

© М.М. Біляєв¹, Т.І. Русакова²

¹ Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, Україна

² Дніпровський національний університет імені О. Гончара, Дніпро, Україна

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ІНГРЕДІЄНТІВ ВИКИДІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ НА РІВЕНЬ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ ВНУТРІШНІХ МАЙДАНЧИКІВ

© M. Biliaiev¹, T. Rusakova²

¹ Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, Ukraine

² Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE INDUSTRIAL INPUTS IMPACT ON THE POLLUTION LEVEL OF INDOOR AIRSPACE

Метою роботи є розрахунок сумарного показника забруднення та ризику виникнення хронічної інтоксикації робітників в залежності від рівня концентрації шкідливих речовин на майданчиках промислового підприємства.

Методи дослідження. Для моделювання використовується двомірне рівняння масопереносу осереднене по висоті переносу домішки, яке описує розсіювання викидів діоксиду сірки, водяної пари і сірчаної кислоти під дією вітру і атмосферної дифузії. Також використовуються рівняння, які враховують зміну концентрації діоксиду сірки за рахунок утворення сірчаної кислоти і зміни її концентрації за рахунок хімічної трансформації діоксиду сірки. Додатково враховується процес взаємодії діоксиду сірки з аміаком, який міститься в повітряному середовищі промислового підприємства. Для чисельного інтегрування рівнянь масопереносу використовується неявна різницева схема.

Результати. Проведено розрахунок показника забруднення в робочих зонах на промислових майданчиках та на території підприємства як для конкретної домішки, так з урахуванням комплексу сполук, що потрапляють в повітря з викидами промислового підприємства. Встановлено, що його середнє значення показника забруднення перевищує в 6,8 разів. Розраховано ризик хронічної інтоксикації діоксидом сірки на території заводу ДМЗ ЄВРАЗ, через один рік ризик хронічної інтоксикації діоксидом сірки робітників підприємства в середньому складає 12 %, а через 10 років 57 %.

Наукова новизна. Розроблено метод чисельного розрахунку концентрації домішки в робочих зонах на майданчиках промислового підприємства на основі двомірного рівняння масопереносу з урахуванням взаємного впливу різної кількості джерел забруднення та хімічної трансформації домішки в атмосферному повітрі.

Практична значимість. Створено комплекс програм, що дозволяє проводити обчислювальні експерименти при оцінці безпечних умов праці на промислових майданчиках та загального рівня забруднення атмосферного повітря підприємства.

Ключові слова: концентрація забруднення, промисловий майданчик, показник забруднення, ризик інтоксикації.

Вступ. Дніпропетровський металургійний завод ім. Петровського (ДМЗ Євраз ім. Петровського) – підприємство повного металургійного циклу, спеціалізується на виробництві чавуну, сталі та прокату. Знаходиться в м. Дніпро (рис. 1). Виробничі потужності підприємства складають: дві доменні печі; три кисневі конвертери; два прокатні цехи. На Євраз ДМЗ ім. Петровського діють дві доменні печі – 963 тис. тон чавуну. Сталь виробляється в трьох кисневих конвертерах. Проектна потужність конвертерів становить 1 360 тис. тон сталі на рік. У Євраз ДМЗ ім. Петровського є два прокатних цехи: стан 550 і рейкобалковий стан – 886 тис. тон прокату.

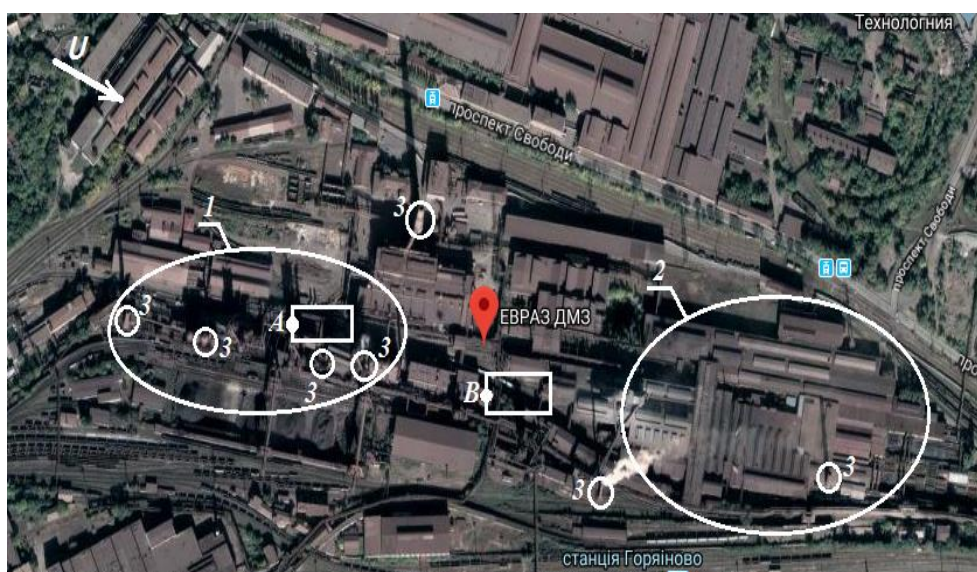


Рис. 1. Вид моделюючої області (Google Earth Image, 2019): Дніпропетровський металургійний завод ДМЗ ЄВРАЗ (завод ім. Петровського): 1 – територія доменного цеху; 2 – територія прокатного цеху №1; 3 – джерела викиду забруднюючих речовин; А, В – розрахункові точки промислових майданчиків

Продукція підприємства включає: доменний цех – чавун переробний, чавун ливарний; киснево-конвертерний цех – сталь вуглецева звичайної якості, сталь рейкова, сталь галузевих призначень, сталь М, сталь 60С2А3Б; прокатний цех № 1 – трубна заготівка, квадратна заготівка, прокат сортовий сталевий гарячекатаний круглий, рейки кранові, рейки трамвайні жолобчасті, рейки рудничні Р 34, фасонний прокат балка двотаврова спеціальна 22 С, швелер 24, прокат сталевий гарячекатаний круглий для стрижнів млинів барабанного типу, прокат сталевий гарячекатаний круглий, шахтна стійка СВП 33, профілі для футерування млинів, прокат броні рудорозмельних млинів, прокат броні млинів та інше; прокатний цех № 2 – сортовий прокат (швелери, куточки), профілі для автомобільної промисловості, профілі для вугільної промисловості.

Одночасно підприємство Євраз ДМЗ ім. Петровського є потужним джерелом викидів забруднюючих речовин і займає друге місце за забрудненням атмосферного повітря міста Дніпра.

Газ, що утворюється під час виплавлення чавуну в доменних печах є головним

продуктом неповного згоряння вуглецю. Хімічний склад доменного газу за умов, що чавун виплавляють на кам'яно-вугільному коксі: 12-20 % CO₂; 20-30 % CO; до 0,5 % CH₄; 1-4% H₂; 55-58 % N₂. При збагаченні дуття киснем вміст азоту в газі знижується і відповідно цьому зростає кількість інших газів (у тому числі окисли вуглецю і водню). Газ дуже отруйний через наявність у його складі монооксиду вуглецю CO.

На сьогодні розрахунки концентрації домішки виконуються на базі різних моделей [4, 6, 7, 9], розробляються регіональні моделі ризику з використанням існуючих статистичних і детермінованих моделей розсіювання домішок [5], на основі просторової інтерполяції концентрації забруднювачів даної місцевості [10]. На Україні розробляється інформаційна система для оцінки та моделювання вмісту забруднюючих речовин в атмосферному повітрі на основі багатокомпонентної ймовірнісної моделі розрахунку концентрації домішки [8].

Більш детальний порівняльний аналіз викидів за 2016-2017 роки наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Кількісні показники різних сполук за їх хімічною класифікацією, які надходили в атмосферне повітря від підприємства Євраз ДМЗ ім. Петровського 2016-2017 рр.

Вид домішки	Кількість викидів, т/рік (2016 р)	Кількість викидів, т/рік (2017 р)
Оксид вуглецю, CO	4838,435	4626,364
Діоксид вуглецю, CO ₂	2 143 298	1 959 9378
Сполуки азоту:	948,138	830,046
- оксиди азоту;	935,249	811,595
- аміак;	11,465	9,437
- оксид азоту;	1,424	6,014
Діоксид та інші сполуки сірки:	<u>677,632</u>	<u>597,403</u>
- діоксид сірки;	674,878	595,456
- сірководень;	2,690	1,892
- сірковуглець;	0,038	0,035
- сірчана кислота	0,026	0,020
Неметалеві леткі органічні сполуки:	<u>9,269</u>	<u>7,305</u>
- бензол;	6,450	4,974
- фенол;	1,479	1,261
- нафталін;	1,243	0,949
- толуол;	0,064	0,057
- ксилол;	0,023	0,044
-ацетон;	0,007	0,011
- кислота оцтова;	0,002	0,008
- піридин	0,001	0,001
Метан	25,995	24,690
Бензапірен	0,007	0,007
Синильна кислота	1,104	0,837
Хлор	0,001	0,003

Метою роботи є застосування розробленого методу чисельного розрахунку концентрації домішки для визначення динаміки забруднення повітряного середовища при стаціонарних викидах забруднюючих речовин Дніпропетровським металургійним заводом ДМЗ ЄВРАЗ, розташованим на території міста Дніпра (рис. 1).

Викладання основного матеріалу. Під час проведення дослідження було проаналізовано ряд робочих місць на території промислових майданчиків ДМЗ ЄВРАЗ. Більша частина робочих місць знаходиться на території промислових майданчиків цехів із залізнично-під'їзними коліями, де виконуються розвантажувально-навантажувальні роботи.

Для аналізу було обрано робочу зону 1 (рис. 1), що відповідає території розташування доменного цеху, де працюють сталевари, плавильники та доменщики, машиністи металургійних кранів; та робочу зону 2 (рис. 1), що відповідає території розташування прокатного цеху № 1, де працюють нагрівальники, розливальники, машиністи металургійних кранів, підготовники составів до розливання плавок, правильники прокату і труб, вальцювальники стану гарячої прокатки, різьбярі на пилах, ножівках та верстатах, шліфувальники.

Джерела емісії є постійно діючими. На першому етапі дослідження проводився розрахунок концентрації діоксиду сірки, оскільки саме для даної речовини можливо провести розрахунки, враховуючи процес хімічної трансформації в атмосфері. Значення коефіцієнтів хімічної трансформації визначаються експериментально і відомі з літературних джерел [4, 7].

Згідно з даними екологічного паспорту міста щодо викидів в атмосферу великих підприємств, інтенсивність викиду діоксиду сірки усіма джерелами викиду ДМЗ ЄВРАЗ становить $Q=18,9$ г/с. Для кожного джерела емісії значення інтенсивності приймається як середнє значення: $Q=18,9/n$ г/с, де n – кількість джерел емісії. При розрахунку швидкість вітру $U=6$ м/с при його напрямку $\alpha=120^\circ$ (рис. 1).

Для вирішення поставленого завдання враховується процес утворення сірчаної кислоти при взаємодії SO_2 з водяними парами H_2O .

Для моделювання забруднення робочих зон викидами SO_2 використовується двовірне рівняння масопереносу осереднене по висоті переносу домішки, планова модель [2, 4]. Для чисельного інтегрування використовується неявна різницєва схема [2, 4].

В цьому випадку рівняння, що моделюють вказаний процес, записуються наступним чином:

$$\frac{\partial[SO_2]}{\partial t} + \frac{\partial u[SO_2]}{\partial x} + \frac{\partial v[SO_2]}{\partial y} = \text{div}(\mu \text{grad}[SO_2]) + \sum_{i=1}^n Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i), \quad (1)$$

$$\frac{\partial[SO_2]}{\partial t} = -\sigma \cdot [SO_2] \cdot [H_2O], \quad (2)$$

$$\frac{\partial[H_2O]}{\partial t} + \frac{\partial u[H_2O]}{\partial x} + \frac{\partial v[H_2O]}{\partial y} = \text{div}(\mu \text{grad}[H_2O]), \quad (3)$$

$$\frac{\partial[H_2SO_4]}{\partial t} + \frac{\partial u[H_2SO_4]}{\partial x} + \frac{\partial v[H_2SO_4]}{\partial y} = \text{div}(\mu \text{grad}[H_2SO_4]), \quad (4)$$

$$\frac{\partial[H_2SO_4]}{\partial t} = \sigma \cdot [SO_2] \cdot [H_2O], \quad (5)$$

де $[SO_2]$ – концентрація двоокису сірки; $[H_2O]$ – концентрація водяної пари; $[H_2SO_4]$ – концентрація сірчаної кислоти; u, v – компоненти вектору швидкості вітру, осереднені по висоті перенесення; $\mu=(\mu_x, \mu_y)$ – коефіцієнт турбулентної дифузії; $Q_i(t)$ – інтенсивність викиду забруднювача SO_2 ; $\delta(x-x_i)\delta(y-y_i)$ – дельта-функція Дірака; x_i, y_i – координати джерела викиду; σ – коефіцієнт, що враховує хімічний розпад SO_2 , $\sigma=0,027 \text{ год}^{-1}$ [4]; t – час. Вміст водяної пари в атмосфері приймаємо 50 %.

Рівняння (1), (3), (4) описують розсіювання викидів SO_2 , водяної пари H_2O і сірчаної кислоти H_2SO_4 під дією вітру і атмосферної дифузії. Рівняння (2), (5) враховують зміну концентрації SO_2 за рахунок утворення сірчаної кислоти H_2SO_4 і зміни її концентрації за рахунок хімічної трансформації SO_2 . Додатково враховується процес взаємодії SO_2 з аміаком, який міститься в повітряному середовищі промислового підприємства. Наявність аміаку в повітряному середовищі підприємства заводу задається згідно табл. 1. Для врахування взаємодії SO_2 з аміаком виконується інтегрування на кожному часовому кроці наступного рівняння:

$$\frac{\partial[SO_2]}{\partial t} = -\sigma_{H_2SO_4} \cdot [NH_3] \cdot [SO_2], \quad (6)$$

де $[NH_3]$ – концентрація аміаку в атмосферному повітрі, $\sigma_A = 0,003 \text{ год}^{-1}$.

Постановка крайових умов для даного рівняння розглянута в роботах В. К. Аргучінцева, Г. І. Марчука і А. А. Самарського Чисельне інтегрування рівнянь переносу домішки (1), (3), (4) проводиться за допомогою неявної різницевої схеми розщеплення, розробленої Самарським А.А.

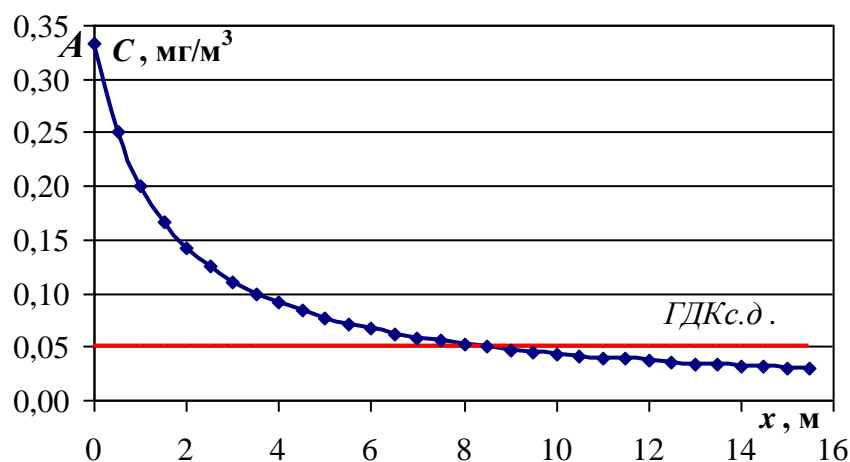


Рис. °2. Розподіл концентрації діоксиду сірки на території промислового майданчика доменного цеху Дніпропетровського металургійного заводу ДМЗ ЄВРАЗ

На рис. 2. представлено розподіл концентрації діоксиду сірки на території робочої зони 1 (доменного цеху), порівняння проводилося з гранично допустимим (середньо добовим) значенням концентрації, яке для діоксиду сірки складає 0,05 мг/м³. Видно, що на частині майданчика 8^ом спостерігається перевищення ГДКс.д., за точку початку відліку приймається початок промислового майданчика – точка А і в напрямку осі Ох розглядається територія майданчику довжиною 16 м.

Аналогічним образом, як для діоксиду сірки, було проведено розрахунки по оцінці рівня забруднення повітряного середовища на підприємстві ДМЗ ЄВРАЗ при викиді інших сполук, що наведено в табл.°1. Розподіл концентрації інших складових суміші має аналогічний характер, відмінність складає лише в кількісному значенні концентрації, яке визначається інтенсивністю джерела забруднення по досліджуваній речовині (табл. 1).

Показник фактичного або прогнозного забруднення атмосферного повітря однією речовиною розраховується за формулою:

$$ПЗ = \frac{C}{ГДК_{м.р.}} \cdot 100\% , \quad (7)$$

де ПЗ – показник забруднення; С – фактична або прогнозна концентрація конкретної речовини, мг/м³; ГДК_{м.р.} – значення гранично допустимої концентрації цієї речовини, мг/м³.

Для діоксиду сірки ГДК_{м.р.}=0,5 мг/м³, а максимальна концентрація С_{max}=0,3426 мг/м³, тоді показник забруднення ПЗ_{SO₂} =0,6852 =68,52°%.

Сумарний показник забруднення (ПЗ) сумішшю речовин розраховується за формулою:

$$ПЗ = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i \cdot K_i} \cdot 100\% , \quad (8)$$

де ПЗ – сумарний показник забруднення; С_і – значення фактичних або прогнозних концентрацій речовин, що входять до складу суміші, мг/м³; ГДК_і – значення гранично допустимих концентрацій (максимально разових) відповідних забруднюючих речовин, що входять до складу суміші, мг/м³; nn – кількість елементів суміші; К_і – значення коефіцієнтів, які враховують клас небезпечності відповідної речовини: для речовин 1-го класу (надзвичайно небезпечні) – 0,8; 2-го класу (високо небезпечні) – 0,9; 3-го класу (помірно небезпечні) – 1,0; 4-го класу (мало небезпечні) –1,1.

Було проведено розрахунки для сумарного показника забруднення відповідних забруднюючих речовин, що потрапляють в повітряне середовище з викидами підприємства ДМЗ ЄВРАЗ.

Аналіз проведених розрахунків показує, що сумарний показник забруднення ПЗ в розрахунковій точці А на території промислового майданчика доменного цеху Дніпропетровського металургійного заводу ДМЗ ЄВРАЗ перевищує за одиницю у 7,2 рази.

Такі обчислення було проведено для кожної точки виділеного промислового майданчику доменного цеху, середнє значення сумарного показника забруднення $ПЗ_{сер.}=6,4$.

Аналогічні дослідження було проведено і для промислового майданчику, що знаходиться біля прокатного цеху №1 – робоча зона 2 (рис.°1).

На Рис. 3. представлено розподіл концентрації діоксиду сірки на території промислового майданчику робочої зон 2 (прокатного цеху № 1). Видно, що на частині майданчика $10^{\circ}м$ спостерігається перевищення $ГДКс.д.$, за точку початку відліку приймається початок промислового майданчика – точка B і в напрямку осі Ox розглядається територія майданчику довжиною $16^{\circ}м$.

В цьому випадку максимальна концентрація $C_{max}=0,4033$ мг/м³, з урахуванням $ГДК_{м.р.}=0,5$ мг/м³, показник забруднення згідно формули (7) складає $ПЗ_{SO_2} = 0,8066 = 80,66 \%$.

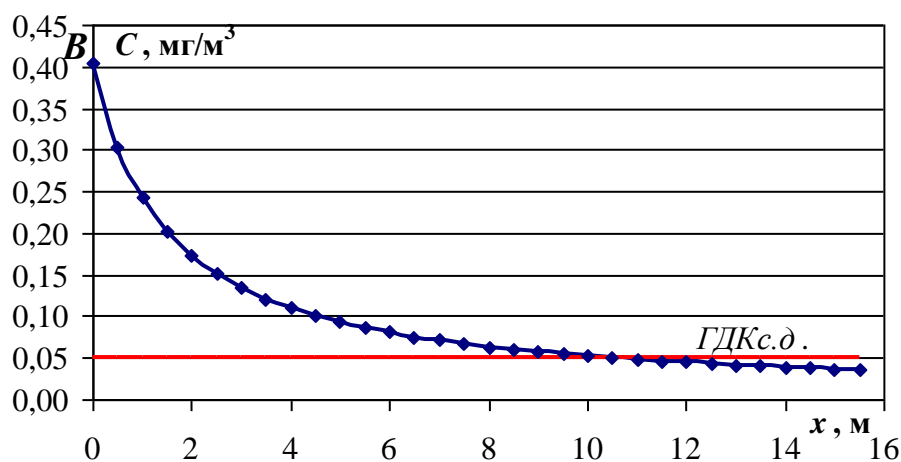


Рис. 3. Розподіл концентрації діоксиду сірки на території промислового майданчика прокатного цеху №1 Дніпропетровського металургійного заводу ДМЗ ЄВРАЗ

Під час досліджень виконано розрахунки сумарного показника забруднення $ПЗ$ в розрахунковій точці B на території промислового майданчика прокатного цеху №1 Дніпропетровського металургійного заводу ДМЗ ЄВРАЗ. Аналіз отриманих результатів показує, що сумарний показник забруднення перевищує за одиницю у 8,5 рази.

Такі обчислення було проведено для кожної точки виділеного промислового майданчику прокатного цеху № 1, середнє значення сумарного показника забруднення $ПЗ_{сер.}=7,2$.

В результаті розрахунків показника забруднення $ПЗ$ для 32 точок промислового майданчику доменного цеху було отримано сумарний показник забруднення $ПЗ_{сер.}=6,4$, а для 32 точок промислового майданчику прокатного цеху №1 $ПЗ_{сер.}=7,2$, тому середнє значення можна прийняти рівним 6,8 або 680%.

Для опису ризику хронічної інтоксикації (в тому числі канцерогенного ри-

зику), пов'язаного із забрудненням атмосферного повітря, часто використовується лінійно-експоненціальна модель [1, 3].

$$R_3 = 1 - \exp \left[-0,174 \cdot \left(\frac{C}{ГДК_{с.д.} \cdot K_3} \right)^\beta \cdot t \right], \quad (9)$$

де R_3 – ризик, C – концентрація речовини, що надає вплив протягом часу t ; β – коефіцієнт, що враховує особливості токсичних властивостей речовин; $ГДК_{с.д.}$ – гранично допустима середньодобова концентрація хімічної речовини в повітрі населених місць, $мг/м^3$. Речовина такої концентрації не повинна здійснювати на людину прямого або опосередкованого шкідливого впливу при невизначено тривалому вдиханні.

На рис. 4. представлено зміну ризику хронічних захворювань для працівників Дніпропетровського металургійного заводу ДМЗ ЄВРАЗ в робочих зонах 1 та 2 (рис. 1).

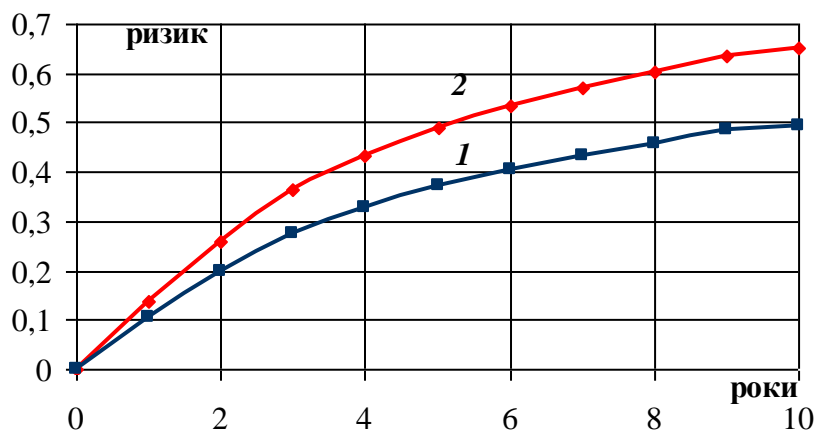


Рис. 4. Зміна ризику хронічної інтоксикації діоксидом сірки на території Дніпропетровського металургійного заводу ДМЗ ЄВРАЗ: 1 – доменний цех; 2 – прокатний цех №1

Аналіз показує, що через один рік ризик хронічної інтоксикації діоксидом сірки робітників промислового майданчика робочої зони 1 складає 11 %, а через 10 років 49 %, тоді як для робітників промислового майданчику робочої зони 2 ризик захворювання через рік складає 14 %, а через 10 років 65 %. Можна бачити, що ризик захворювань на промисловому майданчику другої робочої зони більше в порівнянні з величиною ризику захворювання робітників промислового майданчику першої робочої зони, оскільки територія цього майданчику підпадає під вплив більшої кількості джерел забруднення з урахуванням вказаного напрямку вітру.

Висновки. Можна узагальнити результати досліджень, виконаних в даній роботі, а саме:

- розроблено метод чисельного розрахунку концентрації домішки в робочих зонах на майданчиках промислового підприємства на основі двомірного рівняння масопереносу з урахуванням дії декількох джерел забруднення;

- метод дозволяє проводити розрахунок концентрації з урахуванням взаємного впливу різної кількості джерел забруднення та хімічної трансформації домішки в атмосферному повітрі;

- проведено дослідження методу на основі оцінки показника забруднення в робочих зонах на промислових майданчиках та на території підприємства як для конкретної домішки, так з урахуванням комплексу сполук, що потрапляють в повітря з викидами промислового підприємства;

- метод дозволяє оцінити вплив величини і напрямку швидкості вітру, вертикального коефіцієнту дифузії на розсіювання шкідливих речовин в повітряному середовищі.

- на основі методу створено програмний пакет, що дозволив провести ряд обчислювальних експериментів з розрахунку концентрації забруднення та ризику виникнення хронічних захворювань для робітників на промислових майданчиках підприємства.

Даного класу розрахунку є необхідним інструментом для діагностування, прогнозування та моделювання умов праці при проектуванні робочих місць на промислових майданчиках підприємства.

Перелік посилань

1. Алымов, В.Т., & Тарасова Н.П. (2004). *Техногенный риск*. Москва: ИКЦ «Академкнига».
2. Згуровский, М.З., Скопецкий, В.В., Хрущ, В.К., & Беляев, Н.Н. (1997). *Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде*. Київ: Наукова думка.
3. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря: методичні рекомендації МОЗ (2007) *Наказ №184 від 13.04.2007 р.* Київ.
4. Biliaiev, M.M., Rusakova, T.I., Kolesnik, V.Ye., & Pavlichenko, A.V. (2017). Determination of areas of atmospheric air pollution by sulfur oxide emissions from mining and metallurgical and energy generating enterprises. *Науковий вісник Національного гірничого університету*, 3, 100–106.
5. Shao, C., Yang, J., Tian, X., Ju, M., & Huang, L. (2013). Integrated Environmental Risk Assessment and Whole-Process Management System in Chemical Industry Parks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(4), 1609–1630.
doi:10.3390/ijerph10041609
6. Gallagher, J., Gill, L. W., & McNabola, A. (2013). The passive control of air pollution exposure in Dublin, Ireland: A combined measurement and modelling case study. *Science of The Total Environment*, 458-460, 331–343.
doi:10.1016/j.scitotenv.2013.03.079
7. Gibson, M. D., Kundu, S., & Satish, M. (2013). Dispersion model evaluation of PM_{2.5}, NO_x and SO₂ from point and major line sources in Nova Scotia, Canada using AERMOD Gaussian plume air dispersion model, *Atmospheric Pollution Research*, 4(2), 157–167.
doi:10.5094/apr.2013.016
8. Nechausov, A.S. (2016) The information model of the system for local atmospheric air pollution monitoring. *Системи обробки інформації*, 2(139), 190–195.
9. Shupranova, L. V., Khlopova, V. M., & Kharytonov, M. M. (2013). Air Pollution Assessment in the Dnepropetrovsk Industrial Megapolice of Ukraine. *NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security*, 101–104.
doi:10.1007/978-94-007-5577-2_17
10. Thepanondh, S., & Toruksa, W. (2011). Proximity analysis of air pollution exposure and its potential risk. *Journal of Environmental Monitoring*, 13(5), 1264.
doi:10.1039/c0em00486c

АНОТАЦІЯ

Целью работы. Расчет суммарного показателя загрязнения и риска возникновения хронической интоксикации рабочих в зависимости от уровня концентрации вредных веществ на площадках промышленного предприятия.

Методы исследования. Для моделирования используется двухмерное уравнение массопереноса усредненное по высоте переноса примеси, описывающее рассеивания выбросов диоксида серы, водяного пара и серной кислоты под действием ветра и атмосферной диффузии. Также используются уравнения, учитывающие изменение концентрации диоксида серы за счет образования серной кислоты и изменения ее концентрации за счет химической трансформации диоксида серы. Дополнительно учитывается процесс взаимодействия диоксида серы с аммиаком, который содержится в воздушной среде промышленного предприятия. Для численного интегрирования уравнений массопереноса используется неявная разностная схема.

Результаты. Проведен расчет показателя загрязнения в рабочих зонах на промышленных площадках и на территории предприятия как для конкретной примеси, так и с учетом комплекса соединений, попадающих в воздух с выбросами промышленного предприятия. Установлено, что среднее значение показателя загрязнения превышает в 6,8 раз допустимого. Рассчитано риск хронической интоксикации диоксидом серы на территории завода ДМЗ ЕВРАЗ, через год риск хронической интоксикации диоксидом серы работников предприятия в среднем составляет 12%, а через 10 лет 57%.

Научная новизна. Разработан метод численного расчета концентрации примеси в рабочих зонах на площадках промышленного предприятия на основе двухмерного уравнения массопереноса с учетом взаимного влияния разного количества источников загрязнения и химической трансформации примесей в атмосферном воздухе.

Практическая значимость. Создан комплекс программ, позволяющий проводить вычислительные эксперименты при оценке безопасных условий труда на промышленных площадках и общего уровня загрязнения атмосферного воздуха предприятия.

Ключевые слова: концентрация загрязнения, промышленная площадка, показатель загрязнения, риск интоксикации.

ABSTRACT

Purpose. Calculation of the total pollution indicator and the risk of chronic intoxication of workers depending on the level of concentration of harmful substances at the sites of an industrial enterprise.

The methodology. The two-dimensional mass transfer equation averaged over the height of the impurity transfer, describing the dispersion of emissions of sulfur dioxide, water vapor and sulfuric acid under the action of wind and atmospheric diffusion, is used for modeling. Equations are also used that take into account changes in the concentration of sulfur dioxide due to the formation of sulfuric acid and changes in its concentration due to chemical transformation of sulfur dioxide. Additionally, the process of interaction of sulfur dioxide with ammonia, which is contained in the air environment of an industrial enterprise, is taken into account. For the numerical integration of the mass transfer equations, an implicit difference scheme is used.

Findings. The calculation of the pollution indicator in the working areas at industrial sites and on the enterprise's territory was carried out both for a specific impurity and taking into account the complex of compounds entering the air with emissions from an industrial enterprise. It is established that the

average value of the pollution index exceeds 6,8 times the permissible value. The risk of chronic intoxication with sulfur dioxide on the territory of the plant DMZ EVRAZ was calculated, after a year the risk of chronic intoxication with sulfur dioxide of the company's employees averages 12%, and after 10 years 57%.

The originality. A method has been developed for the numerical calculation of the impurity concentration in the working areas at the sites of an industrial enterprise based on the two-dimensional mass transfer equation, taking into account the mutual influence of different amounts of pollution sources and chemical transformation of impurities in atmospheric air.

Practical implication. A set of programs has been created that allows computational experiments to be carried out in assessing safe working conditions at industrial sites of an enterprise.

Keywords: *pollution concentration, industrial site, pollution rate, risk of intoxication.*