

© Т.І. Русакова<sup>1</sup>, О.В. Золотко<sup>1</sup>, О.В. Долженкова<sup>1</sup>, Ю.В. Войтенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

## ОЦІНЮВАННЯ ЗОН ЗАБРУДНЕННЯ ВІД ВИКИДІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

© T. Rusakova<sup>1</sup>, O. Zolotko<sup>1</sup>, O. Dolzhenkova<sup>1</sup>, Y. Voitenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

## ESTIMATION OF POLLUTION ZONES FROM EMISSIONS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

**Метою** роботи є розрахунок полів концентрації шкідливих домішок в атмосферному повітрі на основі аналітичної моделі, створення програми для проведення обчислювальних експериментів та аналізу показника забруднення територій, що потрапляють в зону впливу викидів, що надходять від промислових підприємств.

**Методи дослідження.** Для моделювання використовується двомірне рівняння масопереносу осереднене по висоті переносу, яке описує розсіювання шкідливих домішок під дією вітру, атмосферної дифузії та дисперсії. Застосовуються методи аналітичного розв'язання диференціальних рівнянь другого порядку. Додатково враховується процес взаємодії шкідливих домішок від трьох джерел забруднення.

**Результати.** На основі аналітичного розв'язку рівняння масопереносу домішки розроблено програму чисельного розрахунку на мові програмування Python, що дозволило провести розрахунок полів концентрації шкідливих домішок, які потрапляють в атмосферне повітря від трьох підприємств міста Дніпра: Дніпровського металургійного заводу, Дніпропетровського трубного заводу та Дніпровського коксохімічного заводу. Проведено аналіз відповідних вулиць міста, що потрапляють в зону впливу викидів розглянутих підприємств. Встановлено, що концентрація домішок не перевищує їх гранично-допустиме значення. Отримано значення показника забруднення повітряного середовища для вулиць, що потрапляють під вплив шкідливих домішок відповідно до вибраного напрямку вітру, показано, що показник забруднення не перевищує 57 %.

**Наукова новизна.** Аналітична модель розв'язання двовимірного рівняння переносу домішки дозволяє проводити розрахунок рівня концентрації з урахуванням взаємного впливу викидів відносно різної кількості джерел забруднення.

**Практична значимість.** Необхідний інструментарій для аналізу основних закономірностей досліджуваних процесів під час оперативних прогнозів поширення домішок у навколишньому середовищі.

**Ключові слова:** концентрація домішки, аналітичний розв'язок, показник забруднення, атмосферне повітря, рівняння переносу.

**Вступ.** Забруднення атмосферного повітря в містах стає однією із важливих екологічних проблем сучасного індустріального розвитку. Забруднення повітря відбувається через складну взаємодію розсіювання та викидів шкідливих домішок з промислових підприємств. На території міста знаходиться велика кількість промислових підприємств, які є джерелами забруднення повітряного середовища. В роботі для досліджень обрано три підприємства міста Дніпра: ЄВРАЗ

Дніпровський металургійний завод, який за даними Головного управління статистики у Дніпропетровській області займає друге місце за забрудненням атмосферного повітря міста Дніпра; Дніпропетровський трубний завод та Дніпровський коксохімічний завод. Ці підприємства відносяться до різних сфер діяльності, а саме до підприємств чорної та кольорової металургії та підприємств хімічної промисловості. В роботі наголошується саме на цих трьох підприємствах, оскільки вони територіально знаходяться в одному промисловому регіоні міста, тому дія шкідливих домішок, що надходять від кожного підприємства може підсилюватися за рахунок їх взаємного впливу (сумації). До основних шкідливих домішок цих підприємств відносяться: метали та їх сполуки, речовини у вигляді суспендованих твердих частинок, сполуки азоту, діоксид та інші сполуки сірки, оксид та діоксид вуглецю, неметанові леткі органічні сполуки, метан, хлор та його сполуки, фтор та його сполуки та інші речовини. Кожна із цих домішок відноситься до різного класу небезпечності, по різному впливає на стан здоров'я людини та природного середовища. Забруднювачі повітря є попередниками фотохімічного смогу та кислотних дощів, які спричиняють астматичні проблеми, призводять до серйозного захворювання раку легенів, виснажують озон у стратосфері та сприяють глобальному потеплінню. Основні джерела викидів у навколишнє середовище та наслідки для здоров'я та благополуччя населення розглянуто в роботі [1], кореляції між забрудненням хімічними речовинами і несприятливими наслідками для системи дихання людини визначено в роботі [2]. Частинки РМ<sub>0.1</sub>, які присутні у повітрі у великій кількості, становлять небезпеку для здоров'я людей. Зазвичай вони потрапляють до організму через легені, але переміщуються практично у всі органи [3]. Порівняно з дрібними частинками РМ<sub>2.5</sub>, частинки РМ<sub>0.1</sub> викликають сильніше запалення легень і довше затримуються в легенях. Токсичність цих частинок збільшується із зменшенням їх розмірів. Такі частки можуть бути переносниками вірусу гострого важкого респіраторного синдрому, викликаного коронавірусом [4]. Також піднімаються питання екологічного регулювання, екологічної обізнаності та екологічного врядування [5]. Розглядаються завдання по дослідженню нових стандартів якості навколишнього повітря [6], по екологічному регулюванню стосовно викидів оксидів вуглецю [7], досліджуються наслідки короткострокового та довгострокового впливу забрудненого повітря на навколишнє середовище та здоров'я населення [8-9].

Забруднювачі повітря – результат взаємодії людини та техносфери, який не можна повністю усунути, але зменшити можна за рахунок модернізації промислових процесів, енергоефективності, контролю процесів спалювання, згоряння та переробки. Але попередньо необхідний інструмент, який з огляду на відносно просту реалізацію, дозволить проводити аналіз основних закономірностей розповсюдження шкідливих домішок в атмосферному повітрі. Математичні моделі – один із способів аналізу і прогнозу якості повітря з погляду відповідності концентрацій шкідливих домішок існуючим стандартам. Виділяють прості детерміновані моделі, статистичні, аналітичні, чисельні та фізичні. Досвід отримання розв'язання практичних задач в охороні навколишнього середовища свідчить

про найпоширеніше застосування CFD моделей, що ґрунтуються на методах скінченних різниць та скінчених елементів [10-12]. Чисельні моделі дозволяють врахувати значну кількість факторів, що впливають на інтенсивність та розміри зон забруднення атмосферного повітря промисловими підприємствами. Використання чисельних моделей дозволяє дослідити вплив різних фізичних параметрів на формування зон забруднення атмосфери. Вони враховують складну структуру течій і форму меж області, але потребують використання або розробки спеціального програмного забезпечення. Статичні моделі будують за даними спостереження і даними моніторингу, вони непридатні для тривалих прогнозів. Гаусові моделі найпоширеніші у моделюванні аналізу повітряної дисперсії [13-14], однак вони не враховують час, необхідний для проходження шлейфу забруднювача від джерела до точки розрахунку. Під час оперативних прогнозів поширення домішок у навколишньому середовищі, особливо за відсутністю детальної інформації про структуру течій і склад забруднень, доцільно застосовувати моделі, засновані саме на аналітичних розв'язаннях диференціальних рівнянь.

**Метою роботи** є розрахунок полів концентрації шкідливих домішок в атмосферному повітрі на основі аналітичної моделі, створення програми для проведення обчислювальних експериментів та аналізу показника забруднення територій, що потрапляють в зону впливу викидів, що надходять від промислових підприємств.

#### **Викладання основного матеріалу.**

В роботі розглядається дослідження впливу параметрів стану атмосферного повітря та потужності викидів на розподіл концентрації при постійно діючих наземних джерелах забруднення. Поширення забруднення в атмосфері описується рівняннями переносу (1) із відповідними спрощеннями математичної моделі, а саме: розглядається стаціонарний процес поширення забруднення; вибирається двовимірний модель такого процесу; параметри переносу – швидкість вітру, коефіцієнти дифузії і нейтралізації приймаються незмінними величинами. Такі спрощення призводять до аналітичного розв'язання рівняння переносу домішки (1) [15]:

$$u \frac{\partial \varphi}{\partial x} + v \frac{\partial \varphi}{\partial y} + \sigma \varphi = \mu \Delta \varphi + Q \delta(|\vec{r} - \vec{r}_0|), \quad (1)$$

де  $\varphi$  інтегральна по висоті  $H$  приземного шару концентрація забруднення, кг/м<sup>3</sup>;  $u$ ,  $v$  – компоненти швидкості повітряного потоку в напрямках  $Ox$ ,  $Oy$ , м/с;  $\sigma$  – коефіцієнт нейтралізації, 1/с;  $Q$  – інтегральна по висоті  $H$  приземного шару потужність лінійного джерела, кг/с;  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$  – відстань від початку координат до точки спостереження  $(x, y)$ , м;  $r_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$  – відстань від початку координат до точки  $(x_0, y_0)$  розташування джерела забруднення, м;  $\mu$  – коефіцієнт турбулентної дифузії, м<sup>2</sup>/с;  $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$  – оператор Лапласа;  $\delta(|\vec{r} - \vec{r}_0|)$  – дельта функція, яка визначається рівняннями.

Аналітичний розв'язок рівняння (1) має вигляд (2):

$$\varphi(x, y) = \frac{Q}{2\pi\mu} \exp\left[\frac{\bar{u} \cdot (\bar{r} - \bar{r}_0)}{2\mu}\right] \cdot K_0(\lambda|\bar{r} - \bar{r}_0|), \quad (2)$$

де  $K_0(\lambda|\bar{r} - \bar{r}_0|)$  – функція Макдональда;  $\bar{u} = u\bar{i} + v\bar{j}$ ;  $\bar{r} - \bar{r}_0 = x\bar{i} + y\bar{j}$ ,

$\bar{r}_0 = x_0\bar{i} + y_0\bar{j}$ ,  $\lambda = \sqrt{\frac{u^2 + v^2 + 4\mu\sigma}{4\mu^2}}$ . Якщо ввести параметр  $\xi = \lambda|\bar{r} - \bar{r}_0|$ , то для

обчислення значення функції Макдональда  $K_0(\xi)$  можна скористатися апроксимацією (3):

$$K_0(\xi) = \sqrt{\frac{\pi}{2\xi}} e^{-\xi} \frac{M(\xi)}{N(\xi)}, \quad (3)$$

де  $M(\xi), N(\xi)$  – многочлени 4-ого ступеня, а саме:

$$M(\xi) = a_1 + \xi \cdot (b_1 + \xi \cdot (c_1 + \xi \cdot (d_1 + \xi \cdot e_1))), \quad (4)$$

$$N(\xi) = a_2 + \xi \cdot (b_2 + \xi \cdot (c_2 + \xi \cdot (d_2 + \xi \cdot e_2))). \quad (5)$$

Значення коефіцієнтів апроксимуючих многочленів:  $a_1=3273$ ,  $b_1=115296$ ,  $c_1=398592$ ,  $d_1=323584$ ,  $e_1=65536$ ;  $a_2=8505$ ,  $b_2=151200$ ,  $c_2=435456$ ,  $d_2=331776$ ,  $e_2=65536$ .

Відомі значення концентрації шкідливої речовини в атмосферному повітрі дозволяють обчислити показник забруднення (6):

$$ПЗ = \sum_{i=1}^n \frac{\varphi_i}{k_i \cdot ГДК_i} \cdot 100\%, \quad (6)$$

де  $\varphi_i$  – це середньорічна концентрація речовини в атмосферному повітрі;  $ГДК_i$  – гранично допустима концентрація  $i$ -ої речовин,  $k_i$  – коефіцієнт, який визначається в залежності від класу небезпеки.

По ступеню впливу на організм шкідливі речовини поділяються на чотири класи небезпеки, що і визначає значення коефіцієнта  $k_i$ : 1 – речовини надзвичайно небезпечні,  $k=2$ ; 2 – речовини високо небезпечні,  $k=1.5$ ; 3 – речовини помірно небезпечні,  $k=1$ ; 4 – речовини малонебезпечні,  $k=0.8$ .

В роботі на базі аналітичних співвідношень (2) – (5) створено програму чисельного розрахунок поля концентрації з урахуванням декількох джерел забруднення та проведено обчислювальні експерименти.

За отриманими даними Управління статистикою у Дніпровській області в таблицях 1-2 наведено середньорічні значення потужності викиду основних забруднюючих домішок, що потрапили в атмосферне повітря в наслідок роботи цих підприємств. Для порівняння було обрано домішки, які присутні у викидах усіх трьох підприємств.

Таблиця 1

Інтенсивність викидів шкідливих домішок підприємствами м. Дніпра у 2020 р.

Q, г/с			
Речовина	«ДТЗ»	«ДКХЗ»	«ЄВРАЗ ДМЗ»
Діоксид азоту	6,0793	10,1271	25,8306
Діоксид сірки	14,0076	17,354	18,7817
Оксид вуглецю	50,0228	80,6529	146,7011

Таблиця 2

Інтенсивність викидів шкідливих домішок підприємствами м. Дніпра у 2021 р.

Q, г/с			
Речовина	«ДТЗ»	«ДКХЗ»	«ЄВРАЗ ДМЗ»
Діоксид азоту	6,0729	11,2286	18,4224
Діоксид сірки	8,0059	17,3904	16,1104
Оксид вуглецю	50,0194	80,6524	116,5367

Для оцінювання рівня забруднення промислової та прилеглої до неї території м. Дніпра, проведено розрахунки концентрації для кожної шкідливої домішки, але з урахуванням взаємного впливу, оскільки вони надходять в атмосферне повітря від кожного з обраних підприємств, але з різною інтенсивністю, що обиралась для розрахунку відповідно таблиці 2.

При проведенні обчислювальних розрахунків задавалися наступні вхідні параметри: за напрямком вітру на даній місцевості було обрано північно-східний вітер, коефіцієнт дифузії  $\mu=1.8 \text{ м}^2/\text{с}$ , коефіцієнт нейтралізації  $\sigma=0.1 \text{ 1/с}$ , компоненти вектора швидкості  $u=1,5 \text{ м/с}$ ,  $v=1,2 \text{ м/с}$ .

На рисунках 1-3 представлено розподіл полів концентрації забруднення для різних шкідливих домішок у % від максимального значення: оксиду азоту, діоксиду сірки та оксиду вуглецю. Чітко видно, як формується складні зони забруднення: видно джерела забруднення – промислові підприємства, концентраційне поле домішки формується біля джерела і розповсюджується за напрямком вітру, поступово збільшуються ореоли концентраційних полів. Також можна бачити, що рівень концентрації шкідливих домішок на території за напрямком вітру за третім підприємством (зона А) зростає за рахунок сумації викидів, що надходять також від першого та другого промислових підприємств. Чітко просліджується, що чим більше інтенсивність викидів шкідливого чинника, тим більша територія підпадає під вплив хмари забруднення, порівнюючи рисунок 1 та рисунок 3, оскільки інтенсивність викиду оксиду вуглецю значно більше, ніж діоксиду азоту.

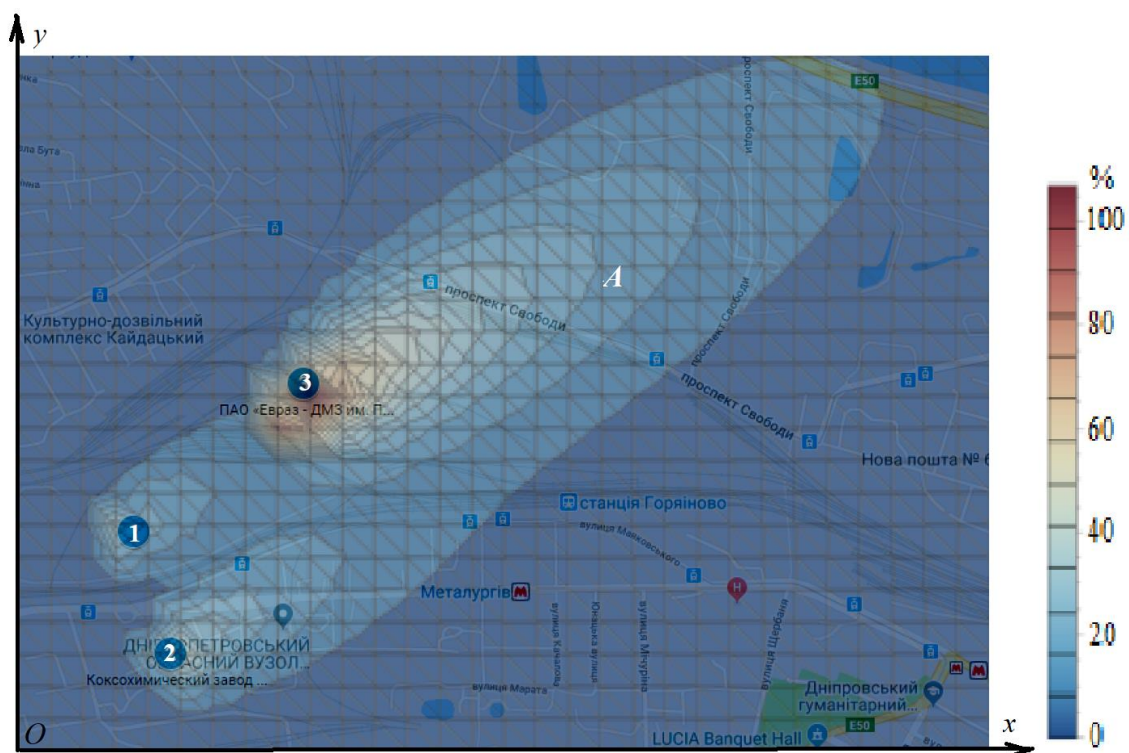


Рис. 1. Оцінка розподілу концентрації оксиду азоту на прилеглий території:  
1 – Дніпровський трубний завод; 2 – Дніпровський коксохімічний завод;  
3 – Дніпровський металургійний завод

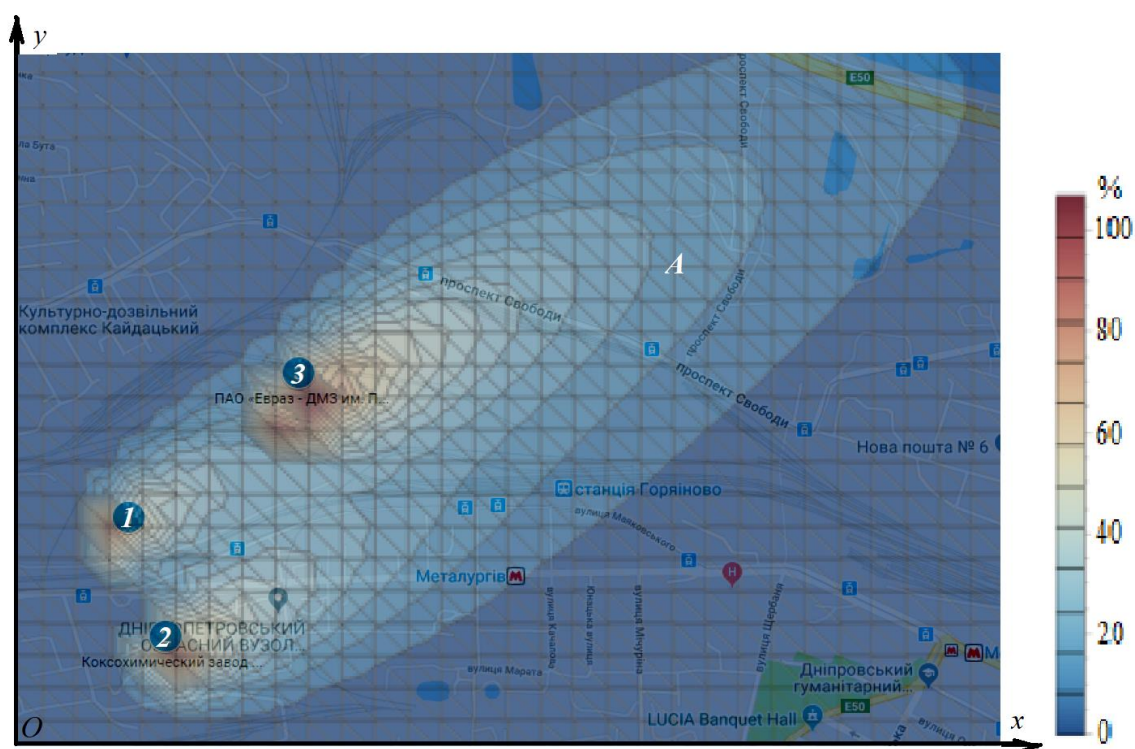


Рис. 2. Оцінка розподілу концентрації діоксиду сірки на прилеглий території:  
1 – Дніпровський трубний завод; 2 – Дніпровський коксохімічний завод;  
3 – Дніпровський металургійний завод

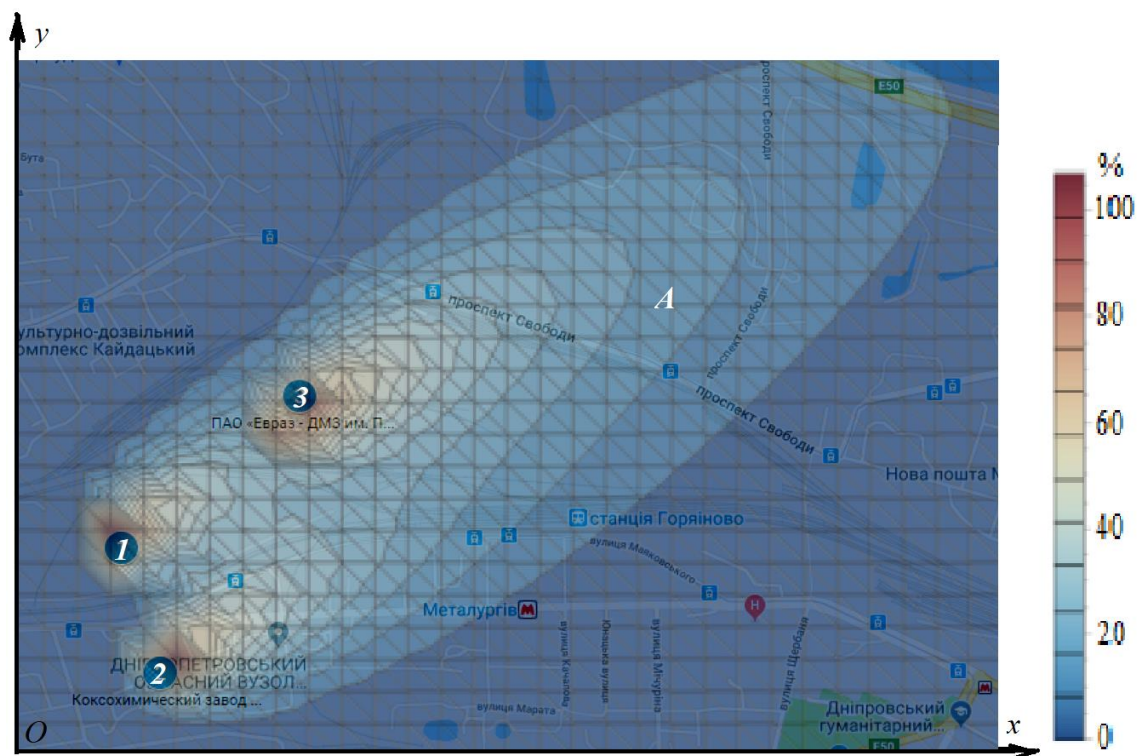


Рис. 3. Оцінка розподілу концентрації оксиду вуглецю на прилеглої території:  
 1 – Дніпровський трубний завод; 2 – Дніпровський коксохімічний завод;  
 3 – Дніпровський металургійний завод

Встановлено, що в зону забруднення потрапляють вулиці міста: вул. Сергія Нігояна, проспект Свободи, вул. Набережна Заводська, вул. Маяковського, вул. Коксохімічна та інші. На основі результатами обчислень, виконаних на базі розробленої програми чисельного розрахунку, було виконано аналіз значень концентрації забруднюючих речовин на вказаних вулицях (табл. 3).

Таблиця 3

Значення концентрації шкідливих домішок на прилеглої території до підприємств

Назва вулиці	Концентрація оксиду азоту $\varphi$ , мг/м <sup>3</sup>	Концентрація діоксиду сірки $\varphi$ , мг/м <sup>3</sup>	Концентрація оксиду вуглецю $\varphi$ [мг/м <sup>3</sup> ]
проспект Свободи	0,59723	0,35133	3,68654
вул. Коксохімічна	0,72229	0,50821	3,90941
вул. Сергія Нігояна	0,50341	0,39593	3,27536
вул. Набережна Заводська	0,00722	0,05706	2,51163
вул. Маяковського	0,50902	0,37894	2,34918

Аналіз значень сумарної концентрації для кожної окремої шкідливої домішки на вулицях, що підпадають під вплив шкідливих викидів, показує, що не

спостерігається перевищення нормативних показників, але вони наближаються до гранично-допустимих значень (табл. 4).

Таблиця 4

Гранично допустимі концентрації шкідливих домішок (ГДК) у повітрі

Назва речовини	Діоксид азоту	Діоксид сірки	Оксид вуглецю
ГДК, мг/м <sup>3</sup>	0,85	0.5	5
Клас небезпечності	3	3	4

Знайдені значення концентрації шкідливих домішок в атмосферному повітрі дозволяють обчислити показник забруднення *ПЗ* за співвідношенням (6), він враховує сумарний вплив усіх обраних для попередніх розрахунків домішок (табл. 5).

Таблиця 5

Показник забруднення

Назва вулиці	Показник забруднення, %
проспект Свободи	65
вул. Коксохімічна	82
вул. Сергія Нігояна	63
вул. Набережна Заводська	15
вул. Маяковського	57

Як можна бачити з аналізу таблиці 5, середнє значення показника забруднення не перевищує 57%.

Під час оперативних прогнозів поширення домішок в навколишньому середовищі, особливо за відсутності детальної інформації про структуру течії і точного складу забруднень, доцільно застосовувати моделі, що базуються на аналітичних розв'язаннях диференціальних рівнянь у частинних похідних.

Незважаючи на обмеження відносно того, що аналітичний розв'язок рівняння (1) отримано для постійних значень параметрів середовища, з огляду на відносно просту реалізацію, він є незамінним інструментом під час аналізу основних закономірностей досліджуваного процесу.

**Висновки.** У результаті проведених досліджень отримано наступні результати:

- на основі аналітичного розв'язку рівняння масопереносу домішки розроблено програму чисельного розрахунку на мові програмування Python, що дозволило провести розрахунок полів концентрації шкідливих домішок;

- модель дозволяє проводити розрахунок концентрації з урахуванням взаємного впливу домішок відносно різної кількості джерел;



- проведено аналіз відповідних вулиць міста, що потрапляють в зону впливу викидів розглянутих підприємств, встановлено, що концентрація домішок не перевищує їх гранично-допустиме значення;

- отримано значення показника забруднення повітряного середовища для вулиць, що потрапляють під вплив шкідливих домішок відповідно до вибраного напрямку вітру, показано, що показник забруднення не перевищує 57 %.

Незважаючи на обмеження відносно того, що аналітичний розв'язок рівняння масопереносу отримано для постійних значень параметрів середовища, але з огляду на його відносно просту реалізацію, він є незамінним інструментом під час аналізу основних закономірностей поширення домішок у навколишньому середовищі.

#### Перелік посилань

1. Francis, O. Adeola (2020). Global impact of chemicals and toxic substances on human health and the environment. *Handbook of Global Health*, 1-30.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-030-05325-3\\_96-1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-05325-3_96-1)
2. Wang, J., Zhang, Y., Zhang, Z., Yu, W., Li, A., Gao, X., Lv, D., Zheng, H., Kou X., & Xue, Z. (2022). Toxicology of respiratory system: Profiling chemicals in PM<sub>10</sub> for molecular targets and adverse outcomes. *Environment International*, 159, 1-13.  
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.107040>
3. Schraufnagel, D. (2020). The health effects of ultrafine particles. *Experimental & Molecular Medicine*, 52, 311-317.
4. Zhu, C., Maharajan, K., Liu, K. & Zhanga, Y. (2021). Role of atmosphere particulate matter exposure in COVID-19 and other health risks in human: A review *Environmental Reserch*, 198, 111281.  
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111281>
5. Geng, M.M. & He, L.Y. (2021). Environmental awareness and environmental governance satisfaction sustainability, *Environmental Regulation*. 13, 3960.  
<https://doi.org/10.3390/su13073960>
6. Wang, K., Yin, H. & Chen, Y. (2019). The effect of environmental regulation on air quality: A study of new ambient air quality standards in China. *Journal of Cleaner Production*, 215, 268–279.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.061>
7. Pei, Y., Zhu, Y., Liu, S. Wang, X. & Cao, J. (2019). Environmental regulation and carbon emission: The mediation effect of technical efficiency. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117599.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.074>
8. Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A. & Bezirtzoglou E. (2020). Environmental and health impacts of air pollution: A Review. *Frontiers in Public Health*, 20, 8-14.
9. Zhang, L., Yang, Y., Li. Y., Qian, Z. M., Xiao, W., Wang X. & al. (2019). Short-term and long-term effects of PM<sub>2.5</sub> on acute nasopharyngitis in 10 communities of Guangdong, China. *Science of the Total Environment*, 688, 136-42.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.470>
10. Dong, X., Zhang, Z., Liu, D., Tian. Z. & Chen, G. (2018). Numerical investigation of the effect of grids and turbulence models on critical heat flux in a vertical pipe. *Frontiers in Energy Research*, 11-16.  
<https://doi.org/10.3389/fenrg.2018.00058>

11. Amosov, P., Baklanov, A., Makarov, D. & Masloboev, V. (2022). Numerical modeling of atmospheric pollution in the approaches of random selection of discrete dusting sites and interval distribution of dust size March. *Vestnik MGTU*, 25(1), 61-73.  
<https://doi.org/10.21443/1560-9278-2022-25-1-61-73>
12. Біляєв, М. М. & Русакова, Т. І. (2019). Комплексна оцінка впливу інгредієнтів викидів промислових підприємств на рівень забруднення повітря внутрішніх майданчиків. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, 57, 158-168.  
<https://doi.org/10.33271/crpnmu/57.158>
13. Sailaubek, D. A., Rubtsova, O. A. & Kukulin V. I. (2018). Charged particle scattering problem with a complex-range Gaussian basis The European. *Physical Journal*, 54, 126.
14. Ghosh, S. & Rigollet, P. (2020). Gaussian determinantal processes: A new model for directionality in data. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117 (24), 13207-13213.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.1917151117>
15. Берлянд, М. Е. (1985). *Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы*. Гидрометеиздат.

### ABSTRACT

**Purpose.** Calculation of the concentration fields of harmful impurities in the atmospheric air based on an analytical model, to create a program for conducting computational experiments and analyzing the pollution index of territories in the zone of influence of emissions from industrial enterprises.

**The methods.** For modeling, a two-dimensional mass transfer equation is used, averaged over the transfer height, which describes the scattering of harmful impurities under the action of wind, atmospheric diffusion and dispersion. Methods for the analytical solution of second-order differential equations are applied. Additionally, the process of interaction of harmful impurities from three sources of pollution is taken into account.

**Findings.** On the basis of the analytical solution of the admixture mass transfer equation, a numerical calculation program was developed using the Python programming language, which made it possible to calculate the concentration fields of harmful impurities that enter the atmospheric air from three enterprises in Dnipro City: the Dnipro Metallurgical Plant, the Dnepropetrovsk Pipe Plant and the Dnipro Coke and Chemical Plant. An analysis was made of the corresponding streets of the city, which fall into the zone of influence of the emissions of the enterprises under consideration. It is established that the concentration of impurities does not exceed the maximum allowable value. The value of the air pollution index for streets affected by harmful impurities in accordance with the chosen wind direction was obtained. It is shown that the pollution index does not exceed 57%.

**The originality.** The analytical model for solving the two-dimensional equation of impurity transfer makes it possible to calculate the concentration level taking into account the mutual impact of emissions relative to a different number of pollution sources.

**Practical implementation.** Necessary tools for the analysis of the main patterns of the processes under study in the operational forecasts of the spread of impurities in the environment.

**Keywords:** *impurity concentration, analytical solution, pollution index, atmospheric air, transfer equation.*