

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-99-104>

УДК 504.75.06

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВІДПРАЦЬОВАНИМИ ГАЗАМИ АВТОТРАНСПОРТУ В МІСЬКОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Татарченко Г.О., Кравченко І.В., Писаренко М.В., Поркуян С.Л.

STUDY OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION BY EXHAUST GASES IN AN URBAN ENVIRONMENT

Tatarchenko G.O., Kravchenko I.V., Pisarenko N.V., Porkuyan S.L.

В роботі на прикладі магістральної дороги біля парку проведено аналіз фактичної середньодобової інтенсивності руху автотранспорту і розраховані потужності емісії і концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі відпрацьованих автомобільних газів. Виявлено, що найбільш небезпечними для житлової забудови є оксиди азоту, особливо в несонячну погоду, коли їх фактичний вміст перевищує граничнодопустиму концентрацію в багато разів. Наведені дані про кількість та якість викидів на магістральних мережах доріг свідчать про значну шкоду здоров'ю людини.

Виконані розрахунки є актуальними для вирішення завдань, пов'язаних з моделюванням і прогнозуванням забруднення атмосфери транспортними потоками і, відповідно, пошуку рішень щодо зниження вмісту шкідливих газів в атмосферному повітрі.

Ключові слова: забруднення повітря, викиди від автотранспорту, міське середовище

1. Вступ. Всесвітня організація охорони здоров'я визнає, що забруднення повітря є однією з найважливіших проблем в світі, яка впливає не тільки на якість життя населення, але і на очікувану тривалість життя, стан здоров'я і поширення легеневих хвороб зокрема. У великих містах головним джерелом забруднення повітря є автотранспорт, зараз на Землі постійно експлуатується близько мільярда різноманітних автомобілів. Відпрацьовані автомобільні викиди містять сполуки свинцю, оксиди азоту та сірки, моно- та діоксид вуглецю, вуглеводні, сажу тощо. Навіть у абсолютно здорових людей забруднене повітря викликає втому, поганий сон, кашель, головний біль.

За індексом забруднення атмосфери (ІЗА), який враховує ступінь забруднення атмосферного повітря по п'яти пріоритетних забруднювальних домішках, дуже високий рівень забруднення, як і у попередньому році, спостерігався у Маріуполі та Дніпрі, високий – у Одесі, Кам'янському, Києві, Кривому Розі, Луцьку, Миколаєві, Слов'янську, Краматорську, Ру-

біжному, Львові, Запоріжжі, Лисичанську, Херсоні, Кременчуці [1]. Високий рівень забруднення атмосферного повітря зазначених міст обумовлений здебільшого підвищеним вмістом специфічних шкідливих речовин – формальдегіду, фенолу, фтористого водню, аміаку, з основних домішок – завислих речовин, діоксиду азоту, оксиду вуглецю.

В окремі періоди, коли метеорологічні умови сприяють накопиченню шкідливих речовин в приземному шарі атмосфери, концентрації домішок в повітрі можуть різко зростати – виникає смог. У нормальному стані за добу легені людини пропускають через себе в середньому двадцять кубометрів повітря. [2]. За спостереженнями медиків мешканці будинків, розташованих поруч з автомагістралями (до 10 м) з інтенсивним рухом, хворіють на рак в 3-4 рази частіше, ніж жителі будинків, розташованих на відстані хоча б 50 м від дороги [3].

2. Мета роботи. провести аналіз забруднення атмосферного повітря шкідливими речовинами від міського автотранспорту на ділянках магістральних доріг біля парку ім. Т.Г. Шевченка, м. Київ.

3. Методи дослідження. Для вирішення задач, пов'язаних з моделюванням і прогнозуванням забруднення атмосфери транспортними потоками, найбільш перспективним є використання розрахункових методів. У європейських країнах для розрахунку концентрацій шкідливих речовин використовуються методики, рекомендовані МАГАТЕ, в яких за основу взято емпіричну модель Пасквілла-Гіффорда [4], що використовується для відстаней до 10 км. Модель дозволяє визначити концентрації домішок, що викидаються постійним джерелом в атмосферу з Гаусовим розподілом по вертикалі та в поперечному в напрямку вітру. Можливі атмосферні метеорологічні умови діляться на 6 класів стійкості, розподіл швидкості вітру вважається функцією від висоти. Основним базисом моделі є узагальнені багаточисельні експериментальні дані. В нашій країні пошире-

ні моделі на основі теорії турбулентної дифузії домішок в атмосферному повітрі [5, 6], які покладені в основу галузевого стандарту, що є чинним і використовується для розрахунків.

При визначенні рівня забруднення придорожного середовища транспортним потоком необхідно враховувати ряд особливостей:

- вузьку лінійну локалізацію викидів вздовж доріг;
- неоднорідність щільності і складу транспортного потоку в часі, що залежить від пори року, дня тижня, часу доби;
- значну просторову мінливість характеристик потоку, що визначається ступенем віддаленості від великих населених пунктів, характером покриття доріг;
- приземне розташування джерел, що сповільнює розсіювання викидів.



Рис. 1. Ділянки доріг, що проходять біля парку ім. Т. Г. Шевченка

Місцем досліджень було обрано ділянку магістральної дороги біля парку ім. Т. Г. Шевченка, м. Київ (№1 на рис.1), що є магістральною вулицею загальноміського значення. До неї примикають - вулиця Володимирська (магістральна районного значення) та вулиця Терещенківська (місцевого значення (житлова)); з іншого боку парк обмежує вулиця Льва Толстого (магістральна районного значення). Основні потоки руху транспорту позначені червоним кольором.

Вихідні дані для моделювання розповсюдження шкідливих (токсичних) речовин з відпрацьованих газів отримали прямим підрахунком кількості пересувного автомобільного транспорту на ділянці в районі площі Перемоги з камери відеоспостереження (рис. 2). Підрахунки проводили в різний час доби - ранковий, обідній, вечірній та нічний з усередненням впродовж десятихвилинного інтервалу та подальшим масштабуванням кількості автотранспорту за годину та добу (табл.1). На ділянці 1 враховувався

рух транспорту в обох напрямках автошляху. Загальна середньодобова кількість автотранспортних засобів, що пересувалися на вказаній ділянці, склала сорок тисяч одиниць.

Оцінку забруднення повітряного середовища відпрацьованими газами на основі розрахунку емісії відпрацьованих газів і концентрацій забруднюючих речовин на різному віддаленні від дороги проводили за методикою [7]. Потужність емісії q_j , мг/(м·с), забруднюючої речовини на конкретній ділянці дороги визначали за формулою:

$$q_i = 0,206 \cdot m \cdot \left[\left(\sum G_i^k \cdot N_i^k \cdot K_k \right) + \left(\sum G_i^d \cdot N_i^d \cdot K_d \right) \right], \quad (1)$$

де m – коефіцієнт, що враховує дорожні й транспортні умови в залежності від середньої швидкості транспортного потоку V (до 50 км/год), визначається за графіком [7];

G_i^k – середні експлуатаційні витрати палива для даного типу карбюраторних автомобілів, л/км;

G_i^d – те ж для дизельних автомобілів, л/км;

N_i^k – інтенсивність руху кожного виділеного типу карбюраторних автомобілів, авт./год;

N_i^d – те ж дизельних автомобілів, авт./год;

K_k й K_d – коефіцієнти, прийняті для даного компонента забруднення з карбюраторними і дизельними типами двигунів.

Для визначення концентрацій токсичних компонентів відпрацьованих газів C_b , мг/м³, на різному віддаленні від дороги, використовували модель Гаусового розподілу домішок в атмосфері на невеликих висотах за формулою:

$$C_i = \frac{2q_i}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma \cdot V_B \cdot \sin \varphi} + F_i, \quad (2)$$

де σ – стандартне відхилення Гаусового розсіювання у вертикальному напрямку, м;

V_B – швидкість вітру, що переважає в розрахунковий період, м/с;

φ – кут, що утворюється напрямком вітру відносно траси дороги (при куті менше 30° $\sin \varphi$ прийняли 0,5);

F_i – фонові концентрації i -ої забруднюючої речовини (для спрощення прирівняли нулю), мг/м³.

Величину перевищення нормативу $ГДК$ i -ої забруднюючої речовини в повітрі населеного пункту на відстанях l від дороги визначали за формулою:

$$\Delta_i^l = \frac{C_i^l - ГДК_i}{ГДК_i} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де $ГДК_i$ – граничнодопустима концентрація речовини в атмосферному повітрі населених пунктів.



Рис. 2. Фотофіксація руху автотранспорту досліджуваної ділянки

4. Результати досліджень та їх обговорення.

Основними токсичними компонентами відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згоряння автотранспорту є оксиди вуглецю, оксиди азоту та вуглеводні. Розрахунки проводили для ділянки №1 - бульвар Т.Г. Шевченко, магістральна вулиця загальноміського значення. Загальний потік автотранспорту, що рухався по магістралі, розділили за типами (табл. 1).

Таблиця 1
Середньодобова інтенсивність руху та середні експлуатаційні норми витрати палива автотранспорту G_i

№	Тип автомобіля	Середньодобова інтенсивність руху, авт./добу	Середні експлуатаційні норми витрати палива G_p , л/км
N_1	Легкові автомобілі	25000	0,11
N_2	Малі вантажні автомобілі карбюраторні (до 5 тон)	6250	0,16
N_3	Вантажні автомобілі карбюраторні (5 тон й більше)	4000	0,33
N_4	Вантажні автомобілі дизельні	4050	0,34
N_5	Автобуси карбюраторні	300	0,37
N_6	Автобуси дизельні	400	0,28

Значення коефіцієнтів K_k та K_d для даної забруднюючої речовини з карбюраторними і дизельними типами двигунів внутрішнього згоряння обирали з таблиці 2.

Таблиця 2

Значення коефіцієнтів K_k та K_d

Найменування забруднюючої речовини	Тип ДВЗ	
	карбюраторний	дизельний
Оксид вуглецю	0,6	0,14
Вуглеводні	0,12	0,037
Оксид азоту	0,06	0,015

Потужність емісії оксиду вуглецю:

$$q_{CO} = 0,206 \cdot 0,22 \cdot [(0,11 \cdot 25000 \cdot 0,6) + (0,16 \cdot 6250 \cdot 0,6) + (0,33 \cdot 4000 \cdot 0,6) + (0,37 \cdot 300 \cdot 0,6) + (0,34 \cdot 4050 \cdot 0,14) + (0,28 \cdot 400 \cdot 0,14)] = 150,33 \text{ мг / (м} \cdot \text{с)}$$

Потужність емісії вуглеводнів:

$$q_{C_nH_m} = 0,206 \cdot 0,22 \cdot [(0,11 \cdot 25000 \cdot 0,12) + (0,16 \cdot 6250 \cdot 0,12) + (0,33 \cdot 4000 \cdot 0,12) + (0,37 \cdot 300 \cdot 0,12) + (0,34 \cdot 4050 \cdot 0,037) + (0,28 \cdot 400 \cdot 0,037)] = 30,67 \text{ мг / (м} \cdot \text{с)}$$

Потужність емісії оксидів азоту:

$$q_{NO_x} = 0,206 \cdot 0,22 \cdot [(0,11 \cdot 25000 \cdot 0,06) + (0,16 \cdot 6250 \cdot 0,06) + (0,33 \cdot 4000 \cdot 0,06) + (0,37 \cdot 300 \cdot 0,06) + (0,34 \cdot 4050 \cdot 0,015) + (0,28 \cdot 400 \cdot 0,015)] = 15,1 \text{ мг / (м} \cdot \text{с)}$$

Для побудови полів розповсюдження домішок CO , C_nH_m та NO_x на придорожній смузі визначали концентрації цих речовин на різних відстанях від краю дороги l у сонячну та хмарну погоду за формулою (2), результати представлені в табл.3.

Значення середньодобових $ГДК$ у повітрі населених міст [8] складають: для оксиду вуглецю - 3 $мг/м^3$, для вуглеводнів - 1,5 $мг/м^3$, оксидів азоту - 0,04 $мг/м^3$.

Таблиця 3

Значення концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі у сонячну (с.п.) і хмарну (д.п.) погоду в поперечному напрямку на відстанях від краю автомобільної дороги

$l, \text{ м}$	10	20	40	60	80	100	150	200	250
$C_{CO}, \text{ мг/м}^3$ (с.п.)	29,99	15,00	10,00	7,50	6,00	4,61	3,35	2,65	2,12
$C_{CO}, \text{ мг/м}^3$ (х.п.)	59,99	29,99	15,00	10,00	7,50	6,00	4,28	3,33	2,73
$C_{C_nH_m}, \text{ мг/м}^3$ (с.п.)	6,12	3,06	2,04	1,53	1,22	0,94	0,64	0,51	0,41
$C_{C_nH_m}, \text{ мг/м}^3$ (х.п.)	12,24	6,12	3,06	2,04	1,53	1,22	0,87	0,68	0,56
$C_{NO_x}, \text{ мг/м}^3$ (с.п.)	3,01	1,51	1,00	0,75	0,60	0,46	0,32	0,25	0,20
$C_{NO_x}, \text{ мг/м}^3$ (х.п.)	6,03	3,01	1,51	1,00	0,75	0,60	0,43	0,33	0,27

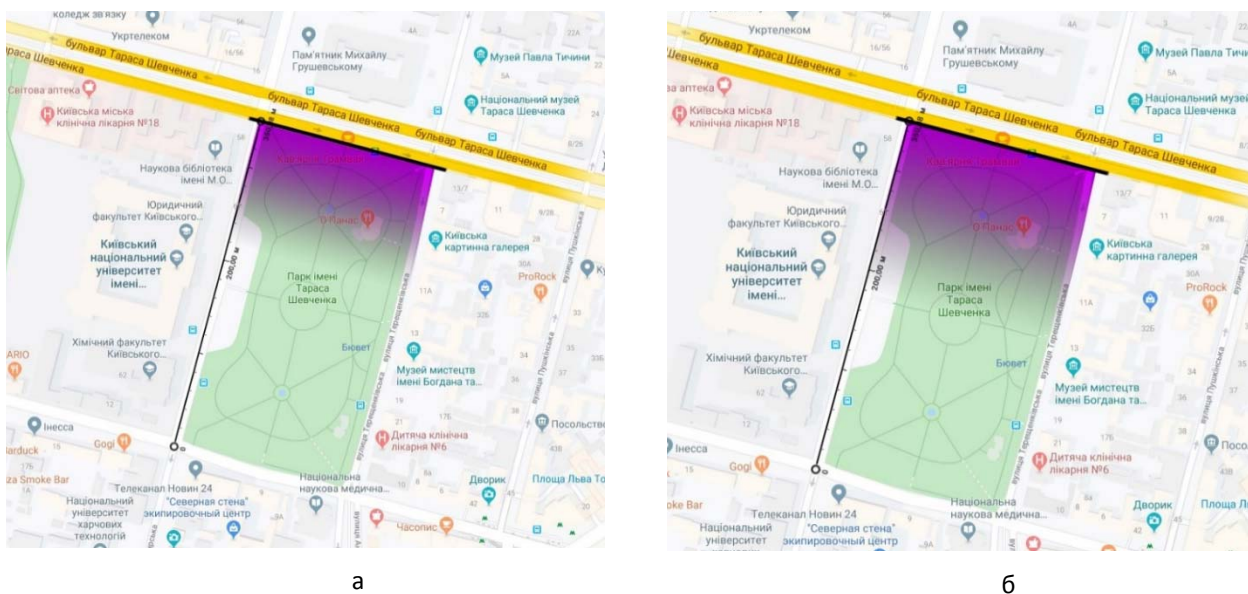


Рис. 3. Градієнтний розподіл оксиду вуглецю на території парку:
а – сонячна погода; б – хмарна погода

Забруднення придорожньої смуги оксидом вуглецю від краю проїзної частини досягає $ГДК_{CO}$ на відстані 175 м в сонячну погоду, а в хмарну збільшується до 228 м. Залежність зниження концентрації речовини від відстані хоча й має складний характер, але дозволяє в наближенні розглядати її як лінійну, що в цілому полегшує розрахунок. Розповсюдження домішок вуглеводнів досягає $ГДК_{CO}$ на відстанях близько 60 і 80 м відповідно. Особливу увагу необхідно звернути на забруднення оксидами азоту, оскільки відстань, на якій концентрація NO_x (визначена інтерполяцією) досягає нормативного значення, становить 410 м.

Згідно [9] відстань від магістралі зовнішнього краю проїзної частини автодороги до житлових будівель має бути $l=50\div 80$ м, тобто ширина забруднення придорожньої смуги забруднюючими речовинами перетинає межі житлової забудови, тому визначили величину перевищення нормативу $ГДК$ цими речовинами у розрахунковій точці на межі житлової забудови.

Фактична концентрація оксиду вуглецю у сонячну погоду ($C_{CO}=8,75 \text{ мг/м}^3$) на відстані $l=50$ м від краю проїзної частини автодороги до житлової забудови перевищує $ГДК_{CO}$. Перевищення вмісту оксиду вуглецю у сонячну та хмарну погоду на відстані 50 м від краю дороги становить відповідно 192 та 317%, вуглеводнів – на 19 та 70%, оксидів азоту – на 2088 та 3038% відповідно.

Аналогічними підрахунками перевищення концентрацій зазначених речовин на відстані 80 м від краю автодороги у сонячну та хмарну погоду відповідно встановлено: для CO – на 100 та 233%, для C_nH_m – майже не перевищує, для NO_x – 1400 та 1775%.

Розподіл оксидів вуглецю в напрямку від магістралі (рис.3) демонструє територію, де присутність людини тривалий час стає небезпечною загрозою для здоров'я.

В той же час парк Т. Шевченка – справжній оазис у центральній частині Києва серед асфальту та бетону, це столичний парк з благоустроєм і стату-

сом історико-культурної пам'ятки місцевого значення. Щодня парком прогулюються діти, студенти, випадкові перехожі та гості столиці. На території столичного скверу часто проводять різні виставки, влаштовують культурні заходи. Тому вкрай необхідно проводити заходи по зниженню забруднення повітря на цій території. Безумовно, виконані розрахунки є орієнтовними (оскільки не враховують багатьох факторів), і справжній розподіл концентрацій відпрацьованих газів у парку відпочинку буде дещо іншим з огляду існуючих зелених насаджень, мінливості напрямку вітру, фонових концентрацій токсикантів, близькості інших автошляхів та ін., але таке моделювання ілюструє якісну ситуацію забруднення досліджуваної ділянки токсичними газами, тому може лягти в основу вирішення завдань, пов'язаних з покращенням стану атмосферного повітря в зоні відпочинку або скупчення миського населення шляхом перерозподілу транспортних потоків та впровадження сучасних засобів благоустрою територій і, особливо, очищення повітря.

5. Висновки. На основі аналізу фактичної середньодобової інтенсивності руху автотранспорту на магістральній мережі і розрахунків потужності емісії та концентрацій токсичних компонентів відпрацьованих газів автотранспорту виявлено, що найбільш небезпечними для житлової забудови та довготривалого місцезнаходження людини є оксиди азоту, особливо у хмарну погоду, коли їх фактичний вміст багаторазово перевищує гранично допустиму концентрацію.

Наведені дані про кількість та якість викидів на магістральних мережах доріг як практично постійного джерела забруднення повітря свідчать про значну шкоду здоров'ю людини, отже необхідні додаткові захисні заходи щодо очищення повітря та зниження концентрації забруднюючих речовин, наприклад, спеціальним обладнанням.

Л і т е р а т у р а

- Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій у 2018 році. – Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського. – Київ, 2019. – 50 с.
- Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря : [метод. рекомендації] // МОЗ України. – Офіційне видання, 2007. – 28 с.
- Урбоекологія / І.А. Василенко, О.А. Півоваров, І.М. Трус, А.В. Іванченко – Дніпро:Акцент ПП, 2017.– 309 с.
- Turner D. Bruce. Atmospheric dispersion estimates / Turner D. Bruce. –Lewis Publishers, 1994. –90 p.
- КД 52.9.4.01-09 Охорона природи. Атмосфера. Методичні вказівки щодо прогнозування метеорологічних умов формування рівнів забруднення повітря в містах України. – Видання офіційне; Державна гідрометеорологічна служба. – К., 2010. – 78 с.
- ОНД-86 Методика розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств. – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – 93 с.
- Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов. - М., 1995. – 127с.
- Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами) (ДСП-201-97) – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97>
- ДБН Б.2.2-12:2019 Планування та забудова територій. – К.: Мінрегіонбуд України, 2019. – 185 с.

References

- Inspection will become difficult for a natural remedy in the territory of Ukraine for the next notice of hydrometeorological organizations in 2018. - Boris Sreznevsky Central geophysical observatory. - Kyiv, 2019. – 50 с.
- Risk assessment for public health from atmospheric pollution: [method. recommendations] // Ministry of Health of Ukraine. - Official edition, 2007. - 28 p.
- Urboecology / I.A. Vasilenko, O.A. Pivovarov, I.M. Rabbitt, A.V. Ivanchenko - Dnipro: Accent of PE, 2017. – 309 p.
- Turner D. Bruce. Atmospheric dispersion estimates / Turner D. Bruce. –Lewis Publishers, 1994. –90 p.
- CD 52.9.4.01-09 Conservation of nature. Atmosphere. Methodical instructions for forecasting of meteorological conditions of formation of air pollution levels in cities of Ukraine. - Official edition; State Hydrometeorological Service. - K., 2010. - 78 p.
- UND-86 Methods of calculation of concentrations in the air of harmful substances contained in the emissions of enterprises. - L.: Gidrometeoizdat, 1987. - 93 p.
- Recommendations for the consideration of environmental protection requirements for the design of roads and bridges. - M., 1995. – 127 p.
- State Sanitary Rules for the Protection of the Atmospheric Air of Settlements (from Chemical and Biological Contamination) (SSP-201-97) - Access Mode: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97/>
- SBC B.2.2-12: 2019 Planning and development of territories. - K. : Minregionbud of Ukraine, 2019. - 185 p.

Татарченко Г.О., Кравченко И.В., Писаренко Н.В., Поркуян С.Л. Исследование загрязнения атмосферного воздуха отработанными газами автотранспорта в городской среде

В работе на примере магистральной дороги возле парка проведен анализ фактической среднесуточной интенсивности движения автотранспорта и рассчитаны мощности эмиссии и концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе отработанных автомобильных газов. Выявлено, что наиболее опасными для жилой застройки являются оксиды азота, особенно в несолнечную погоду, когда их фактическое содержание превышает предельно допустимую концентрацию во много раз. Приведенные данные о количестве и качестве выбросов на магистральных сетях дорог свидетельствуют о значительном вреде здоровью человека.

Выполненные расчеты являются актуальными для решения задач, связанных с моделированием и прогнозированием загрязнения атмосферы транспортными потоками и, соответственно, поиска решений по снижению содержания вредных газов в атмосферном воздухе.

Ключевые слова: загрязнение воздуха, выбросы от автотранспорта, городская среда

Tatarchenko G.O., Kravchenko I.V., Pisarenko N.V., Porkuyan S.L. Study of atmospheric air pollution by exhaust gases in an urban environment.

Currently, in large Ukrainian cities, mobile sources produce more pollutants to the air than stationary industrial sources. This is due to a significant increase in the number of vehicles, insufficient bandwidth of highway system, incorrect architectural and planning decisions, and also due to the exploitation of numerous obsolete cars whose state does not comply with state environmental standards. The gas contamination of the near-surface atmospheric layer of cities becomes the cause of various diseases.

We studied a section of a transport highway in the center of Kiev, in the near vicinity of residential buildings and recreation park, to determine the emission power of toxic components (carbon monoxide, hydrocarbons and nitrogen oxides) of exhaust gases from internal combustion engines and dispersion of contaminants in the surrounding areas. The traffic intensity in this section of the road was determined by direct calculation using video observation at different times of the day. The results were averaged over a ten-minute interval, and then the daily number of vehicles of different types was calculated.

To construct the concentration fields of pollutants, a Gaussian model of the distribution of impurities in the atmosphere at low altitudes was applied. It was found that the width of the roadside contamination covers the boundaries of residential development, and the actual concentrations of CO and NO_x in the air are many times higher than the maximum allowable daily average. This indicates an unfavorable environmental situation, which negatively affects health status of population. This necessitates the adoption of appropriate measures for the rational improvement of the territory and the purification of atmospheric air using modern methods and special equipment.

To improve the environmental situation, it is necessary to optimize the planning structure of the city, organize traffic flows through the construction of duplicate motorways, bypass roads and transport interchanges (including tunnels and bridges). This will significantly reduce the number of gas-brake cycles, and avoid traffic jams and pulls, during which exhaust emissions increase in many times.

Keywords: pollution, air, car emissions, urban environment

Татарченко Галина Олегівна – доктор технічних наук, професор кафедри Будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Северодонецьк, Україна; e-mail: tatarchenkogalina@gmail.com

Кравченко Інна Василівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Хімічної інженерії та екології, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Северодонецьк, Україна; e-mail: nitrousoxide@ukr.net

Писаренко Микола Володимирович – магістр кафедри Будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Северодонецьк, Україна; e-mail: nik.pisarenko.93@ukr.net

Поркуян Сергій Леонідович – старший викладач кафедри Будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Северодонецьк, Україна; e-mail: s.porkuian@gmail.com

Стаття подана 28.10.2019.