

DOI: 10.32347/2786-7269.2022.2.56-66

УДК 712.4

д. арх., професор **Дьомін М.М.**,
domin.mm@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-3144-761X,
Київський національний університет будівництва та архітектури,
д.т.н., професор **Татарченко Г.О.**,
tatarchenkogalina@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4685-0337,
Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

ЗАБРУДНЕННЯ АВТОТРАНСПОРТОМ ПОВІТРЯНОГО БАСЕЙНУ ТЕРИТОРІЙ МІСЬКИХ КАНЬЙОНІВ

Розглядається проблема забруднення повітряного басейну міських територій із урахуванням забудови. Викиди в атмосферу оксидів сірки, хлористого водню, азоту за відсутності вітру в нижніх шарах атмосфери, сильної інверсії, високої сонячної активності та взаємодії їх із парами води у повітрі утворюють кислоти шкідливих речовин. Загальна концепція переходу до чистого повітря урбанізованих територій пропонує розглядати системну цілісність об'єктів, що складаються з трьох – «людина ↔ довкілля ↔ транспорт». Проведено теоретичні та практичні розрахунки поперечного профілю розсіювання забруднення від автомобільного транспорту на основних ділянках. На підставі аналізу зазначено, що дальність поширення викидів автотранспорту (наприклад, оксидів азоту) значно перевищує відстані, на яких проходять пішохідні та велосипедні доріжки, та становлять небезпеку для здоров'я людини. Якщо автомобільна дорога проходить через вуличний каньйон, то створюються специфічні умови для розсіювання забруднюючих речовин, у результаті створюються контрастні мікрокліматичні зони з підвищеною концентрацією забруднень повітря. Ці дані можуть у десятки разів перевищувати нормативні значення та концентрації забруднень на відкритому просторі. Пропонується створити зони з низьким рівнем викидів (LEZ) шляхом просування громадського транспорту чи заохочення активних видів транспорту. Отримані результати дозволяють визначити раціональні та економічно обґрунтовані комплекси заходів щодо зниження рівня забруднення атмосферного повітря міст та раціональні методи організації дорожнього руху з урахуванням ймовірного ступеня забруднення міських територій, у тому числі каньйонів, відповідно до проектних рішень.

Ключові слова: моделювання; розсіювання; забруднюючі речовини; атмосфера; місто; урбанізація; каньйон.

Постановка проблеми. Забруднення повітря у містах є проблемою охорони здоров'я, що набуває все більшого значення у зв'язку з глобальною урбанізацією [1-3]. Основними джерелами забруднення атмосферного повітря у містах є дорожній рух, промислові підприємства та опалення житлових приміщень. За даними ВООЗ вже у 2019 р. 99% світового населення проживало в районах, у яких рівень забруднення повітря перевищував значення, встановлені у рекомендаціях ВООЗ щодо якості повітря [4-6].

Через викиди в атмосферу Землі у великих обсягах оксидів сірки, хлористого водню, азоту за рахунок їхньої взаємодії з парами води в повітрі утворюються кислоти шкідливих речовин. Вони випадають у вигляді кислотних опадів та призводять до страшних наслідків для всієї природи. Відсутність вітру в нижніх шарах атмосфери та сильна інверсія, а також висока сонячна активність при підвищеній концентрації у повітрі інших шкідливих речовин формують хімічний туман. Як правило, його поява найчастіше відзначається в період із червня по вересень, іноді в зимовий час [7].

Тривале перебування у смогі викликає у людей сильне нездужання: головний біль, нудота, подразнення очей та органів дихання. Ці симптоми виникають навіть у абсолютно здорових людей. Через надлишок чадного газу люди відчувають почуття сонливості, занепад сил, ослаблення працездатності.

В даний час вплив потоку та розсіювання газу на міську територію вивчається різними дослідниками в галузі архітектури, цивільного будівництва, хімії та інженерії-екології, оскільки проблема багатогранна і не може бути вирішена фахівцями в одній галузі [8]. Загальна концепція переходу до чистого повітря урбанізованих територій пропонує розглядати системну цілісність об'єктів, що складаються з трьох – «людина ↔ довкілля ↔ транспорт» [9]. У цій роботі розглянуто проблему забруднення повітряного басейну міських територій з урахуванням забудови.

Метою публікації є на прикладі оксидів азоту вивчення розсіювання забруднень автотранспортом у повітряному басейні міських територій з урахуванням вузьких вулиць.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. Урбанізація є каталізатором зростання міст, і вона має багатопланові наслідки, що охоплюють соціальну, політичну та економічну сфери, а також суттєво збільшує потребу у транспортних засобах.

У міській місцевості багато вузьких вулиць (каньйонів) з високим співвідношенням сторін [10], а також безліч ступінчастих, нерівномірних, нерегулярних каньйонів з низьким співвідношенням сторін та ступінчастих вниз-вгору-вниз (рис.1). Повітря вуличних каньйонів сильно забруднене у всіх мегаполісах і розсіювання повітря в них відрізняється від розсіювання на

плоскій відкритій місцевості або складному рельєфі. У вуличних каньйонах масштаб турбулентності, що впливає на коливання концентрації, дуже обмежений [11].

Для вимірювання якості повітря у містах можна використовувати макро- і мікромасштабні моделі розсіювання забруднюючих речовин різного рівня проблеми [12,13]. Наприклад, при моделюванні різних модифікацій вуличні бар'єрів/перешкод (такі як припарковані автомобілі, придорожні огорожі, низькі огорожувальні стіни і т. д.) Виявлено, що за рівнем концентрації забруднювачів до них найбільш застосовано поняття вуличних каньйонів [14]. Автори [15] показали, що міська придорожня рослинність швидше призводить до збільшення концентрації забруднюючих речовин, ніж покращує повітря.



Рис.1. Міські каньйони вузьких вулиць

Автори [16] вивчали тимчасові закономірності та джерела забруднювачів повітря. У цьому дослідженні використовувалися швидкі вимірювання якості повітря. Виявлено, що часова динаміка NO_x та числової концентрації частинок мкм (PM_{10}) була аналогічна добової та тижневої динаміки щільності руху. У дуже короткі часові відтинки реальні пікові співвідношення NO_x і твердих частинок діаметром ≤ 10 перевищували прогнозовані викиди забруднюючих речовин.

Основна частина. Забруднюючі гази в основному стеляться вздовж траси на десятки та сотні кілометрів, також поступово поширюючись перпендикулярно до дороги.

На підставі запропонованої моделі залежності концентрації оксидів азоту від інтенсивності руху транспортних засобів [17,18] проведені розрахунки розсіювання забруднень для магістральних вулиць загальноміського значення регульованого руху (1).

$$C(x)_i = \frac{M_i}{\pi \cdot u \cdot \sin \alpha \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \cdot e^{\left[-\frac{H^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right]} \quad (1)$$

Розглядали середню висоту автомобільних викидів H на рівні 0,5 м при швидкості вітру 1,25 м/с уздовж дороги ($\alpha = 90^\circ$). Згідно з отриманими експериментальними даними трафіку руху і проведених розрахунків за формулою 1 отримали залежність концентрації оксидів азоту від відстані перпендикулярно до магістралі, тобто, по ширині вулиці. Виявили, що максимальна концентрація озону вздовж осі ОХ (вітрового потоку) буде досягатися на відстані 50 м від джерела викиду, знижуючись до допустимого значення на відстані близько 500 м. При поперечному розсіюванні вздовж осі ОУ (перпендикулярно вітровому потоку) (рис.2), за ідеальних умов забруднення розсіюються на відстань 30÷35 м, де досягаються нормативні значення концентрації. Проте, ми розуміємо, що загалом ситуація набагато гірша, оскільки йде поступове накопичення забруднення, так зване тло. Крім того, у розрахунках використовували спрощену модель, а саме не враховували фонове значення забруднення повітря, що суттєво змінюється протягом доби, місяця та року в цілому (ми брали його рівним нулю).

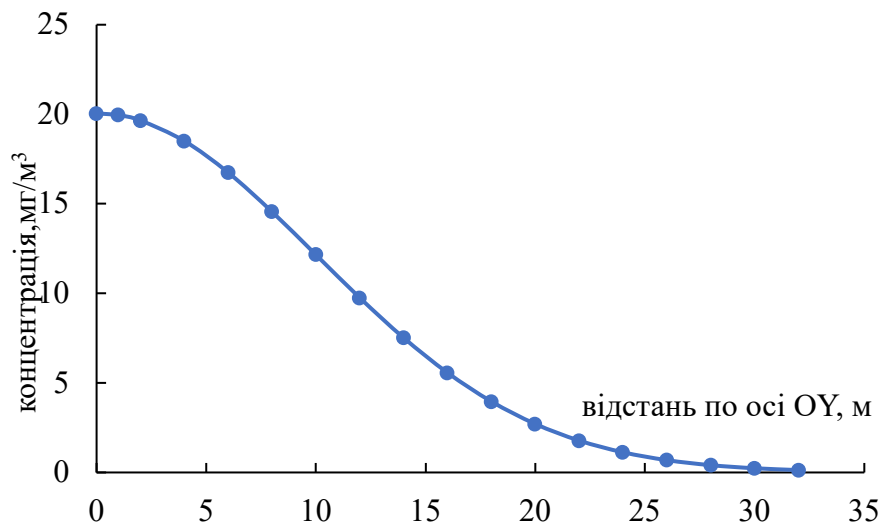


Рис. 2. Залежність концентрації оксидів азоту з відстані (від центру магістралі).

Вимірювання показали, що середні концентрації оксидів азоту в місцях інтенсивного антропогенного навантаження - перехресть магістральних вулиць в десятки разів перевищують величини гранично допустимих концентрацій. Поблизу магістралей і перехресть максимальні концентрації забруднюючих речовин формуються при слабких швидкостях та напрямках вітру під кутом близьким до 45° до магістралей.

Проведено теоретичні розрахунки згідно ДБН В.2.3-5:2018 "Вулиці та дороги населених пунктів" навантаження для магістралей в одному рівні з

двома та чотирма смугами та з пропускної здатністю однієї смуги 750 прив.авто/год. Використовуючи нормативні відстані для магістральних вулиць та доріг ми хотіли показати відстані, на які поширюються забруднення від автомобільного транспорту (на прикладі оксидів азоту) [19].

Згідно з отриманими результатами, видно (рис.3), що при інтенсивному русі магістральною вулицею з чотирма смугами забруднення розсіюються на відстані понад 50 м від центру дороги. Зелена зона, де значення концентрації оксидів азоту досягає нормативних значень і нижче, починається поза пішохідної зони.

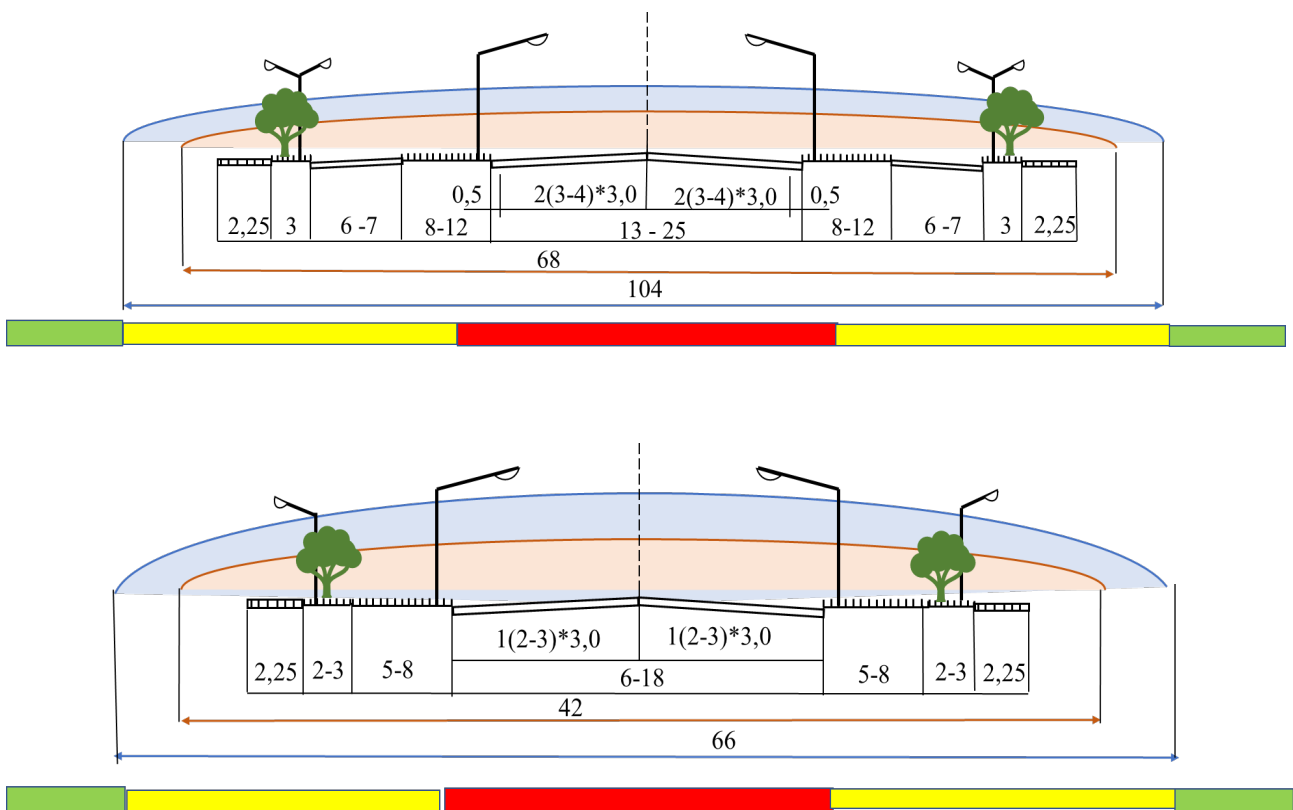


Рис. 3. Магістральна вулиця загальноміського значення регульованого руху з пропускної здатністю однієї смуги 750 прив.авто/год: а) розрахунок на 4 смуги; б) розрахунок на 2 смуги

При зниженні числа смуг магістральної дороги до двох відстані, на яких досягаються нормативні значення повітряного простору, знижується до 30÷35м, але пішохідна зона все одно не є безпечною. Тут можна відзначити й те, що самі водії досить часто перебувають на дорогах у ситуаціях, коли гранично-допустимі норми за основними показниками перевищують у десятки разів.

Дальність розповсюдження автомобільних викидів залежить від погоди, напрямку та швидкості вітру, рельєфу місцевості, присутності водойм, температури та надають значний вплив на міський клімат. Інтенсивність самоочищення атмосфери на міській території визначається, з одного боку,

швидкістю вітрового потоку, що набігає, а, з іншого боку, властивостями території, що формує вітровий потік.

Зазвичай найбільше забруднення повітря, що викликане викидами транспортних засобів, спостерігається вулицях, розташованих між безперервними рядами високих будинків. Якщо магістраль проходить крізь вуличний каньйон, то створюються специфічними умовами для розсіювання забруднюючих речовин, внаслідок чого створюються контрастні мікрокліматичні зони. Тобто через дуже обмежену атмосферну дисперсію виникають локальні вогнища забруднення (застою). Дисперсія у вуличному каньйоні зазвичай визначається співвідношенням сторін вуличного каньйону до зовнішнього вітру. Інтенсивності вертикальної та горизонтальної турбулентності мають близькі значення у вуличному каньйоні та набагато слабші, ніж на плоскій відкритій місцевості.

Тут можна говорити про багато динамічних факторів, що впливають на розмір забруднюючих територій (вітер, сонце, дощ, кількість машин і т.д.). Але загалом загальне уявлення та напівкількісні характеристики дозволяють формувати динамічну систему екологічного моніторингу атмосферного повітря і прогнозувати екологічно безпечний розвиток розселення в територіальному плануванні, вносити пропозиції відповідних містобудівних заходів.

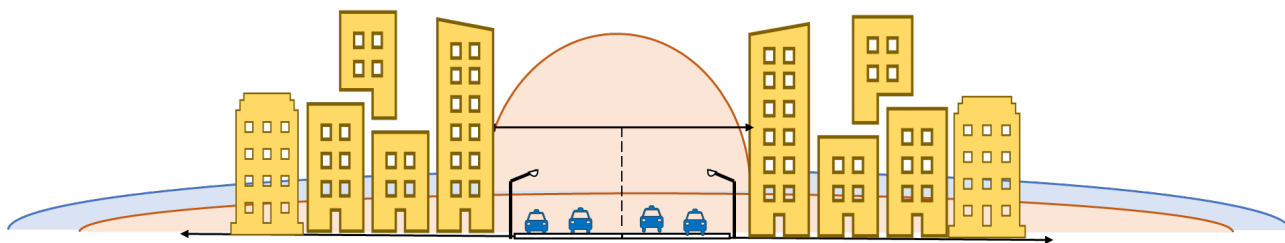


Рис.4. Утворення зон підвищеної концентрації забруднень у вуличних каньйонах.

Проведення політики нормалізації повітря примігистральних територій міст, особливо там де є вуличні каньйони великої довжини, найчастіше це старі та історичні райони міста, необхідно дотримуватися створення зон малих викидів Low Emission Zone (LEZ). Такі зони можна створювати за рахунок просування громадського транспорту чи заохочення його активних видів.

Важливим моментом для нормалізації повітряного простору територій каньйонів є аеродинамічний ефект. І як відзначають дослідники цей ефект набагато сильніший, ніж здатність рослинності видаляти забруднюючі речовини [16]. Там, де створення зон малих викидів утруднено можна використати сучасні методи очищення повітряного простору хіміко-механічними способами [20].

Отримані результати дозволяють визначити раціональні та економічно обґрунтовані комплекси заходів, щодо зниження рівня забруднення повітряного простору міст та методи «smart» організації дорожнього руху з урахуванням вірогідного ступеню забруднення ділянок міської території відповідно до варіантів проєктних рішень. До керівних принципів міського планування може бути додатково внесені загальні керівні принципи проєктування, планування та організації дорожнього руху з урахуванням ефективних шляхів зниження забруднення примагістральних територій.

Висновки. Проведено теоретичні та практичні розрахунки поперечного профілю розсіювання забруднень від автомобільного транспорту на примагістральних територіях. Ґрунтуючись на проведеному аналізі, зазначено, що дальність поширення автомобільних викидів (на прикладі оксидів азоту) значно перевищує відстані, де знаходяться пішохідні та велосипедні доріжки та є небезпечними для здоров'я людей.

Якщо магістраль проходить через вуличний каньйон, то створюються специфічними умовами для розсіювання забруднюючих речовин, у результаті створюються контрастні мікрокліматичні зони. Пропонується створення зон малих викидів Low Emission Zone (LEZ), за рахунок просування громадського транспорту або заохочення активних видів.

Отримані результати дозволяють визначити раціональні та економічно обґрунтовані комплекси заходів щодо зниження рівня забруднення повітряного простору міст та методи «smart» організації дорожнього руху з урахуванням ймовірного ступеня забруднення ділянок міської території, у тому числі й каньйонів, відповідно до варіантів проєктних рішень.

Список джерел

1. Солуха І.Б. Особливості екологічних стандартів Євро при оцінці забруднення атмосферного повітря на прилеглих територіях міських вулиць і доріг населених пунктів України. *Містобудування та територіальне планування*. 2014. №51. С.571-583. URL:<http://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/8086>.
2. Габрель М.М. Урбаністична діяльність та управління містом як системою-процесом. *Містобудування та територіальне планування*. 2019. №69. С.57-67. URL: <https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/02/2019/201969.pdf>
3. Дьомін М.М., Габрель М.М. Урбаністично-комунікаційні взаємозв'язки у вирішенні транспортних проблем великих міст. *Містобудування та територіальне планування*. 2019. №69. С.103-122. <https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/02/2019/201969.pdf>
4. Якість повітря у Києві. URL: <https://www.iqair.com/ru/>

ukraine/kyiv/kyiv-c.

5. Забруднення атмосферного повітря (повітря поза приміщеннями). ВООЗ [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).

6. Проблеми довкілля. URL: <https://school19.edummr.ru/priroda/air.html>

7. Влияние выхлопных газов на организм людей. URL: <https://otravlenye.ru/vidy/himicheskie/vliyanie-vyhlopnyh-gazov-na-organizm-lyudej.html>.

8. Габрель М.М. Зміст урбаністичних та задач просторового планування, підходи й методи їх вирішення. *Містобудування та територіальне планування*. 2018. №66. С.64-77. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/bitstream/handle/987654321/6010/201868-65-78.pdf?sequence=1>

9. Татарченко Г.О., Дьомін М.М. Концепція переходу до чистого повітря урбанізованих територій. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. Київ. 2022. №62. С.350-362. DOI:10.32347/2077-3425.2022.62.350-362

10. Olga V. Taseikoa Sergey V.MikhailutaaAnnePittbAnatoly A.LezhenincYuri V.Zakharov Air pollution dispersion within urban street canyons *Atmospheric Environment*. 2009. Vol. 43(2), P. 245-252. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.076>

11. Evaluation of a Gaussian and a Lagrangian model against a roadside data set, with emphasis on low wind speed conditions. *Atmospheric Environment*, 2001. Vol.35(12). P. 2123-2132. DOI: 10.1016/S1352-2310(00)00492-1

12. Татарченко Г.О. Теоретичні аспекти моделювання розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері. *Містобудування та територіальне планування*. Київ. 2022. №79. С. 381-395. DOI:10.32347/2076-815x.2022.79.381-395.

13. Приймаченко О.В. Вплив магістральних вулиць на екологічний стан міжмагістральних територій. *Містобудування та територіальне планування*. 2013. №48. С.355-358. URL: <http://www.mtp.in.ua/zbirnyk/issues/mtp48>.

14. Riccardo Buccolieri, Oliver Savio Carlo, Esther Rivas, Jose Luis Santiago. Urban Obstacles Influence on Street Canyon Ventilation: A Brief Review. *Environ. Sci. Proc.* 2021. Vol. 8(1). P.11. <https://doi.org/10.3390/ecas2021-10350>.

15. Peter E.J. Vos, Bino Maiheu, Jean Vankerkom, Stijn Janssen. Improving local air quality in cities: To tree or not to tree? *Environmental Pollution*. 2013. Vol. 183. P.113-122. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.10.021>.

16. Laura Ehrnsperger, Otto Klemm Air pollution in an urban street canyon: Novel insights from highly resolved traffic information and meteorology.

Atmospheric Environment, 2022. Vol. 13. Article 100156. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-15830>.

17. Татарченко Г.О. Просторове моделювання забруднень повітря приміагістральних територій. *Містобудування та територіальне планування*. Київ. 2022. №80. С. 389-402. DOI: DOI:10.32347/2076-815X.2022.80.389-402.

18. Татарченко Г.О., Дьомін М.М, Тарасюк В.П. Модель забруднення оксидами азоту приміагістральних територій міста. *Містобудування та територіальне планування*. 2021. №78. С. 478-492. DOI:10.32347/2076-815x.2021.78.478-492.

19. Татарченко Г.О. Зонування території міста за рівнем забруднення атмосферного повітря оксидом азоту. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2021. №61. С.292-308. DOI:10.32347/2077-3455.2021.61.292-308.

20. Halyna Tatarchenko, Inna Kravchenko, Zahar Tatarchenko, Maryna Ozheredova, Nataliia Biloshytska, Olena Zolotarova. Reducing the pollution of the airspace of the city's main highway areas. *Ad alta: journal of interdisciplinary research*. Vol. 12 (2), P. 153-157. <https://doi.org/10.33543/120230153157>.

doctor of Architecture, Professor **Diomin Mykola**,
Kyiv National University of Construction and Architecture,
Doctor of Technical Sciences, Professor **Tatarchenko Halyna**,
Volodymyr Dahl East Ukrainian National University

TRANSPORT POLLUTION OF THE AIR BASIN OF URBAN CANYONS

The article deals with the problem of pollution of the air basin of urban areas, taking into account development. Emissions into the atmosphere of sulfur oxides, hydrogen chloride, nitrogen in the absence of wind in the lower layers of the atmosphere, strong inversion, high solar activity and interaction with water vapor in the air form acids of harmful substances. The general concept of the transition to clean air in urban areas proposes to consider the systemic integrity of objects consisting of three - "human↔environment↔transport". Theoretical and practical calculations of the transverse profile of dispersion of pollution from road transport in the main areas were carried out. Based on the analysis, it is indicated that the propagation range of vehicle emissions (for example, nitrogen oxides) significantly exceeds the distances at which pedestrian and bicycle paths pass, and pose a danger to human health.

If a highway passes through a street canyon, then specific conditions are created for the dispersion of pollutants, resulting in the creation of contrasting microclimatic zones with an increased concentration of air pollution. These data can be dozens of times higher than the normative values and concentrations of pollutants in open space. It is proposed to create low emission zones (LEZ) by promoting public transport or encouraging active modes of transport. The results obtained make it possible to determine rational and economically justified sets of measures to reduce the level of urban air pollution and rational methods of organizing traffic, taking into account the likely degree of pollution of urban areas, including canyons, in accordance with design solutions.

Key words: modelling; dispersion; pollutants; atmosphere; city; urbanization; canyon.

REFERENCES

1. Solukha I.B. Osoblyvosti ekolohichnykh standartiv Yevro pry otsintsi zabrudnennia atmosferного povitria na prylehlykh terytoriiakh miskykh vulyts i dorih naselenykh punktiv Ukrainy. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. 2014. №51. S.571-583. {in Ukrainian}
2. Habrel M.M. Urbanistychna diialnist ta upravlinnia mistom yak systemoiu-protseom. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. 2019. №69. S.57-67. {in Ukrainian}
3. Domin M.M., Habrel M.M. Urbanistychno-komunikatsiini vzaiemozviazky u vyrishenni transportnykh problem velykykh mist. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. 2019. №69. S.103-122. {in Ukrainian}
4. Kachestvo vozduha v Kieve. URL: <https://www.iqair.com/ru/ukraine/kyiv/kyiv-c>. {in Ukrainian}
5. Zahriaznenye atmosferного vozdukha (vozdukha vne pomeshchenyi). VOZ [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health). {in Ukrainian}
6. Проблемы окрुжайushchei sredы. <https://school19.edummr.ru/priroda/air.html>. {in Ukrainian}
7. Vliyanie vyhlopnyh gazov na organizm lyudej.. URL: <https://otravlenye.ru/vidy/himicheskie/vliyanie-vyhlopnyh-gazov-na-organizm-lyudej.html>. {in Ukrainian}
8. Habrel M.M. Zmist urbanistychnykh ta zadach prostorovoho planuvannia, pidkhody y metody yikh vyrishennia. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. 2018. №66. S.64-77. {in Ukrainian}

9. Tatarchenko H.O., Domin M.M. Kontsepsiia perekhodu do chystoho povitria urbanizovanykh terytorii. Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia. Kyiv. 2022. №62. S.350-362. {in Ukrainian}
10. Olga V. Taseikoa Sergey V.MikhailutaaAnnePittbAnatoly A.LezhenincYuri V.Zakharov Air pollution dispersion within urban street canyons Atmospheric Environment Volume 43, Issue 2, January 2009, Pages 245-252<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.076>. {in English}
11. Evaluation of a Gaussian and a Lagrangian model against a roadside data set, with emphasis on low wind speed conditions. Atmospheric Environment, 2001 35(12):2123-2132. {in English}
12. Tatarchenko H.O. Teoretychni aspekty modeliuvannia rozsiuvannia zabrudniuiuchykh rehovyn v atmosferi. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. Kyiv. 2022.№79. S. 381-395. {in Ukrainian}
13. Pryimachenko O.V. Vplyv mahistralnykh vulyts na ekolohichni stan mizhmahistralnykh terytorii. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. 2013. №48. S.355-358. {in Ukrainian}
14. Riccardo Buccolieri, Oliver Savio Carlo, Esther Rivas, Jose Luis Santiago. Urban Obstacles Influence on Street Canyon Ventilation: A Brief Review. *Environ. Sci. Proc.* 2021, 8(1), 11. {in English}
15. Peter E.J. Vos, Bino Maiheu, Jean Vankerkom, Stijn Janssen. Improving local air quality in cities: To tree or not to tree? Environmental Pollution. Volume 183, December 2013, Pages 113-122. {in English}
16. Laura Ehrnsperger, Otto Klemm Air pollution in an urban street canyon: Novel insights from highly resolved traffic information and meteorology. Atmospheric Environment: X, Volume 13, 2022, Article 100156. {in English}
17. Tatarchenko H.O. Prostorove modeliuvannia zabrudnen povitria prymahistralnykh terytorii. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. Kyiv. 2022. №80. S. 389-402. {in Ukrainian}
18. Tatarchenko H.O., Domin M.M, Tarasiuk V.P. Model zabrudnennia oksydamy azotu prymahistralnykh terytorii mista. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. 2021. №78. S. 478-492. {in Ukrainian}
19. Tatarchenko H.O. Zonuvannia terytorii mista za rivnem zabrudnennia atmosferneho povitria oksydom azotu. Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia. 2021. №61. S.292-308. {in Ukrainian}
20. Halyna Tatarchenko, Inna Kravchenko, Zahar Tatarchenko, Maryna Ozheredova, Nataliia Biloshytska, Olena Zolotarova. Reducing the pollution of the airspace of the city's main highway areas. AD ALTA: JOURNAL OF Interdisciplinary research. volume 12 issue 2 pp. 153-157. {in English}