Вирішення екологічних проблем, спричинених забрудненням атмосферного повітря автотранспортом у м. Ужгород потребує екосистемного підходу: комплексно здійснювати заходи, які базуватимуться на пріоритетних цілях та екологічному моніторингу.

Список використаних джерел

1. Рингач Н.О., Власик Л.Й., Власик Л.І., Колодніцька Т.Л. Урбанізація і вплив на здоров'я забруднення повітря в Україні: загрози та можливості. *Буковинський медичний вісник*. 2022, 26(2), 69–76. Doi: 10.24061/2413-0737.XXVI.2.102.2022.13.
2. Antypkin Yu.H., Volosovets O.P. Air pollution and health of children in Ukraine. *Ukrainian Journal of Perinatology and Pediatrics*. 2020, 3(83), 31–39. Doi: 10.15574/PP.2020.83.31.
3. Офіційний веб-сайт Всесвітньої організації охорони здоров'я. Забруднення повітря. URL: https://www.who.int/health-topics/airpollution#tab=tab_1.
4. Linn J. Interactions between Climate and Local Air Pollution Policies: The Case of European Passenger Cars. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*. 2019, 6 (4), 633–852. Doi: 10.1086/703887.
5. Viana M., Leeuw F., Bartonova A., Castell N., Ozturk E., Ortiz A.G. Air quality mitigation in European cities: Status and challenges ahead. *Environment International*. 2020, 143, 105907. Doi:10.1016/j.envint.2020.105907.

6. Johansson C., Lövenheim B., Schantz P., Wahlgren L., Almström P., Markstedt A., Strömberg V., Forsberg B., Sommar J.N. Impacts on air pollution and health by changing commuting from car to bicycle. *Science of The Total Environment*. 2017, 584–585 (5), 55–63. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.145.
7. Kumar P.G., Lekhana P., Tejaswi M., Chandrakala S. Effects of vehicular emissions on the urban environment - a state of the art. *Materials Today: Proceedings*. 2021, 45 (7), 6314–6320. Doi: 10.1016/j.matpr.2020.10.739.
8. Викиди забруднюючих речовин у атмосферне повітря від пересувних джерел забруднення. Державна служба статистики України. URL: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2021/ns/xl/vuk_per_20ue.xlsx.
9. Белоконь К.В., Пірогова І.М. Аналіз та оцінка рівня забруднення атмосферного повітря м. Запоріжжя. *Збірник наукових праць ДДТУ*. 2021, 1 (38), 149–158. Doi: 10.31319/2519-2884.38.2021.18.
10. Марченко А.П., Парсаданов І.В., Строков О.П. Двигуни внутрішнього згоряння та навколишнє середовище. *Двигуни внутрішнього згоряння*. 2022, 2,3–12. Doi: 10.20998/0419-8719.2022.2.01.
11. Григор'єва Л.І., Томілін Ю.А., Суха Н.О. Комплексна оцінка забруднення атмосферного повітря в місті Миколаєві. *Екологічні науки*. 2018, 4 (23), 19–23. Doi:10.32846/2306-9716-2018-4-23-4.
12. Кузик А.Д., Думас І.З., Олійник О.Т. Забруднення атмосферного повітря автомобільним транспортом на в'їздах до м. Львова. *Вісник ЛДУБЖД*. 2024, 29, 12–23. Doi: 10.32447/20784643.29.2024.02.
13. Нетробичук І., Силивонюк К., Семенюк О. Аналіз впливу автотранспорту на якість атмосферного повітря вулиць міста Луцька. *Науковий вісник СНУ імені Лесі Українки. Серія: Географічні науки*. 2020, 1 (405), 37–42.
14. Офіційний сайт Департаменту екології та природних ресурсів Закарпатської обласної адміністрації. Регіональні доповіді про стан навколишнього середовища Закарпатської області. URL: https://ecozakarp.at.gov.ua/?page_id=308.
15. Офіційний веб-сайт Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України. Екологічний моніторинг довкілля. URL: <https://mepr.gov.ua/content/ekologichniymonitoring-dovkilliya.html>.
16. Офіційний веб-сайт Закарпатського центру з гідрометеорології. URL: <http://gmc.uzhgorod.ua/>.
17. Бомба М.Я., Паньків Н.Є., Шувар Н.М. Практикум з екології: Навч. посіб. туристичної галузі. Львів: ЛІЕТ. 2015, С. 132.
18. Харитонов Н.М. Розрахунковий метод оцінки впливу транспортних засобів на повітряне середовище. *Збірник наукових праць «Дороги і мости»*. 2023, 27, 289–295. Doi: 10.36100/dorogimosti2023.27.289.
19. Наказ Міністерства охорони здоров'я України №1585 від 07.09.2023 року «Про внесення зміни до Гігієнічних регламентів «Гранично допустимі концентрації хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць»». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20#Text>.

Стаття надійшла до редакції: 30.04.2025

Прийняття до друку після рецензування: 05.06.2025

Публікація: 01.07.2025

MODELING OF CO CONTENT IN ATMOSPHERIC AIR FROM VEHICLE EMISSIONS IN THE CITY OF UZHGOROD

Kondrych K. A., Roman L. Yu.

*Uzhhorod National University, Pidgirna St. 46, 88000, Uzhhorod; Ukraine
e-mail: kondrych.karina@student.uzhnu.edu.ua*

Air pollution from vehicle emissions in cities has become widespread and is increasing every year, posing a significant threat to public health. Carbon monoxide is especially dangerous, as it has a detrimental effect on living organisms. The work is devoted to modelling the content of carbon (II) oxide in the air basin of the city of Uzhhorod using mathematical calculations, based on the number of vehicles and climatic characteristics of the area. The study was conducted in the central part of the city at intersections with heavy traffic and different types of regulation: roundabout, regulated by traffic lights, and unregulated, with reduced speed. It was found that during peak hours, namely from 8:00 to 9:00 a.m., a high level of traffic intensity of motor vehicles is observed in all studied locations: from 831 to

1453 cars per hour. Based on the results obtained, it was calculated that the concentration of CO exceeds the normalized values by 2.87-5.34 times and is 14.37 - 26.68 mg/m³. The main reasons for this phenomenon include: limited capacity of the city's street network, lack of sufficient parking spaces (causing traffic jams), traffic congestion, reduced traffic intensity, etc. To improve the situation, a comprehensive approach using an ecosystem approach is necessary: proper landscaping of territories, creation of new (underground) parking spaces, development of city infrastructure, etc.

Keywords: vehicles, roads, city of Uzhhorod, carbon (II) oxide, air environment, air quality.

References

1. Rynhach N.O., Vlasys L.I., Vlasys L.I., Kolodnitska T.L. Urbanizatsiia i vplyv na zdorovia zabrudnennia povitria v Ukraini: zahrozy ta mozhlyvosti. *Bukovynskyi medychnyi visnyk*. 2022, 26 (2), 69–76. Doi: 10.24061/2413-0737.XXVI.2.102.2022.13 (in Ukr).
2. Antypkin Yu.H., Volosovets O.P. Air pollution and health of children in Ukraine. *Ukrainian Journal of Perinatology and Pediatrics*. 2020, 3 (83), 31–39. Doi:10.15574/PP.2020.83.31.
3. Ofitsiyni veb-sait Vsesvitnoi orhanizatsii okhorony zdorovia. Zabrudnennia povitria. RL: https://www.who.int/health-topics/airpollution#tab=tab_1. (in Ukr).
4. Linn J. Interactions between Climate and Local Air Pollution Policies: The Case of European Passenger Cars. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*. 2019, 6 (4), 633–852. Doi: 10.1086/703887.
5. Viana M., Leeuw F., Bartonova A., Castell N., Ozturk E., Ortiz A.G. Air quality mitigation in European cities: Status and challenges ahead. *Environment International*. 2020, 143, 105907. Doi: 10.1016/j.envint.2020.105907.
6. Johansson C., Lövenheim B., Schantz P., Wahlgren L., Almström P., Markstedt A., Strömgren V., Forsberg B., Sommar J.N. Impacts on air pollution and health by changing commuting from car to bicycle. *Science of The Total Environment*. 2017, 584–585 (5), 55–63. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.145.
7. Kumar P.G., Lekhana P., Tejaswi M., Chandrakala S. Effects of vehicular emissions on the urban environment - a state of the art. *Materials Today: Proceedings*. 2021, 45 (7), 6314–6320. Doi: 10.1016/j.matpr.2020.10.739.
8. Vykydy zabrudniuiuchykh rehovyn u atmosferne povitria vid peresuvnykh dzherel zabrudnennia. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. URL: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2021/ns/_xl/vuk_per_20ue.xlsx. (in Ukr).
9. Bielokon K.V., Pirohova I.M. Analiztaotsinkarivniazabrudnenniaatmosfernohopovitriam.Zaporizhzhia. *Zbirnyk naukovykh prats Dniprovskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu*. 2021, 1(38), 149–158. Doi: 10.31319/2519-2884.38.2021.18. (in Ukr).
10. Marchenko A.P., Parsadanov I.V., Stokov O.P. Dvyhuny vnutrishnoho zghoriannia ta navkolyshnie seredovyshe. *Dvyhuny vnutrishnoho zghoriannia*. 2022, 2, 3–12. Doi: 10.20998/0419-8719.2022.2.01. (in Ukr).
11. Hryhorieva L.I., Tomilin Yu.A., Sukha N.O. Kompleksna otsinka zabrudnennia atmosfernoho povitria v misti Mykolaievi. *Ekolohichni nauky*. 2018, 4 (23), 19–23. Doi: 0.32846/2306-9716-2018-4-23-4. (in Ukr).
12. Kuzyk A.D., Dumas I.Z., Oliinyk O.T. Zabrudnennia atmosfernoho povitria avtomobilnym transportom na vizdakh do m. Lvova. *Visnyk Lvivskoho derzhavnoho universytetu bezpeky zhyttiediialnosti*. 2024, 29, 12–23. Doi: 10.32447/20784643.29.2024.02(in Ukr).
13. Netrobychuk I., Sylyvoniuk K., Semeniuk O. Analiz vplyvu avtotransportu na yakist atmosfernoho povitria vulyts mista Lutska. *Naukovyi visnyk Skhidnoievropeiskoho natsionalnoho universytetu imeni Lesi Ukrainky. Serii: Heohrafichni nauky*. 2020, 1(405), 37–42. (in Ukr).
14. Ofitsiyni sait Departamentu ekolohii ta pryrodnykh resursiv Zakarpatskoi oblasnoi administratsii. Rehioalni dopovidi pro stan navkolyshnoho seredovyshech aZakarpatskoi oblasti. URL:https://ecozakarp.at.gov.ua/?page_id=308. (in Ukr).
15. Ofitsiyni veb-sait Ministerstva zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy. Ekolohichniy monitorynh dovkillia. URL: <https://mepr.gov.ua/content/ekologichniymonitoring-dovkillia.html>. (in Ukr).
16. Ofitsiyni veb-sait Zakarpatskoho tsentru z hidrometeorolohii. URL:<http://gmc.uzhgorod.ua>. (in Ukr).
17. Bomba M.Ia., Pankiv N.Ie., Shubar N.M. Praktykum z ekolohii: navch. posib. Turystychnoi haluzi. Lviv: *Lvivskiy institut ekonomiky i turyzmu*, 2015. P. 132. (in Ukr).
18. Kharytonova N.M. Rozrakhunkovy metod otsinky vplyvu transportnykh zasobiv na povitriane seredovyshe. *Zbirnyk naukovykh prats «Dorohy i mosty»*. 2023, 27, 289–295. Doi: 10.36100/dorogimosti2023.27.289. (in Ukr).
19. Nakaz Ministerstva okhorony zdorovia Ukrainy №1585 vid 07.09.2023 roku «Pro vnesennia zminy do Hihienichnykh rehlamentiv «Hranychno dopustymi kontsentratsii khimichnykh i biolohichnykh rehovyn v atmosfernomu povitri naselenykh mist»». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20#Text>. (in Ukr).