

УДК 504.054

І.В.Бєляєва, к.х.н., **Л.П.Радіонова**, **С.А.Орлова**
Донецький національний технічний університет,
Донецький обласний центр по гідрометеорології

ПРОБЛЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЙ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРНОМУ ПОВІТРІ

Виділено основні метеорологічні предиктори, що впливають на розсіювання викидів забруднюючих речовин в атмосферному повітрі, розроблено математичні моделі для прогнозування концентрацій діоксиду сірки в атмосферному повітрі міста Донецька по методу множинної регресії, зроблено аналіз впливу похибок визначення швидкості вітру, температури та вологості повітря на достовірність прогнозування концентрацій діоксиду сірки.

Ключові слова: метеорологічні предиктори, діоксид сірки, атмосферне повітря, прогнозування.

Знання про можливість різкого підвищення концентрацій забруднюючих речовин у періоди несприятливих метеорологічних умов дозволяє вжити заходи по скороченню викидів цих речовин промисловими підприємствами в атмосферу. Це буде сприяти поліпшенню екологічної обстановки в промислових містах.

Однак короткострокове прогнозування вимагає наявності оперативної і достовірної інформаційної бази про стан навколишнього середовища, в тому числі про стан атмосферного повітря, що не забезпечується існуючим порядком збору і зберігання такої інформації в містах України, в тому числі і в м. Донецьку.

В якості вихідних даних в роботі було використано дані вимірів метеорологічних параметрів та дані по середньодобових концентраціях забруднюючих речовин в атмосферному повітрі міста Донецька.

В роботі використано статистичні методи аналізу (множинна регресія) для обробки масиву даних за три роки.

Авторами керівного документа [1] надано рекомендації по розробці схем прогнозу рівнів забруднення повітря по місту. Для цього пропонуються такі методи, як метод розпізнавання образів, метод послідовної графічної регресії та метод множинної лінійної регресії. Метод розпізнавання образів можливо застосовувати для прогнозування рівнів забруднення атмосферного повітря лише в тому разі, якщо концентрація забруднюючої речовина визначалася більше 20 разів за добу. Згідно з існуючою системою спостережень на стаціонарних постах відбір проб атмосферного повітря проводиться 4 рази за добу. Для складання прогностичної схеми методом послідовної графічної регресії потрібні карти AT_{850} , тому що в якості одного з предикторів є градієнт геопотенціала. Цей метод є трудоміским. Метод множинної лінійної регресії є більш перспективним, тому що є багато пакетів статистичних програм, які дозволяють обробляти велику кількість даних спостережень для створення регресійних моделей, в яких можливо використати всі метеопредиктори, які визначаються службами центрів по гідрометеорології.

В [1] приведено математичні моделі на підставі методу множинної лінійної регресії, які були розроблені М.Є.Берляндом та його колегами. Розглянемо модель, яка

була розроблена в цілому по місту Донецьку, для прогнозування рівнів забруднення атмосферного повітря діоксидом сірки. Вона має наступний вигляд

$$\frac{q}{q_{сер}} = -0,22 + 0,7 \cdot \frac{q_{пред}}{q_{сер}} + 0,27 \cdot \frac{t}{t_{сер}} + 0,44 \cdot \frac{v}{v_{сер}} + 0,52 \cdot \frac{\Delta t}{\Delta t_{сер}}, \quad (1)$$

де q – концентрація діоксиду сірки, мг/м³;
 $q_{сер}$ – середня за визначений період концентрація діоксиду сірки, мг/м³;
 $q_{пред}$ – концентрація діоксиду сірки за попередню добу (інерційний фактор), мг/м³;
 t – температура в день прогнозування, °С;
 $t_{сер}$ – середня температура за визначений період часу, °С;
 v – швидкість вітру в день прогнозування, м/с;
 $v_{сер}$ – середня швидкість вітру за визначений період часу, м/с;
 Δt – різниця температур в приземному шарі повітря ізобаричній поверхні 850 гПа, °С;

$\Delta t_{сер}$ – середня різниця температур в приземному шарі повітря ізобаричній поверхні 850 гПа за визначений період часу, °С.

Рівняння (1) показує, що рівні забруднення атмосфери по місту Донецьку діоксидом сірки залежать від температури, швидкості вітру, різниці температур в приземному шарі повітря та на ізобаричній поверхні 850 гПа.

В м. Донецьку вимірювання метеорологічних параметрів проводиться лише на посту № 1, який розташований за межами міста (район аеропорту). А стаціонарні пости відбору проб розташовні в різних районах міста. Відомо, що в крупних промислових містах створюються мікрокліматичні умови за рахунок великої кількості викидів гарячих газоповітряних сумішей від джерел викидів промислових підприємств, котельень. Крім того, внаслідок багатопверхової забудови в місті змінюється швидкість вітру. Розповсюдження метеорологічних даних, які були визначені за містом, на всі райони розташування стаціонарних постів призводить до певної похибки при відборі проб (за рахунок приведення об'єму повітря, яке було відібране для аналізу, до нормальних умов). Крім того, це приведе до погрішності прогнозування концентрацій забруднюючих речовин за рахунок недостатньо точних значень температури та швидкості повітря на стаціонарних постах.

В роботі було зроблено аналіз впливу погрішності визначення температури та швидкості вітру на загальну погрішність прогнозу концентрації діоксиду сірки. Для цього в рівнянні (1) було послідовно проваріювано зміну температури на ± 1 °С та швидкості вітру на ± 1 м/с, і було прораховано величину відносної похибки прогнозу тільки за рахунок варіювання цих метеопредикторів.

Дані розрахунків наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Дані розрахунків відносної похибки прогнозування за рівнянням (1)

Величина зміни метеопараметру	Відносна похибка прогнозу при варіюванні метеопараметру, %
± 1 °С	$\pm 4,6$
$v \pm 1$ м/с	$\pm 5,5$
$t \pm 1$ °С та $v \pm 1$ м/с	$\pm 10,4$

Таким чином, аналіз даних табл. 1 показує, що при похибці визначення температури повітря на 1 °С та швидкості вітру на 1 м/с, відносна похибка прогнозування за рівнянням (1) тільки за рахунок цих параметрів складе $\pm 10,4\%$.

Математична модель для прогнозування рівнів забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту була розроблена авторами [1] майже 20 років назад. За цей час в м. Донецьку змінилася інфраструктура промисловості, відбулися певні зміни кліматичних умов. Тому, нами було проведено розробку математичних моделей для прогнозування концентрацій діоксиду сірки в районах розташування стаціонарних постів спостережень для різних сезонів року.

Для зручності використання математичних моделей нами було вирішено в якості функції взяти не нормовану величину концентрації, як в роботі [1], а безпосередньо концентрацію діоксида сірки в мг/м³.

В загальному вигляді рівняння множинної регресії має такий вигляд:

$$c = f(t, \text{napr}, v, \text{otvl}, dT, H, \text{muz}, ip) \quad (2)$$

де t – температура повітря, °С;

napr – напрямок вітру, °;

v – швидкість вітру, м/с;

otvl – відносна вологість повітря, %;

dT – різниця температури повітря на рівні землі та на ізобаричній поверхні 825 гПа, °С;

H – висота шару перемішування, м;

muz – (МУЗ) комплексний показник метеорологічних умов забруднення повітря, який характеризує синоптичні процеси, які проходять в шарах атмосфери;

ip – інерційний фактор (концентрація діоксида сірки за попередню добу, мг/м³).

Розробка математичних моделей проводилася по сезонам року по постам міста. Для прикладу наведемо математичні моделі для прогнозування концентрацій діоксида сірки в атмосферному повітрі центрального району міста (пост № 9).

Для зими:

$$\begin{aligned} c = & 0,087 - 3,218 \cdot l / \text{otvl} - 0,395 \cdot 10^{-3} \cdot \text{napr} \cdot v + \\ & + 0,353 \cdot 10^{-4} \cdot \text{otvl} \cdot v + 3,658 \cdot ip^2 + 0,57 \cdot 10^{-3} \cdot ip \cdot \text{napr}^2 - \\ & - 26,968 \cdot ip / \text{muz} + 64,598 \cdot ip / \text{otvl} \quad (R^2 = 52\%) \end{aligned} \quad (3)$$

Для весни:

$$\begin{aligned} c = & 0,037 - 2,449 \cdot 10^{-3} \cdot H - 0,623 \cdot 10^{-3} \cdot \text{napr} + 1,403 \cdot 10^{-3} \cdot t - \\ & - 0,202 \cdot 10^{-4} \cdot \text{otvl} \cdot t - 0,010 \cdot ip \cdot \text{napr} + 5,971 \cdot 10^{-3} \cdot ip \cdot \text{otvl} - \\ & - 5,612 \cdot 10^{-3} \cdot ip \cdot v^2 \quad (R^2 = 50\%) \end{aligned} \quad (4)$$

Для літа:

$$\begin{aligned} c = & 0,022 - 5,438 \cdot 10^{-3} \cdot H + 1,162 \cdot 10^{-3} \cdot v^2 - 0,204 \cdot 10^{-3} dT \cdot \text{muz} + \\ & + 0,532 \cdot 10^{-4} \cdot dT \cdot \text{napr} + 0,149 \cdot 10^{-3} \cdot dT \cdot t + 0,193 \cdot 10^{-3} \cdot H \cdot \text{muz} + \\ & + 0,608 \cdot 10^{-3} \cdot H \cdot v - 0,472 \cdot 10^{-3} \cdot \text{muz} \cdot v + 0,381 \cdot 10^{-4} \cdot \text{otvl} \cdot v - \\ & - 0,189 \cdot 10^{-3} \cdot t \cdot v + 0,282 \cdot ip \quad (R^2 = 52\%) \end{aligned} \quad (5)$$

Для осіні:

$$c = 0,028 + 1,720 \cdot 10^{-3} \cdot H^2 + 3,237 \cdot 10^{-3} \cdot muz + 0,999 \cdot 10^{-3} \cdot H \cdot muz - 0,236 \cdot 10^{-4} \cdot muz \cdot napr + 0,193 \cdot 10^{-3} \cdot napr \cdot v - 0,163 \cdot 10^{-4} \cdot otvl \cdot v + 0,379 \cdot 10^{-3} \cdot ip \cdot t^2 \quad (R^2 = 54 \%) \quad (6)$$

де R^2 – коефіцієнт множинної регресії.

Було повторно зроблено аналіз впливу погрішності визначення температури та швидкості вітру на загальну погрішність прогнозу концентрації діоксиду сірки, але вже за рівняннями (3)–(6). Для цього, як і вище, було послідовно проваріювано зміну температури на ± 1 °C та швидкості вітру на ± 1 м/с, і результати розрахунків наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Дані розрахунків відносної погрішності прогнозування по рівнянням (3-6)

Величи на зміни метеопараметру	Відносна погрішність прогнозу при варіюванні метеопараметру, %			
	Зима	Весна	Літо	Осінь
$t \pm 1$ °C	$\pm 2,8$	$\pm 5,75$	$\pm 8,0$	$\pm 1,6$
$v \pm 1$ м/с	$\pm 6,1$	$\pm 18,20$	$\pm 33,2$	$\pm 17,3$
$t \pm 1$ °C та $v \pm 1$ м/с	$\pm 8,8$	$\pm 17,19$	$\pm 34,1$	$\pm 15,87$

Аналіз даних табл. 2 показав, що найбільший вплив на похибку прогнозування має неточність визначення швидкості вітру на стаціонарних постах (за рахунок вимірювання швидкості вітру за містом). Внесок похибки вимірювання цього метеопараметру складає від $\pm 8,8$ % взимку до $\pm 33,2$ % влітку. Це значно впливає на точність прогнозування.

Нами було проведено прогнозування майбутніх концентрацій діоксиду сірки в атмосферному повітрі міста на стаціонарному посту № 9 (центральний район міста). Результати короткострокового прогнозування на 3 доби наведено в табл. 3.

Таблиця 3– Порівняння концентрацій, розрахованих за математичними моделями по рівняннях (3-6) та тих концентрацій, які дійсно спостерігалися на стаціонарному посту № 9

Сезон	Концентрація, яка спостерігалася, мг/м ³	Прогнозована концентрація, мг/м ³	Похибка прогнозування, %
Зима	0,038	0,023	39
	0,056	0,042	25
	0,008	0,005	37
Весна	0,010	0,006	40
	0,031	0,015	52
	0,021	0,019	10
Літо	0,021	0,016	24
	0,020	0,013	35
	0,010	0,005	50

Осінь	0,020	0,012	40
	0,021	0,018	14
	0,010	0,005	50
Середня похибка:			34,7

Аналіз даних табл. 3 показує, що ми маємо значну погрішність прогнозування. Це можна пояснити, з одного боку, похибкою визначення температури, швидості вітру за рахунок їх вимірювання за межами міста, а з іншого боку, внаслідок недостатньо точно визначеної концентрації діоксиду сірки, яка є середньою з 4 вимірів за добу. Таке дискретне визначення концентрації діоксиду сірки також дає значну погрішність перед безперервним визначенням його концентрації за допомогою автоматичних газовизначників.

Тому, проаналізувавши стан системи моніторингу в м. Донецьку та розробивши математичні моделі для прогнозування майбутніх концентрацій забруднюючих речовин в залежності від метеопредикторів за методом множинної регресії та проаналізувавши недоліки отриманих математичних моделей, можна зробити такі висновки. Для більшої достовірності прогнозування майбутніх концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі необхідно:

- оснастити всі стаціонарні пости відбору проб автоматичним обладнанням для виміру метеорологічних параметрів;
- забезпечити стаціонарні пости автоматичними газоаналізаторами для вимірювання концентрацій забруднюючих речовин. Автоматичний контроль дозволить підвищити надійність математичних моделей для прогнозування майбутніх концентрацій забруднюючих речовин, по яких проводиться моніторинг повітря в місті, дозволить використовувати для прогнозування метод розпізнавання образів, який зараз при існуючій системі спостережень за станом атмосферного повітря застосовувати не можливо. Крім того, автоматичні газоаналізатори можуть здійснювати автоматичну передачу отриманої інформації на центральний комп'ютер, на якому буде проводитися накопичення даних, їх обробка, візуалізація, прогноз майбутніх концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі. Всі ці дані можуть бути використані в геоінформаційних системах для аналізу просторово-часового розподілу забруднюючих речовин в навколишньому середовищі, що дозволить своєчасно і достовірно проводити прогнозування рівнів забруднення атмосферного повітря.

Список літератури

1. РД 52.04.306-92. Охрана природы. Атмосфера. Руководство по прогнозу загрязнения воздуха. - Утв. Комитетом гидрометеорологии СССР 31.01.92 г., 69 с. - цит. по <http://esoman.narod.ru>

Проблемы прогнозирования концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Беляева И.В., Радионова Л.П., Орлова С.А.

Выделены основные метеорологические предикторы, которые влияют на рассеивание выбросов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, разработаны математические модели для прогнозирования концентраций диоксида серы в атмосферном воздухе города Донецка по методу множественной регрессии, проведен анализ влияния

погрешностей определения скорости ветра, температуры и влажности воздуха на достоверность прогнозирования концентраций диоксида серы.

Ключевые слова: метеорологические предикторы, диоксид серы, атмосферный воздух, прогнозирование

Problems of forecasting of concentration of polluting substances in atmospheric air.

Belyaeva I.V., Radionova L.P., Orlova S.A.

The main meteorological predictors, which influence on dispersion of emissions of polluting substances in atmospheric air, were pick out. Mathematical models for forecasting concentration of sulfur dioxide in atmospheric air of Donetsk on a method of plural regress were developed. The analysis of errors influence of definition of a wind speed, temperatures and humidity of air on reliability of forecasting of concentration of sulfur dioxide.

Keywords: meteorological predictors, sulfur dioxide, atmospheric air, forecasting.