

УДК 656.13.056



І. К. Шаша



І. В. Цебрюк



Є. В. Бондар

## ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ

*Проаналізовано ефективність використання потенційного екологічного ризику та скорочення середньої тривалості життя для управління дорожнім рухом. Доведено, що застосовувати такі характеристики доцільно у випадку високої інтенсивності руху. Запропоновано як універсальну цільову функцію оптимізації управління дорожнім рухом використовувати величину сумарного часу затримок транспортних засобів перед перехрестями міської вуличної мережі за один цикл регулювання.*

*К л ю ч о в і с л о в а: екологія, ризик, пальне, дорожній рух, управління, фактор, методика, вихлопні гази, концентрація, транспорт.*

**Постановка проблеми.** Оцінювання якості управління дорожнім рухом і проектних рішень у сфері організації дорожнього руху в містах, комплексних систем організації руху в містах з населенням понад 100 тис. жителів, тимчасових схем організації руху на час перекриття значних ділянок вуличної мережі пов'язане з необхідністю урахування великої кількості даних для вирішення протиріч невизначеності об'єктивного та суб'єктивного характеру [1].

До них відносять:

– топологічні характеристики, що відображують геометричну структуру вуличної мережі і параметри її окремих елементів (ширина проїзної частини, конфігурація перехресть та транспортних розв'язок);

– схеми руху автотransпортних засобів (однобічний рух, кількість смуг руху, заборони маневрів на перехрестях, заборони руху вантажного транспорту), наявність пішохідних потоків (розташування нерегульованих і регульованих пішохідних переходів, наявність пішохідних огорожень);

– наявність світлофорного регулювання і елементів інтелектуальної підтримки прийняття рішень (схеми пофазного роз'їзду та параметри управління, координація мережі світлофорних об'єктів);

– фактори, пов'язані з рухом маршрутного громадського транспорту (інтенсивність руху автобусів, тролейбусів та трамваїв, розташування зупинок) та паркуванням транспортних засобів на проїзній частині.

Вочевидь врахувати все різноманіття факторів для оцінювання ефективності організації і управління дорожнім рухом можливо лише для невеликих ділянок вуличної мережі, використовуючи прогресивні інформаційні технології для підвищення якості автоматизованого управління дорожнім рухом завдяки реалізації принципів оптимізації.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Ефективність управління дорожнім рухом можливо оцінювати безліччю чинників, що залежать від управління. Як цільову функцію управління дорожнім рухом дослідники пропонують використовувати таке: кількість ДТП, соціально-економічні збитки від ДТП, кількість шкідливих речовин [1, 2], загальний час проїзду по маршруту, кількість зупинок за одну поїздки, коефіцієнт пропуску, середню затримку екіпажу за цикл, середні простой, швидкість сполучення, інтенсивність руху тощо.

**Метою статті** є розроблення методики оцінювання екологічного ризику забруднення навколишнього середовища автомобільним транспортом.

© І. К. Шаша, І. В. Цебрюк, Є. В. Бондар, 2023

**Виклад основного матеріалу.** Усереднені в цілому по м. Харків дані про забруднення атмосферного повітря вказують на несприятливу екологічну обстановку практично у всіх районах міста. Середня концентрація оксиду вуглецю за останні три роки приблизно дорівнює  $8,3 \text{ мг/м}^3$  ( $2,75 \text{ ГДК}_{\text{с.д.}}$ ).

Існуючий рівень забруднення атмосферного повітря є прямою та явною загрозою для населення і довкілля. У зв'язку з цим пропонується оцінити можливість застосування як цільової функції величини екологічного ризику, що визначається залежно від рівня забруднення атмосферного повітря вихлопними газами автомобілів.

Відповідно до закону Вебера – Фехнера існує певна функціональна залежність між рівнем забруднення та ризиком:

$$r = \alpha \cdot \lg \frac{C}{C_0}, \quad (1)$$

де  $r$  – рівень ризику;

$C$  – концентрація шкідливих речовин у повітрі,  $\text{мг/м}^3$ .

Прийнятний ризик як імовірність смерті людини протягом року від небезпек, обумовлених станом довкілля, вважається рівним  $10^{-6}$ . Такому ризику відповідає вміст шкідливих речовин у повітрі з концентрацією, рівною  $\text{ГДК}_{\text{с.д.}}$ . Якщо концентрація цих речовин буде дорівнювати середньосмертельній  $C = \text{ЛК}_{50}$ , то рівень ризику складатиме  $r = 0,5$ . Таким чином, на основі нормативних показників можна встановити дві закріплені точки залежності:

$$\begin{aligned} 10^{-6} &= \alpha \cdot \lg \frac{\text{ГДК}_{\text{с.д.}}}{C_0}, \\ 0,5 &= \alpha \cdot \lg \frac{\text{ЛК}_{50}}{C_0}. \end{aligned} \quad (2)$$

Функція величини потенційного екологічного ризику від концентрації компонентів вихлопних газів автомобілів в атмосферному повітрі матиме такий вигляд:

$$r = 0,5 \cdot \frac{\lg \frac{C}{\text{ГДК}_{\text{с.д.}}}}{\lg \frac{\text{ЛК}_{50}}{\text{ГДК}_{\text{с.д.}}}}. \quad (3)$$

Рівняння (3) дозволяє визначити скорочення середньої тривалості життя (СТЖ) за відомої концентрації  $C$  шкідливих речовин у повітрі. Використання оцінки у вигляді відношення двох величин еквівалентно переходу від інтенсивної до екстенсивної характеристики впливу – дози, яка, як відомо, є інтегральною величиною і визначається з урахуванням часу впливу.

Очікуваний індивідуальний ризик розраховується, враховуючи час перебування в даних умовах:

$$r_{\text{інд}} = r \cdot \eta, \quad (4)$$

де  $\eta$  – ймовірність перебування індивідуума в зоні забруднення впродовж доби.

Очікуване ймовірне скорочення середньої тривалості життя за рік складає

$$\text{СТЖ}_{\text{інд}} = 365 \cdot r_{\text{інд}}. \quad (5)$$

Для визначення сумарного екологічного ризику  $R$  у випадку незалежної дії декількох речовин спочатку розраховується величина ризику  $r_i$  для кожної речовини, а потім визначається сумарний ризик

$$R = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - r_i), \quad (6)$$

де  $m$  – кількість шкідливих речовин.

Запропонована методика розрахунку величини сумарного ризику та СТЖ, у якій використовуються базові нормативні дані, дозволяє дати кількісну оцінку небезпеки забруднення

атмосферного повітря. У зв'язку з цим можна застосувати екологічний ризик як цільову функцію управління дорожнім рухом.

Розраховуючи викиди шкідливих речовин, що містяться у вихлопних газах автотранспорту, для карбюраторних двигунів розглядають оксид вуглецю CO, вуглеводні  $C_mH_n$  і оксиди азоту  $NO_x$ . Для автомобілів із дизельними двигунами додатково визначається вміст сажі. Слід зазначити, що більш жорсткі європейські стандарти враховують викиди CO, а також суму  $C_mH_n$  та  $NO_x$  [3].

Первинне перемішування вихлопних газів відбувається в деякому об'ємі над полотном дороги

$$V_0 = L \cdot b \cdot h, \quad (7)$$

де  $L$  – довжина шляху, м;

$b$  – ширина проїзної частини, м;

$h$  – висота, на якій відбувається первинне перемішування, м.

Величину  $h$  приймаємо рівною середній висоті автомобілів у потоці (2 м), під час руху яких відбувається повне витиснення та перемішування повітря з вихлопними газами. В загальному випадку на дорогу надходить і віддаляється від неї, залежно від швидкості і напрямку вітру, такий об'єм повітря:

$$Q = h \cdot u \cdot (L \cdot \sin \alpha + b \cdot \cos \alpha), \quad (8)$$

де  $u$  – швидкість вітру, м/с;

$\alpha$  – кут між напрямком вітру та осьюовою лінією дороги (у подальшому будемо розглядати відповідно до рекомендацій ОНД-86 розсіювання домішок для напрямку вітру  $\alpha=90^\circ$ ).

Рівняння матеріального балансу за одним з компонентів має такий вигляд:

$$Q \cdot C_\phi + M_i - Q \cdot C_i = V_i \frac{dC_i}{dt}, \quad (9)$$

де  $Q$  – об'єм повітря, що надходить в об'єм над полотном дороги,  $m^3/c$ .

$Q \cdot C_\phi$  – маса шкідливих речовин, що надходять на дорогу з урахуванням фонових концентрацій

$C_\phi = 0,4 \cdot ГДК_{м.р.}$ , мг/с;

$M_i$  – викид речовин із вихлопними газами, мг/с;

$Q \cdot C_i$  – маса речовин, що виносяться з дороги після первинного перемішування, мг/с;

$C_i$  – концентрація речовини над полотном дороги,  $mg/m^3$ ;

$t$  – час с;

У стаціонарному стані  $dC_i/dt = 0$ , тому після перетворень отримаємо

$$C_i = C_\phi + \frac{M_i}{Q}. \quad (10)$$

Отримана залежність дозволяє розв'язати дві задачі: знайти концентрацію шкідливих речовин над проїзною частиною дороги і поблизу для заданої швидкості вітру, за якої буде досягнуто значення  $ГДК_{м.р.}$ .

Оцінювання рівня впливу на атмосферне повітря вихлопних газів автомобілів виконується на елементах вуличної мережі – вулицях і перехрестях. Щоб урахувати особливості виділення газів автомобілів на перехрестях введемо додаткові коефіцієнти

$$M_i = k_u \cdot k \cdot k_i \cdot k_p \cdot k_s \cdot k_v \cdot M_{oi}, \quad (11)$$

де  $M_{oi}$  та  $M_i$  – ідеальний і реальний викиди компонентів відповідно, г/с.

$k_u$  – збільшення викидів через світлофорне переривання автомобільного потоку;

$k$  – збільшення викидів через незадовільну якість пального;

$k_i$  – характеризує справність і регулювання систем живлення автомобілів;

$k_p$  – характеризує особливості планування й організації перехресть, наявність зупинок громадського транспорту, пішохідних переходів, підземних переходів тощо;

$k_s$  – коефіцієнт рельєфної складності перехрестя;

$k_v$  – коефіцієнт, що характеризує середній «вік» автомобілів у потоці;

Величину  $M_{oi}$  для умовного автомобіля знайдемо за даними щодо викидів токсичних компонентів  $P_i$  на одиницю дороги за формулою

$$M_{oi} = \frac{1000 \cdot n \cdot L \cdot P_i}{3600}, \quad (12)$$

де  $n$  – інтенсивність руху автомобілів, авто/г;

$L$  – відрізок шляху, км;

$P_i$  – норма викидів компонентів умовним автомобілем (оксид вуглецю – 24,3 г/км, оксиди азоту – 0,3 г/км, вуглеводні – 4,2 г/км).

Значне збільшення викидів пов'язане з незадовільною якістю пального та несправністю систем живлення автомобілів. Більше 10 % аналізів застосовуваного пального показують невідповідність нормативам, тому можна вважати  $k = 1,1$ . Перевірки, проведені під час операції «Чисте повітря» в Києві у 2021 році, показали, що кожний третій автомобіль потребує регулювання системи живлення. Це відповідає  $k_i = 1,33$ .

Через відсутність достовірних даних про рельєфну складність і видимість на всіх перехрестях візьмемо  $k_s = 1,05$ . Значення  $k_v = 1,2$ , тому що більше 20 % автомобілів у наведеному потоці експлуатуються понад 10 років.

Значення  $k_u = 1$  відповідає руху на ділянці вулиці без зупинок. У разі світлофорного регулювання приблизно половина циклу регулювання (від 20 с до 30 с) витрачається на накопичення групи автомобілів і очікування сигналу світлофора, що дозволяє рух. Під час руху умовний автомобіль виділяє  $P_i = 24,3$  г/км або 1,215 г оксиду вуглецю на відрізок шляху 50 м, що складає перехрестя. А на зупинці цей самий автомобіль за 30 с у режимі холостого ходу викидає 2,25 г оксиду вуглецю. Для часу затримки біля світлофора 10 с, 20 с і 30 с величина  $k_u$  набудатиме відповідно значення 1,75; 2,2 та 2,8. У разі очікування впродовж 40 с  $k_u = 3,47$ . За відсутності світлофорного регулювання значення  $k_u$  складатиме від 10 до 12.

Запропонована методика розрахунку екологічного ризику та величини скорочення середньої тривалості життя дозволяє застосовувати ці характеристики як цільову функцію управління дорожнім рухом. Водночас зауважимо, що величини екологічного ризику і скорочення середньої тривалості життя змінюються незначно за малих інтенсивностей транспортних потоків. Тому застосування таких величин як цільової функції управління АСУ дорожнім рухом буде ефективним лише для значних інтенсивностей транспортних потоків [4, 5].

Розглянемо інші підходи до визначення цільової функції управління дорожнім рухом.

Визначення витрат часу на пересування автомобіля з одного пункту в інший можна подати оператором

$$F_1 = f(S, V_{cp}, \tau), \quad (13)$$

де  $S$  – відстань, яку повинен проїхати автомобіль;

$V_{cp}$  – середня швидкість руху автомобіля;

$\tau$  – сумарний час затримки автомобіля на регульованих перехрестях.

Так само можливо описати функцію для визначення витрат автомобілем пального під час руху через регульовані перехрестя з одного пункту в інший:

$$F_2 = f(S, V_{cp}, V_d, \tau), \quad (14)$$

де  $V_d$  – об'єм двигуна автомобіля.

Як виходить з наведених вище прикладів, екологічний ризик, час прямування автомобіля з одного пункту в інший та витрати пального визначаються залежно від затримок автотранспортних засобів перед регульованими перехрестями. Тому ефективність управління світлофорними об'єктами потрібно оцінювати величинами сумарних затримок транспортних засобів для всіх перегонів у всіх напрямках руху.

### **Висновки**

Аналіз ефективності використання потенційного екологічного ризику і величини скорочення середньої тривалості життя показує, що застосування цих характеристик для управління дорожнім рухом є раціональним у разі високої інтенсивності руху. Як видно з наведених результатів, екологічний ризик, час прямування автомобіля з одного пункту в інший та витрати пального визначаються залежно від затримок автотранспортних засобів перед регульованими перехрестями. Тому доцільно рекомендувати як цільову функцію для оптимізації управління дорожнім рухом величину сумарного часу затримок транспортних засобів перед перехрестями міської вуличної мережі за один цикл регулювання.

### **Перелік джерел посилання**

1. Шаша І. К., Маренко Г. М., Мельников С. М. Методи оцінювання і шляхи зниження токсичності відпрацьованих газів автомобілів. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків, 2018. Вип. 2 (32). С. 53 – 60.
2. Шаша І. К., Стрельбицький М. А. Удосконалення методу нормування витрат пального автобронетанковою технікою Національної гвардії України. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків, 2020. Вип. 1 (35). С. 5 – 12.
3. Шаша І. К., Шаша Л. І. Шляхи забезпечення екологічної безпеки на автомобільному транспорті України. *Організаційно-правові засади боротьби з правопорушеннями на транспорті*: матеріали III Всеукраїнської наук.-практ. конф. м. Одеса, 29 листоп. 2013 р. Одеса, 2013. С. 14.
4. Шаша І. К., Маренко Г. М. Розробка та упровадження системи екологічного моніторингу експлуатації транспортних машин в крупних містах України. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2008. № 6/4 (36). С. 8 – 11.
5. Шаша І. К., Цебрюк І. В., Маренко Г. М. Теоретичні основи побудови адаптивної системи технічного обслуговування і ремонту військової техніки Національної гвардії України. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків, 2022. Вип. 1 (39). С. 70 – 75.

*Стаття надійшла до редакції 15.02.2023 р.*

**UDC 656.13.056**

**I. Shasha, I. Tsebriuk, Ye. Bondar**

### **ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL RISK OF ENVIRONMENTAL POLLUTION BY ROAD**

*Assessment of the quality of traffic management and design solutions in the field of traffic management in cities, complex systems for organizing the movement of cities with a population of more than 100 thousand people residents, temporary schemes of organization for the period of overlapping of significant sections of the street network is combined with the need to take into account a large amount of data to resolve contradictions of uncertainty of an objective and subjective nature.*

*Taking into account the variety of factors to assess the effectiveness of the organization and management of traffic is possible only for small sections of the street network using advanced information technologies to improve the quality of automated traffic management through the implementation of optimization principles.*

*The effectiveness of traffic management can be assessed by many factors that depend on its management. As an objective function of traffic management, a number of authors suggest using the following values: the number of road accidents, socio-economic damages from road accidents, the amount of harmful substances, the total travel time along the route, the number of stops per trip, the skip rate, the average delay of the crew per cycle, the average downtime, connection speed, traffic intensity, etc.*

*The proposed calculations of the amount of the total risk and the average length of a person's life, which use basic normative data, allow to give a quantitative assessment of the danger of atmospheric air pollution. In this regard, environmental risk can be applied as an objective function of traffic management.*

*As can be seen from the above results, both the environmental risk, and the time the car travels from one point to another, and fuel consumption are determined depending on the delays of vehicles in front of regulated intersections. Therefore, it is advisable to recommend as a target function for optimizing traffic management the value of the total time of vehicle delays in front of intersections of the urban street network in one cycle of regulation.*

*Key words: ecology, risk, traffic, management, factor, methodology, exhaust gases, concentration, dose, transport.*

**Шаша Ігор Костянтинович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України.  
<https://orcid.org/0000-0001-7549-3119>

**Цебрюк Іван Вікторович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України.  
<https://orcid.org/0000-0002-4246-8854>

**Бондар Євгеній Вікторович** – викладач кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України.  
<https://orcid.org/0000-0002-3255-0619>