

В реальних умовах виникає потреба визначення складності дороги довжиною  $L$ . В цьому випадку складність дороги може бути визначена за допомогою виразу:

$$S_{jn}^{\sigma} = \sum_{j=1}^{J1} S_{jn}, j=1,2,\dots,J1; \quad (17.)$$

де  $S_{jn}^{\sigma}$  — складність дороги довжиною  $L$ .

**Висновки.** Запропоновані методичні аспекти можуть бути використані для визначення складності перехрестя, складності дороги, місць концентрації ДТП та інших негативних факторів що впливають на безпеку руху.

Завдання концепції аудиту безпеки — об'єднати досвід дорожнього сектора з досвідом інших галузей знань і створити фундамент для норм проектування майбутніх доріг, які враховуватимуть психологію людини нарівні із законами фізики і механіки і забезпечать високий рівень безпеки руху через регулювання поведінки учасників дорожнього руху.

### Література

1. Кочерга В.Г., Зырянов В.В., Коноплянко В.И. Интеллектуальные транспортные системы в дорожном движении / Ростовский гос. строительный ун-т. — Ростов н/Д, 2001. — 108 с.
2. Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработка наблюдений. — М.: Наука, 1968. — 288 с.
3. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента. М.: Легкая индустрия, 1974. »262 с.
4. Guidelines for: The Safety Audit of Highways. The institution of Highways and Transportation, UK, London, 1990-15 p.

УДК 656.13: 628.55

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПРИМАГІСТРАЛЬНИХ СМУГ НАСАДЖЕНЬ НА РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ВИКИДІВ ВІД ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ

Гребельник Ю.М.

*У статті досліджується послідовність процесів переносу та розсіювання шкідливих домішок від автомобілів повітряним потоком через приміагістральні смуги насаджень.*

*In this article examines the sequence of transport processes and dispersion of harmful impurities from the air stream of cars through the planting strip, located highway.*

**Постановка проблеми.** Із кожним роком в Україні спостерігається стабільне зростання кількості автомобільного транспорту, який варто віднести до категорії найнебезпечніших джерел забруднення повітря поблизу автомагістралей. Найбільше викидів накопичується на відстані 7-15 метрів від краю проїзної частини, через 25 м концентрація знижується приблизно удвічі, а через 100 м наближається до норми. Варто звернути увагу на те, що із загальної кількості викидів 25% залишається на самому дорожньому полотні, а решта 75% осідають на прилеглий території. Як теоретичне, так і натурне дослідження переносу і розсіювання домішок, що викидаються транспортним потоком і переносяться повітряним потоком крізь смуги насаджень, представляють істотні складності, обумовлені випадковим характером появи автомобілів і, внаслідок цього, нестационарністю процесу. Нижче розглянемо можливий підхід до вирішення зазначеної проблеми.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Оцінці впливу транспортного потоку на формування екологічної ситуації поблизу автомобільних трас приділяється чимало уваги в науковій літературі. Методи прогнозування і моделювання процесу забруднення повітря міста від пересувних джерел забруднення відстають від методів прогнозування та моделювання забруднення повітря від стаціонарних джерел. У зв'язку з цим актуальним є створення й удосконалення моделей розрахунку концентрацій шкідливих речовин, які б урахували вплив різних факторів на характер дисперсії забруднюючих речовини в умовах прима-

гістральних смуг насаджень [1]. Авторами [2] розроблено фізико-математичну модель впливу транспортного потоку на рослинні екосистеми, яка дозволяє досліджувати залежність концентрації забруднюючих речовин, ступеня і розмірів ураженої зони від інтенсивності руху автотранспорту, складу транспортного потоку, параметрів магістралі, кліматичних та метеорологічних факторів. За допомогою двох- та тривимірних математичних моделей розраховуються швидкості повітряних потоків і концентрації забруднюючих речовин від транспорту вздовж міських магістралей та їх околиць. Використовується метод кінцевих елементів для моделювання адвективно-дифузійного переносу в атмосфері забруднюючих речовин від магістралі, яка апроксимується нескінченним лінійним джерелом.

**Метою написання даної статті** є дослідження послідовності процесів переносу та розсіювання домішок на примагістральній території, які викидаються транспортним потоком та переносяться повітряним потоком крізь смуги насаджень.

**Основна частина.** Модель переносу і розсіювання газових викидів від транспортного потоку. У просторовій області  $G$  розглянемо протяжну ділянку односторонньої однорядної дороги довжиною  $L$ . Припустимо, що швидкості руху автомобілів по автотрасі однакові, постійні і рівні  $V$ . Поява автомобілів на початку траси є випадковим і являє собою найпростіший потік подій з постійною інтенсивністю  $\lambda$ , що визначає середню кількість автомобілів, які з'являються в початковій точці, за одиницю часу.

Магістраль обдувається горизонтальним потоком повітря, що має швидкість  $U$  і спрямований перпендикулярно до неї. Передбачається, що швидкість повітряного потоку у всіх точках області  $G$  не залежить від розташування і характеристик автомобілів, постійна та направлена вздовж осі  $Ox$ .

Концентрація домішки в довільній точці  $\{x, y, z\}$  області  $G$  залежить від обсягу відпрацьованих газів, що одночасно викидаються всіма автомобілями, які знаходяться на даній ділянці та які є рухомими точковими джерелами забруднення з постійною інтенсивністю  $q$ . Для визначення стохастичних характеристик концентрації надходження газових домішок, що викидаються транспортним потоком, необхідно дослідити її залежність від часу і координат.

Для дослідження процесу забруднення повітря транспортним потоком, що рухається, будується наближена модель переносу і розсіювання легкої забруднюючої домішки від окремого автомобіля. У цьому випадку в системі координат  $Ox' y' z'$ , яка зв'язана з рухомим автомобілем, відносна швидкість повітряного потоку постійна і дорівнює  $U' = U - V$ . Процес переносу і розсіювання домішки від одиночного автомобіля є установленим і, отже, описується стаціонарним рівнянням дифузії домішки від точкового джерела з координатами  $r'_S = (x'_S, y'_S, z'_S)$  записаним у формі

$$U' \nabla \varphi = \mu \Delta \varphi + q \delta(r' - r'_S), \quad (1)$$

де  $\nabla, \Delta$  – диференційні оператори,  $\varphi$  – концентрація домішки,  $\mu$  – коефіцієнт турбулентної дифузії та в'язкості.

Рішення рівняння (1) будується у вигляді

$$\varphi(r') = \Psi(r') \exp[U'(r' - r'_S) / 2\mu].$$

Підстановка цього відношення у рівняння (1) призводить до виразу

$$\Delta \varphi - \alpha \varphi = -q \delta(l) / \mu,$$

де  $\alpha = |U'|^2 / 4\mu^2$ ,  $l = |r' - r'_S|$  — відстань від довільної точки  $r'$  до точкового джерела  $r'_S$ .

Рішенням цього рівняння (при природному обмеженні  $\psi \xrightarrow{l \rightarrow \infty} 0$ ) є функція  $\psi = q \exp(-l\alpha^{1/2}) / 4\pi\mu l$ , внаслідок чого шукане рішення рівняння (1) має вигляд

$$\varphi(r') = q \exp\left[\frac{U'(r' - r'_S) - I\alpha^{1/2}}{4\pi\mu d}\right] \quad (2)$$

Знаючи координату  $i$ -го автомобіля на дорозі, можна визначити сумарну концентрацію домішок в довільній точці області  $G$  від випадкового числа  $N$  всіх автомобілів, що знаходяться на дорозі довжиною  $L$ , як суму

$$\Phi = \sum_{i=1}^N \varphi_r(y_S^i), y_S^i - \text{координата } i\text{-го автомобіля на дорозі. Це дозволить одержати оцінки математичного}$$

очікування концентрації забруднення. На інтервалі часу  $(0, t)$  стаціонарний пуассонівський потік подій можна розглядати як сукупність незалежних випадкових точок. Координата кожної з них розподілена рівномірно і не залежить від координат інших точок. Враховуючи щільність розподілу інтервалів між точками, визначимо математичне очікування відстані між автомобілями на дорозі. Вважаючи, що автоколонна займає всю магістраль довжиною  $L$ , можна обчислити середньостатистичне значення числа автомобілів на ній. Отже, можна визначити математичне очікування довжини колони і концентрації викидів в довільній точці області  $G$ , останнє — не залежить від часу. Це, зокрема, означає, що в будь-якій точці розглянутої області  $G$  процес надходження домішок є стаціонарним і залежить лише від координат цієї точки.

Магістраль як стаціонарне джерело викидів відпрацьованих газів. Оскільки для протяжної ділянки дороги математичне очікування концентрації забруднення, що надходить — не залежна від часу величина, є доцільним моделювати нестационарний процес перенесення і розсіяння газових викидів від автомобілів, що з'являються випадково, стаціонарним рівнянням дифузії з безперервно розподіленим вздовж дороги площинним джерелом постійної інтенсивності. Для опису такого процесу розглянемо двовимірне диференціальне рівняння дифузії

$$u\partial\phi/\partial x = \mu(\partial^2\phi/\partial x^2 + \partial^2\phi/\partial z^2), \quad x, z \in G \quad (3)$$

з граничними умовами

$$\begin{cases} \phi = 0, x, z \in \partial G_1, \partial\phi/\partial z = 0, & x, z \in \partial G_2 \cup \partial G_4, \\ \partial\phi/\partial x = 0, x, z \in \partial G_3, \mu\partial\phi/\partial z = Q, & x, z \in \partial G_Q, \end{cases} \quad (4)$$

де  $Q$  — шуканий потік газової домішки, що апроксимує сумарний викид автотранспорту; вертикальною швидкістю повітряного потоку нехтуємо.

При вирішенні задачі (3) — (4), слід підібрати таку величину потоку  $Q$ , яка б найкращим чином апроксимувала математичне очікування концентрації викидів в довільній точці  $G$ .

Таким чином, можна дослідити розподіл концентрації домішок, що надходять в область, яка розглядається, від лінійного стаціонарного джерела, яке моделює викиди випадкового рухомого транспортного потоку.

Рух повітряного потоку через рослинність. Основна частина повітряних мас обтікає перешкоду у вигляді рослинності. При цьому всередину смуг насаджень потрапляє незначна частина цього потоку. Це означає, що газоподібна домішка, що заноситься вітром вглиб рослинності, починає рухатися зі значно меншою швидкістю, ніж в основному потоці. У результаті рослинність починає виконувати роль накопичувача забруднюючої речовини, що утримує його навіть у тому випадку, коли зовнішній відносно чистий потік повітря забирає всі домішки з простору навколо рослинності. Зміна напрямку вітру приводить до виносу раніше накопичених домішок з рослинності, що виконує тепер роль вторинного джерела забруднення. У рамках такої моделі основною причиною накопичення та вторинного викиду забруднюючих речовин є різке уповільнення швидкості повітряного потоку всередині рослинності.

Для опису такого процесу розглянемо задачу про перенос газової суміші потоком повітря, що включає диференціальні рівняння

$$\frac{\partial U_x}{\partial t} + U_x \frac{\partial U_x}{\partial x} + U_z \frac{\partial U_x}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \eta \left( \frac{\partial^2 U_x}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 U_x}{\partial z^2} \right) - \frac{F_x}{\rho}, \quad (5)$$

$$\frac{\partial U_z}{\partial t} + U_x \frac{\partial U_z}{\partial x} + U_z \frac{\partial U_z}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \eta \left( \frac{\partial^2 U_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_z}{\partial z^2} \right) - \frac{F_z}{\rho}, \quad x, z \in G,$$

нестисливості

$$\partial U_x / \partial x + \partial U_z / \partial z = 0, \quad x, z \in G; \quad (6)$$

та дифузії

$$\partial \phi / \partial t + U_x \partial \phi / \partial x + U_z \partial \phi / \partial z = \mu \left( \partial^2 \phi / \partial x^2 + \partial^2 \phi / \partial z^2 \right), \quad x, z \in G. \quad (7)$$

У початковий момент часу задається розподіл швидкості, концентрації домішки і тиску у всіх точках області  $G$ .

Для врахування опору примагістральних смуг насаджень повітряному потоку, шар повітря в рослинному покриві  $G_f$  представляється суцільним середовищем, в якому безперервно розподілені об'ємні сили. У цьому випадку опір руху повітря враховується в диференціальному рівнянні (5) як масова сила виду  $F = -\rho c_d S U |U|$  в межах ділянки, яку займають смуги насаджень, де  $S$  — питома щільність верхніх листя,  $c_d$  — коефіцієнт пропорційності сил опору (залежить від ступеня жорсткості листя, гілок, геометричних розмірів і форми), які визначаються експериментально.

Силу опору зручно представити у формі

$$F = -\rho k(x, z, U) U, \quad k(x, z, U) = \begin{cases} c_d S(x, z) |U|, & x, z \in G_f, \\ 0, & x, z \in G - G_f. \end{cases}$$

Для вирішення поставленої проблеми необхідно розглянути дві пов'язані між собою задачі: перша — дослідження руху повітряного потоку в області  $G$ , друга — перенесення і розсіяння газової домішки, що знаходиться у повітряному потоці, причому в цьому випадку використовується поле швидкостей, що визначається рішенням першої задачі. Для вирішення рівнянь (5) і (6) з наведеними початковими і граничними умовами, а також для знаходження розподілу концентрації домішки в двовимірній (пласкій) області при відомому полі швидкостей повітряного потоку, використовується метод розщеплення.

Таким чином, з урахуванням розмірів області  $G$  по горизонталі і вертикалі, габаритів ділянки насаджень, відстані від рослинності до дороги і швидкості повітряного потоку на верхній межі, можна розрахувати поля швидкості повітряних мас при обтіканні рослинності.

Так як в області, що зайнята ділянкою насаджень, діють сили опору, повітря «змушено» шукати шлях «меншого опору». Очевидно, найменший опір потоку надає вільний простір над цією ділянкою, що і обумовлює напрямок руху частини повітряної маси вгору. На достатній глибині всередині ділянки насаджень, а також безпосередньо за нею, швидкість руху повітря падає практично в 5-10 і більше разів, через істотне зниження швидкості повітряного струменя всередині смуг насаджень.

Оцінка впливу примагістральних смуг насаджень на перенесення і розсіювання викидів. Отримавши поля швидкості потоку повітря можна визначити розподіл концентрації домішок. Процес переносу і розсіювання автомобільних викидів розглянемо в наступній послідовності.

Приймемо, що в момент часу  $t = 0$  починається рух потоку автотранспорту з визначеними характеристиками. У період  $0 - t_1$  с повітряний потік переносить і розсіює викиди від транспортного потоку в області, що містить смуги насаджень. Спостерігається процес заповнення рослинності домішкою при обдуванні її повітряним потоком, що відбувається з помітним запізненням в порівнянні з простором, розташованим над ділянкою насаджень. До кінця цього періоду розглянутий процес встановлюється. Необхідно зазначити, що за смугами насаджень набагато довше зберігається зона порівняно низької концентрації.

Це підтверджується відомим фактом, що протягом деякого часу ліс здатний виконувати роль захисного фільтра. Якщо допустити, що примагістральні смуги насаджень відсутні, то стаціонарний розподіл концентрації, при таких самих розмірах області  $G$ , досягається значно швидше.

У період часу  $t_1 - t_2$  с відбувається вільний перерозподіл концентрації домішки при відсутності вітру. На цьому етапі переважний вплив мають процеси дифузійного розсіювання речовини, що призводить до вирівнювання концентрації за рослиною ділянкою та швидкого наростання рівня концентрації поблизу самої магістралі. На останньому етапі (від  $s$  і далі) визначальним фактором стає рух потоку чистого повітря з протилежного напрямку. Це призводить до швидкого зниження концентрації домішки в області за рослиністю і поступового її вимивання з глибини примагістральних смуг насаджень. Отже, при відповідному вітровому режимі рослиність здатна виконувати роль вторинного джерела забруднення з поступовим зниженням інтенсивності. Зрозуміло, що інтенсивність такого вторинного джерела забруднення нижче, ніж первісного, однак тривалість впливу може бути значною (на порядок і більше) в залежності від розмірів ділянки насаджень і часу накопичення домішок при обдуванні забрудненим потоком.

**Висновки.** Розглянута задача про перенесення і розсіювання домішок від рухомого транспортного потоку. Встановлено, що математичне очікування концентрації домішки залежить від розташування точки спостереження, але не залежить від часу. Представлена модель переносу газової суміші потоком повітря через примагістральні смуги насаджень. При дослідженні послідовності процесів заповнення та утримання атмосферного забруднення рослиністю, з подальшим виносом його зустрічним потоком в навколишнє середовище, виявлено, що при певному поєднанні метеорологічних факторів рослиність може виконувати роль вторинного джерела домішок, що підсилює при накладенні роль первинного джерела.

Є перспектива подальших досліджень в цьому напрямку та наміри продовжити її у бік обчислювальних експериментів.

### Література

1. Степанчук О.В. Методи створення і ведення транспортно-екологічного моніторингу в крупних і найкрупніших містах на прикладі: Автореф. дис. канд. техн. наук. 05.23.20 / КНУБА. — К., 2004. — 16 с.
2. Moriguchi Y., Uehara K. Numerical and experimental simulation of vehicle exhaust gas dispersion for complex urban roadways and their surroundings // J. Wind. Eng., №52, p. 102-107.
3. Козлов Ю.С., Святкин И.А. Экологическая безопасность автотранспорта. — М.: «Агар», «Рандеву-Ам», 2000. — 176 с.
4. <http://www.eco-live.com.ua>

УДК-656

## ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТРАНСПОРТНОГО СЕКТОРУ В УКРАЇНІ

Гальона І.І.

*У статті розглядається проблема енергоефективності, яка є вкрай актуальною для України: попит на енергоресурси зростає, в той час як запаси традиційних видів палива щороку зменшуються. Описуються головні напрямки дій, щодо подальшого скорочення споживання енергії в транспортному секторі країни.*

*The article examines problem of energy efficiency, which is extremely important for Ukraine: the demand for energy increases, while the reserves of traditional fuels annually decreasing. The paper described the main directions of actions to further reduce energy consumption in the transport sector.*

**Вступ.** Рівень споживання енергоносіїв в Україні є практично втричі більшим, ніж у країнах ЄС, тому потенціал для розвитку енергоефективності є величезним. Формування свідомості щодо енергоефективності є вкрай актуальним питанням, що дозволить скоротити енергоспоживання та ефективно використовувати енергоресурси. Економити енергоресурси стає дедалі необхіднішою тенденцією, яка допомагає заощадити кошти та зберегти довкілля. В нашій країні прийнято чимало програм у сфері енергозбереження, однак безсистемний підхід призвів до того, що вони є переважно декларативними і залишаються