

**В.Є. Титаренко, к.т.н., доц.
В.О. Нестеренко, магістрант**

Житомирський державний технологічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕХРЕСТЬ ЗА ВИКИДАМИ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ У МІСТІ ЖИТОМИРІ

Наведено результати досліджень проблеми екологічності перехресть автомобільних доріг за викидами транспортних засобів в місті Житомир. Було використано статистичні методи визначення інтенсивності транспортних потоків за викидами транспорту по записах камер відеоспостереження.

Для оцінки екологічності обрано перехрестя з найбільшою інтенсивністю транспортних потоків, на яких була ймовірність накопичення забруднень викидами транспорту, що перевищують допустимі норми. Розрахунок забрудненості виконаний для перехрестя вул. Небесної Сотні – вул. М.Грушевського. Результати розрахунку порівняно з гранично допустимими концентраціями та зроблено висновки, що вказують на гостроту проблеми та нагальність її вирішення.

Система екологічної безпеки в місті Житомир вимагає значних удосконалень в зв'язку з перевищеннями фактичних значень забрудненості над нормативними параметрами.

Рекомендації з покращення екологічного стану перехресть можуть бути розроблені через оптимізацію транспортних потоків із застосуванням інтелектуальних транспортних систем.

Ключові слова: викиди двигунів транспортних засобів; екологічна безпека перехресть; оцінка екологічності; інтенсивність транспортних потоків; гранично допустимі концентрації; інтелектуальні транспортні системи.

Постановка проблеми. Проблемою великих міст, як доведено багатьма науковцями [1, 6, 7], є екологічна безпека, пов'язана зі станом повітря в місцях найбільш інтенсивних транспортних потоків, якими, перш за все є перехрестя. Тому в даній роботі ставиться задача оцінки забрудненості перехресть викидами автомобільного транспорту в місті Житомир.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження літературних джерел [1, 6, 7, 8] показують, що найбільше екологічне навантаження за викидами двигунів транспортних засобів у містах мають транспортні перехрестя. В них вказується, що перевищення викидів над нормами за основними складовими у великих містах сягає десятків разів і формує екологічну проблему.

Постановка завдання. Основним джерелом забруднення атмосферного повітря в наш час став автомобільний транспорт. Це особливо помітно у великих містах.

Основним наслідком збільшення кількості автотранспорту є зростання антропогенного впливу на навколишнє середовище і, перш за все, атмосферу забудованих територій. Викиди автомобілів небезпечні тим, що надходять безпосередньо в приземний шар атмосфери, де швидкість вітру незначна і тому гази повільно розсіюються.

Мета даної роботи полягає у виявленні найбільш критичних перехресть транспортної мережі, де забруднюючі речовини (ЗР), що викидаються автотранспортом в повітряний басейн міста Житомир, значно перевищують гранично допустимі концентрації (ГДК).

У процесі роботи двигунів транспортних засобів до атмосфери потрапляє величезна кількість пилу, токсичних речовин, що містяться в відпрацьованих газах силових установок, створюються високі рівні шуму, забруднюється повітря, ґрунт, водойми з утворенням шкідливих для людини і природного середовища речовин.

Рівень загазованості перехресть залежить від інтенсивності руху автомобілів, ширини і рельєфу вулиць, швидкості вітру, частки вантажного транспорту й автобусів у загальному потоці, виду палив, на яких працюють транспортні засоби (ТЗ), та інших факторів. Ускладнене розсіювання викидів автомобілів особливо помітно на тісних вулицях, в результаті чого мешканці міста відчувають на собі шкідливий вплив забрудненого повітря.

Викладення основного матеріалу. Для визначення концентрацій газоподібних токсикантів і сажі, що потрапляють в придорожній простір з вихлопами ТЗ, використовувався як розрахунковий метод, так і метод натурного визначення.

У м. Житомир були встановлені камери відеоспостереження на 24 перехрестях вулиць, на яких нами проведені дослідження інтенсивності транспортних потоків для їх порівняння та визначення найбільш критичних перехресть (табл. 1).

Порівняння інтенсивності транспортних потоків перехресть за інтервал руху в 1 хвилину

№ з/п перехрестя	Назва перехрестя	Кількість автомобілів за 1 хв.
1	майдан ім. С.П. Корольова – Новий Бульвар	38
2	вул. Корольова – вул. Вітрука	43
3	майдан ім. С.П. Корольова – вул. Михайлівська	38
4	майдан ім. С.П. Корольова – вул. Велика Бердичівська	40
5	вул. Жуйка – вул. Велика Бердичівська	52
6	вул. Київська – Соборний майдан	37
7	вул. Київська – вул. Театральна	43
8	вул. Перемоги – майдан Перемоги	40
9	вул. Київська – просп. Незалежності	48
10	вул. Небесної сотні – майдан Житній ринок	35
11	майдан Перемоги – вул. Театральна	37
12	вул. Київська – вул. Небесної сотні	53
13	вул. Небесної сотні – вул. Житній Базар	44
14	майдан Визволення – майдан Перемоги – просп. Незалежності	51
15	вул. Хлібна – вул. Гоголівська	36
16	вул. І.Кочерги – вул. Велика Бердичівська	44
17	вул. Київська – вул. Хлібна	42
18	вул. Східна – просп. Незалежності	49
19	вул. Старовільська – вул. Перемоги – вул. Короленка	45
20	вул. Велика Бердичівська – вул. Театральна	38
21	вул. Вітрука – вул. І. Огієнка	36
22	вул. Небесної Сотні – вул. М. Грушевського	46
23	вул. Жуйка – Шосейний провулок	35
24	вул. Л. Качинського – вул. Д. Донцова	36

Для оцінки екологічності за викидами ТЗ нами обрано перехрестя з найбільшою інтенсивністю руху. За таблицею 1 до них належать:

- 2) вул. Корольова – вул. Вітрука,
- 5) вул. Жуйка – вул. Велика Бердичівська,
- 7) вул. Київська – вул. Театральна,
- 9) вул. Київська – просп. Незалежності,
- 14) майдан Визволення – майдан Перемоги – просп. Незалежності,
- 16) вул. І. Кочерги – вул. Велика Бердичівська,
- 18) вул. Східна – просп. Незалежності,
- 19) вул. Старовільська – вул. Перемоги – вул. Короленка,
- 22) вул. Небесної Сотні – вул. М. Грушевського.

Для визначення характеристик автотransпортних потоків на обраних ділянках вулично-дорожньої мережі нами був проведений загальний облік руху автотransпортних засобів в обох напрямках.

Для виявлення максимального транспортного навантаження на зазначених перехрестях дослідження виконувалися протягом робочого тижня в години «пік»: з 8 до 11 та з 16 до 19 годин.

Для розрахунку визначалася середня кількість автотransпорту за 20-хвилинний інтервал та кількість 20-хвилинних інтервалів за зазначений вище період протягом дня.

Добуток середньої інтенсивності за інтервал на кількість інтервалів є вираженням загальної кількості автомобілів, що рухаються в час «пік» в середньому на день.

Результати розрахунків середньої загальної інтенсивності транспортних потоків за один день показано в таблиці 2.

Таблиця 2

Середня сумарна кількість ТЗ рухомого транспортного потоку
за період з 8 до 11 та з 16 до 19 години на день

№ з/п перехрестя	Назва перехрестя	Загальна кількість автотранспорту	Вантажні автомобілі	Автобуси
2	вул. Корольова – вул. Вітрука	3164	121	1182
5	вул. Жуйка – вул. Велика Бердичівська	5788	98	910
7	вул. Небесної Сотні – вул. Київська	3025	94	981
9	вул. Київська – просп. Незалежності	3576	72	442
14	майдан Визволення – майдан Перемоги – просп. Незалежності	3507	113	1280
16	вул. І. Кочерги – вул. Велика Бердичівська	2288	68	924
18	вул. Східна – просп. Незалежності	4839	124	1255
19	вул. Старовільська – вул. Перемоги – вул. Короленка	4238	132	1047
22	вул. Небесної Сотні – вул. М.Грушевського	5866	106	954

На обраних перехрестях за інтенсивністю транспортних потоків, наведених в таблиці 2, має місце ймовірність накопичення забруднень викидами автотранспорту, що перевищують допустимі норми. Для перевірки даного припущення нами були проведені розрахунки за методикою [10].

Інтенсивність забруднення i -ою ЗР $M_{\Pi i}$ в зоні перехрестя при заборонному сигналі світлофора визначається за основною формулою методики:

$$M_{\Pi i} = \frac{P}{40} \sum_{n=1}^{N_{\Pi}} \sum_{k=1}^{N_{gr}} (M'_{\Pi i, k} \cdot G_{k, n}) \quad (\text{г/хв.}), \quad (1)$$

де: P (хв.) – тривалість дії заборонного сигналу світлофора (включаючи жовтий колір);

N_{Π} – кількість циклів дії заборонного сигналу світлофора за 20-хвилинний період часу;

N_{gr} – кількість груп автомобілів;

$M'_{\Pi i, k}$ (г/хв.) – питомий викид i -ої ЗР автомобілями, k -ої групи, що знаходяться в «черзі» при заборонному сигналі світлофора;

$G_{k, n}$ – кількість автомобілів k -ої групи, що знаходяться в «черзі» в зоні перехрестя в кінці n -го циклу заборонного сигналу світлофора.

Значення $M'_{\Pi i, k}$ визначаються за таблицею 3, в якій наведено усереднені питомі викиди двигунів ТЗ (г/хв.), що враховують режими руху автомобілів в районі перетину перехрестя (гальмування, холостий хід, розгін) [12], а значення P , N_{Π} , $G_{k, n}$ – за результатами натурних обстежень.

Для оцінки забрудненості перехрестя нами було розраховано накопичення викидів автомобілів на одному з найбільш навантажених – **вул. Небесної Сотні – вул. М.Грушевського**.

Для розрахунку прийняті значення: $P = 0,44$ хв.; $N_{\Pi} = 11$; $N_{gr} = 5$.

Таблиця 3

Питомі значення викидів для автомобілів, що знаходяться в зоні перехрестя $M'_{\Pi i, k}$

Найменування групи автомобілів	№ групи	Викиди, г/хв.						
		CO	NO _x (в перерах. на NO ₂)	C _n H _m	Сажа	SO ₂	Формальдегід	Бенз(а)пірен
Легкові вітчизняні	I _в	0,8	0,02	0,12	0,02	0,006	0,0005	0,4·10 ⁻⁶
Легкові зарубіжні	I _з	0,3	0,01	0,05	0,01	0,006	0,0003	0,2·10 ⁻⁶
Мікроавтобуси і автофургони	II	2,0	0,04	0,25	0,04	0,012	0,0011	0,8·10 ⁻⁶
Автобуси бензинові	III	4,0	0,08	0,9	–	0,009	0,4	1,2·10 ⁻⁶

Автобуси дизельні	IV	1,1	0,11	0,6	0,2	0,015	0,0025	1,6·10 ⁻⁶
Вантажні бензинові, маса яких більше 3,5 т (враховуючи ті, що працюють на зрідженому газі)	V	10,0	0,12	1,2	–	0,009	0,005	4,0·10 ⁻⁶
Вантажні дизельні, маса <12 т	VI	1,5	0,12	0,6	0,23	0,02	0,0025	2,0·10 ⁻⁶
Вантажні дизельні, маса >12 т	VII	12,0	8,0	6,5	0,5	0,12	0,03	2,5·10 ⁻⁶

Інтенсивність шкідливих впливів автотранспорту на перехресті вул. Небесної Сотні – вул. М.Грушевського за визначений період протягом одного дня дорівнює:

$$M_{CO} = \frac{0,44}{40} \cdot 11 \cdot \left(\begin{array}{l} (0,8 \cdot 2500) + (0,3 \cdot 1300) + \\ + (2,0 \cdot 300) + (4,0 \cdot 106) + \\ + (1,1 \cdot 954) \end{array} \right) = 540,07 (\text{г/хв.}) = 9,0 (\text{г/с}); \quad (2)$$

$$M_{NO_x} = \frac{0,44}{40} \cdot 11 \cdot \left(\begin{array}{l} (0,02 \cdot 2500) + (0,01 \cdot 1300) + \\ + (0,04 \cdot 300) + (0,08 \cdot 106) + \\ + (0,11 \cdot 954) \end{array} \right) = 22,79 (\text{г/хв.}) = 0,38 (\text{г/с}); \quad (3)$$

$$M_{C_nH_m} = \frac{0,44}{40} \cdot 11 \cdot \left(\begin{array}{l} (0,12 \cdot 2500) + (0,05 \cdot 1300) + \\ + (0,25 \cdot 300) + (0,9 \cdot 106) + \\ + (0,6 \cdot 954) \end{array} \right) = 134,04 (\text{г/хв.}) = 2,234 (\text{г/с}); \quad (4)$$

$$M_{Сажа} = \frac{0,44}{40} \cdot 11 \cdot \left(\begin{array}{l} (0,02 \cdot 2500) + (0,01 \cdot 1300) + \\ + (0,04 \cdot 300) + \\ + (0,2 \cdot 954) \end{array} \right) = 32,16 (\text{г/хв.}) = 0,536 (\text{г/с}); \quad (5)$$

$$M_{SO_2} = \frac{0,44}{40} \cdot 11 \cdot \left(\begin{array}{l} (0,006 \cdot 2500) + (0,006 \cdot 1300) + \\ + (0,012 \cdot 300) + (0,009 \cdot 106) + \\ + (0,015 \cdot 954) \end{array} \right) = 5,04 (\text{г/хв.}) = 0,084 (\text{г/с}); \quad (6)$$

$$M_{Формал.} = \frac{0,44}{40} \cdot 11 \cdot \left(\begin{array}{l} (0,0005 \cdot 2500) + (0,0003 \cdot 1300) + \\ + (0,0011 \cdot 300) + (0,4 \cdot 106) + \\ + (0,0025 \cdot 954) \end{array} \right) = 5,66 (\text{г/хв.}) = 0,094 (\text{г/с}); \quad (7)$$

$$M_{Benz(a)P} = \frac{0,44}{40} \cdot 11 \cdot \left(\begin{array}{l} (0,4 \cdot 10^{-6} \cdot 2500) + (0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 1300) + \\ + (0,8 \cdot 10^{-6} \cdot 300) + (1,2 \cdot 10^{-6} \cdot 106) + \\ + (1,6 \cdot 10^{-6} \cdot 954) \end{array} \right) = 381 \cdot 10^{-6} (\text{г/хв.}) = 6,35 \cdot 10^{-6} (\text{г/с}). \quad (8)$$

За програмою «Gaussian Dispersion Model Calculator» та методикою ОНД-86 [11] нами були розраховані концентрації ЗР в зоні перехрестя за моделлю розсіювання Гауса (табл. 4).

Таблиця 4

Розрахункова концентрація забруднюючих речовин в зоні перехрестя

Викид, мг/м ³						
CO	NO _x (в перерах. на NO ₂)	C _n H _m	сажа	SO ₂	формальдегід	бенз(а)пірен
17,64	0,746	4,39	1,05	0,16	0,18	0,000012

ГДК забруднюючих речовин наводимо в таблиці 5 [7].

Таблиця 5

ГДК забруднюючих речовин у робочій зоні і в атмосфері населених пунктів

Гранично допустимі концентрації	Викид, мг/м ³						
	CO	NO _x (в перерах. на NO ₂)	C _n H _m	Сажа	SO ₂	Формальдегід	Бенз(а) пірен
	5	0,2	1	0,15	0,5	0,035	0,000001

Висновки: 1. Порівнюючи фактичні значення викидів ЗР з допустимими, можна сказати про перевищення «у рази» за основними викидами: CO – 3,53; NO_x – 3,73; C_nH_m – 4,39; сажа – 7; SO₂ – 0,32; формальдегід – 5,14; бенз(а)пірен – 12.

2. Для усунення екологічної проблеми загазованості перехресть необхідно зменшувати інтенсивність транспортних потоків через транспортні розв'язки.

3. Екологічна безпека на території міста Житомир повинна забезпечуватися широким комплексом взаємопов'язаних заходів. Вони повинні утворювати своєрідний правовий механізм, який слід розуміти як систему засобів, спроможну посилювати рівень екологічної безпеки, попереджувати погіршення екологічної обстановки транспортних перехресть та виникнення небезпеки для населення.

Для екологічної безпеки важливим є використання інтелектуальних транспортних систем при організації руху транспортних потоків, що дозволить локалізувати прояви екологічної небезпеки зміною напрямків транспортних потоків на ділянках, де виявлено перевищення ГДК ЗР [9].

Список використаної літератури:

1. *Стольберг Ф.В.* Екологія міста (урбоекологія) / *Ф.В. Стольберг.* – К. : Лібра, 2000. – 464 с.
2. *Болбас М.М.* Транспорт і навколишнє середовище: навч. для студ. вузів по спец. «Експлуатація транспортних засобів» / *М.М. Болбас*; М-во освіти Респ. Білорусь; під заг. ред. *М.М. Болбас.* – Мінськ : Технопрінт, 2003. – 262 с.
3. *Беднарський В. В.* Екологічна безпека при експлуатації та ремонті автомобілів: Навчальний посібник / *В.В.Беднарський.* – Ростов н/Дону : Фенікс, 2003. – 384 с.
4. *Екба Я.Л.* Екологічна кліматологія і природні ландшафти Абхазії / *Я.Л. Екба, Р.С. Дбар.* – Сухумі, 2007. – 324 с.
5. *Голубев І.Р.* Навколишнє середовище та транспорт / *І.Р. Голубев, Ю.В. Новіков* // М. : Транспорт, 1987. – 207 с.
6. *Луканін В.Н.* Промислово-транспортна екологія : підруч. для вузів / *В.Н. Луканін, Ю.В. Трофименко*; за ред. *В.Н. Луканіна.* – М. : Вища шк., 2003. – 273 с.
7. Екологія та автомобільний транспорт : навч. посібник. – 2-ге вид. / *Ю.Ф. Гутаревич, Д.В. Зеркалов та ін.,* перероб. та доп. – К. : Арістей, 2008. – 296 с.
8. Автотранспортні потоки і навколишнє середовище : Навч. посібник / *В.Н. Луканін, А.П. Буслаєв, Ю.Л. Трофименко, М.В. Яшина*; під заг. ред. *В.Н. Луканіна.* – М. : ІНФРА-М, 1998. – 408 с.
9. Екологічні основи інтелектуальних транспортних систем : навч. посібник / *В.В. Рудзинський, А.В. Льченко, С.В. Мельничук, В.Є. Титаренко, В.П. Шумляківський*; під заг. ред. *В.В. Рудзинського.* – Житомир : ЖДТУ, 2014. – 176 с.
10. Методика визначення викидів автотранспорту для проведення зведених розрахунків забруднення атмосфери міст. – М., 1999. – 7 с.
11. Методика розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств / ОНД 86, Госкомгідромета, 1997. – 78 с.
12. Розрахунок викидів забруднюючих речовин в районі регульованого перехрестя [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://um.co.ua/6/6-5/6-52793.html>.

References:

1. Stol'berg, F.V. (2000), *Ekologija mista (urboekologija)*, Libra, Kyiv, 464 p.
2. Bolbas, M.M. (2003), *Transport i navkolyshnje sredovyshhe*, in Bolbas, M.M. (Ed.), *Tehnoprint*, Minsk, 262 p.
3. Bednars'kyj, V.V. (2003), *Ekologichna bezpeka pry ekspluatacii' ta remontu avtomobiliv*, Feniks, Rostov-on-Don, 384 p.
4. Ekba, Ja.L. and Dbar, R.S. (2007), *Ekologichna klimatologija i pryrodni landshafty Abhazii'*, Suhumi,

- 324 p.
5. Golubjev, I.R. and Novikov, Ju.V. (1987), *Navkolyshnje seredovyshe ta transport*, Transport, Moscow, 207 p.
 6. Lukanin, V.N. and Trofymenko, Ju.V. (2003), *Promyslovo-transportna ekologija*, in Lukanin, V.N. (Ed.), *Vyshha. shkola*, Moscow, 273 p.
 7. Gutarevych, Ju.F. and Zerkalov, D.V. (2008), *Ekologija ta avtomobil'nyj transport*, 2-nd ed., Aristej, Kyiv, 296 p.
 8. Lukanin, V.N., Buslajev, A.P., Trofymenko, Ju.L. and Jashyna, M.V. (1998), *Avtotransportni potoky i navkolyshnje seredovyshe*, in Lukanin, V.N. (Ed.), *INFRA-M*, Moscow, 408 p.
 9. Rudzyns'kyj, V.V., Il'chenko, A.V., Mel'nychuk, S.V., Tytarenko, V.Je. and Shumljakivs'kyj, V.P. (2014), *Ekologichni osnovy intelektual'nyh transportnyh system*, in Rudzyns'kyj, V.V. (Ed.), *ZSTU*, Zhytomyr, 176 p.
 10. *Metodyka vyznachennja vykydiv avtotransportu dlja provedennja zvedenyh rozrahunkiv zabrudnennja atmosfery mist* (1999), Moscow, 7 p.
 11. *Metodyka rozrahunku koncentracij v atmosferному povitri shkidlyvyh rečovyn shho mistjat'sja u vykydah pidprijemstv. OND 86* (1987), *Gidrometeoizdat*, St. Petersburg, 78 p.
 12. “Rozrahunok vykydiv zabrudnjujuchyh rečovyn v rajoni regul'ovanogo perehrestja”, available at: <http://um.co.ua/6/6-5/6-52793.html> (accessed 14 September 2016).

ТИТАРЕНКО Володимир Євгенійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів та автомобільного господарства Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- сучасні енергозберігаючі технології;
- надійність і міцність машин;
- проблеми вібронавантаженості несучих систем і екологічні проблеми автомобільного транспорту.

Тел.: (098) 525–62–74.

E-mail: amts_tve@us.ztu.edu.ua.

НЕСТЕРЕНКО Віктор Олексійович – магістрант кафедри автомобілів та автомобільного господарства Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- екологічні транспортні засоби.
- інтелектуальні транспортні системи.

Тел.: (067) 939–89–70.

E-mail: nesterenkovtja@rambler.ru.

Стаття надійшла до редакції 15.09.2016