
на нынешнем этапе требуется постановка целей и задач стратегического менеджмента предприятий.

Ключевые слова: система экологического менеджмента, устойчивое развитие, стандарт, экологическая результативность, управление рисками.

The article presents an analysis of the new requirements for the environmental management system are considered in the article based on the analysis of the international standard ISO 14001 version 2015. Thus, the introduction of the new version of ISO 14001 has a number of features. This is due to the advance preparation on the strategic level of the enterprise management. As shown in the article, particular difficulties adapting to the new basic requirements related to the necessity of introduction of certified organizations such instruments of environmental management as a documented information management, process and risk-based approaches to management. In the context of the forthcoming changes to ensure the sustainable development of industrial relations in Ukraine already at this stage we need to set goals and objectives of the strategic management of the enterprises.

Keywords: environmental management system, sustainable development, life cycle assessment, environmental performance, risk management.

УДК 004.67, 621.317

Гударенко В. М., Подорожняк А. О., Шавирін Е. Л., Шамаєв Ю. П.

МОДЕЛЬ ТОЧКОВИХ ЗАБРУДНЕНЬ ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПОВІТРЯНОГО БАСЕЙНУ

У статті проведено аналіз математичних моделей якості повітряного басейну та наведено опис моделі для точкових джерел забруднень з використанням гаусового рішення для стаціонарного точкового джерела. Запропонована модель дає можливість провести оцінку якості повітряного басейну з урахуванням висоти забруднювальних джерел викидів та середньої висоти перемішування повітряних мас, що дасть можливість використовувати її в екологічному моніторингу генеральних планів міст та схем районних планувань.

Ключові слова: модель, точкове джерело забруднення, оцінка якості, екологічний моніторинг

Постановка проблеми

Під час проектування генеральних планів міст або схем районних планувань з урахуванням розвитку міст, промисловості, будівництва, комунального господарства, а також забезпечення мінімальної дії на природне довкілля і в разі визначення найбільш ефективних засобів відвертання перевищення допустимих концентрацій забруднювальних речовин потрібне моделювання якості повітряного басейну на основі додаткової інформації щодо інвентаризації викидів. Чисельне моделювання дифузії і розсіювання основних концентрацій речовин забруднень, а також їх взаємозв'язку з джерелами викидів – єдиний практичний метод для отримання подібної інформації [1].

По деяких районах України може бути вирішено подібні завдання. Деякі території є цікавими, зважаючи на наявність великої кількості комунальних та промислових підприємств, електростанцій, металургійних, нафтопереробних заводів.

Для визначення шляхів реалізації запропонованої концепції оцінки якості повітряного басейну необхідно створити модель забруднень та провести її дослідження.

Аналіз публікацій

Проведений аналіз літератури засвідчив [2–5], що є багато варіантів моделювання атмосферних забруднень, однак вони не розглядають процесу забруднення від багатьох точкових джерел забруднення та не враховують тривимірного процесу дифузії домішок у повітряному басейні. Основним завданням для адекватного моделювання процесу забруднення повітря від багатьох точкових джерел є врахування різної висоти труб забруднювачів та особливостей розсіювання домішок в атмосфері за різних метеоумов.

Таким чином, актуальності набуває питання, пов'язане з розробленням та дослідженням моделі точкових забруднень атмосфери населених пунктів.

Мета статті. Ця стаття присвячена розробці та дослідженню моделі точкових забруднень для оцінки якості повітряного басейну.

Основна частина

Основою для інвентаризації джерел викидів є вивчення розподілу різних типів споживання палива. Найбільші промислові споживачі щомісячно подають дані про споживання. Надходять також дані про щорічне споживання палива й на інші потреби, такі, як опалювання житлових і адміністративних будівель, використання палива невеликими промисловими підприємствами.

Основним джерелом інформації для розрахунку викидів від житлових масивів, комунальних і промислових підприємств є дані про поділ населення на групи та види використовуваного палива (вугілля, тверде, бездимне паливо, нафта) в кожному квадраті (1 км²) сітки на карті. Наприклад, річні об'єми викиду SO₂ для кожного квадрата сітки розраховували за допомогою коефіцієнтів, що характеризують споживання палива на одну людину, й коефіцієнтів, що характеризують викиди на одиницю палива

$$W_c = \sum_{i=1}^3 2P_i S_i (1 - q_i) N_i, \quad (1)$$

де W_c – річний об'єм викидів SO₂ в квадраті сітки; P_i – річне споживання i -го виду палива; S_i – відносний масовий вміст сірки в i -му виді палива; N_i – кількість людей, що перебувають у квадраті сітки, які користуються i -м видом палива.

Розрахунок викидів від комунальних і промислових підприємств виконують на основі інформації про кожне джерело, сітки, що складається з координат квадрата, де він знаходиться, типу джерела, виду використання палива (тобто опалювання приміщень або промисловий процес), річного його споживання, вмісту сірки в паливі та висоти труби. Для кожного джерела розраховують річний об'єм викидів SO₂. Наприклад, для диму

$$W_c = P_r \alpha_p, \quad (2)$$

де W_c – річний об'єм викидів для цього джерела; P_r – річне споживання палива; α_p – частка палива (за масою), що викидається у вигляді диму. Величина α_p залежить від виду палива (вугілля, кокс, продукти перегонки нафти) і від розміру парового котла.

Великі джерела можна розглядати як кілька точкових. Висоту точки викиду коригують розрахунком ефективної висоти, тобто до висоти труби додають підйом факела за рахунок конвекції. Підйом факела розраховують при нейтральній або нестійкій атмосфері. Розрахунок підйому факела роблять за такою формулою:

$$\Delta H = 7.4\alpha_p^{1/3} H^{2/3} U^{-1}, \quad (3)$$

де ΔH – висота підйому факела; α_p – параметр сили конвекції; H – висота труби; U^{-1} – швидкість вітру.

У тих випадках, коли немає достатньої кількості даних про характер викидів, силу конвекції розраховують на підставі відомостей про споживання палива в цьому районі з урахуванням втрати 15–20% енергії палива з паливними газами [1–2].

Ефективні висоти викидів для кожного типу джерел розраховують або оцінюють як для великих промислових джерел. При розрахунку передбачається, що викиди від промислових процесів відбуваються впродовж усього року, а викиди при опалюванні приміщень залежать від температури навколишнього повітря. Найпростішим видом залежності первинних викидів під час опалювання приміщень W_{cp} від температури будуть

$$W_{cp}(T) = W_0[a + b(T_3 - T)] \text{ за } T \leq T_3, \quad (4)$$

$$W_{cp}(T) = W_0, \quad (5)$$

де W_{cp} – середній річний об'єм викидів; T_3 – задана температура; T – середня температура навколишнього повітря; a і b – постійні параметри.

Нижче (табл. 1) наведено величини викидів (%) від різних типів стаціонарних джерел забруднень.

Таблиця 1

Величини викидів (%) від різних типів стаціонарних джерел забруднень

	Дим	SO ₂
Обігрів жителів	62	1
Обігрів службових приміщень	1	1
Невеликі промислові підприємства	1	2
Середні промислові підприємства	4	7
Нафтопереробний завод і електростанції	32	89

Аналіз спостережуваних концентрацій забруднювальних речовин і взаємозв'язків їх з метеорологічними умовами важливий не лише з точки зору оцінки показників забруднення цієї місцевості. Він є цінним, якщо не найістотнішим, попереднім етапом розробки детальних моделей дифузії. Наприклад, виходячи з даних про концентрації, можна оцінити деякі коефіцієнти турбулентності, залежної від конкретної місцевості, які повинні використовуватися в моделях. Крім того, різні характеристики спостережуваних концентрацій, наприклад інтегральні функції повторюваності цих концентрацій (рози забруднення) і залежність концентрацій від напрямку, можна використовувати під час оцінювання адекватності моделі.

Концентрація забруднювальних речовин приблизно дорівнює деякому середньому значенню, наприклад середньорічному. Повторюваність концентрації диму і SO₂ апроксимується нормальним розподілом

$$f(C) = 1/(C_\sigma \sqrt{2\pi}) \exp\left[-(\ln C - \ln C_q)^2 / (2\sigma^2)\right], \quad (6)$$

де $f(C)$ – щільність розподілу концентрації C ; C_σ – стандартне відхилення від середнього значення C ; C_q – середньоарифметична концентрація.

Норми якості навколишнього повітря зазвичай виражають у вигляді величин, усереднених за деякий період (наприклад, за рік) повторюваності можливого перевищення певних вищих порогових значень. Враховуючи останнє, можна зазначити, що інтегральна функція розподілу має вигляд

$$F(C^*) = \int_{C^*}^{\infty} f(C) dC. \quad (7)$$

Можливості моделей дифузії для передбачення реальних концентрацій в заданій точці і в заданий момент часу досить обмежені, тому за допомогою цих залежностей можна прогнозувати лише середню концентрацію і повторюваність концентрацій по території.

Важливим випробуванням моделі (й одночасно основних метеорологічних даних про джерела викидів) є перевірка її здатності відтворювати спостережувані повторюваності концентрацій на різних майданчиках по всій території. Достовірність моделі збільшується, якщо за її допомогою можна відтворити повторюваності концентрацій забрудників при різних характеристиках джерел викидів. Спостережувані концентрації складаються з вкладів забруднювальних речовин, залежних від напрямку. Причиною цього є дві обставини:

1) характеристики турбулентності атмосфери залежать від напрямку, часто повітряні потоки східного напрямку є стійкішими, ніж потоки західного напрямку;

2) ефективні потужності джерел, які належать об'єкту, що з навітряного боку вивчають, можуть значно змінюватися. Особливо часто це спостерігається в такій місцевості, де міські території відносно невеликі й потужні джерела містяться в межах зони забруднення. Іншим способом опису спостережуваного забруднення на території є "рози забруднення", які дають також відповідну інформацію для будь-яких балансових розрахунків.

Оперуючи значеннями коефіцієнтів кореляції концентрацій речовин забруднень за добовими спостереженнями для окремих майданчиків і типовими коефіцієнтами кореляції наведених значень концентрацій, спостережуваних на різних майданчиках впродовж якогось періоду часу, можна судити достовірно про режим негативного стану території, що вивчається, і визначити поле концентрації речовин забруднень залежно від метеорологічних умов.

Взаємозв'язок між концентраціями речовин забруднень і метеорологічними змінними може бути подано за допомогою множинного регресійного аналізу у вигляді лінійної функції логарифмів цих змінних, тобто у вигляді основного рівняння регресії виду

$$\ln C = a + b \ln C^* + c \ln(T_3 + T_e - T) + d \ln V, \quad (8)$$

де C – концентрація речовин забруднення; T і V – відповідно середньодобова температура повітря та швидкість вітру в цей момент; C^* – концентрація в попередній день, включена внаслідок кореляції між двома послідовними серіями даних; T_3 – задана температура.

Рівняння (8) часто розглядаються як регресійну (статистичну) модель. Таку модель, якщо її постійно модернізувати, можна використовувати в схемах короткострокового прогнозування, наприклад сильного забруднення. Проте важливо зазначити, що модель працює тільки для тієї конкретної місцевості і для того діапазону залежних і незалежних змінних, для яких і було вичислено коефіцієнти регресії. Рівняння (8) не можна використати для прогнозу негативних ефектів, пов'язаних з інверсією і зі зміною характеристик джерел викидів для будь-якої місцевості.

Математичне моделювання дифузії і застосування моделі для точкових джерел забруднень

Основою моделей дифузії, що використовується у наш час, є рішення Гауса для стаціонарного точкового джерела

$$C_{(x,y)} = \frac{Q}{\pi V \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \left\{ \exp\left[-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(2L-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}, \quad (9)$$

де $C_{(x,y)}$ – концентрація у приземному шарі; Q – потужність джерела викидів; V – середня швидкість вітру на висоті; σ_y, σ_z – відповідно поперечне і вертикальне стандартні відхилення факела, що є функціями x ; H – ефективна висота джерела (осі x, y, z спрямовані за вітром, уперек вітру і по вертикалі); L – висота інверсії (рівняння не придатне за $H > L$).

Модель для точкових джерел забруднень. Рівняння для довгоперіодичних середніх величин (наприклад, за зиму або рік) можна вивести з формули (37) шляхом інтеграції по y в припущенні, що впродовж тривалих періодів флуктуації вітру в кожному секторі матимуть рівномірний розподіл і, отже, концентрація забруднювальних речовин також матиме рівномірний розподіл по горизонталі і в межах кожного сектора. Опускаючи член з $(2L-H)^2$ в рівнянні (9), отримуємо

$$C_{(x,y)} = \frac{2Q}{\sqrt{2\pi}\sigma_z U (2\pi x/n)} \exp\left[-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right], \quad (10)$$

де n – кількість секторів вітру.

Якщо взяти 12 секторів, то рівняння (9) набуває вигляду

$$C_{(x,y)} = \frac{1,52Q}{\sigma_z U_x} \exp\left[-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right]. \quad (11)$$

Рівняння (11) застосовується для точкових джерел. Розглядаючи розподілені джерела, сумарну величину викидів у квадраті беруть як вертикальне точкове джерело, розташоване з навітряного боку квадрата. Це зміщення проти вітру дає можливість врахувати початкову відстань, яка виникає, коли окремі джерела усередині кожного квадрата трактуються як просте майданчикове джерело. Величину $C_{(x,y)}$ знаходять виходячи з первинної відстані між центром квадрата сітки і точкою розрахунку концентрації, оскільки застосування більшої відстані для джерела призвело б до завищеної оцінки дійсного значення σ_z . Рівняння (11) набуває такого вигляду:

$$C_{(x,y)} = \frac{1,52Q}{\sigma_z U (2,42S + x)} \exp\left[-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right], \quad (12)$$

де S – довжина сторони квадрата сітки.

Початкова сітка фіксується в прямокутній системі координат $r - S$, тоді як модельні розрахунки проводяться в системі $x - y$ з віссю, що збігається з напрямом вітру (ця система також застосовується для точкових джерел). При розрахунку вкладу, рівномірно розподіленого по площі джерела, повинні виконуватися дві вимоги:

- 1) $x_E < x_R$ (x_E і x_R є відповідно координатами центру квадрата і розрахункової точки);
- 2) для кожного 30-градусного сектора вітру

$$\theta - 15^\circ \leq \beta \leq \theta + 15^\circ,$$

де

$$\beta = \arctg \left(\frac{S_R - S_E - E_V E \sin \theta}{R_R - R_E + E_V E \cos \theta} \right) \quad (13)$$

у першому квадраті.

Аналогічні умови застосовують для опису інших трьох квадратів; S_R, R_R, S_E, R_E є координатами точки розрахунку центру квадрата в системі $r - S$, E_V, E – відстань між центром квадрата і дійсним джерелом.

Згадана вище умова непридатна, коли точка розрахунку розташована усередині самого квадрата, рівномірно розподіленого по площі джерела. В цьому разі приймається, що джерело викидів рівномірного розподілу по всьому квадрату і вклад цього квадрата в розрахункову концентрацію розраховують за такою моделлю

$$C = \frac{Q}{VH_B S (|\sin \theta| + |\cos \theta|)}, \quad (14)$$

де θ – кут між панівним напрямом вітру і розрахунковим; H_B – висота.

Ця формула придатна для розрахунку концентрацій, усереднених як за малі, так і за великі періоди. В цьому разі квадрат сітки робить вклад в розрахункову концентрацію в точці, розташованій в ній при усіх напрямках вітру.

Величина σ_z розраховується за формулою

$$\sigma_z = \sigma_x + \sigma_x^q, \quad (15)$$

де x – відстань між точкою розрахунку і джерелом викидів; σ_z – початкова відстань факела (якщо вона істотна).

У фізичній моделі (14) висота H_B також залежить від умов стійкості й визначається співвідношенням

$$H_B = \sigma_0 + \sigma_z = \sigma_0 + b(S/2)^q, \quad (16)$$

де σ_0 – ефективна висота джерела викидів; S – розміри моделі за напрямом вітру; b і q – параметри стійкості.

Таким чином, середньою висотою зони перемішування повітряних мас є ефективна висота джерела викидів плюс висота, до якої забруднювальні речовини, що викидаються в повітряний басейн міста, розсіюватимуться.

У разі потужних джерел викидів з відносно високими трубами швидкість вітру на ефективній висоті джерела

$$V_H = V_{10} (H_t / 10)^{1/7}, \quad (17)$$

де V_{10} – швидкість вітру на висоті 10 м, отримана за допомогою метеорологічного реєстратора; H_t – ефективна висота джерела викидів.

У модель введена поправка для врахування відмінності в швидкості вітру у верхній і нижній частині факела, коли він поширюється на деякій відстані від труби

$$V_t = V_H (0,62\sigma_z / H_t)^{1/7} \text{ за } 0,62\sigma_z > H_t. \quad (18)$$

Таким чином, швидкість вітру V , використовувана в моделі, дорівнює V_H для розрахункових точок, що лежать досить близько від труби. Щоб розрахункова величина σ_z , помножена на 0,62, була менше H_t (а для розрахункових точок на великих відстанях $V = V_E$), показник 1/7 (чи 0,14) у рівняннях (17) і (18) відповідає правилу "однієї сьомої". Проте ця величина, ймовірно, занадто мала для нестійких нейтральних умов і свідомо мала для стійких і міститься в межах 0,2–0,5.

У багатьох випадках факели високих труб пробиватимуть приземні й підведені шари інверсії і в цьому разі не даватимуть вкладу в приземний рівень забруднення. Щоб врахувати це, розраховані за допомогою моделі вклади множитимуться на величину в межах від 0,4 до 1 залежно від висоти джерела викидів і класу стійкості метеоумов [1].

Рівняння (11) – (18) можуть бути застосовані для всіх джерел в кожному з даних секторів вітру навколо кожної точки розрахунку для кожного набору умов стійкості.

Після того як модель продемонструвала цілком прийнятну точність, її використовували для кількісної оцінки вкладу в приземні концентрації від окремих джерел. В усіх випадках характер концентрації був типовий для потужних джерел з великою висотою труб, при цьому концентрація в приземному шарі збільшувалася з відстанню від джерела доти, доки не досягла максимуму, потім було відносно повільне убавання.

Значення таких розрахункових вкладів забруднення полягає в можливості прогнозування дії пропонованих варіантів. Розрахунки можна проводити для різних висот і розташувань труб (одинична труба чи багато труб), різних сумарних потужностей джерел викидів і різних варіантів їх місця розташувань (рис. 1). У зв'язку з цим можна виробити оптимальні проектні пропозиції. Передбачено, що на додаток до середніх концентрацій стане можливим розрахунок (модель) картини розподілу максимальних концентрацій.

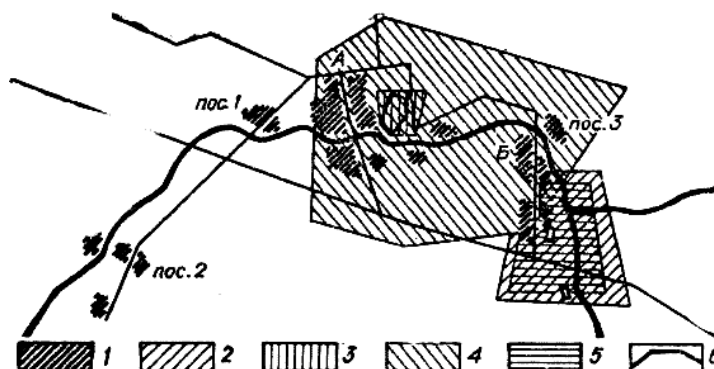


Рис. 1. Зони сумарного забруднення повітряного басейну системи населених місць від промисловості й автотранспорту, де:

1 – селищна територія, 2 – окисом вуглецю; 3 – двоокисом сірки; 4 – сірководнем; 5 – сажею; 6 – межі основних промпідприємств

У результаті розрахунків виділено практичні аспекти великомасштабного проекту, що обґрунтовує розміщення селища й промислових об'єктів по території, моделювання забруднення повітря і деякі методи, за допомогою яких можна оцінити характеристики розсіювання домішок на цій території. Моделі з урахуванням інверсій для концентрацій, усереднених за великий період, і проведені порівняння між результатами спостережень і розрахованими по моделі, цілком обнадіюють [1, 2, 4]. Також для підвищення точності екологічного моніторингу запропоновану модель точкових джерел забруднення можливо використовувати із застосуванням даних мультиспектральної зйомки [6].

Перевага рішенню Гауса була віддана через зручності й швидкості застосування. Методи таких розрахунків треба вдосконалювати для ситуацій, де топографія може мати значний

вплив на локальні характеристики дисперсії. Проте потрібно пам'ятати, що такі моделі потребують також і великої кількості даних.

Висновки

У статті проведено аналіз математичних моделей якості повітряного басейну та наведено опис моделі для точкових джерел забруднень з використанням гаусового рішення для стаціонарного точкового джерела. Запропонована модель дає можливість провести оцінку якості повітряного басейну з урахуванням висоти забруднювальних джерел викидів та середньої висоти перемішування повітряних мас, що дасть можливість використовувати її в екологічному моніторингу генеральних планів міст та схем районних планувань.

Напрямами подальшого вдосконалення запропонованої моделі для точкових джерел забруднень повітряного басейну є урахування процесу дифузії домішок в повітряному басейні з урахуванням інверсій та підвищення точності за рахунок використання мультиспектральних даних з систем дистанційного зондування Землі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Лаврик В. І. Моделирование і прогнозування стану довкілля. – К.: Видавничий центр «Академія», 2010. – 400 с.
2. Зеркалов Д. В. Екологічна безпека: управління, моніторинг, контроль. – К.: Дакор, Основа, 2007. – 412 с.
3. Тарасова В. В., Малиновський А. С., Рибак М. Ф. Метрологія, стандартизація і сертифікація. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 264 с.
4. Клименко М. О., Скрипчук П. М. Метрологія, стандартизація і сертифікація в екології. — К.: Видавничий центр «Академія», 2006. — 368 с.
5. Коростельова О. А., Шамаєв Ю. П. Особливості впровадження законодавчо-нормативних документів України та європейського союзу у галузі охорони навколишнього середовища / Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. – Х.: Харківський університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба. – Вип. 1 (42). – 2015.– С.132 – 135.
6. Подорожняк А.О., Лагода О.Д., Любченко Н.Ю. Метод інтелектуальної обробки мультиспектральних зображень / Системи обробки інформації. – Харків: ХУ ПС. – Вип. 10 (135). – 2015. – С. 123 – 125.

В. Н. Гударенко, А. А. Подорожняк, Е. Л. Шавырин, Ю. П. Шамаєв МОДЕЛЬ ТОЧЕЧНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА

В статье проведен анализ математических моделей оценки качества воздушного бассейна и приведено описание модели для точечных источников загрязнений с использованием гауссова решения для стационарного точечного источника. Предложенная модель позволяет провести оценку качества воздушного бассейна с учетом высоты загрязняющих источников выбросов и средней высоты перемешивания воздушных масс, что позволит использовать ее при экологическом мониторинге генеральных планов городов и схем районного планирования.

Ключевые слова: модель, точечный источник загрязнения, оценка качества, экологический мониторинг.

V.Gudarenko, A.Podorozhniak, E. Shavirin, Y. Shamaev MODEL OF POINT POLLUTION FOR ESTIMATION OF QUALITY AIR

The article analyzes the mathematical air basin quality assessment models and describes a model for point sources of pollution from the use of Gaussian stationary solution for a point source. The proposed model allows to evaluate the quality of the air basin, taking into account the height of pollutant emission sources and the average height of the mixing of air masses, which will use it in environmental monitoring master plans of cities and regional planning schemes.

Keywords: model, point source pollution, quality assessment, environmental monitoring.