

© Т.І. Русакова¹, Ю.В. Войтенко¹

¹ Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКУ ВИНИКНЕННЯ ХРОНІЧНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ У НАСЕЛЕННЯ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА ВИКИДАМИ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА

© T. Rusakova¹, Y. Voitenko¹

¹ Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

PREDICTION OF CHRONIC DISEASES AMONG POPULATION CAUSED BY AIR EMISSIONS FROM MINING AND METALLURGICAL PLANT

Мета. Проаналізувати видовий склад та обсяги забруднюючих речовин, які надійшли в атмосферне повітря від ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” впродовж 2014–2022 років, що негативно впливає на навколишнє середовище та населення, яке проживає на прилеглий до підприємства території. На основі двовимірного рівняння масопереносу провести розрахунок полів концентрації основних шкідливих домішок та оцінити ризик виникнення хронічних захворювань у населення, яке довгостроково знаходиться під техногенним впливом підприємства.

Методи дослідження. Для аналізу динаміки та тенденції зміни обсягів забруднюючих речовин використано найбільш значимі статистичні показники. Для знаходження полів концентрації застосовано аналітичний метод розв’язання двовимірного рівняння переносу домішки. Для прогнозування ризику хронічних захворювань у населення від забруднення повітряного середовища викидами гірничо-металургійного підприємства “АрселорМіттал Кривий Ріг” використано безпорогову модель оцінки ризику.

Результати. На основі описової статистики проаналізовано динаміку зміни валових викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” за 2014–2022 роки, показано, що зменшення викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря пов’язано, як зі зменшенням об’ємів виробництва основних видів продукції, так і з реконструкцією та виведенням з експлуатації мартенівського цеху та кільцевої печі. Отримане поле концентрації оксиду азоту, діоксиду сірки та оксиду вуглецю дозволило встановити території, які найбільше потрапляють під вплив техногенного навантаження даного підприємства. Оцінено ризик виникнення хронічних захворювань, які можуть проявитися у населення протягом життя на даній території від постійного впливу тих шкідливих домішок, які потрапляють в навколишнє середовище в найбільших обсягах від даного підприємства.

Наукова новизна. Встановлено тенденції зміни валових викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг”. На основі методики аналітичного розв’язання рівняння стаціонарного переносу забруднення у двовимірній постановці створено програму чисельного розрахунку поля концентрації. Проведено обчислювальні експерименти для відповідних шкідливих домішок по оцінці рівня концентрації та ризику виникнення хронічних захворювань у населення.

Практична значимість. Прогнозування ризику виникнення хронічних захворювань у населення, яке проживає в зоні техногенного впливу промислових підприємств, є необхідним інструментом для оцінювання рівня екологічної безпеки.

Ключові слова: повітряне середовище, рівняння масопереносу, шкідливі домішки, поле концентрації, ризик хронічних захворювань.

Вступ. Технологічний прогрес займає важливе місце у соціально-економічній сфері суспільства та впливає на благополуччя людей. Одночасно розвиток промисловості призводить до потужного техногенного навантаження на навколишнє середовище. Сучасні технології спрямовані на зменшення ресурсоємності виробництва та мінімізацію обсягів утворення забруднюючих речовин шляхом впровадження інноваційних рішень. Вагома роль у попередженні забруднення навколишнього середовища відводиться технологіям очистки викидів, скидів.

Однією з основних галузей промисловості, що сприяє наповненню державного бюджету України за рахунок продажу продукції за кордон є металургійна галузь. Металургійні підприємства щорічно викидають тисячі тон забруднюючих речовин у атмосферне повітря. Сучасний стан та перспективи розвитку підприємств металургійної галузі України розглянуто в роботах [1–5]. Металургійна галузь має суттєвий вплив на весь промисловий комплекс України [1], але відбувається скорочення попиту на металопродукцію на зовнішньому ринку, що пояснюється зниженням рівня конкурентоспроможності української металопродукції, підвищенням ціни на неї та появою на світовому ринку нових потужних конкурентів: Китаю, Індії й Південної Кореї. Авторами роботи [2] проаналізовано інноваційні та екологічні аспекти функціонування металургійної промисловості Європейського Союзу, як найбільш наближеного до України орієнтира в цій галузі. Досліджено на скільки впливає металургійна промисловість України на притік іноземних інвестицій в платіжний фонд держави. В роботі [3] показано, що основними моментами для металургійної промисловості на світовому ринку є перевиробництво металу, нестабільність металоторгівлі, необхідність підвищення екологічності та ресурсоефективності виробництва. Досліджено тенденції розвитку металургійних підприємств України в сучасній українській економіці. Наголошується, що одним із перших кроків повинно бути впровадження нових енергозберігаючих та екологічних технологій [4]. В роботі [5] досліджено тенденції, що на сьогодні спостерігаються в світовому гірничо-металургійному комплексі, а саме, зменшення галузей, що споживають металопродукцію, наявність надмірних виробничих потужностей в металургії, сповільнення заходів для забезпечення ефективності та екологічності виробництва. Значна увага приділена питанням екологічності металургійних виробництв зарубіжними авторами [6–9]. Автори роботи [6] підкреслюють, що у зв'язку з промисловим прогресом гірничо-металургійної промисловості, яка є однією з основних галузей економіки, рівень забруднення навколишнього середовища постійно зростає. Промислове забруднення, спричинене накопиченням відходів металургії, негативно впливає на три чинники навколишнього середовища: ґрунт, повітря та воду [7]. Таким чином, правильне поводження з цими відходами призведе до захисту факторів навколишнього середовища, збереження природних ресурсів і стійкості сталеливарної промисловості. Нещодавно на європейському рівні була запропонована концепція циркулярної економіки [8]. Розглядається можливість покращення екологічної стійкості виробництва сталі шляхом економії первинної сировини та витрат, пов'язаних із побічними продуктами та захороненням відходів. Шлак, що утворюється як побічний продукт у промислових процесах, містить значний

вміст металів, які необхідно відновлювати, щоб уникнути забруднення навколишнього середовища [9].

Отже оцінювання та прогнозування зони впливу шкідливих газових чинників, що надходять в атмосферне повітря від промислових підприємств, зокрема металургійних виробництв, залишається актуальною задачею. Відповідно до постійного впливу шкідливих домішок збільшується рівень небезпеки, насамперед, кількість хронічних захворювань у населення, яке проживає та працює на територіях міста. Оцінка ефективності застосування захисних заходів на підприємствах можлива при використанні математичного моделювання, що дозволяє швидко прорахувати різні сценарії розповсюдження забруднення. Найбільш ефективними методами математичного моделювання залишаються аналітичні [10] та чисельні методи [11].

Викладання основного матеріалу. Одним з найбільших металургійних підприємств Дніпропетровської області є гірничо-металургійний комбінат ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг”, який належить міжнародній корпорації ArcelorMittal. Дане підприємство утворює 88,5 % загальних обсягів викидів у Кривому Розі. На рисунку 1 представлено динаміку зміни валових викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” впродовж 2014–2022 років відповідно до статистичної інформації Головного управління статистики у Дніпропетровській області [12].

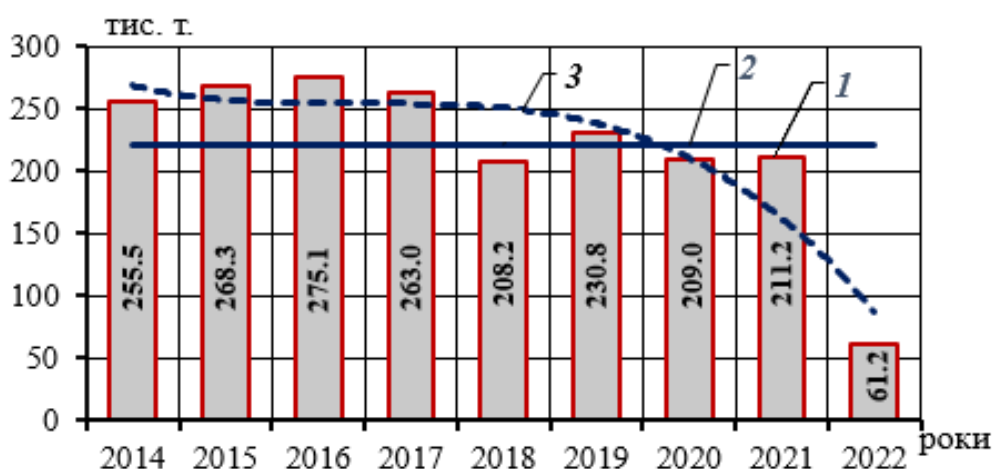


Рис. 1. Динаміка валових викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” за 2014-2022 роки:
1 – статистичні дані; 2 – середнє значення; 3 – лінія тренду

Аналіз зміни викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” за 2014–2022 роки проведено на основі параметрів описової статистики. Загальний обсяг валових викидів за 2014–2022 роки склав 1 982,3 тис. т. З 2014 рік по 2016 рік викиди зростали і досягли максимального значення 275,1 тис. т. у 2016 році. Впродовж 2017–2018 років відбувалося зменшення валових викидів, у 2019 році їх обсяги знову зросли, а впродовж 2020–2021 років залишалися незмінними. Мінімальне значення 61,2 тис. т. було зафіксовано у 2022 році через спад виробництва в умовах війни. В порівнянні з 2021 роком рівень

викидів в атмосферне повітря в 2022 році знизився на 71 %, що обумовлено також закриттям двох застарілих коксових батарей № 1 та № 2, що дозволить зменшити в наступні роки обсяги викидів забруднюючих речовин від коксохімічного виробництва на третину, а також за рахунок введення в експлуатацію нового комплексу сучасних коксових батарей № 5 та № 6 [13]. Зменшення викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря пов'язано зі зменшенням об'ємів виробництва основних видів продукції, а також з реконструкцією та виведенням з експлуатації мартенівського 69 цеху та кільцевої печі ВВЦ [14]. Середнє значення викидів – 220,3 тис. т., медіана – 230,8 тис. т., розмах ряду даних – 213,9 тис. т., середнє квадратичне відхилення – 65,3 тис. т., асиметрія спостерігається від'ємна – 2,1 тис. т., що показує суттєве зміщення кількісних показників в сторону максимального значення.

Рівняння, яким описується лінія тренду, що характеризує динаміку зміни обсягів валових газових викидів з роками $y(x)$, має наступний вид:

$$y(x) = a_3 \cdot x^3 + a_2 \cdot x^2 + a_1 \cdot x + a_0, \text{ тис. т.}, \quad (1)$$

де x – роки, $a_3 = -0,986$, $a_2 = 10,2$, $a_1 = -35,3$, $a_0 = 294,6$, величина достовірності апроксимації складає $R^2 = 0,832$.

Відповідно до звіту про стратегічну екологічну оцінку проекту програми соціально-економічного та культурного розвитку Дніпропетровської області на 2023 рік, видовий склад та обсяги викидів забруднюючих речовин, що надійшли в атмосферне повітря від ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” у 2020 році наведено в таблиці 1 [14].

Таблиця 1

Види та обсяги забруднюючих речовин від ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” на 2020 р.

Забруднюючі речовини	Обсяг викидів, т/рік
Загальний обсяг викидів, у тому числі:	208 977
оксид азоту (у перерахунку на діоксид азоту)	8 992
сірки діоксид	8 045
оксид вуглецю	170 465
речовини у вигляді суспендованих твердих частинок (мікрочастинки та волокна)	20 801

Для отримання поля концентрації від відповідної шкідливої домішки, що потрапляє в атмосферне повітря під час роботи ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” було використано методику аналітичного розв'язання рівняння стаціонарного переносу забруднення у двовимірній постановці (1) [10].

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

де $C = \int_0^H C'(x, y, z) dz$ – інтегральна по висоті H приземного шару концентрація забруднення, $\text{кг}/\text{м}^3$; u – швидкість переміщення повітряних мас у напрямку осі Ox декартової системи координат Oxy на поверхні землі, $\text{м}/\text{с}$; v – швидкість переміщення повітряних мас у напрямку осі Oy , $\text{м}/\text{с}$; σ – приведений коефіцієнт нейтралізації, $\sigma = \sigma' + \alpha v / H$, $1/\text{с}$; Q – інтегральна по висоті H приземного шару потужність джерела, $\text{кг}/\text{с}$; $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ – 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 розташування джерела забруднення, м ; μ – коефіцієнт турбулентної дифузії, $\text{м}^2/\text{с}$; $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ – оператор Лапласа, $1/\text{м}^2$; $\delta(|\vec{r} - \vec{r}_0|)$ – дельта функція, яка визначається рівностями:

$$\begin{cases} \int_S f(x, y) \delta(|\vec{r} - \vec{r}_0|) dx dy = 0, \quad \forall S, (x_0, y_0) \notin S; \\ \int_S f(x, y) \delta(|\vec{r} - \vec{r}_0|) dx dy = f(x_0, y_0), \quad \forall S, (x_0, y_0) \in S. \end{cases} \quad (2)$$

Рівняння (1) розв'язується в безмежній площині $r > 0$, ($r \neq 0$) за умови згасання концентрації на нескінченності, а саме, $C \rightarrow 0$, коли $r \rightarrow \infty$.

Аналітичне розв'язання рівняння (1) за заданих умов має вигляд (3):

$$C(x, y) = \frac{Q}{2\pi\mu} \exp\left[\frac{\vec{u} \cdot (\vec{r} - \vec{r}_0)}{2\mu}\right] \cdot K_0(\lambda|\vec{r} - \vec{r}_0|), \quad (3)$$

де $K_0(\lambda|\vec{r} - \vec{r}_0|)$ – функція Макдональда; $\vec{u} = u\vec{i} + v\vec{j}$; $\vec{r} - \vec{r}_0 = x\vec{i} + y\vec{j}$, $\vec{r}_0 = x_0\vec{i} + y_0\vec{j}$, $\lambda = \sqrt{\frac{u^2 + v^2 + 4\mu\sigma}{4\mu^2}}$.

Якщо ввести параметр $\xi = \lambda|\vec{r} - \vec{r}_0|$, то для обчислення значення функції Макдональда $K_0(\xi)$ можна скористатися апроксимацією (4):

$$K_0(\xi) = \sqrt{\frac{\pi}{2\xi}} e^{-\xi} \frac{M(\xi)}{N(\xi)}, \quad (4)$$

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

$$M(\xi) = A_2 + \xi \cdot (B_2 + \xi \cdot (C_2 + \xi \cdot (D_2 + \xi \cdot E_2))), \quad (5)$$

$$N(\xi) = A_1 + \xi \cdot (B_1 + \xi \cdot (C_1 + \xi \cdot (D_1 + \xi \cdot E_1))). \quad (6)$$

Значення коефіцієнтів апроксимувальних многочленів наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Коефіцієнти апроксимувальних многочленів

Коефіцієнт	Значення	Коефіцієнт	Значення
A_1	8 505	A_2	3 273
B_1	151 200	B_2	115 296
C_1	435 456	C_2	398 592
D_1	331 776	D_2	323 584
E_1	65 536	E_2	65 536

На основі аналітичного розв'язку (3) – (6), отриманого для рівняння масопереносу (1), створено програму чисельного розрахунку поля концентрації відповідної шкідливої домішки, що потрапляє в атмосферне повітря від стаціонарного джерела забруднення. Проведено ряд числових експериментів по обчисленню поля концентрації для трьох основних шкідливих речовин: діоксиду азоту, діоксиду сірки, оксиду вуглецю, що надходять в навколишнє середовищі при роботі ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг”.

Відповідно до інформації з архіву погоди в місті Кривий Ріг, з'ясовано, що переважаючим напрямком вітру є північний – 18,9 % на рік, найменший відсоток приходить на південно-східний напрямок – 9,2 %. Для розрахунків було обрано саме південно-східний напрямок, оскільки саме за цим напрямком підпадає під вплив значна житлова територія міста. Середньо-річне значення швидкості вітру по місту складає 5 м/с, тому в якості компонент вектора швидкості приймалися значення $u = 4$ м/с, $v = 3$ м/с.

Розміри розрахункової області 1,8 км – ширина, 2,8 км – довжина. Коефіцієнт дифузії $\mu = 1,6$ м²/с, коефіцієнт нейтралізації $\sigma = 0,2$ 1/с. У таблиці 3 наведено середньорічні значення інтенсивності викиду основних шкідливих домішок, що наведено в таблиці 1.

Таблиця 3

Інтенсивність викидів шкідливих домішок ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг”

Речовина	Q , г/с
Оксид азоту	285
Діоксид сірки	255
Оксид вуглецю	5403

Оксиди сірки утворюються у відхідних газах від спалювання сполук сірки в шихті та твердому паливі для підготовки агломерату. Ці сполуки сірки потрапляють в основному з коксовою дрібницею та вугіллям. Оксиди азоту утворюються при спалюванні органічних сполук азоту в шихті для підготовки спікання, під час реакцій розкладання компонентів з молекулярним азотом N_2 та під час реакцій молекулярного кисню O_2 з молекулярним азотом N_2 в повітрі для спалювання. На рисунках 2–4 представлено поля концентрації діоксиду азоту, діоксиду

сірки та оксиду вуглецю. Значення концентрації представлено у відсотках від максимальної її величини.

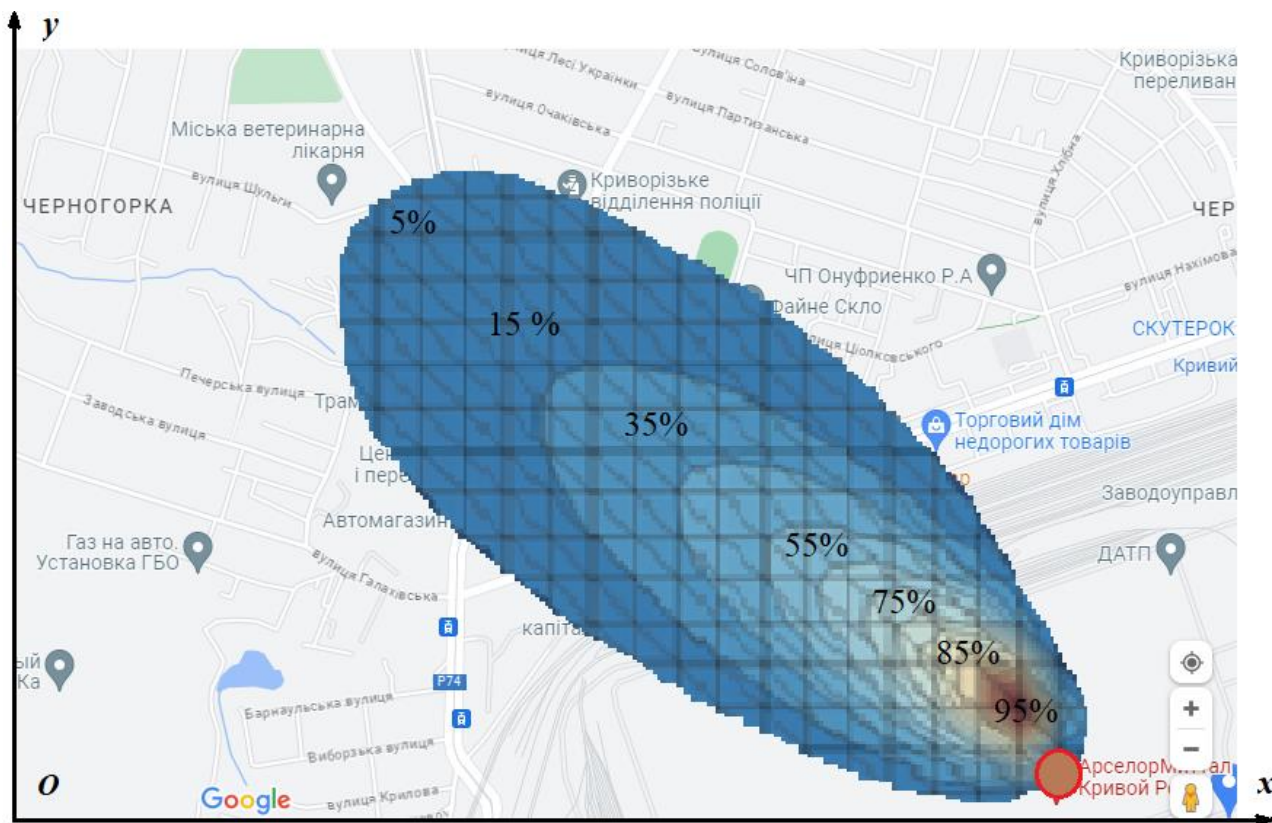


Рис. 2. Поле концентрації оксиду вуглецю, $C_{\max}=13,392 \text{ мг/м}^3$



Рис. 3. Поле концентрації діоксиду сірки, $C_{\max}=1,925 \text{ мг/м}^3$



Рис. 4. Поле концентрації оксиду азоту, $C_{\max}=1,457 \text{ мг/м}^3$

Аналіз полів концентрації, наведених на рисунках 2–4, показав, що в зону забруднення потрапляють вулиці міста: вул. Галахівська, вул. Заводська, вул. Печерська, парк Будівельників, вул. Шульги та інші. Значення концентрації основних шкідливих речовин на вказаних вулицях наведено в таблиці 4.

Таблиця 4

Значення концентрації шкідливих домішок на прилеглої території до ПАТ“АрселорМіттал Кривий Ріг”

Назва вулиці	Концентрація оксиду азоту $C, \text{ мг/м}^3$	Концентрація діоксиду сірки $C, \text{ мг/м}^3$	Концентрація оксиду вуглецю $C, \text{ мг/м}^3$
вул. Галахівська	$0,6556 = 1,64 \cdot ГДК_{\text{м.р.}}$	$0,8663 = 1,73 \cdot ГДК_{\text{м.р.}}$	$6,0264 = 1,21 \cdot ГДК_{\text{м.р.}}$
вул. Заводська	$0,5099 = 1,27 \cdot ГДК_{\text{м.р.}}$	$0,6738 = 1,35 \cdot ГДК_{\text{м.р.}}$	$4,6872 = 0,94 \cdot ГДК_{\text{м.р.}}$
вул. Печерська	$0,3643 = 0,91 \cdot ГДК_{\text{м.р.}}$	$0,4813 = 1,64 \cdot ГДК_{\text{м.р.}}$	$3,3481 = 0,67 \cdot ГДК_{\text{м.р.}}$
парк Будівельників	$0,2186 = 0,55 \cdot ГДК_{\text{м.р.}}$	$0,2888 = 0,58 \cdot ГДК_{\text{м.р.}}$	$2,0088 = 0,41 \cdot ГДК_{\text{м.р.}}$
вул. Шульги	$0,0729 = 0,18 \cdot ГДК_{\text{м.р.}}$	$0,0963 = 0,19 \cdot ГДК_{\text{м.р.}}$	$0,6696 = 0,13 \cdot ГДК_{\text{м.р.}}$

Відповідно до таблиці 4 можна бачити, що на вулицях Галахівська та Заводська спостерігається перевищення $ГДК_{\text{м.р.}}$ по усім шкідливим домішкам, а на іншій території показники в межах $ГДК_{\text{м.р.}}$.

Розраховані концентраційні поля шкідливих домішок дозволяють оцінити потенційний ризик здоров'ю населення при тривалому (хронічному) впливі

забруднення атмосферного повітря. Для цього використовується безпорогова модель впливу, коли для більшості людей відсутня видима небезпека для здоров'я. Для оцінювання ризику виникнення у населення неспецифічних хронічних захворювань при забрудненні атмосферного повітря використовується співвідношення (7).

$$Risk = 1 - \exp(\ln 0,84 \cdot (C_i / ГДК_{с.д.})^b / k_3), \quad (7)$$

де C_i – концентрація діючої речовини, що робить вплив за заданий період часу; $ГДК_{с.д.}$ – середньодобова гранично допустима концентрація; k_3 – коефіцієнт запасу, значення якого змінюється в залежності від класу небезпеки речовини: 1-й клас – 7,5; 2-й клас – 6,0; 3-й клас – 4,5; 4-й клас – 3; b – коефіцієнт, який дозволяє оцінювати ізоелективні ефекти домішок різних класів небезпеки: 1-й клас – 2,35; 2-й клас – 1,28; 3-й клас – 1,0; 4-й клас – 0,87.

Результати розрахунків ризику виникнення хронічних захворювань у населення, що проживає на території техногенного впливу шкідливих домішок вказаного підприємства представлено графічно на рисунку 5. Можна бачити, що при постійному вдиханні повітря, забрудненого оксидом азоту з концентрацією $0,2186 \text{ мг/м}^3$ у 132 людей з 1000, що постійно проживають на досліджуваній території протягом свого життя, можуть проявитися симптоми хронічної інтоксикації.

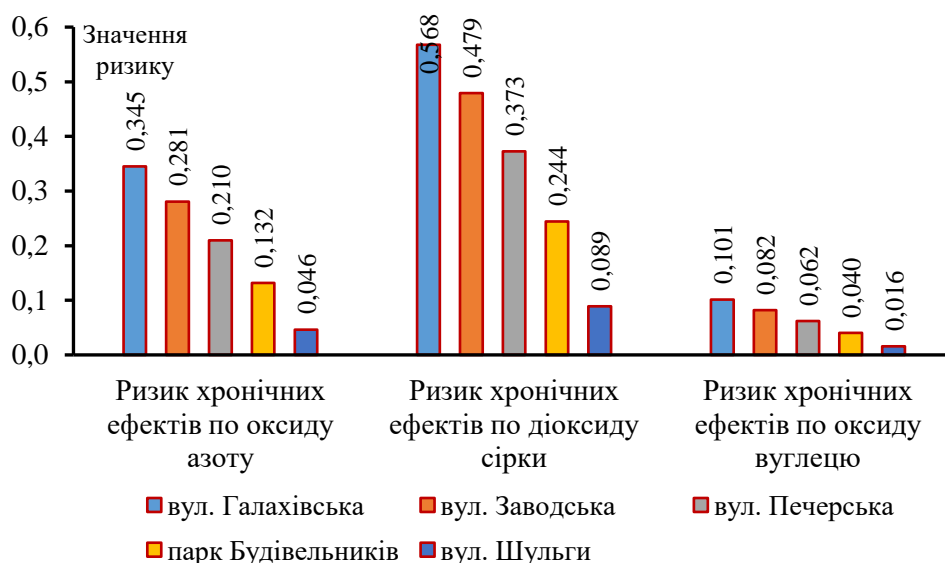


Рис. 5. Значення ризику хронічних ефектів для населення

Із гістограми (див. рис. 5) можна бачити, що найбільше значення ризику виникнення у населення хронічних захворювань, які можуть проявитися протягом життя на даній території при постійному впливі шкідливих речовин, що потрапляють в атмосферне повітря від ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг”, спостерігається по діоксиду сірки і складає 0,568, що вказує на середній рівень небезпеки для населення. Також можна бачити, хоча обсяги (див. табл. 1) та концентрація (див. табл. 4) оксиду вуглецю значно більші по відношенню до інших шкідливих

речовин, але ризик виникнення хронічних захворювань, спричинених саме цією домішкою, значно менший і не перевищує 0,1, оскільки ця речовина відноситься до четвертого класу небезпеки, що враховується в безпороговій моделі (7).

Висновки. У результаті проведених досліджень отримано наступні результати:

проаналізовано видовий склад та обсяги забруднюючих речовин, що надійшли в атмосферне повітря від ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” впродовж 2014–2022 років та встановлено тенденції їх зміни;

використано методикку аналітичного розв’язання рівняння стаціонарного переносу забруднення у двовимірній постановці для отримання поля концентрації відповідної шкідливої домішки;

створено програму чисельного розрахунку та проведено обчислювальні експерименти для оцінювання та наочного представлення поля концентрації оксиду азоту, діоксиду сірки оксиду вуглецю;

розраховано ризик хронічних ефектів, які можуть проявитися у населення протягом життя на даній території від постійного впливу оксиду азоту, діоксиду сірки та оксиду вуглецю, що потрапляють в атмосферне повітря від ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг”.

Оскільки на території Дніпропетровської області знаходиться велика кількість промислових підприємств, які є потужними джерелами забруднення атмосферного повітря, то прогнозування ризику хронічних ефектів для населення, що проживає на території впливу, є актуальним інструментарієм для оцінювання рівня екологічної безпеки.

Перелік посилань

1. Мушнікова С.А. (2019). Сучасний стан та перспективи розвитку підприємств металургійної галузі України. *Вісник економіки транспорту і промисловості*, 68, 273–279.
<https://doi.org/10.18664/338.47:338.45.v0i68.189030>
2. Кравчук Н.М. & Матросова І.Д. (2020). Тенденції розвитку металургійної промисловості України: глобальна конкурентоспроможність та інноваційний аспект. *Приазовський економічний вісник*, 1(18), 32–37.
<https://doi.org/10.32840/2522-4263/2020-1-6>
3. Нікіфорова В.А. (2018). Металургійна промисловість світу: сучасні виклики та тенденції розвитку (аналітичний огляд). *Економіка промисловості*, 1(81), 86–114.
4. Гринько Т.В. & Андросова І.О. (2019). Проблеми та перспективи розвитку металургійної галузі в Україні. *Проблеми економіки*, 2(40), 39–44.
<https://doi.org/10.32983/2222-0712-2019-2-39-44>
5. Гончарук, О.В., Ігнашкіна, Т.Б. & Броннікова, В.Ю. (2020). Сучасний стан гірничо-металургійного комплексу України: чинники, тенденції й результати. *Ефективна економіка*, 9.
<https://doi.org/10.32702/2307-2105-2020.9.60>
6. Alimbaev, T., Mazhitova, Z., Beksultanova, S., & Tentigulkyzy, N. (2020). Activities of mining and metallurgical industry enterprises of the Republic of Kazakhstan: environmental problems and possible solutions. *E3S Web of Conferences*, 175, 14019.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017514019>
7. Iluțiu-Varvara, D.-A., & Aciu, C. (2022). Metallurgical Wastes as Resources for Sustainability of the Steel Industry. *Sustainability*, 14(9), 5488.
<https://doi.org/10.3390/su14095488>

8. Branca, T. A., Colla, V., Algermissen, D., Granbom, H., Martini, U., Morillon, A., Pietruck, R., & Rosendahl, S. (2020). Reuse and Recycling of By-Products in the Steel Sector: Recent Achievements Paving the Way to Circular Economy and Industrial Symbiosis in Europe. *Metals*, 10(3), 345.
<https://doi.org/10.3390/met10030345>
9. Habib, A., Bhatti, H. N., & Iqbal, M. (2019). Metallurgical Processing Strategies for Metals Recovery from Industrial Slags. *Zeitschrift Für Physikalische Chemie*, 234(2), 201–231.
<https://doi.org/10.1515/zpch-2019-0001>
10. Русакова Т.І., Золотько О.В., Долженкова О.В. & Войтенко Ю.В. (2022). Оцінювання зон забруднення від викидів промислових підприємств. *Збірник наукових праць національного гірничого університету*, 70, 182–191.
<https://doi.org/10.33271/crpnmu/70.182>
11. Біляєв М.М. & Русакова Т.І. (2018). Комп'ютерна оцінка рівня забруднення атмосферного повітря під дією техногенних джерел. *Збірник наукових праць національного гірничого університету*, 54, 337–344.
12. Белоусова К. (2023). *АрселорМіттал. спричинив 88% викидів у повітря Кривого Рогу за рік*. Екополітика <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/u-krivomu-rozi-arselormittal-stav-dzherelom-88-richnogo-zabrudnennya-povitrya/>
13. Головне управління статистики у Дніпропетровській області. (n.d.). <http://www.dneprstat.gov.ua/statinfo/ns/>.
14. *Звіт про стратегічну екологічну оцінку проекту програми соціально-економічного та культурного розвитку Дніпропетровської області на 2023 рік*. (2023). Дніпропетровська обласна державна адміністрація. <https://adm.dp.gov.ua/storage/app/media/Pro%20oblast/Ekolohiia/Stratehichna%20ekolohichna%20otsinka/Prohrama%20sotsialno-ekonomichnoho%20ta%20kulturnoho%20rozvytku/2023/20.03.2023/ZVIT%20pro%20CEO%202023.pdf>

ABSTRACT

Purpose. To analyze the species composition and volumes of pollutants that entered the atmospheric air from ArcelorMittal Kryvyi Rih during 2014–2022 and negatively affect the environment and the population living in the territory near the enterprise. Based on the two-dimensional mass transfer equation, calculate the concentration fields of the main harmful impurities and assess the risk of chronic diseases for the population that is under long-term technogenic influence.

The methods. The most significant statistical indicators were used to analyze the dynamics and trends of changes in the volume of pollutants. To find the concentration fields, the analytical method of solving the two-dimensional equation of impurity transport is applied. A non-threshold risk assessment model was used to predict the risk of chronic diseases for the population from polluted air by ArcelorMittal Kryvyi Rih.

Findings. On the basis of descriptive statistics, the dynamics of changes in gross emissions of pollutants into the air from ArcelorMittal Kryvyi Rih for the years 2014–2022 were analyzed, it was shown that the decrease in emissions of pollutants into the air is related to the decrease in the production volumes of the main types products, as well as with the reconstruction and decommissioning of open-hearth steel furnaces and rotary-hearth furnaces. The resulting concentration field of nitrogen oxide, sulfur dioxide, and carbon monoxide determines the areas that are most affected by the man-made load of this enterprise. The risk of chronic diseases that may appear in the population during their lifetime in this territory due to constant exposure to those harmful impurities that enter the environment in the largest volumes from this enterprise has been assessed.

The originality. Trends in changes in gross emissions of pollutants into atmospheric air from ArcelorMittal Kryvyi Rih have been established. A program for numerical calculation of the concentration field was created on the basis of the method of analytical solution of the equation of steady-state transport of pollution in a two-dimensional formulation. Computational experiments were conducted for relevant harmful impurities to assess the level of concentration and the risk of chronic diseases in the population.

Practical implementation. Prediction the risk of chronic diseases for the population living near the industrial enterprises is a necessary tool for assessing the level of environmental safety.

Keywords: *air environment, mass transfer equation, harmful impurities, concentration field, risk of chronic diseases.*