

УДК 519.6:504.3.054

*професор, доктор технічних наук Біляєв М.М.
кафедра гідравліки та водопостачання
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна
доцент, кандидат технічних наук Русакова Т.І.
кафедра аерогідромеханіки та енергомасопереносу
Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара*

ВПЛИВ АВТОМАГІСТРАЛЕЙ НА РІВЕНЬ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В МІКРОРАЙОНАХ МІСТА

Анотація. Створено математичну модель для проведення розрахунків по оцінці впливу автомагістралей на рівень забруднення повітряного середовища в мікрорайонах міста. Дана модель може бути використана як для аналізу забруднення повітря від викидів, що утворюються під час руху автотранспорту, так і для аналізу забруднення повітряного середовища при аварійних ситуаціях на дорогах, що супроводжуються миттєвими викидами забруднюючих речовин великої концентрації. Оперативність реалізації даної моделі на базі розроблених прикладних програм дозволяє проводити велику кількість серійних розрахунків за короткий час. Числову модель розроблено на основі рівнянь вихрових відривних течій ідеальної рідини та рівняння конвективно-дифузійного переносу домішки. Результати, отримані при проведенні обчислювальних експериментів, підтверджують можливість використання запропонованої моделі для розв'язку актуальних задач урбоекології, пов'язаних з питаннями розташування автомагістралей в межах житлових мікрорайонів міста.

Ключові слова: числова модель, забруднюючі речовини, автотранспорт, мікрорайон міста, поле швидкості, концентрація забруднювача.

Постановка проблеми та аналіз публікацій. Автомобільний транспорт є одним з інтенсивних джерел забруднення атмосферного повітря в містах. З кожним роком збільшується не тільки кількість автотранспорту, але і кількість стоянок та заправок, тобто місць, де спостерігаються значні викиди від автотранспорту. Одночасно з цим фактором, численність населення в містах теж зростає, що пов'язано з потребами людей в добробуті та достатньому рівні життя. Вплив викидів автотранспорту на якість повітряного середовища на вулицях міст є важливою задачею в області екологічної безпеки. Однак очевидна складність вирішення цієї задачі. На формування якості повітряного середовища впливає комплекс факторів: метеоумови, характер розташування будівель в мікрорайоні, інтенсивність викиду забруднюючих речовин від транспорту. Природно, що побудова моделей, що дозволяють врахувати всі фактори, які впливають на формування зон забруднення на вулицях неможливо. Тому актуальним є створення прикладних моделей, що дозволяють прогнозувати якість повітряного середовища на вулицях з урахуванням основних факторів переносу забруднюючих речовин.

Найбільший внесок в екологічний збиток (62,7 %) вносить автотранспортний комплекс, внесок залізничного транспорту досягає 27,7 %, повітряного – 4,5 %, морського – 3,6 % та річного – 1,5 %. В усіх видах негативного впливу «лідидує» автомобільний транспорт (шум – 49,5 %, вплив на клімат – 68 %, забруднення атмосферного повітря – 71 %). Кожен автомобіль викидає в атмосферу з відпрацьованими газами біля 200 різних компонентів. В вихлопних газах двигуна, що працює на нормальному бензині і при нормальному режимі, вміщується в середньому 2,7 % оксиду вуглецю. При зниженні швидкості ця доля зростає до 3,9 %, а на малому ходу – до 6,9 %. Оксид вуглецю, вуглекислий газ та більшість інших газових викидів двигунів важче повітря, тому всі вони накопичуються біля землі.

Аналіз статистичних даних по якості повітряного середовища в місті Дніпропетровську показав, що в деяких районах міста спостерігається підвищення гранично допустимих норм рівня загазованості по оксиду вуглецю (CO) та вуглеводню (CH). Найбільший рівень забруднення повітря відмічається на площі Старомостовій (Островського) – однієї з крупних транспортних розв'язок міста Дніпропетровська.

Дані Головного управління статистики в Дніпропетровській області дозволяють оцінити розміри викидів основних забруднюючих речовин від усіх видів автотранспорту в атмосферу, зробити аналіз по величині усіх викидів від автотранспорту рис. 1 та окремих складових, наприклад, оксиду вуглецю рис. 2.



Рис. 1. Величина усіх викидів забруднюючих речовин від автотранспорту (крім оксиду вуглецю)

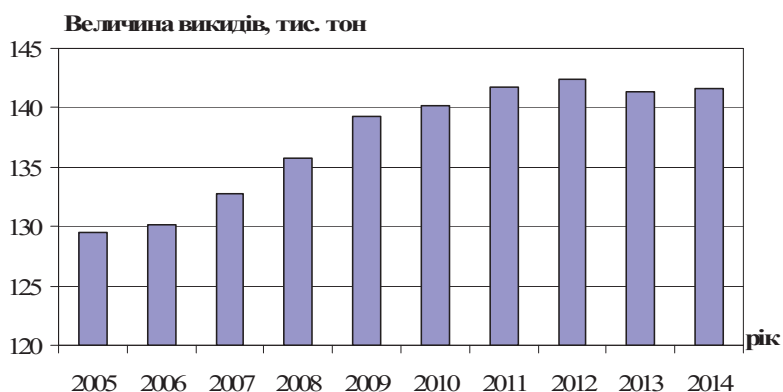


Рис. 2. Величина викидів оксиду вуглецю

Для прогнозу якості повітряного середовища на вулицях, в містах використовується два класи моделей. Це моделі Гауса і їх різні модифікації [1] і CFD моделі [1, 5, 6–11]. Моделі Гауса враховують такі важливі фактори: метеоумови, інтенсивність викиду, але не дозволяють врахувати вплив будівель на процес поширення забруднюючих речовин на вулицях. Відомі CFD моделі дають можливість враховувати вплив будівель на характер формування зон забруднення на вулицях, але вимагають для практичної реалізації дуже потужних комп'ютерів і більше двох діб часу розрахунку для прогнозу рівня забруднення повітряного середовища тільки для невеликого мікрорайону міста. Це пов'язано з тим, що дані моделі засновані на рівняннях Нав'є-Стокса, а значить для їх реалізації необхідна дрібна сітка і додаткові рівняння, що описують процес турбулентності [9]. Використання цих CFD моделей для випадку, коли необхідно провести серійний розрахунок різних сценаріїв забруднення повітряного середовища на вулицях міста в Україні ускладнене.

Метою даної роботи є розробка математичної моделі для оцінки впливу автотранспорту на якість повітряного середовища в мікрорайонах міста в випадку будівництва нових автомагістралей чи в випадку зміни структури транспортної мережі в місті, що вимагає проведення серійних розрахунків.

Математична модель. У даній роботі створено математичну модель на основі законів вихрових відривних течій ідеальної нестисливої рідини та закону переносу забруднюючих речовин.

Рівняння переносу завихореності (1) і рівняння Пуассона для розрахунку функції струму (2) [1, 5]

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial u\omega}{\partial x} + \frac{\partial v\omega}{\partial y} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = -\omega. \quad (2)$$

Для розрахунку зон забруднення в мікрорайонах міста при заданих метеоумовах та параметрах викиду забруднюючих речовин використовується рівняння масопереносу [1, 2, 5, 6]

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \sigma C = \operatorname{div}(\mu \operatorname{grad} C) + \sum_{i=1}^N Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i), \quad (3)$$

де C – концентрація забруднюючої речовини; u, v – компоненти вектора швидкості вітру; $\mu = (\mu_x, \mu_y)$ – коефіцієнт турбулентної дифузії; Q – інтенсивність викиду забруднювача; $\delta(x - x_i) \delta(y - y_i)$ – дельта-функція Дірака; x_i, y_i – координати джерела викиду; σ – коефіцієнт, що враховує хімічний розпад забруднювача; t – час.

Постановка крайових умов для даного рівняння розглянута в роботах [1, 5, 6]. Для формування виду розрахункової області, положення будівель, їх форми, використовується метод маркування розрахункової області [1, 5, 6].

Розрахунок виконується на прямокутній різницевій сітці. Використовуючи даний метод, можна формувати будь-яку форму будівель на вулицях, вибирати їх взаємне розташування та розміщення автомагістралей.

Для чисельного інтегрування рівнянь гідродинаміки використовуються неявні різницеві схеми. Для інтегрування рівняння переносу завихореності застосовується поперемінно-трикутна різницева схема [4]. Різницеві рівняння для розрахунку завихореності на кожному кроці розщеплення мають вигляд:

– на першому кроці розщеплення

$$\frac{\omega_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + \omega_{i,j}^n}{\Delta t} + \frac{u_{i+1,j}^+ \omega_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - u_{i,j}^+ \omega_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x} + \frac{v_{i,j+1}^+ \omega_{i,j} - v_{i,j}^+ \omega_{i,j-1}}{\Delta y} = 0,$$

– на другому кроці розщеплення

$$\frac{\omega_{i,j}^{n+1} - \omega_{i,j}^{n+1}}{\Delta t} + \frac{u_{i+1,j}^- \omega_{i+1,j}^{n+1} - u_{i,j}^- \omega_{i,j}^{n+1}}{\Delta x} + \frac{v_{i,j+1}^- \omega_{i,j+1}^{n+1} - v_{i,j}^- \omega_{i,j}^{n+1}}{\Delta y} = 0,$$

де $u^+ = \frac{u + |u|}{2}$, $u^- = \frac{u - |u|}{2}$, $v^+ = \frac{v + |v|}{2}$, $v^- = \frac{v - |v|}{2}$.

Значення функції струму розраховується за допомогою різницевої схеми сумарною апроксимації [4, 5]. У цьому випадку, різницеві рівняння записуються так:

– на першому кроці $\frac{\Psi_{i,j}^{n+\frac{1}{4}} - \Psi_{i,j}^n}{\Delta t} = \frac{\bar{\omega}_{i,j}}{2}$;

– на другому кроці

$$\frac{\Psi_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \Psi_{i,j}^n}{\Delta t} = -\frac{\Psi_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \Psi_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x^2} - \frac{\Psi_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \Psi_{i,j-1}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y^2};$$

– на третьому кроці

$$\frac{\Psi_{i,j}^{n+\frac{3}{4}} - \Psi_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta t} = \frac{\Psi_{i+1,j}^{n+\frac{3}{4}} - \Psi_{i,j}^{n+\frac{3}{4}}}{\Delta x^2} + \frac{\Psi_{i,j+1}^{n+\frac{3}{4}} - \Psi_{i,j}^{n+\frac{3}{4}}}{\Delta y^2};$$

– на четвертому кроці $\frac{\Psi_{i,j}^{n+1} - \Psi_{i,j}^{n+\frac{3}{4}}}{\Delta t} = \frac{\bar{\omega}_{i,j}}{2}$,

де $\bar{\omega}_{i,j} = \frac{1}{4}(\omega_{i,j} + \omega_{i-1,j+1} + \omega_{i-1,j-1} + \omega_{i,j-1})$.

Чисельне інтегрування рівняння переносу домішки проводиться за допомогою неявної різницевої схеми розщеплення [1, 4–6].

Похідна за часом апроксимується розділеною різницею «назад»:

$$\frac{\partial C}{\partial t} \approx \frac{C_{ij}^{n+1} - C_{ij}^n}{\Delta t}.$$

У конвективних похідних складові однонапрявленого перенесення записуються у вигляді:

$$\frac{\partial u C}{\partial x} = \frac{\partial u^+ C}{\partial x} + \frac{\partial u^- C}{\partial x}; \quad \frac{\partial v C}{\partial y} = \frac{\partial v^+ C}{\partial y} + \frac{\partial v^- C}{\partial y}.$$

З урахуванням попереднього виразу конвективні похідні апроксимуються розділеними різницями «проти потоку» на верхньому часовому шарі:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u^+ C}{\partial x} &\approx \frac{u_{i+1,j}^+ C_{i,j}^{n+1} - u_{i,j}^+ C_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^+ C^{n+1}, & \frac{\partial u^- C}{\partial x} &\approx \frac{u_{i+1,j}^- C_{i+1,j}^{n+1} - u_{i,j}^- C_{i,j}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^- C^{n+1}, \\ \frac{\partial v^+ C}{\partial y} &\approx \frac{v_{i,j+1}^+ C_{i,j}^{n+1} - v_{i,j}^+ C_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^+ C^{n+1}, & \frac{\partial v^- C}{\partial y} &\approx \frac{v_{i,j+1}^- C_{i,j+1}^{n+1} - v_{i,j}^- C_{i,j}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^- C^{n+1}. \end{aligned}$$

Компоненти швидкості u визначаються на вертикальних гранях різницевих осередків, а компоненти швидкості v – на горизонтальних гранях. Індeksi цих граней відповідають індексам осередків, розташованих правіше або вище відповідної межі.

Другі похідні апроксимуються наступним чином:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) &\approx \mu_x \frac{C_{i+1,j}^{n+1} - C_{i,j}^{n+1}}{\Delta x^2} - \mu_x \frac{C_{i,j}^{n+1} - C_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x^2} = M_{xx}^- C^{n+1} + M_{xx}^+ C^{n+1}, \\ \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) &\approx \mu_y \frac{C_{i,j+1}^{n+1} - C_{i,j}^{n+1}}{\Delta y^2} - \mu_y \frac{C_{i,j}^{n+1} - C_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y^2} = M_{yy}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1}. \end{aligned}$$

L_x^+ , L_x^- , L_y^+ , L_y^- , M_{xx}^+ , M_{xx}^- , M_{yy}^+ , M_{yy}^- – умовні позначення різницевих операторів. З урахуванням наведених вище позначень різницевої аналог рівняння (3) записується

$$\begin{aligned} \frac{C_{i,j}^{n+1} - C_{i,j}^n}{\Delta t} + L_x^+ C^{n+1} + L_x^- C^{n+1} + L_y^+ C^{n+1} + L_y^- C^{n+1} + \sigma C_{ij}^{n+1} = \\ = (M_{xx}^+ C^{n+1} + M_{xx}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1} + M_{yy}^- C^{n+1}) + q_{ij} \delta_{ij}. \end{aligned}$$

Позначаємо δ_{ij} – число «1» або «0», в залежності від того, розташовано чи ні в різницевому осередку « ij » джерело забруднення. Значення q_{ij} дорівнює інтенсивності q_k відповідного k -го джерела, розміщеного в різницевому

осередку « ij », поділений на площу цього осередку: $q_{ij} = q_k / (\Delta x \cdot \Delta y)$.

Розщеплюємо різницеве рівняння на чотири різницевих рівняння так, щоб на кожному кроці враховувався лише один напрямок перенесення домішки, який визначається знаком при конвективній похідній. В цьому випадку різницеві рівняння мають вигляд:

– на першому кроці розщеплення $k = \frac{1}{4}$

$$\begin{aligned} \frac{C_{ij}^{n+k} - C_{ij}^n}{\Delta t} + \frac{1}{2}(L_x^+ C^k + L_y^+ C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k = \\ = \frac{1}{4}(M_{xx}^+ C^k + M_{xx}^- C^n + M_{yy}^+ C^k + M_{yy}^- C^n) + \sum_{l=1}^N \frac{\bar{q}_l}{4} \delta_l; \end{aligned}$$

– на другому кроці розщеплення $k = n + \frac{1}{2}$, $c = n + \frac{1}{4}$

$$\begin{aligned} \frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2}(L_x^- C^k + L_y^- C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k = \\ = \frac{1}{4}(M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^c) + \sum_{l=1}^N \frac{\bar{q}_l}{4} \delta_l; \end{aligned}$$

– на третьому кроці розщеплення $k = n + \frac{3}{4}$, $c = n + \frac{1}{2}$

$$\begin{aligned} \frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2}(L_x^+ C^k + L_y^- C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k = \\ = \frac{1}{4}(M_{xx}^- C^c + M_{xx}^+ C^k + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^c) + \sum_{l=1}^N \frac{\bar{q}_l}{4} \delta_l; \end{aligned}$$

– на четвертому кроці розщеплення $k = n + 1$, $c = n + \frac{3}{4}$

$$\begin{aligned} \frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2}(L_x^- C^k + L_y^+ C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k = \\ = \frac{1}{4}(M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^c + M_{yy}^+ C^k) + \sum_{l=1}^N \frac{\bar{q}_l}{4} \delta_l. \end{aligned}$$

У даних різницевих рівняннях використовується значення $\bar{q}_l = \frac{q_l}{\Delta x \Delta y}$.

Значення функції δ_l тотожно дорівнює нулю в усіх осередках, крім тих, де розташоване джерело викиду. Оскільки на кожному кроці розщеплення шаблон різницевих рівнянь має трикутну форму, то на верхньому часовому шарі невідоме значення функції знаходиться за методом «біжучого рахунку».

Практична реалізація моделі. Розроблена чисельна модель була застосована для прогнозу рівня забруднення повітряного середовища в мікрорайоні для двох сценаріїв організації руху автотранспорту в мікрорайоні. Розрахунок виконувався при наступних даних: довжина розрахункової області 240 м; ширина розрахункової області 200 м; швидкість повітря 4 м/с, коефіцієнт дифузії $\mu_x = \mu_y = 1,5 \text{ м}^2/\text{с}$.

В першому сценарії розглядається розміщення однієї автотраси в мікрорайоні (рис. 3), інтенсивність викиду CO на даній магістралі 0,005 г/(с·м).

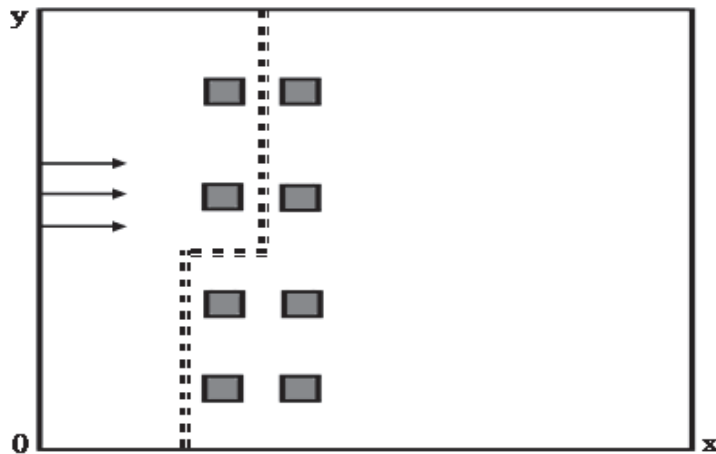


Рис. 3. Схема розрахункової області (перший сценарій):

■ ■ ■ ■ положення автомагістралі

В другому сценарії розглядається розміщення двох автомагістралей в мікрорайоні (рис. 4).

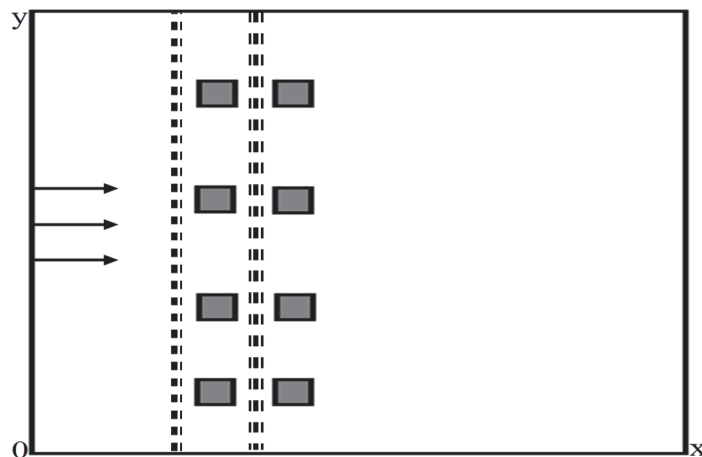


Рис. 4. Схема розрахункової області (другий сценарій):

■ ■ ■ ■ , ■ ■ ■ ■ положення автомагістралей

Перша автомагістраль (рис. 4) має більшу інтенсивність викиду забруднюючих речовин 0,01 г/(с·м) та проходить на границі мікрорайону. Це означає, що проектувальники захищають мікрорайон від викидів даної магістралі. Друга автомагістраль (рис. 4) проложена безпосередньо між будівлями мікрорайону, його викид складає 0,005 г/(с·м).

Ставиться задача локального прогнозування забруднення повітряного середовища для кожного сценарію розміщення автомагістралей.

На рис. 5–6 показана зона забруднення повітряного середовища в мікрорайоні для першого сценарію в різні моменти часу.

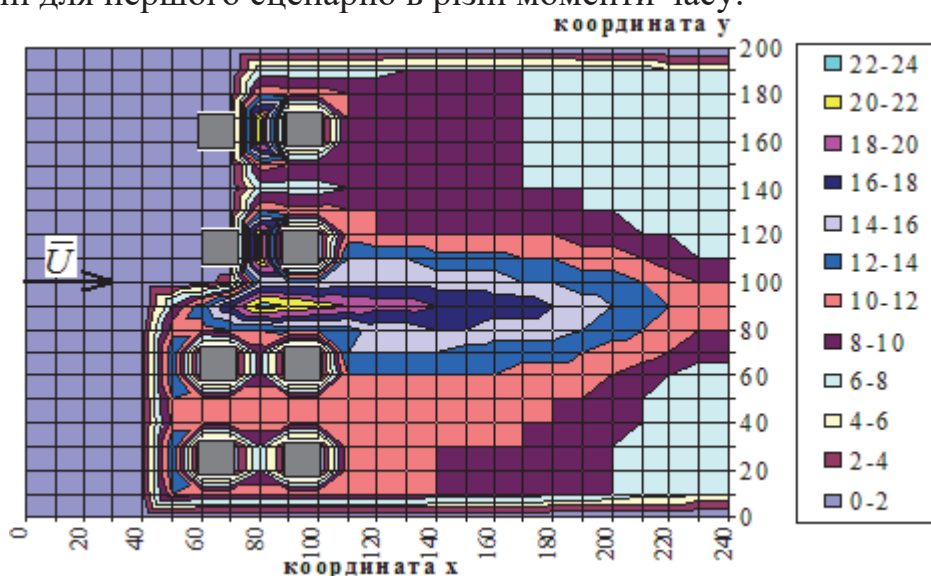


Рис. 5. Зона забруднення атмосфери (перший сценарій):

$$C_{\max} = 2,12 \text{ мг/м}^3, t=60 \text{ с}$$

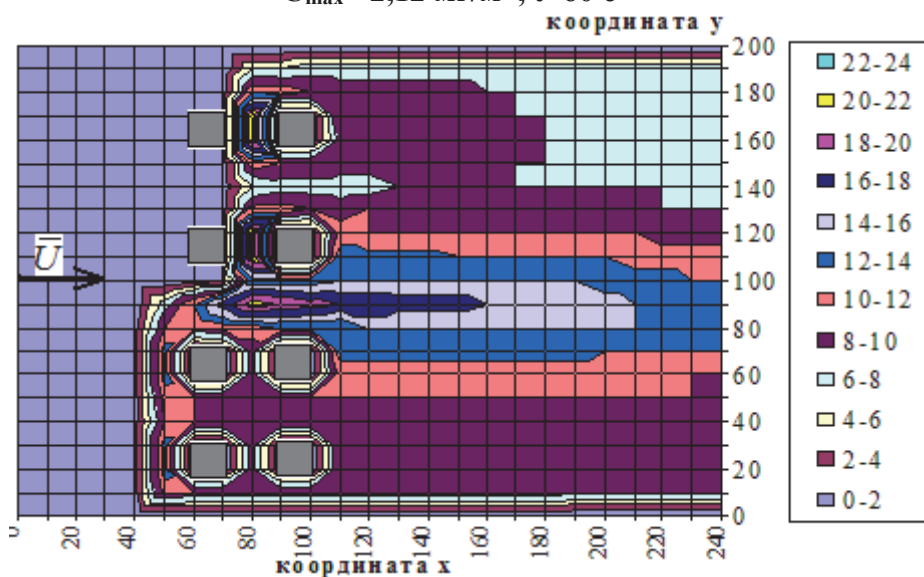


Рис. 6. Зона забруднення атмосфери (перший сценарій):

$$C_{\max} = 2,32 \text{ мг/м}^3, t=80 \text{ с}$$

Для першого сценарію організації руху транспорту в мікрорайоні (рис. 1) спостерігаються локальні максимуми концентрації CO (рис. 5–6) вздовж ділянки дороги, де розміщується по дві будівлі з кожної сторони, так як там виникають застійні зони, в наслідок поганої циркуляції повітря.

На рис. 7–8 показана зона забруднення повітряного середовища в мікрорайоні для другого сценарію. Для другого сценарію (рис. 2) спостерігається чотири локальних максимуми концентрації CO (рис. 9–10), так як вздовж неї знаходиться по чотири будівлі з кожної сторони. Таким чином, для другого сценарію в випадку погіршення метеообстановки (зменшення швидкості повітря,

штиль) можна чекати більш значного перевищення гранично допустимої концентрації по СО.

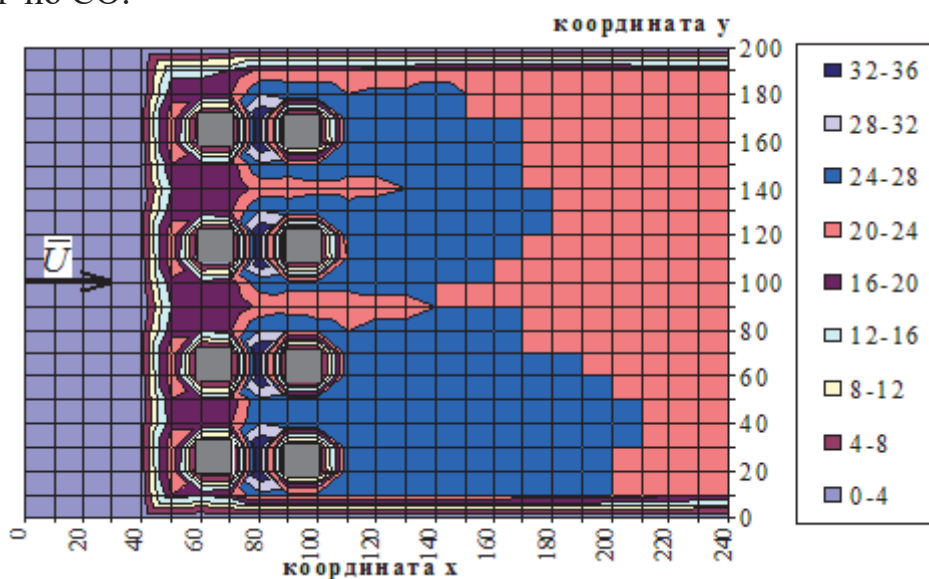


Рис. 7. Зона забруднення атмосфери (другий сценарій):

$$C_{\max} = 2,51 \text{ мг/м}^3, t = 60 \text{ с}$$

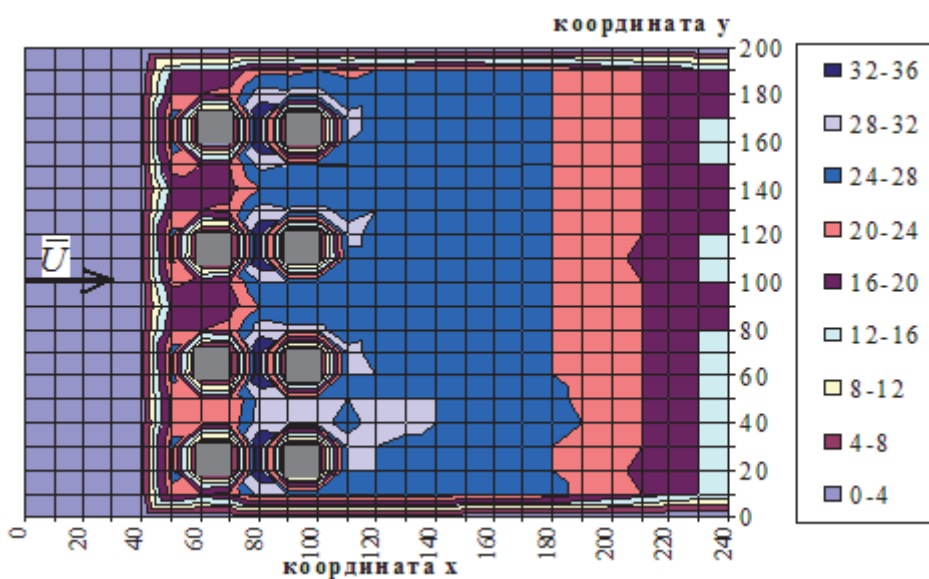


Рис. 8. Зона забруднення атмосфери (другий сценарій):

$$C_{\max} = 2,76 \text{ мг/м}^3, t = 80 \text{ с}$$

Потрібно відмітити, що на представлених нижче рисунках значення концентрації представлено в безрозмірному виді: кожне число – це величина концентрації в відсотках від величини максимальної концентрації на даний момент часу. Числові значення представлені в форматі «цілих чисел», тобто дробова частина не видається на друк. Такий вивід результатів ефективний при проведенні серійних розрахунків, коли із різних варіантів обирається оптимальний для даної ситуації. Але за вимогою користувача можна виводити результат по формату «дійсних чисел». Ці дані дозволяють оцінити вид утвореної зони забруднення, її розміри та інтенсивність.

Висновки.

1. Розроблено ефективну математичну модель для оцінки рівня забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту в мікрорайонах міста на основі розв'язку рівнянь гідродинаміки та масопереносу.

2. Створено програмний пакет, який дозволяє проводити обчислювальні експерименти для аналізу забруднення повітряного середовища від викидів, що утворюються під час руху автотранспорту і при аварійних ситуаціях на дорогах міста, що супроводжуються миттєвими викидами забруднюючих речовин великої концентрації.

3. Запропонована модель може бути використана для розв'язку актуальних задач урбоекології, пов'язаних з питаннями розміщення автомагістралей в межах житлових мікрорайонів: в випадку будівництва нових автомагістралей чи в випадку зміни структури транспортної мережі в місті, що вимагає проведення серійних розрахунків.

Література

1. Беляев, Н. Н. Моделирование загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта на улицах городов [Текст] / Н. Н. Беляев, Т. И. Русакова, П. С. Кириченко. – Д.: Нова ідеологія, 2014. – 159 с.
2. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды [Текст] / Г. И. Марчук. – Москва: Наука, 1982. – 320 с.
3. Пляцук, Л. Д. Оцінка впливу поля вітру та коефіцієнта турбулентності при моделюванні розповсюдження викидів в атмосфері [Текст] /Л. Д. Пляцук, В. В. Бойко // Вісн. КНУ ім. М. Остроградського. – 2011. – Вип.1, № 66. – С. 141–144.
4. Самарский, А. А. Теория разностных схем [Текст] / А. А. Самарский. – Москва: Наука, 1983. – 616 с.
5. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде [Текст] / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – Київ : Наук. думка, 1997. – 368 с.
6. Biliaiev, M. M. Numerical simulation of indoor air pollution and atmosphere pollution for regions having complex topography [Text] / M. M. Biliaiev, M. M. Kharytonov // NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. – 2012. Vol. 4. – P. 87–91.
7. Boudier, F. Risk Perception and Communication [Text] / F. Boudier // Improving Disaster Resilience and Mitigation – IT Means and Tools, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, 2014. – P. 233–239.
8. Kitada, T. Episodic High Surface Ozone in Central Japan in Warm Season: Relative Importance of Local Production and Long Range Transport [Text] / T. Kitada // Air Pollution Modeling and its Application, NATO SPS Series C : Environmental Security, 2010. – P. 233–239.
9. Murakami, S. Comparison of “k-ε” model, ASM and LES with wind tunnel test for flow field around cubic model [Text] / S. Murakami, A. Mochida,

- Н. Yoshihiko // 8th Intern. Conf. on Wind Engineering. – Western Ontario, 1991. – № 12. – P. 3.
10. Roberto, F. Transport and Dispersion of Biological Agents/Toxins [Text]/ F. Roberto, D. J. Rodi, SCAPA. Biosafety Working Group, 2009. – P. 1–25. <http://orise.orau.gov/emi/scapa/files/TransportandDispersion.pdf>
11. Y Qu. Development of building resolving atmospheric CFD code taking into account atmospheric radiation in complex geometric [Text] / Y Qu, M. Millez, L. Musson-Genon // Air Pollution Modeling and it's Application, NATO SPS Series C : Environmental Security, 2010. – P. 1–5.

Аннотация. Создана математическая модель для проведения расчетов по оценке влияния автомагистралей на уровень загрязнения воздушной среды в микрорайонах города. Данная модель может быть использована как для анализа загрязнения воздуха от выбросов, образующихся при движении автотранспорта, так и для анализа загрязнения воздушной среды при аварийных ситуациях на дорогах, сопровождающихся мгновенными выбросами опасных веществ большой концентрации. Оперативность реализации данной модели на базе разработанных прикладных программ позволяет проводить большое количество серийных расчетов за короткое время. Численная модель разработана на основе уравнений вихревых отрывных течений идеальной жидкости и уравнения конвективно-диффузионного переноса примеси. Результаты, полученные при проведении вычислительных экспериментов, подтверждают возможность использования предложенной модели для решения актуальных задач урбоэкологии, связанных с вопросами расположения автомагистралей в пределах жилых микрорайонов города.

Ключевые слова: численная модель, загрязняющие вещества, автотранспорт, микрорайон города, поле скорости, концентрация загрязнителя.

Abstract. The author developed the mathematical model to calculate the level of motorways impact on the air pollution in micro districts of the city was created. This model can be used for analysis of air pollution from emissions caused by traffic and for the analysis of air pollution in emergency situations on the road, accompanied by the instant ejection of large concentrations of harmful substances. The realization speed of the developed model, which is based of application programs, allows a large number of series calculations in a short time. The numerical model is based on equations of vortex separated flows of ideal liquid and the equation of convection-diffusion transfer pollution. The results, which were obtained in computational experiments, confirmed the possibility of using the proposed model for the solution of actual problems urban ecology related with the questions of location the motorways in micro districts of the city.

Key words: numerical model, pollutants, autotransport, micro districts of the city, the field of speed, the concentration of the pollution.