

## ВИЗНАЧЕННЯ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН З УРАХУВАННЯМ РЕЖИМІВ РУХУ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ

Коваленко Л.О., Гунько І.С.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
вул. Ярослава Мудрого, 25, 61002, м. Харків  
tr@khadi.kharkiv.ua

Однією з найважливіших екологічних проблем міст є забруднення атмосферного повітря, тому дослідження цього питання є важливим і актуальним. Оцінка викидів забруднюючих речовин від автотранспортних засобів належить до вкрай складної проблеми і залежить від численних факторів: технічного стану й режиму руху автомобіля, структури вулично-дорожньої мережі, якості автомобільного пального й дорожнього покриття, інтенсивності й режимів руху транспорту. Для вивчення впливу умов руху транспортних потоків на забруднення навколишнього середовища в містах була розглянута взаємодія компонентів системи «водій – автомобіль – дорожнє середовище». Об'єктом для досліджень була обрана одна ділянка магістральної вулиці загальноміського значення Салтівського шосе та три ділянки магістральних вулиць районного значення – Гвардійців Широнінців, проспект Тракторобудівників і проспект Ювілейний. Для оцінки рівнів викидів автомобільним транспортом в атмосферу на дослідних ділянках була розглянута характеристика транспортного потоку із поділом автомобілів на три основних категорії: легкові, вантажні автомобілі, автобуси та їх розподіл за типами двигунів. Автори вважають, що на перегонах швидкість руху транспортного потоку є стабільною. Значення викидів забруднюючих речовин і витрати палива було визначено для режиму руху з постійною швидкістю. Були визначені сумарні викиди діоксиду азоту, оксиду вуглецю та вуглеводнів на дослідних ділянках. Аналіз результатів визначення викидів і концентрацій забруднюючих речовин показав перевищення допустимих значень концентрацій оксиду вуглецю на двох ділянках. При інтенсивності руху до 400 автомобілів на годину концентрація оксиду вуглецю на відкритій території на відстані 20–30 м від проїзної частини знижується приблизно вдвічі-втричі і досягає нормальної або граничної концентрації. Для зниження шкідливого впливу вихлопних газів і їхньої нейтралізації запропоновані комплексні заходи, які включають організаційні, технологічні, технічні, санітарно-гігієнічні, економічні та інші. *Ключові слова:* автомобільний транспорт, атмосферне повітря, режими руху, викиди, концентрації забруднюючих речовин.

### **Determination of pollutant emissions taking into account traffic flow patterns. Kovalenko L., Hunko I.**

One of the major environmental problems of cities is air pollution, so research into this issue is important and relevant. The estimation of pollutant emissions from motor vehicles is an extremely difficult problem and depends on numerous factors: the technical condition and mode of traffic of the car, the structure of the road and road network, the quality of automobile fuel and road surface, the intensity and modes of traffic. To study the effect of traffic flow conditions on environmental pollution in cities, the interaction of the components of the driver-car-road system was considered. One section of the main street of the “city – wide” value of Saltivskoe highway and three sections of the main street of district importance – the Shironintsev Guardsmen, Tractor Builders Avenue and Jubilee Avenue were selected as the object of research. In order to estimate the levels of emissions by motor transport into the atmosphere at the experimental sites, the characteristics of the traffic flow were divided by division of cars into three main categories: cars, trucks, buses and their distribution by engine types. We believe that the speed of movement, traffic flow is stable in the race. The values of pollutant emissions and fuel consumption are determined for constant speed driving. The total emissions of nitrogen dioxide, carbon monoxide and hydrocarbons at the test sites were determined. An analysis of the results of the determination of pollutant emissions and concentrations showed an excess of the permissible values of carbon monoxide concentrations in the two sites. When the intensity of the movement of up to 400 cars per hour, the concentration of carbon monoxide in the open area at a distance of 20–30 m from the roadway is reduced by about 2-3 times and reaches a normal or maximum concentration. To reduce the harmful effects of exhaust gases and their neutralization, comprehensive measures are proposed, including: organizational, technological, technical, sanitary, economic and others. *Key words:* car transport, atmospheric air, movement modes, emissions, concentration of pollutants.

**Постановка проблеми.** Протягом останніх років значна кількість промислових об'єктів країни працює не на повну потужність, у зв'язку з чим основним джерелом забруднення атмосферного повітря стає автомобільний транспорт. Забруднення атмосфери викидами автотранспорту посідає третє місце після виробництва електроенергії, газу, води та обробної промисловості за рахунок постійного збільшення кількості автомобілів.

Транспорт завжди був одним із найзначніших джерел забруднення атмосферного повітря, особливо

автомобільний. Основною причиною інтенсивного забруднення атмосфери автомобільним транспортом є щорічне збільшення його загальної кількості, експлуатація технічно застарілого автомобільного парку, низька якість паливно-мастильних матеріалів, незадовільний стан автомобільних шляхів, відсутність об'їзних маршрутів, дорожніх розв'язок, підземних пішохідних переходів і погана організація руху.

**Актуальність дослідження.** У великих містах світу забруднення довкілля викидами автотранспорту складає 40–80 %. Автомобілі викидають

у повітря велику кількість відпрацьованих вихлопних газів, які складаються більш ніж із 200 різних речовин [1]. Багато з них є сильними отрутами: окис вуглецю, окисли азоту, сполуки свинцю, ароматичні альдегіди, а також канцерогенні вуглеводні, наприклад бенз(а)пирени, що мають дуже високу активність і токсичність.

Однією з найважливіших екологічних проблем міст є забруднення атмосферного повітря, яке відбувається через збільшення обсягів викидів шкідливих речовин і пересувних джерел забруднення, тому дослідження цієї проблеми є важливим і існує потреба в удосконаленні системи управління охороною атмосферного повітря в містах. Дослідження викидів шкідливих речовин автомобілями транспортних потоків є актуальним, а розроблення заходів для покращення екологічного стану населених пунктів є досить важливою сучасною задачею.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вивченню питань визначення викидів токсичних речовин автомобілями транспортного потоку та пошуку шляхів покращення екологічних показників транспортних засобів в різні часи було присвячено багато досліджень [2–6]. Доведено, що викиди забруднюючих речовин автомобілями залежать від потужності і типу двигуна, режиму його роботи, технічного стану автомобіля, швидкості руху, якості палива.

Викиди шкідливих речовин в окремих фазах руху і на маршруті оцінюються залежно від типу транспортних засобів, режимів роботи двигуна і концентрацій компонентів відпрацьованих газів ( $\text{CO}$ ,  $\text{C}_x\text{H}_y$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ , твердих частинок), витрат палива [3; 4]. Всі ці показники складають багатопараметрову характеристику, отриману експериментально на моторному стенді [2; 3]. Для оцінки витрати палива (г/ч) у режимі холостого ходу бензинових транспортних засобів можна використовувати формулу [3]:

$$G_x = 0,1079 + 19683,45P - 3046397,75P^2, \quad (1)$$

де  $P$  – комплексний показник, який відображає одночасно рівень форсування двигуна за тепловим, динамічним навантаженням, і матеріаломісткість конструкції [кг/л / (кВт<sup>2</sup>·хв<sup>-1</sup>)]:

$$P = m_n / (N_e n / V_h), \quad (2)$$

де  $m_n$  – питома маса, кг/кВт;  $N_e$ ,  $n$  – номінальна потужність і частота обертання колінчастого вала, хв<sup>-1</sup>;  $V_h$  – робочий обсяг двигуна, л.

У бензинових транспортних засобів при розгоні істотно зростають викиди  $\text{CO}$  і  $\text{NO}_x$ , причому зі збільшенням літражу двигуна значення коефіцієнтів  $k_p$  знижуються, витрата палива і викиди  $\text{C}_x\text{H}_y$  також зростають. У дизельних транспортних засобів зростають викиди твердих частинок (сажі) і витрата палива, при уповільненні значення питомих викидів знижуються.

Викиди  $\text{CO}$  газовими транспортними засобами істотно нижче, ніж бензиновими двигунами. Використання газодизельного циклу призводить до

помітного зростання викидів  $\text{CO}$  і  $\text{C}_x\text{H}_y$  та зниження викидів  $\text{NO}_x$  і твердих частинок. Викиди  $\text{CO}$  вантажними транспортними засобами і автобусами з бензиновими двигунами більше, ніж у дизельних автомобілів. Однак в останніх більше викидів  $\text{NO}_x$ , твердих частинок і  $\text{SO}_2$  [2–4].

**Не вирішені раніше частини загальної проблеми.** Аналіз публікацій доводить, що дослідження питань визначення викидів і концентрацій забруднюючих речовин у населених пунктах є складною та важливою задачею і вимагає комплексного підходу. Для вивчення впливу умов руху транспортних потоків на забруднення навколишнього середовища в містах була розглянута взаємодія компонентів системи «водій – автомобіль – дорожнє середовище».

**Виклад основного матеріалу.** Об'єктом для досліджень була обрана одна ділянка магістральної вулиці загальноміського значення Салтівського шосе (ділянка 4) та три ділянки магістральні вулиці районного значення – Гвардійців Широнінців (ділянка 3), проспект Тракторобудівників (ділянка 2) та проспект Ювілейний (ділянка 1).

Салтівське шосе належить до магістральної вулиці загальноміського значення [7]. Вулиця з'єднує центр міста з Салтівським житловим масивом. Довжина – близько 6 км. Розрахункова швидкість руху складає 60 км/год., інтенсивність руху – 1125 авт./год. Ділянка обраною для досліджень вулиці Салтівське шосе має три смуги руху в одному та в зворотному напрямку. Ширина проїзної частини складає 33 м, з яких 7 м – це зелена роздільна смуга. По вулиці проходить лінія трамвая і багато автобусних маршрутів.

Вулиця Гвардійців Широнінців має довжину близько 6,5 км. Ділянкою вулиці, обраною для досліджень, проходять маршрути автобусів і тролейбусів, вона належить до магістральної вулиці районного значення [7]. Розрахункова швидкість руху складає 60 км/год. Інтенсивність руху складає 635 авт./год. Вулиця Гвардійців Широнінців має по дві смуги руху у кожному напрямку. Ширина проїзної частини – 15 м.

Проспект Тракторобудівників належить до магістральної вулиці районного значення [7]. Розрахункова швидкість руху складає 60 км/год., інтенсивність руху – 426 авт./год. Проспект Тракторобудівників має по дві смуги руху у кожному напрямку. Ширина проїзної частини складає 15 м. По вулиці проходить лінія трамвая і автобусних маршрутів.

Проспект Ювілейний належить до магістральної вулиці районного значення [7]. Розрахункова швидкість руху складає 60 км/год., інтенсивність руху – 813 авт./год. Проспект Ювілейний має по три смуги руху в кожному напрямку. Ширина проїзної частини коливається в межах від 22 до 25 м.

Для оцінки рівнів викидів автомобільним транспортом в атмосферу на дослідних ділянках була розглянута характеристика транспортного потоку із поділом автомобілів на три основних категорії: легкові, вантажні автомобілі, автобуси (таблиця 1).

Таблиця 1

## Характеристика транспортного потоку на дослідних ділянках за типами двигунів

Дослідна ділянка	Номер ділянки	Кількість автотранспортних засобів, авт./год.					Всього авт./год.
		Легкові	Вантажні		Автобуси		
			дизельні двигуни	бензинові двигуни	дизельні двигуни	бензинові двигуни	
Пр. Ювілейний	1	726	30	22	11	7	813
Пр. Тракторобудівників	2	391	13	8	5	3	426
Вул. Гвардійців Широнівців	3	594	14	10	8	2	426
Салтівське Шосе	4	930	106	43	15	11	1125

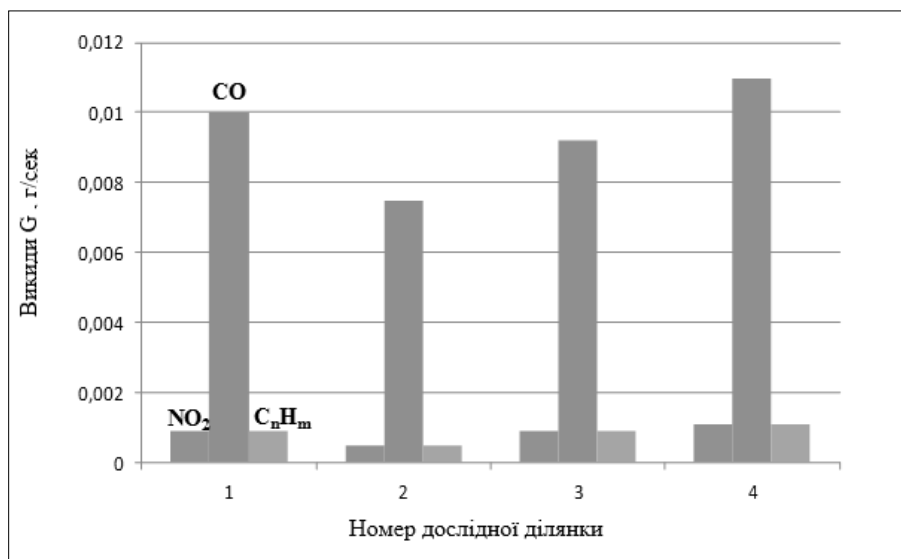


Рис. 1. Викиди забруднюючих речовин легковими автомобілями на дослідних ділянках м. Харкова

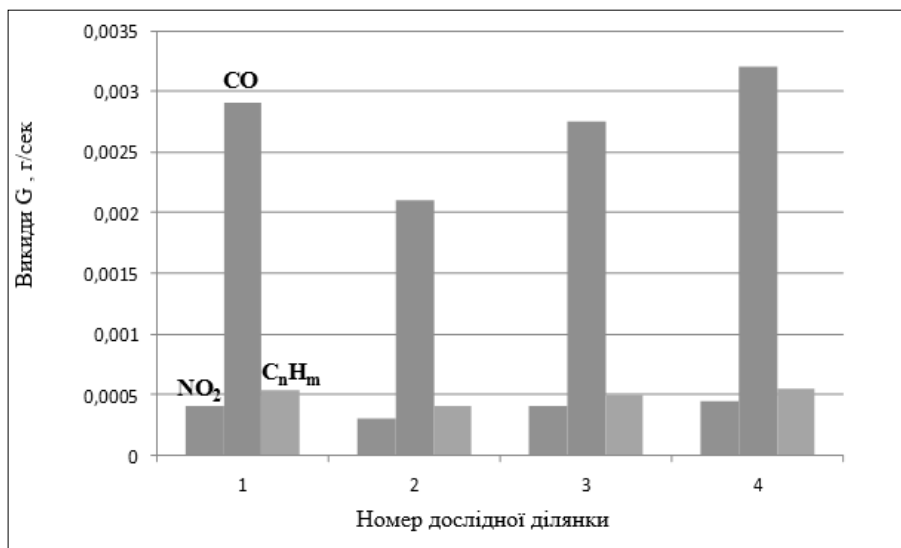


Рис. 2. Викиди забруднюючих речовин вантажними автомобілями з бензиновим двигуном на дослідних ділянках

Кількість викидів автори визначали за методикою оцінки впливу транспорту на навколишнє середовище. Викиди забруднюючих речовин (CO, NO<sub>2</sub>, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> та інших) автомобілями транспортного потоку на перегонах можуть бути визначені за формулою [7; 8]:

$$B = \sum_j \sum_i B_j P_i N, \quad (3)$$

де  $B_j$  – викид  $j$ -ї забруднюючої речовини окремими групами транспортних засобів, г/км;  $P_i$  – доля  $i$ -ї групи транспортних засобів у транспортному

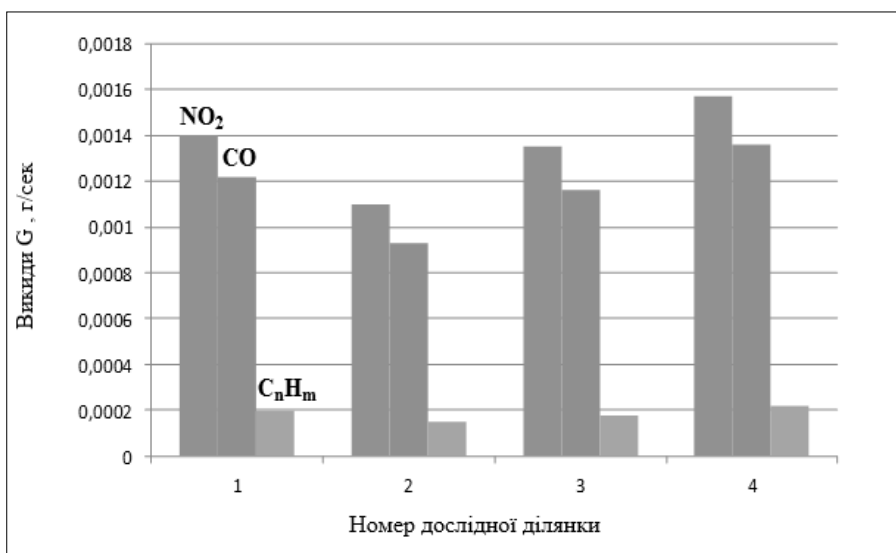


Рис. 3. Викиди шкідливих речовин вантажними автомобілями з дизельним двигуном на дослідних ділянках

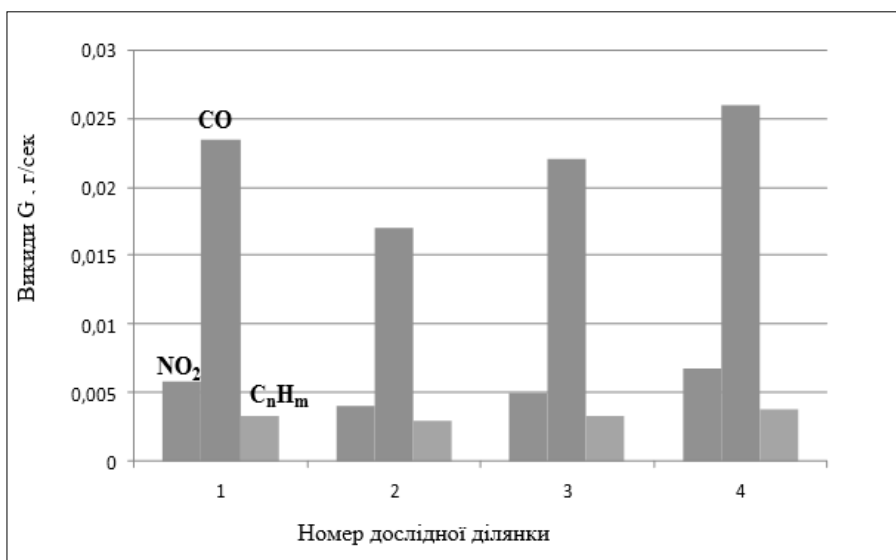


Рисунок 4. Сумарні викиди забруднюючих речовин автомобілями на дослідних ділянках м. Харкова

потоці;  $N$  – інтенсивність руху транспортного потоку, авт./год. Автори вважають, що на перегонах швидкість руху транспортного потоку є стабільною. Значення викидів забруднюючих речовин і витрати палива було визначено для режиму руху з постійною швидкістю.

Результати досліджень для різних типів автомобілів, дослідних ділянок і речовин, які викидаються з відпрацьованими газами, наведені у вигляді графічних залежностей на рисунках 1–3.

Було визначено сумарні викиди діоксиду азоту, оксиду вуглецю та вуглеводнів на дослідних ділянках з урахуванням викидів окремих типів автомобілів, які рухаються у складі транспортного потоку густонаселеними районами м. Харкова. Результати обрахунків наведені на графіках сумарних викидів (рисунок 4).

Концентрація забруднюючої речовини в атмосферному повітрі обчислюється за формулою [8]:

$$C = \frac{2 \cdot M}{\sqrt{2\pi\delta} \cdot V \cdot \sin\phi} + F, \quad (4)$$

де  $\delta$  – стандартне відхилення розсіювання Гауса у вертикальному напрямі, яке залежить від погодних умов і відстані від дороги;  $V$  – швидкість вітру;  $\phi$  – кут між напрямом вітру та дороги;  $F$  – фонові концентрації забруднення.

На відкритій місцевості найбільш інтенсивне зменшення концентрації шкідливих речовин відбувається в інтервалі 12÷20 м від джерела забруднення. Аналіз результатів визначення викидів і концентрацій забруднюючих речовин на дослідних ділянках показав перевищення допустимих значень концентрацій оксиду вуглецю на двох ділянках – пр. Ювілейний і Салтівське шосе (таблиця 2). Для зниження рівня забруднення на цих ділянках необхідно розглянути заходи щодо покращення екологічного стану міських вулиць.

Таблиця 2

## Результати визначення викидів і концентрацій забруднюючих речовин на дослідних ділянках

Дослідна ділянка	Номер ділянки	Сумарні викиди забруднюючих речовин, г/с			Концентрація CO, мг/м <sup>3</sup>
		NO <sub>2</sub>	CO	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	
Пр. Ювілейний	1	0,0058	0,0235	0,0033	10,1
Пр. Тракторобудівників	2	0,004	0,017	0,0029	5,3
Вул. Гвардійців Широнівців	3	0,005	0,022	0,0033	7,5
Салтівське Шосе	4	0,0068	0,026	0,0038	12,5

Для покращення екологічного стану на цих вулицях в якості першочергових заходів можна запропонувати висадження зелених насаджень на ділянках зелених газонів між проїзною частиною і житловою забудовою. Запропоновані заходи дозволять знизити концентрації оксиду вуглецю із 12,5 мг/м<sup>3</sup> до 5 мг/м<sup>3</sup> на лінії забудови по вулиці Салтівське шосе, на пр. Ювілейному зниження концентрації оксиду вуглецю складе від 10 мг/м<sup>3</sup> до 3,5 мг/м<sup>3</sup>.

**Головні висновки.** Рівень загазованості доріг і прилеглої території залежить від інтенсивності руху автомобілів, ширини і рельєфу вулиці, швидкості вітру, частки вантажного транспорту та автобусів у загальному потоці тощо. При інтенсивності руху до 400 автомобілів на годину концентрація оксиду вуглецю на відкритій території на відстані 20-30 м від проїзної частини знижується приблизно вдвічі-втричі і досягає нормальної або граничної концентрації. На швидкість поширення забруднення і концентрацію його в окремих зонах міста значно впливають погодні умови, здебільшого за штильової погоди (75% випадків) або при слабких вітрах (від 1 до 4 м/с). На вузьких вулицях міст розсіювання викидів автомобілів ускладнюється, а мешканці населених пунктів відчувають шкідливий вплив забруднення атмосферного повітря.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Для зниження шкідливого впливу вихлопних газів і їхньої нейтралізації в індустріально розвинених містах України, зокрема й у м. Харкові,

автори пропонують такі комплексні захисні заходи, які включають організаційні, технологічні, технічні, санітарно-гігієнічні, економічні й соціально-правові.

До основних заходів можна віднести:

- установку датчика показань вмісту шкідливих викидів вихлопних газів на щитках приладів кожного водія;
- вирішення проблеми паркувань автомобілів на вулицях із метою запобігання звуженню проїзної частини та погіршення умов руху;
- поліпшення складу палива, відмову від етилових бензинів, застосування добавок до палива, які зменшують виникнення токсичних компонентів;
- застосування електромобілів та інших екологічних типів двигунів;
- розробку й використання ефективних нейтралізаторів вихлопних газів, які знижують токсичність автотранспорту в Україні, зокрема й у м. Харкові;
- обов'язковий винос транзитного транспорту за межі міста;
- обмеження ввозу й експлуатації транспортних засобів іноземного виробництва старше п'яти років, тому що їхні двигуни вже не відповідають світовим стандартам;
- рекомендувати міській адміністрації направити кошти на придбання трамваїв, тролейбусів і електромобілів, а не на закупівлю автобусів, які на 80% забруднюють атмосферу (особливо канцерогенними й токсичними викидами).

## Література

1. Екологія та автомобільний транспорт : навч. посіб. / Ю.Ф. Гутаревич, Д.В. Зеркалов, А.Г. Говорун та ін. Київ : Арістей, 2006. 292 с.
2. Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте : учеб. пособ. Москва : Транспорт, 1990. 135 с.
3. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Промышленно-транспортная экология : учеб. для вузов. Москва : Высшая школа, 2001. 273 с.
4. Гутаревич Ю.Ф. Екологія та автомобільний транспорт : навч. посіб. Вид. 2-ге, переробл. і допов. Київ, 2008. 296 с.
5. Пляцук Л.Д., Васькін Р.А., Соляник В.О., Васькіна І.В. Методика розрахунку викидів від автотранспортних засобів залежно від структури транспортного потоку. *Екологія безпеки*. 2011. № 2 (21). С. 116–118.
6. Матейчик В.П., Гришук О.К., Вайганг Г.О., Блажчук О.В. Визначення викидів забруднюючих речовин з урахуванням режимів руху транспортного потоку. *Вісник НТУ. Серія: Технічні науки*. 2015. Вип. 2 (32). С. 174–181.
7. ДБН В.2.3-5:2018. Споруди транспорту. Вулиці та дороги населених пунктів. [Чинний від 2018-09-01]. Київ, 2018. 54 с. (Національний стандарт України).
8. Гаврилов Э.В., Гридчин А.М., Ряпухин В.Н. Системное проектирование автомобильных дорог : Учебное пособие, Ч. I. Москва – Белгород : Издательство АСВ, 1998. 152 с.