

Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, д-р техн. наук, професор,
Ю. А. СЕЛІХОВ, канд. техн. наук, професор, К. О. ГОРБУНОВ, канд. техн. наук, професор,
А. М. МИРОНОВ, канд. техн. наук, доцент, М. В. ІЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук, доцент,
Г. В. ПОНОМАРЕНКО, канд. техн. наук, доцент

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДОВКІЛЛЯ У МІСЬКОМУ ПРИРОДОКОРИСТУВАННІ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

Ключові слова: моделювання, прогнозування, екологічна безпека, розрахункове прогнозування, забруднення повітря, промислові підприємства, міське природокористування, навколишнє природне середовище, здоров'я людини, викиди, шкідливі речовини, нормовані величини, гранично допустимі концентрації (ГДК), технологічні та вентиляційні викиди, забруднення, роза вітрів, природні ресурси, енергія природи, механізми самоочищення.

Постановка завдання. Прийнятий 28 лютого 2019 року Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» визначив нові цілі та завдання в галузі охорони навколишнього середовища. Він поставив стратегічні цілі державної екологічної політики, виявив причини екологічних проблем в Україні та фінансові можливості реконструкції довкілля країни [1, 2].

Ці закони повинні поліпшити навколишнє середовище України до 2030 року. Поставлені цілі полягають у: зменшенні антропогенного впливу на довкілля, ліквідації причин та ризиків негативних явищ на здоров'я та благополуччя людей; впровадження в експлуатацію нової системи екологічного управління, забезпеченні екологічно збалансованого природокористування. Документи відповідають європейським екологічним стандартам життя.

До сучасних екологічних проблем належать:

- виснаження природних ресурсів (корисних копалин, земельних ресурсів, лісів, прісної води та ін.);
- забруднення навколишнього природного середовища (атмосферного повітря, Світового океану, ґрунтів);
- втрата біорізноманіття.

В Україні як у будь-якому промисловому регіоні зі значною концентрацією промислових, хімічних, енергетичних та інших виробництв, значним рівнем аграрного освоєння земель, є інтенсивний техногенний вплив на довкілля. В атмосферу щорічно викидається близько 12 млн.т різних сполук, у поверхневі води надходить 15–20 млрд. м³ стічних вод тощо. Важкі метали накопичуються у ґрунтах переважно біля підприємств чорної та кольорової металургії (близько 35 %), теплових електростанцій (27 %), підприємств з видобутку і переробки нафти (16 %), транспортних магістралей (13 %), підприємств з видобутку та виробництва будівельних матеріалів (8 %). Хімічне забруднення ґрунтів відбувається, в основному, через атмосферу шляхом осадження викидів шкідливих речовин з котелень, автотранспорту тощо, у тому числі, атмосферних опадів, парів, аерозолів, пилу.

Надмірне виснаження ресурсів і забруднення навколишнього природного середовища спричинили загострення кількох негативних процесів глобального масштабу – утворення і розростання озонових дір, формування парникового ефекту, появу кислотних дощів, що призводить до глобальних змін клімату і, в наслідок цього, до природних катастроф. Щорічні випадання кислотних дощів завдають великої шкоди екосистемі за рахунок виснаження ґрунтів, пригнічення росту рослин та зменшення органічного світу водойм. Причиною їх утворення є реакція води, що міститься в атмосфері, з діоксидом сірки (SO_2) та оксидами азоту (NO_x) і наступним утворенням кислот. Ці забруднюючі речовини потрапляють в атмосферне повітря в результаті роботи теплових електростанцій, металургійних та хімічних підприємств, викидів автотранспорту та ін. Кислотні дощі стали дуже поширеним явищем, причому вони можуть випадати на відстані багатьох сотень і тисяч кілометрів від джерела первісного викидання речовини. Кислотні дощі призвели до закислення природного середовища на великих територіях Європи та Північної Америки. Кислотні дощі залишають на листі дерев чорні плями, закислюють озера і ґрунти, змінюють їхній хімічний склад. Кислотні опади посилюють корозію різних матеріалів і конструкцій. Особливо небезпечні вони для унікальних історичних пам'яток, зокрема мармурових [3].

Через зменшення концентрації озону у стратосфері відбувається виснаження озонового шару, що дає змогу вільно проникати на поверхню Землі ультрафіолетовому випромінюванню, шкідливому для живих організмів. Основною причиною руйнування озонового шару є викиди хлорфторвуглеводнів, гідрохлорфторвуглеводнів і легких органічних сполук від автомобільних вихлопів, побічних продуктів промислових процесів, використання холодоагентів та аерозолів. Молекули озону в верхніх шарах стратосфери розпадаються, реагуючи з хлором, фтором та бромом, які містяться у шкідливих викидах [4].

Збільшення в атмосфері газів та сполук, які не пропускають сонячні промені, відбиті від земної поверхні, стало причиною посилення парникового ефекту. За даними Міжурядової комісії з кліматичних змін при ООН, впродовж століття температура на Землі може підвищитися на 3,5 °C. Навіть незначна зміна температури може спричинити зміни напрямків вітру та течій океану, підвищити рівень моря тощо, що змінить існуючі кліматичні умови і може призвести до непередбачуваних наслідків. До основних парникових газів належать: діоксид вуглецю, метан, оксид азоту (I), водяна пара, а також різні хлорфторвуглеводні [5, 6].

Процеси здійснення реформ та європейської інтеграції вимагають від України нових рішень та практичних кроків, спрямованих на формування екологічно безпечного довкілля. Вплив енергетичного сектора на стале економічне зростання з точки зору довкілля, клімату та безпеки зумовили необхідність продовження програм розвитку відновлюваних джерел енергії та підтримки проектів з енергоефективності, збереження ресурсів та впровадження більш чистих технологій виробництва [7, 8].

Більше третини загального обсягу шкідливих викидів в атмосферу дає автотранспорт – 6,5 млн. тонн на рік. В Ужгороді згаданий показник складає 91 % від загальної кількості викидів. Встановлено два нормативи забруднення повітря, максимально-разова і середньодобова гранично допустима концентрація (ГДК). Максимально-разова ГДК необхідна для попередження рефлекторних реакцій у людини (відчуття запаху, зміни біоелектричної активності головного мозку, світлової чутливості очей тощо) при короткотривалому впливі забруднювачів (до 20 хв), а середньодобова – з метою попередження їхнього загально токсичного, канцерогенного, мутагенного та ін. впливу. Для оцінки впливу забруднювачів на здоров'я населення потрібно користуватися не лише максимально-разовими і середньодобови-

ми ГДК, які регламентують вміст хімічних речовин у повітрі населених пунктів, але й показниками, які характеризують вміст шкідливих речовин за тривалий період (місяць, рік). Підставою для цього є те, що невеликі концентрації речовин при тривалій дії справляють такий же негативний ефект, як і висока концентрація за короткий проміжок часу. Встановлено, що довготривале забруднення атмосферного повітря сірчаним газом, окисами вуглецю, азоту та іншими речовинами шкідливо впливає на здоров'я людей [9, 10]. При цьому може збільшуватися загальна захворюваність населення, обумовлена ураженням окремих органів і систем організму. На території України функціонує більше 1500 підприємств, що викидають в атмосферу шкідливі речовини. Загальна кількість відходів щороку збільшується на 12 млн. тонн.

Перш ніж проектувати, будувати і реконструювати промислові підприємства, необхідно визначити, якою мірою викиди даного виробничого об'єкта створять первинні або додаткові забруднення повітря, що вже є, в межах нормованих величин гранично допустимих концентрацій (ГДК). При розрахунковому прогнозуванні рівня забруднення повітря біля промислового підприємства у прилеглому житловому районі необхідно враховувати всі викиди, тобто. не лише технологічні, а й вентиляційні. Забруднення повітряного басейну становить загрозу здоров'ю людини та всьому навколишньому середовищу [11]. Захист атмосферного повітря є однією з найбільш актуальних проблем в сучасному суспільстві, оскільки науково-технічний прогрес і розширення виробництва пов'язане зі зростанням негативних антропогенних впливів на атмосферу.

Тому, моделювання екологічної безпеки довкілля у міському природокористуванні є дуже актуальним завданням.

Мета статті. Зробити розрахунок викидів шкідливих речовин в навколишнє природне середовище з лінійного джерела викиду в якості моделювання і прогнозування забруднення повітряного басейну та прилеглих ґрунтів навколо промислового підприємства у міському природокористуванні.

Велика кількість промислових підприємств знаходиться в зонах міського природокористування. Тому всі викиди шкідливих речовин, які вилітають з точкових або лінійних джерел викиду більшими своїми частинами осаждаються на деревах, будинках, ґрунтах. Подолання сучасних екологічних проблем є неможливим без застосування моделювання і прогнозування екологічної безпеки довкілля методами розрахунків викидів шкідливих речовин в навколишнє природне середовище. Впровадження цих методик розрахунків спрямоване на значне зменшення негативного впливу на атмосферу міського природокористування в цілому з одночасним раціональнішим використанням природних ресурсів і енергії. Збільшення кількостей забруднюючих речовин в атмосфері міст не дає можливостей розсіювання викидів, тому викиди накопичуються навколо промислових підприємств. А здатність атмосфери до самоочищення, яке відбувається за рахунок протікання фізико-хімічних процесів між компонентами забруднювачів і компонентами самої атмосфери обмежується, особливо зі збільшеннями масштабів її забруднення [12].

Наприклад, розглянемо такий варіант розрахунку за сприятливих метеорологічних умов [11].

На даху вузького будинку (див. рис. 1) розташований аераційний ліхтар, через який видаляється вентиляційне повітря, що містить шкідливі речовини (ШР) – оксид вуглецю. Об'єм повітря, що видаляється V_f ($\text{м}^3/\text{г}$). Температура повітря, що видаляється, вища за зовнішню температуру повітря. Потрібно визначити концентрацію ШР в

єдиній циркуляційній зоні і на відстані x (м) від завітреної стіни при напрямі вітру, перпендикулярному подовжній осі будівлі.

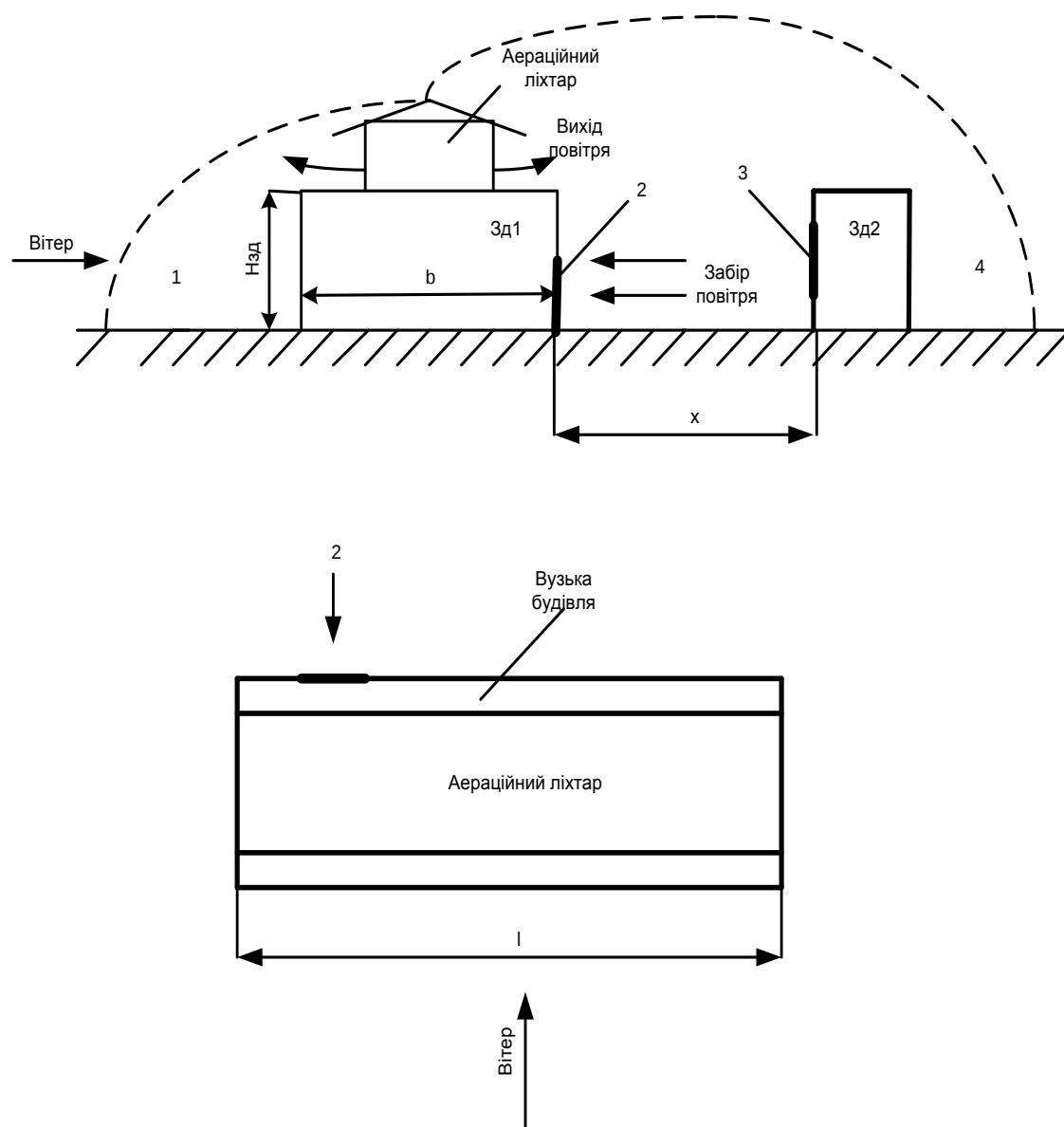


Рисунок 1 – Схема розташування лінійного джерела (аераційний ліхтар),
1 – зона підпору; 2 – решітка припливної вентиляції Зд1, 3 – решітка припливної вентиляції Зд2; 4 – єдина циркуляційна зона

Визначаємо відношення ширини будинку до його висоти: якщо $b/H_{зд} < 2,5$, значить, будинок вузький; якщо $l/H_{зд} < 10$, значить, будинок короткий.

Масову витрату оксиду вуглецю визначають виходячи з середньої концентрації в повітрі, що видаляється, мг/с

$$M = V_f \cdot c_{clf}, \quad (1)$$

де V_f – об'єм ГПС, що викидається через ліхтар, $\text{м}^3/\text{с}$, c_{clf} – середня концентрація в повітрі, що видаляється, $\text{мг}/\text{м}^3$.

Лінійне джерело (аераційний ліхтар) розташовано в єдиній циркуляційній зоні. Надмірне тепло, (Вт), що міститься в повітрі, яке виходить через ліхтар, знаходимо за формулою:

$$Q = V_f \cdot c_p (t_u - t_0), \quad (2)$$

де c_p – об'ємна теплоємність оксиду вуглецю при середній температурі повітря. Приймаємо, що $c_p = 1250 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ – постійна величина.

Небезпечну швидкість вітру, $\text{м}/\text{с}$, знаходимо за формулою:

$$u_m = 0,93 \cdot \varphi \cdot \sqrt[3]{\frac{Q}{H_z}}, \quad (3)$$

де за методикою для ліхтарів, розташованих в зоні аеродинамічної тіні, $\varphi = 1$.

Концентрація оксиду вуглецю, ($\text{мг}/\text{м}^3$), у приземному повітрі єдиної циркуляційної зони визначається за формулою:

$$c = \frac{2 \cdot M}{n_c \cdot u_m \cdot l \cdot H_z}. \quad (4)$$

Для вузького будинку, що окремо стоїть, коефіцієнт $n_c = 1$.

При $x > 6 \cdot H_z$ концентрація оксиду вуглецю, ($\text{мг}/\text{м}^3$), на відстані x (м) від завітреної стіни визначається за формулою:

$$c = \frac{7,2 \cdot M}{u_m \cdot l \cdot (b + x)}. \quad (5)$$

Максимальна концентрація оксиду вуглецю, ($\text{мг}/\text{м}^3$), у приземному повітрі циркуляційної зони визначається за формулою:

$$c_m = \frac{2,9 \cdot K_{Lf} \cdot \frac{M}{l_f}}{2,25 \cdot Q^{1/3} \cdot H_z^{2/3} + 2,9 \cdot K_{Lf} \cdot \frac{L_f}{(l_f \cdot 3600)}}. \quad (6)$$

Коефіцієнт K_{Lf} знаходимо за таблицею 1.

Таблиця 1 – Коефіцієнт K_{Lf}

l/H_z	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K_{Lf}	0,9	1	1,15	1,3	1,45	1,65	1,8	2,1	2,2

Проміжні значення параметрів визначають методами інтерполяції.

Концентрацію шкідливої речовини, (мг/м^3), на решітці 2 припливної вентиляції Зд 1 (див. рис. 1), визначаємо за формулою:

$$c_{f2} = 0,6 \cdot c_{mf} . \quad (7)$$

Вважаємо, що приземна концентрація $c(x)$ шкідливих речовин (ШР) у атмосфері на різних відстанях за всією шириною лінійного джерела викиду визначається за формулою: $c(x) = c_{mf} \cdot sn(x)$. Значення для першої ділянки ($x/x_m \leq 1$) визначається залежністю:

$$sn1(x) = 0,125 \cdot (10 - H_z) + 0,125 \cdot (H_z - 2) \cdot s1(x) , \quad (8)$$

$$\text{де } s1(x) = 3 \cdot (x/x_m)^4 - 8 \cdot (x/x_m)^3 + 6 \cdot (x/x_m)^2 . \quad (9)$$

Визначаємо $x_m = 3 \cdot H_{z1}$ та значення $sn2(x)$ для другої ділянки, коли $1 < (x/x_m) \leq 8$:

$$sn2(x) = \frac{1,13}{0,13 \cdot \left(\frac{x}{x_m}\right)^2 + 1} . \quad (10)$$

Не слід забувати, що за формулою (4) визначається усереднене значення концентрації забруднень в єдиній циркуляційній зоні. Найбільша концентрація ШР виявляється на завітреній стіні. Розрахована за формулою (5) концентрація є максимальною і знаходиться на відстані $3 \cdot H_z$ від завітреної стіни. Концентрація оксиду вуглецю на відстані x (м) від завітреної стіни визначається за формулою:

$$c_{f3} = c_{mf} \cdot sn2(x) . \quad (11)$$

Після розрахунків концентрацій ШР було графічно представлено розподіл ШР від лінійного джерела у приземному повітрі.

Початкові дані для розрахунку представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Початкові дані для розрахунку

№ п/п	l_f , м	b , м	H_{z1} , м	x , м	V_f , $\text{м}^3/\text{с}$	c_f , мг/м^3	t_u , $^{\circ}\text{C}$	t_0 , $^{\circ}\text{C}$	ГДК ₃ , мг/м^3
1	100	24	18	70	139	1,4	35	30	0,011

Реалізація алгоритму розрахунку за наведеними формулами в середовищі MathCAD [13]

Таблиця 3 – Список ідентифікаторів

Позначення у тексті	Ідентифікатор
Довжина будівлі 1, l_f	lf
Ширина будівлі 1, b_1	b1
Висота будівлі 1, H_{z1}	Hz1
Відстань між будинками, x	x
Об'єм ГПС, що викидається через ліхтар, V_f	Vf
Концентрація ШР, що викидається ліхтарем, c_f	Cf
Гранично допустима концентрація ШР, ГДК	PDK
Масова витрата ШР, що викидається через ліхтар M_f	Mf
Коефіцієнт, K_{lf}	Klf
Максимальна концентрація ШР, що викидається через ліхтар, c_{mf}	Cmf
Концентрація ШР у точці 2, c_{f2}	Cf2
Концентрація ШР у точці 3, c_{f3}	Cf3

Введення початкових даних

$C_p := 1250$ $V_f := 139$ $H_z := 18$ $l := 100$ $b_z := 24$
 $x := 70$ $t_u := 35$ $t_0 := 30$ $C_f := 1.4$ $PDK := 0.011$

Ліхтар

Тепло, що йде через ліхтар, Q, кВт

$$Q := \frac{\left(\frac{V_f}{l}\right) \cdot C_p \cdot (t_u - t_0)}{1000} = 8.687$$

Відносна довжина будівлі $ot1$

$$ot1 := \frac{l}{H_z} = 5.556$$

Коефіцієнт, що враховує розміри будівлі Klf (табл. 2.1) $Klf := 1.4$

Масова витрата ШР, що викидаються з одного погонного метра ліхтаря Mf

$$Mf := \frac{V_f \cdot C_f}{l} = 1.946$$

Максимальна концентрація шкідливих речовин, Cmf

$$Cmf := \frac{2.9 \cdot Klf \cdot Mf}{\frac{1}{2.25 \cdot Q^{\frac{1}{3}} \cdot H_z^{\frac{2}{3}}} + 2.9 \cdot Klf \cdot V_f} = 0.013$$

Вважаємо, що приземна концентрація $c(x)$ шкідливих речовин (ШР) в атмосфері на різних відстанях по всій ширині лінійного джерела викиду визначається за формулою:

$$C(x) = Cmf \cdot su(x)$$

Значення $su1(x)$ для першої ділянки ($x/xm \leq 1$) визначається залежністю:

$$xm := 3 \cdot Hz = 54$$

$$s1(x) := 3 \cdot \left(\frac{x}{xm}\right)^4 - 8 \cdot \left(\frac{x}{xm}\right)^3 + 6 \cdot \left(\frac{x}{xm}\right)^2$$

$$su1(x) := [0.125 \cdot (10 - Hz) + 0.125 \cdot (Hz - 2)] \cdot s1(x)$$

Значення $su2(x)$ для другої ділянки, коли $1 < (x/xm) \leq 10$:

$$su2(x) := \exp\left[-0.1 \cdot \left(\frac{x}{xm} - 3\right)\right]$$

Концентрація в точці 2 Cf2

$$\begin{aligned} x := 0 & \quad C2 := Cmf \cdot su1(x) & C2 = 0 \\ x := 70 & \quad Cf(x) := Cmf \cdot su2(x) & Cf(x) = 0.012 \end{aligned}$$

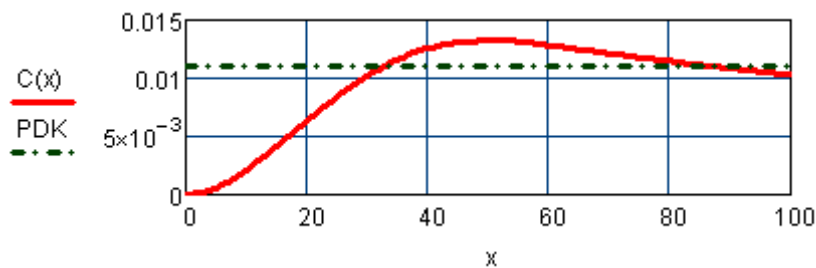
Концентрація ШР на відстані x

$$su(x) := \begin{cases} su1(x) & \text{if } \frac{x}{xm} < 1 \\ su2(x) & \text{otherwise} \end{cases}$$

Графічне відображення розподілу концентрації шкідливих викидів лінійного джерела в приземному повітрі

Визначаємо значення $su(x)$ для всього діапазону зміни x

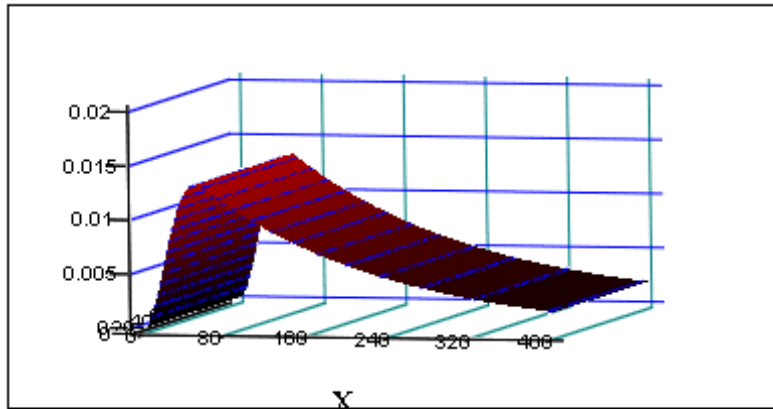
$$C(x) := Cmf \cdot su(x) \quad x := 0, 1 \dots 100$$



Графік розподілу концентрації ШР на відстані x, м

$$\begin{aligned} Cf := & \begin{cases} \text{for } x \in 1, 2 \dots 400 \\ \text{for } l \in 0, 1 \dots l \\ Cf_{x,l} \leftarrow Cmf \cdot su(x) \end{cases} \\ & Cf \end{aligned}$$

Обчислюємо матрицю M , що визначає розподіл концентрації шкідливих речовин $c(x)$ в атмосфері на різних відстанях по всій ширині лінійного джерела і будуємо графік.



c_f

Висновки

1. За алгоритмом розрахунків викиду концентрацій шкідливих речовин у приземному повітрі доквілля було розроблено програмне забезпечення в середовищі MathCAD.
2. Побудоване графічне відображення розподілу концентрацій шкідливих викидів лінійного джерела в приземному повітрі.
3. Побудовано розподіл концентрації шкідливих речовин $c_f = f(x)$ в міському природокористуванні на різних відстанях за всією шириною лінійного джерела за вказаним вектором рози повітря.
4. Розраховані концентрації шкідливих речовин були порівняні з нормованими гранично допустимими концентраціями і були зроблені висновки.
5. В нашому варіанті розрахунків значення концентрацій вище нормованих гранично допустимих концентрацій, тому ми повинні закрити виробництво в будівлі з ліхтарем.
6. Замінити фільтри системи викиду з ліхтаря, або почистити їх.
7. Потім запустити виробництво в цій будівлі з ліхтарем.
8. Таким чином моделювання та прогнозування екологічної безпеки в міському природокористуванні допоможе очистити довкілля від шкідливих речовин та захистить здоров'є людей.

Література

1. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»: Закон від 25.06.1991 № 1264-XII. Ред. від 01.01.2021, підстава – 377-IX. Київ: Верховна Рада України.
2. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля»: Закон від 23.05.2017 № 2059-VIII. Ред. від 20.08.2021, підстава – 1657-IX. Київ: Верховна Рада України.
3. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного керування. Вимоги та настанови щодо застосування. Київ: Мінекономрозвитку України, 2016. 37 с.

4. ДСТУ ISO 14004:2016. Системи екологічного управління. Загальні настанови щодо запровадження. Київ : Мінекономрозвитку України, 2017. 60 с.
5. Екологічна безпека технологічних процесів у галузі : курс лекцій / уклад.: В. М. Павленко, В. Ю. Тобілко. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 145 с.
6. Гидроэнергетика и окружающая среда : монография / под ред.: Ю. А. Ландау, Л. А. Сиренко. Київ : Либра, 2004. 484 с.
7. Ресурсоощадне та чисте виробництво : навч. посіб. Проект у рамках програми «Екологізація економіки в країнах Східного партнерства Європейського Союзу» за підтримки ООН з промислового розвитку (ЮНІДО) та Центру ресурсоефективного та чистого виробництва в Україні. 2017. 87 с.
8. Довідник з ресурсоефективного та чистого виробництва : галузь будівельних матеріалів. Проект у рамках програми «Екологізація економіки в країнах Східного партнерства Європейського Союзу» за підтримки ООН з промислового розвитку (ЮНІДО) та Центру ресурсоефективного та чистого виробництва в Україні. 2017. 108 с.
9. Экология города : учебник / под ред. Ф. В. Стольберга. Київ : Либра, 2002. 464 с.
10. Білявський Г. О., Бутченко Л. І. Основи екології : теорія та практикум : навч. посіб. 2-ге вид., перероб. і доп. Київ : Лібра, 2004. 368 с.
11. Селіхов Ю. А., Коцаренко В. О. Дистанційний курс з дисципліни «Розрахунок та проектування промислових викидів на ЕОМ» в середовищі програмування MathCAD : для студентів хімічних спеціальностей. Харків : НТУ «ХП», 2025.
12. Джигирей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища: навч. посіб. Київ : Знання, 2007. 422 с.
13. Коцаренко В. О., Селіхов Ю. А. Обчислення у MathCAD : навч. посіб. Харків : Підручник НТУ «ХП», 2011. 192 с.

Bibliography (transliterated)

1. Zakon Ukrainy «Pro okhoronu navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha» : Zakon vid 25.06.1991 № 1264-KhII. – Red. vid 01.01.2021, pidstava – 377-IX. Kyiv : VRU.
2. Zakon Ukrainy «Pro otsinku vplyvu na dovkillia» : Zakon vid 23.05.2017 № 2059-VIII. Red. vid 20.08.2021, pidstava 1657-IKh. Kyiv : VRU.
3. DSTU ISO 14001:2015. Systemy ekolohichnoho keruvannia. Vymohy ta nastanovy shchodo zastosuvannia. Kyiv, 2016. 37 p.
4. DSTU ISO 14004:2016. Systemy ekolohichnoho upravlinnia. Zahalni nastanovy shchodo zaprovadzhuвання. Kyiv, 2017. 60 p.
5. Ekolohichna bezpeka tekhnolohichnykh protsesiv u haluzi : kurs lektsii / uklad.: V. M. Pavlenko, V. Yu. Tobilko. Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2019. 145 p.
6. Hydroenerhetyka y okruzhaiushchaia sreda : monohrafiya / pod red. Yu. A. Landau, L. A. Syrenko. Kyiv : Lybra, 2004. 484 p.
7. Resursooshchadne ta chyste vyrobnytstvo : navch. posib. Proiekt u ramkakh prohramy «Ekolohizatsiia ekonomiky v krainakh Skhidnoho partnerstva Yevropeiskoho Soiuzu» za pidtrymky OON z promyslovoho rozvytku (IuNIDO) ta Tsentru resursoefektyvnoho ta chystoho vyrobnytstva v Ukraini. 2017. 87 p.
8. Dovidnyk z resursoefektyvnoho ta chystoho vyrobnytstva : haluz budivelnykh materialiv. Proiekt u ramkakh prohramy «Ekolohizatsiia ekonomiky v krainakh Skhidnoho partnerstva Yevropeiskoho Soiuzu» za pidtrymky OON z promyslovoho rozvytku (IuNIDO) ta Tsentru resursoefektyvnoho ta chystoho vyrobnytstva v Ukraini. 2017. 108 p.

9. Ekolohyia horoda : uchebnyk / pod red. F. V. Stolberha. Kyiv : Lybra, 2002. 464 p.
10. Biliavskiy H. O., Butchenko L. I. Osnovy ekolohii : teoriia ta praktykum : navch. posib. 2-he vyd., pererob. i dop. Kyiv : Libra, 2004. 368 p.
11. Dystantsiyni kurs z dystsypliny «Rozrakhunok ta proektuvannia promyslovykh vykydiv na EOM» v seredovyshchi prohramuvannia MathCAD : dlia studentiv khimichnykh spetsialnostei. Kharkiv : NTU «KhPI», 2025.
12. Dzhyhyrei V. S. Ekolohiia ta okhrona navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha: navch. posib. Kyiv : Znannia, 2007. 422 p.
13. Kotsarenko V. O., Selikhov Yu. A. Obchyslennia u MathCAD : navch. posib. Kharkiv : Pidruchnyk NTU «KhPI», 2011. 192 p.

УДК 614.72:628.51.001.2

Л. Л. Товажнянський, д-р техн. наук, професор,
Ю. А. Селіхов, канд. техн. наук, професор, К. О. Горбунов, канд. техн. наук, професор,
А. М. Миронов, канд. техн. наук, доцент, М. В. Ільченко, канд. техн. наук, доцент,
Г. В. Пономаренко, канд. техн. наук, доцент

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДОВКІЛЛЯ У МІСЬКОМУ ПРИРОДОКОРИСТУВАННІ

Одним із напрямків реалізації моделювання та прогнозування екологічної безпеки навколишнього природного середовища у міському природокористуванні, – це зробити розрахунок викидів шкідливих речовин в навколишнє природне середовище із джерел викиду різної конфігурації, розташованих на підприємствах міського природокористування. Викиди шкідливих речовин від підприємств осаджаються із повітряного басейну на будинки, рослини та прилеглі ґрунти, розташовані навколо промислового підприємства у міському природокористуванні. Розрахунки концентрацій шкідливих речовин в приземному повітрі порівнюють з нормованими гранично допустимими концентраціями та роблять висновки. В нашому варіанті розрахунків були зроблені наступні висновки: За алгоритмом розрахунків викиду концентрацій шкідливих речовин в приземному повітрі довкілля було розроблено програмне забезпечення в середовищі MathCAD; Побудоване графічне відображення розподілу концентрацій шкідливих викидів лінійного джерела в приземному повітрі; Побудовано розподіл концентрацій шкідливих речовин $c_f = f(x)$ в міському природокористуванні на різних відстанях за всією шириною лінійного джерела за вказаним вектором рози вітру; Розраховані концентрації шкідливих речовин були порівняні з нормованими гранично допустимими концентраціями і були зроблені висновки; В нашому варіанті розрахунків значення концентрацій вище нормованих гранично допустимих концентрацій, тому ми повинні закрити виробництво в будівлі з ліхтарем; Замінити фільтри системи викиду з ліхтаря, або почистити їх; Потім запустити виробництво в цій будівлі з ліхтарем; Таким чином моделювання та прогнозування екологічної безпеки в міському природокористуванні допоможе очистити довкілля від шкідливих речовин та захистить здоров'я людей.

Підприємства, установи, організації, діяльність яких пов'язана з негативним шкідливим впливом на атмосферне повітря, повинні вживати заходів щодо зменшення обсягів викидів забруднюючих речовин і зниження шкідливого впливу фізичних і біологічних факторів, здійснювати контроль за обсягом та складом забруднюючих речовин, забезпечувати безперебійну та ефективну роботу очисного обладнання.

Ключові слова: моделювання, прогнозування, екологічна безпека, розрахункове прогнозування, забруднення повітря, промислові підприємства, міське природокористування, навколишнє природне середовище, здоров'я людини, викиди, шкідливі речовини, нормовані величини, гранично допустимі концентрації (ГДК), технологічні та вентиляційні викиди, забруднення, роза вітрів, природні ресурси, енергія природи, механізми самоочищення.

L. L. Tovazhnyanskyu, Yu. A. Selikhov, K. O. Gorbunov, A. N. Myronov, M. V. Ilchenko,
G. V. Ponomarenko

MODELING AND FORECASTING ENVIRONMENTAL SAFETY IN URBAN NATURE MANAGEMENT

One of the areas of implementation of modeling and forecasting of environmental safety of the natural environment in urban nature management is to calculate emissions of harmful substances into the natural environment from emission sources of various configurations. Emissions of harmful substances from enterprises are deposited from the air onto houses, plants and nearby soils located around the industrial enterprise in urban nature management. Calculations of concentrations of harmful substances in ground-level air are compared with standardized maximum permissible concentrations and conclusions are drawn. In our version of calculations, the following conclusions were made: According to the algorithm for calculating the emission of concentrations of harmful substances in the ground air of the environment, software was developed in the MathCAD environment; A graphical representation of the distribution of concentrations of harmful emissions from a linear source in ground-level air has been constructed; The distribution of concentrations of harmful substances has been constructed $c_f = f(x)$ in urban nature management at different distances across the entire width of the linear source along the specified wind rose vector; The calculated concentrations of harmful substances were compared with the standardized maximum permissible concentrations and conclusions were drawn; In our case, the calculated concentration values are higher than the standard maximum permissible concentrations, so we must close the production in the building with the lantern; Replace the filters of the exhaust system from the lantern, or clean them; Then start production in this building with the lantern; Thus, modeling and forecasting environmental safety in urban nature management will help cleanse the environment of harmful substances and protect human health.

Enterprises, institutions, and organizations whose activities are associated with a negative harmful effect on the atmospheric air must take measures to reduce the volume of emissions of pollutants and reduce the harmful effects of physical and biological factors, monitor the volume and composition of pollutants, and ensure uninterrupted and efficient operation.

Keywords: modeling, forecasting, environmental safety, computational forecasting, air pollution, industrial enterprises, urban nature management, environment, human health, emissions of harmful substances, standardized values, maximum permissible concentrations (MPC), technological, ventilation emissions, wind rose, natural resources, energy of nature, self-purification mechanisms.