

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА В СИСТЕМІ МОДЕЛЮВАННЯ АВТОМОБІЛЬНОГО ДОРОЖНЬОГО РУХУ

Анотація: Проведене дослідження існуючих проблем довколишнього середовища, що можуть бути спричинені викидами автотранспорту. Розглянуті існуючі методи підрахунку викидів, запропонований підхід до дослідження розповсюдження та перенесення забруднення у довколишньому середовищі. Запропонована формальна модель урахування викиду від точкового джерела, та від суперпозиції точкових викидів.

Ключові слова: забруднення довколишнього середовища, методи підрахунку викидів.

Вступ

В останні десятиріччя у світі спостерігається інтенсивне зростання автомобільного транспорту, що в свою чергу сприяє збільшенню викидів шкідливих речовин у атмосферу, забрудненню довколишнього середовища та розвитку парникового ефекту в глобальному масштабі. У світі в розвинутих країнах вже давно приділяють значну увагу проблемам глобального потепління, шкідливим викидам. Існують десятки розроблених стандартів щодо викидів відпрацьованих газів, якості пального і т.д. Люди дійсно все більше і більше починають непокоїтися даною проблемою, інвестори всього світу готові вкладати гроші вже не в ІТ - технології, а в зелену економіку і розвиток новітніх технологій у сфері екології.

Нажаль Україна, будучи частиною глобальної економіки, також не відстає від розвитку свого автомобільного парку, особливо це стосується великих міст. Постійно зростаюча урбанізація населення України лише ускладнює ситуацію. Лише в Києві за останній рік кількість автомобілів зросла вдвічі, що не може позитивно впливати на екологію, здоров'я мешканців. Підвищується ризик виникнення серцево-судинних захворювань, захворювань легень, раку, що в свою чергу може призвести до більш серйозних захворювань та до погіршенню генофонду країни в цілому.

Тому дуже актуальною є задача дослідження та прогнозування шкідливих викидів в атмосферу, яка дасть можливість регулювати та ефективніше вивчати як самі викиди, так і фактори, що їх провокують. Одним з таких факторів є вплив на довкілля автотранспортних потоків, який може досліджуватися у рамках системи моделювання дорожнього руху [1,2].

Опис постановки задачі

Для вирішення задачі моделювання процесу забруднення довкілля автотранспортними потоками у складі системи моделювання автомобільного дорожнього руху необхідно виконати такі основні етапи :

- описати всі процеси викиду, взаємодії та розповсюдження шкідливих речовин;
- розробити формальну математичну модель, згідно з якою буде можливе моделювання викидів;
- навести шляхи інтегрування розроблених формальних моделей до вже існуючої системи моделювання.

Система моделювання дорожнього руху із вбудованим модулем викидів шкідливих речовин дозволить будувати більш точні прогнози виникнення загрози навколишньому середовищу.

Опис процесів викиду

Для розробки ефективного засобу моделювання викидів від автотранспортного потоку необхідно:

- визначити метод підрахунку викидів одного автомобіля [3];
- описати вплив конвекційних та дифузійних процесів як від одного транспортного засобу (точкового джерела викидів), так і у взаємодії багатьох транспортних засобів на довколишнє середовище [4];
- побудувати формальну математичну модель та дати математичні викладки і результати, які в подальшому допоможуть у вивченні даного питання [6,7];
- розробити чисельні алгоритми, привести методичку визначення викидів автотранспорту для проведення розрахунків забруднення атмосфери великих міст [6,7];
- провести розрахунок миттєвого та середнього викидів, залежності координат місцевості та забруднення, що створене транспортним потоком і подальше розповсюдження цього забруднення в залежності від координати.
- дослідити вплив знаків, світлофорів, режиму роботи світлофорів, кількості смуг для руху та інших факторів на інтенсивність і розповсюдження викидів у досліджуваній області, дати формальне пояснення та геометричну інтерпретацію даної області та процесам розповсюдження викидів, що в ній протікають [5].

Інтеграція з системою моделювання автомобільного дорожнього руху

У якості системи моделювання була обрана система [1,2], яка в повній мірі може забезпечити всією потрібною інформацією для розрахунків різних показників, одержання даних, отримання своєчасної інформації

про місцезнаходження точкових джерел викидів (автомобілів), інтенсивність потоку, дорожню обстановку, розмітку, знаки, світлофори, швидкість, тощо.

Математична модель для моделювання викидів

Для описання математичної моделі буде використане рівняння конвекційно-дифузійного перенесення [4,6,7], що дає можливість врахування багатьох факторів впливу на навколишнє середовище та описання всіх джерел забруднення, що впливають на його поширення.

Розглянемо область забруднення G (розмірність області поки задавати не будемо) так, як зображено на рисунку 1. Тут P_i – це точкові джерела забруднення, для нашого випадку – це автомобілі, що розповсюджують викиди.

В загальному випадку точковими джерелами можна назвати ті джерела викиду, що розташовані в точках, розміри яких незначні, в порівнянні з областю дослідження. У подальшому для опису точкових джерел доцільно використати дельта-функцію Дірака [7].

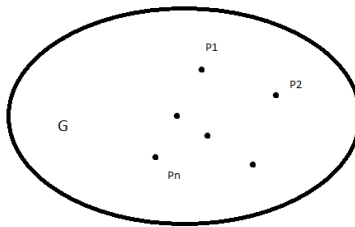


Рис. 1 – Область, де поширюється забруднення

Рівняння конвекційно-дифузійного перенесення запишемо у векторному вигляді (загальний вигляд, розмірність області не задано). Таке рівняння описуватиме хаотичне взаємне проникнення молекул забруднення:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \text{div}(VC) + \delta C = \text{div}(\mu \text{grad } C) + \sum_{i=1}^n Q_i \delta(P - P_i), \quad (1)$$

де: μ – коефіцієнт дифузії; V – вектор швидкості потоку; $(P - P_i)$ – відповідає за точкові джерела, які розповсюджують викиди, тобто автомобілі у транспортному потоці; C – відповідає за концентрацію забруднення; $\sum_{i=1}^n Q_i \delta(P - P_i)$ – є лінійною комбінацією точкових джерел, відповідає за розподіл джерел забруднення, де Q_i – потужність i -го джерела; $\frac{\partial C}{\partial t}$ – зміна концентрації з часом. Якщо дана складова $\neq 0$, то маємо нестационарний процес, якщо складова = 0, то отримуємо $C(t) = \text{const}$ – стаціонарний режим.

Задачі, що описуються даною моделлю поділяються на 2 класи. **Прямі задачі** – в яких вважається, що є дані (модель) і треба знайти центр концентрації. **Обернені задачі** – у яких відома концентрація в кожній точці, і необхідно відновити параметри дифузійного рівняння.

Обернена задача може бути зведена до пошуку таких $P_i \in \Omega_i, i = 1, \dots, n$, при яких концентрація не перевищувала би норми, тобто задовольняла б екологічним системам області G .

Розглянемо приклад, коли n автомобілів рухається рівномірно, прямолінійно (рис. 2). Нехай за початок координат взято точку $x = 0$, а автомобілі у момент часу t знаходяться у точках x_1, \dots, x_n . Схематично інтенсивність викидів зобразимо так, як це показано в точках x_1 та x_n (рис. 2).

Відповідна формальна модель матиме вигляд :

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(UC)}{\partial x} + \delta C = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \sum_{i=1}^n Q_i \delta(x - x_i), \quad (2)$$

де $x_i \in G$ – описує концентрацію від точкового джерела; U – компонента вектора швидкості потоку, яка відповідає за розповсюдження потоку. Якщо вектор $U > 0$ – то вектор швидкості направлений вздовж осі Ox , якщо $U < 0$, то вектор швидкості потоку направлений проти осі Ox .

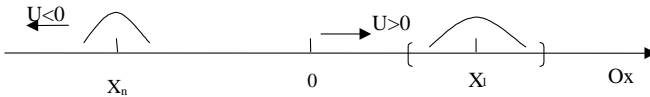


Рис. 2 – Одновимірний випадок

Для формального опису розповсюдження забруднення у просторі доцільно використовувати тривимірний випадок формули (1) для вирішення прямої задачі:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(uC)}{\partial x} + \frac{\partial(vC)}{\partial y} + \frac{\partial(wC)}{\partial z} + \delta C = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial C}{\partial z} \right) + \sum_{i=1}^n Q_i \delta(P - P_i), \quad (3)$$

де x, y та z – координати автомобіля у просторі (по осям координат); u, v, w – координати вектора швидкості потоку $V = (u, v, w)$, вектор $P_i = (x_i, y_i, z_i)$ – i -й вектор джерела забруднення (автомобіля), що має координати у тривимірному просторі x_i, y_i, z_i (описує положення i -го автомобіля). Ілюстрація тривимірного випадку наведена на рис. 3:

Тоді формальна модель викиду M_v матиме вигляд:

$$M_v = \langle \{u, v, w\}, \{x, y, z\}, \mu, U, k, L \rangle, \quad (4)$$

де u, v, w – координати вектора швидкості потоку відповідно по осі Ox, Oy та Oz ; x, y, z – координата автомобіля відповідно по осі Ox, Oy та Oz ; μ

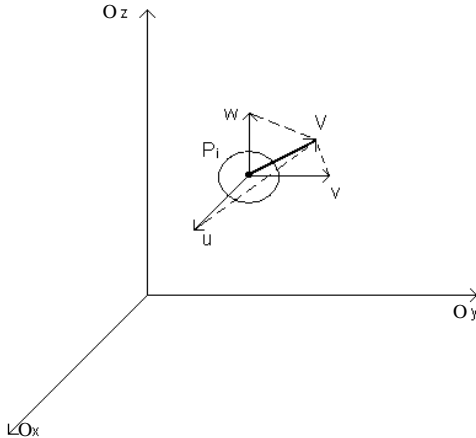


Рис. 3 – Тривимірний випадок

– коефіцієнт дифузії; U – швидкість автомобіля; k – кількість спаленого пального; L – якість пального.

Всі складові формальної моделі (4) будуть отримуватись з системи моделювання, для кожного викиду із використанням методики [3] будуть обраховані Q_i (потужність i -го джерела викиду), та $\sum_{i=1}^n Q_i \delta(P - P_i)$ (інформація про забруднення в цілому).

Метод підрахунку викидів

Розрахунок викидів від автотранспортних засобів проводиться по основним забруднюючим речовинам, що містяться у відпрацьованих газах двигунів: окис вуглецю (CO), вуглеводень (CH), окис азоту (NO₂), тверді частинки (сажа – С), ангідрид сірки (діоксин сірки SO₂), свинець і його неорганічні сполуки.

Викид i -ї речовини однієї машини в день про виїзді з пункту M_{1i} і переміщенню в пункт M_{2i} можна розрахувати за формулами:

$$M_{1i} = (m_{ni} \cdot t_n + m_{npi} \cdot t_{np} + m_{gbi} \cdot t_{gv1} + m_{xxi} \cdot t_{xx1}) \cdot 10^{-6}, \quad (5)$$

$$M_{2i} = (m_{bik} \cdot t_{gb2} + m_{xxi} \cdot t_{xx12}) \cdot 10^{-6}, \quad (6)$$

де: m_{ni} – питомий викид i -ї речовини двигуном автомобіля при запуску, г/хв; m_{npi} – питомий викид i -ї речовини при прогріванні двигуна машини, г/хв; m_{gbi} – питомий викид i -ї речовини під час руху автомобіля по ділянці шляху з умовно постійною швидкістю, г/хв; m_{xxi} – питомий викид i -ї речовини під час роботи двигуна на холостих оборотах, г/хв; t_n, t_{np} – час пуску двигуна і прогрівання двигуна, хв; t_{gb1}, t_{gb2} – час руху

машини по ділянці шляху при початку руху з пункту M_1 і поверненню в пункт M_2 , хв; t_{xx1}, t_{xx2} – час роботи двигуна на холостому ході при початку руху з M_1 і поверненню в пункт M_2 , хв.

Для кожного транспортного засобу, що є складовою потоку машин, потрібно застосувати формули (5) і (6), для визначення сумарної потужності викиду Q_i (потужність i -го джерела викиду):

$$Q_i = M_{1i} + M_{2i}. \quad (7)$$

Таким чином, використання (7) дасть змогу отримати викид від кожного транспортного засобу.

Висновки

Моделювання процесу забруднення довколишнього середовища у сукупності із системою моделювання дорожнього руху дасть можливість:

- описати всі процеси, пов'язані з викидами, розповсюдженням та взаємодією між собою шкідливих речовин;
- дослідити вплив на рівень викидів шкідливих речовин методів регулювання дорожнього руху;
- більш точно і ефективно прогнозувати забруднення по районам та зонам дорожньої сітки системи моделювання.

Для досягнення поставлених цілей та вирішення описаних задач за основу була взята модель конвекційно-дифузійного переносу забруднення у поєднанні з системою моделювання дорожнього руху, а також методи розрахунку викидів забруднення.

Моделювання всіх вищеописаних процесів у поєднанні з системою моделювання дорожнього руху дасть можливість Україні покращити екологічний стан окремих регіонів та вийти на новий, більш якісний рівень екологічної ситуації, що буде відповідати європейським нормам і стандартам, що стане ще одним кроком до вступу в ЄС.

Література

1. Томашевский В.Н., Парамонов А.М. Система моделирования автомобильного дорожного движения // Математическое и имитационное моделирование систем МОДС '2009. Тезисы докладов. – Київ. – 2009. – С. 157–161.
2. Томашевский В.Н., Парамонов А.М. Формализация алгоритма моделирования движения автомобильного дорожного транспорта // Вісник Національного технічного університету України “КПІ”. Серія: Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – 2008. – 48. – С. 156–162.
3. Методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов. - М.: Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды, 1999. С. 7-8.

4. Гладкий А.В. Чисельно-аналітичні методи математичного моделювання хвильових процесів в неоднорідних середовищах : Дис. д-ра фіз.- мат. наук: 01.05.02 / НАН України. — К., 1996. — 258л.
5. Безопасность дорожного движения. Управление скоростью. Результаты исследований, проведенных совместным центром транспортных исследований. СЕМТ/СМ(2006)19. European Conference of Ministers of Transport
6. Гладкий А.В., Скопецкий В.В. Методи числового моделювання екологічних процесів: Навч. посіб. – К.: ІВЦ „Видавництво “Політехніка”, ТОВ “Фірма “Періодика”, – 2005. – 152 с.
7. Гладкий А.В., Скопецкий В.В. Основи чисельного моделювання процесів екології: Навч. посіб. – К.: – 2005.

Отримано 11.12.2011 р.