

ОЦІНКА РИЗИКУ ВПЛИВУ ВИРОБНИЧОГО ПИЛУ, ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН І ДРІБНОДИСПЕРСНИХ ЧАСТИНОК, ЩО ПРИСУТНІ В ПОВІТРІ РОБОЧОЇ ЗОНИ, НА ПРАЦІВНИКІВ МЕТАЛУРГІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Дмитруха Н. М.¹, Шаравара Л. П.², Козлов К. П.¹

¹Державна установа «Інститут медицини праці імені Ю. І. Кундієва Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна

²Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, м. Запоріжжя, Україна

Вступ. Металургійна промисловість є однією з провідних галузей в Україні, працівники якої піддаються постійному впливу шкідливих чинників виробничого середовища, відносяться до категорії, що мають високі рівні професійних і виробничо обумовлених захворювань. Існуючі сьогодні в цій галузі небезпеки з огляду на особливості технологічних процесів не вдається повністю усунути, тому актуальним є оцінка ризику їхнього впливу на здоров'я працівників.

Мета дослідження — оцінка ризику впливу виробничого пилу, хімічних речовин і дрібнодисперсних частинок (РМ), що присутні в повітрі робочої зони основних цехів металургійного підприємства, на здоров'я працівників.

Матеріали та методи дослідження. У повітрі робочої зони визначено вміст виробничого пилу, хімічних речовин за загально визначеними методами та РМ за допомогою п'єзобалансного вимірювача масової концентрації респірабельного пилу — KANOMAX 3521. Для оцінки ризиків впливу шкідливих чинників виробничого середовища металургійного підприємства розраховували коефіцієнт небезпеки (НҚ) та сумарний неканцерогенний ризик (НІ) згідно з Методичними рекомендаціями «Оцінка ризиків для здоров'я працівників від забруднення повітря робочої зони хімічними речовинами», які затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 02.03.2024 № 358.

Результати. Сумарний НІ для здоров'я працівників агломераційного цеху за виконаними розрахунками становив 15,4, доменного цеху — 43,5, мартенівського цеху — 25,4. Найбільший внесок як у сумарну величину НІ, так і у вплив на органи дихання має виробничий пил, провідну роль серед хімічних небезпечних речовин відіграють оксиди марганцю та заліза (ІІІ). НҚ за впливу РМ₁₀, що присутні в повітрі робочої зони мартенівського цеху, становив 18,6, для працівників доменного цеху — 38,0, для працівників агломератного цеху — 25,4, тоді як для працівників заводоуправління — 1,2. За впливу РМ₄ для працівників мартенівського цеху НҚ становив 26,4, доменного цеху — 48,8, агломераційного цеху — 31,6, а для працівників відділу заводоуправління — 2,0. Отже, ризик впливу РМ₄ і РМ₁₀, що присутні в повітрі робочої зони працівників основних цехів металургійного підприємства, не можна вважати допустимим, оскільки існує ймовірність виникнення шкідливих ефектів. Водночас більш небезпечним є вплив РМ розміром до 4 мкм.

Висновки. Працівники основних цехів металургійного підприємства в процесі трудової діяльності зазнають впливу виробничого пилу та хімічних речовин (оксид марганцю та заліза (ІІІ), концентрації яких перевищували гранично допустимі концентрації. Ризики їхнього впливу, а також РМ₄ і РМ₁₀, що присутні в повітрі робочої зони, за розрахованими НҚ та сумарного НІ є недопустимими, що вимагає проведення контролю та заходів безпеки.

Ключові слова: металургійне підприємство, виробничий пил, хімічні чинники, завислі дрібнодисперсні частинки, оцінка професійного ризику

Вступ

Металургійна промисловість є однією з провідних галузей в Україні, працівники якої піддаються постійному впливу шкідливих чинників виробничого середовища та мають високі рівні професійних і виробничо обумовлених захворювань. Особливості

технологічних процесів металургійного виробництва не дозволяють повністю виключити вплив шкідливих чинників виробничого середовища на працюючих, що відносить їх до групи підвищеного ризику [1, 2].

Сучасні реалії повномасштабного вторгнення рф в Україну, окупація територій, активні бойові дії,

обстріли промислових об'єктів сприяють погіршенню ситуації й ще більше загострюють цю проблему.

Виявлення причинно-наслідкових зв'язків захворювань з умовами праці робітників є важливою задачею медицини праці, успішне вирішення якої потребує системного підходу на основі методології розрахунків професійного ризику. Оцінка професійного ризику ґрунтується на загальноприйнятній методології, яка у свою чергу складається з декількох етапів, а саме: оцінки небезпеки, оцінки впливу, оцінки «доза-ефект», характеристики ризику, управління ризиками та надання рекомендацій. На підставі такої оцінки можна ухвалити рішення та вжити заходів щодо підвищення безпеки [3, 4].

Аналіз застосованих різними авторами підходів щодо оцінки та управління професійними ризиками серед працівників металургійних підприємств показав, що сьогодні в основному проводиться вивчення окремих факторів професійних ризиків, що призводить до неповної оцінки та використання малоефективної системи управління ризиками [5].

У роботах [6, 7] визначено закономірності формування ризиків розвитку професійної пилової патології легень і хвороб системи кровообігу в металургів. Для розрахунків ризиків були проаналізовані рівні захворюваності з тимчасовою втратою працездатності (ЗТВП), результати періодичних медичних оглядів і професійної захворюваності (ПЗ) металургів за 10 років. Оцінка ризику була проведена згідно з міжнародною методикою та розрахунком показників абсолютного ризику ($AR = \text{кількість хворих} / \text{загальна кількість працюючих}$), відносного ризику ($RR = AR_{\text{осн.}} / AR_{\text{контр.}}$), довірчого інтервалу відносного ризику (СІ 95 %) й етіологічної долі професійних факторів ($EF = (RR - 1) / RR \cdot 100 \%$).

Встановлено, що за показником AR розвитку професійної патології легень в основних цехах сучасного металургійного виробництва на першому місці стоїть мартенівський цех ($AR = 0,0079$, на другому — доменний цех ($AR = 0,0075$) і на третьому — конверторний та агломераційний цехи ($AR = 0,0071$). На останньому ранговому місці за величиною AR знаходиться прокатний цех ($AR = 0,0067$). У групі контролю $AR = 0,0056$ рівень відносного ризику (RR) захворюваності на професійну пилу патологію легень був найвищим у мартенівському ($RR = 3,21$ при СІ 95 % 1,85–5,69) й доменному ($RR = 3,05$ при СІ 95 %

1,95–4,78) цехах. На другому місці був конверторний цех ($RR = 2,85$ при СІ 95 % 1,85–4,37), на третьому — агломераційний цех ($RR = 2,83$ при СІ 95 % 1,60–5,03) і на четвертому — прокатний цех ($RR = 2,75$ при СІ 95 % 1,58–4,17). На підставі розрахунків автори дійшли висновку, що найвищі рівні ризику професійної патології легень виявлені в мартенівському, доменному та конверторному цехах, де має місце вплив на працівника комплекс шкідливих виробничих факторів, що перевищують гранично допустимі концентрації (ГДК) та гранично допустимі рівні (ГДР).

В інших дослідженнях [8] визначено високі показники RR розвитку захворювань легень у мартенівському ($RR = 3,04$ при СІ 95 % 2,83–3,26), механічному ($RR = 2,52$ при СІ 95 % 2,33–2,73), доменному ($RR = 2,27$ при СІ 95 % 2,07–2,48), агломераційному ($RR = 2,0$ при СІ 95 % 1,77–2,09) цехах, що мають середню та високу ступінь виробничої обумовленості. Питома вага захворювань, обумовлених впливом шкідливих чинників виробничого середовища, серед працівників основних і допоміжного цехів ($AR_{\text{е}} 47,26 \%$ — $95,1 \%$) була більшою порівняно з населенням у цілому ($PAR 3,56 \%$ — $56,02 \%$), що підтверджує вплив шкідливих умов праці на здоров'я працівників металургійного виробництва. Розрахований індекс професійного ризику ($I_{\text{пз}}$) показав, що в основних цехах підприємства 53,3 % професій мали найвищу та дуже високу категорію професійного ризику, при яких неможливо виконувати роботи до зменшення рівня ризику. До найвищої категорії ризику віднесена пилу патологія легень, що мала високий показник $I_{\text{пз}}$ (до 0,5).

Одним з несприятливих чинників металургійного підприємства є виробничий пил, який здатний осідати на слизовій оболонці носа, трахеї, бронхів і викликати в працівників хронічний бронхіт, пневмоконіози, алергічні реакції, онкологічні захворювання. Традиційно гігієнічна оцінка умов праці включає визначення масової концентрації пилу, у той самий час такі характеристики, як розмір частинок, їхній хімічний склад мають важливе значення при оцінці впливу на здоров'я працюючих [9].

Сьогодні досліджено зважені дрібнодисперсні частинки (РМ), що викидаються металургійними виробництвами. Ці частинки можуть складатися з суміші токсичних забруднювачів, таких як леткі органічні сполуки та важкі та перехідні метали, і

можуть спричинити несприятливий вплив на здоров'я працівників і населення, що проживає навколо цих підприємств [10].

Останніми роками встановлено, що захворювання бронхо-легеневої та серцево-судинної систем у населення промислових регіонів обумовлені впливом РМ, що мають діаметр менше ніж 2,5 мкм ($PM_{2,5}$) і 10 мкм (PM_{10}) [11–13].

Токсикологічні дослідження показали, що ультрадисперсні частинки промислового пилу більш токсичні, вони поводяться по-іншому в дихальній системі, можуть осідати в області альвеол і взаємодіяти з епітеліальними клітинами [14].

Мета дослідження — оцінка ризику впливу виробничого пилу, хімічних речовин та РМ, що присутні в повітрі робочої зони основних цехів металургійного підприємства, на здоров'я працівників.

Матеріали та методи дослідження

Оцінку ризиків впливу шкідливих чинників виробничого середовища металургійного підприємства виконано згідно з Методичними рекомендаціями «Оцінка ризиків для здоров'я працівників від забруднення повітря робочої зони хімічними речовинами», які затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 02 березня 2024 року № 358 [14]. Оцінку ризику здійснювали за наступними етапами:

- ідентифікація небезпеки;
- оцінка залежності «доза—ефект»;
- оцінка експозиції;
- характеристика ризику.

Ідентифікація небезпеки полягала у виявленні потенційно шкідливих речовин у повітрі робочої зони, оцінці взаємозв'язку між фактором і порушеннями здоров'я людини, виявлення можливих шкідливих ефектів і їхнього прояву в працівників за впливу цих речовин, надійність даних щодо рівнів хімічного забруднення повітря робочої зони. Основною задачею етапу ідентифікації небезпеки є вибір пріоритетних індикаторних хімічних речовин, вивчення яких дозволило б з певним ступенем надійності охарактеризувати рівні ризику порушень показників здоров'я та джерело його виникнення.

Для ідентифікації небезпеки проведено гігієнічну оцінку умов праці в основних цехах металургійного підприємства. У повітрі робочої зони визначено вміст виробничого пилу, хімічних речовин, РМ. Дослідження зазначених чинників виробничого

середовища проведено разом з працівниками відомчої лабораторії підприємства та співробітниками кафедри гігієни та екології Запорізького державного медико-фармацевтичного університету. Вимірювання вмісту PM_{4} і PM_{10} виконано за допомогою п'єзобалансного вимірювача масової концентрації респірабельного пилу KANOMAX 3521 [16].

Наступним етапом є оцінка залежності «доза—ефект» — встановлення зв'язку між дозою/концентрацією хімічної речовини та випадками негативних ефектів у здоров'ї популяції, яка підпадає під її вплив. Методологія оцінки ризику припускає, що для неканцерогенних речовин і канцерогенів негенотоксичної дії передбачається наявність порогових рівнів, нижче від яких шкідливі ефекти не виникають. Для оцінки НІ параметрами слугують референтні рівні впливу — референтні дози (RfD) та концентрації (RfC), а також параметри залежності «концентрація—ефект», які отримані в ході епідеміологічних досліджень. Кінцевими характеристиками оцінки експозиції на основі RfD і RfC є HQ :

$$HQ = C / RfC,$$

де C — середня концентрація сполуки в повітрі робочої зони, mg/m^3 ; RfC — референтна (безпечна) концентрація, mg/m^3 .

За RfC як еквівалент правила ГДК або максимальною недіючою концентрацією (МНК), які встановлені за критерієм прямого ефекту на здоров'я.

Перевищення RfD не обов'язково пов'язане з розвитком шкідливого ефекту, але що вища доза впливу та що більше вона перевищує референтну, то більша ймовірність його виникнення, однак оцінити цю ймовірність за даного методичного підходу неможливо. Якщо RfD не перевищена, то ніяких регулюючих втручань не потрібно. У випадку, коли вплив речовини перевищує RfD , то виникає небезпека, величину якої можна оцінити лише за допомогою вивчення залежності «доза—відповідь» і спектра шкідливих ефектів.

Оцінка експозиції полягає у визначенні концентрацій хімічних сполук у повітрі робочої зони, встановленні терміну дії, частоти та загальної тривалості їхнього впливу, оцінці чисельності популяції, яка знаходиться або вірогідно може знаходитись під впливом цих шкідливих чинників. Кількісна характеристика експозиції передбачає визначення концентрації хімічних сполук, що впли-

вають на працівників, орієнтуючись на дані моніторингу їх у повітрі робочої зони.

Характеристику ризику розвитку неканцерогенних ефектів за інгаляційного впливу окремих хімічних сполук і завислих частинок здійснювали шляхом порівняння фактичних рівнів експозиції з безпечними (референтними) рівнями впливу та визначенням HQ . Якщо розрахований $HQ \leq 1$, то можливість розвитку в працівника критичних ефектів за щоденного надходження речовини незначна, і такий вплив оцінювали як допустимий. У випадку перевищення $HQ > 1$ вірогідність виникнення шкідливих ефектів за впливу цих чинників зростає пропорційно збільшенню HQ .

Характеристику ризику розвитку неканцерогенних ефектів за комбінованого інгаляційного впливу хімічних речовин виконано на основі розрахунку індексу HI за формулою:

$$HI = \sum HQ_i,$$

де HQ_i — HQ окремих компонентів суміші хімічних речовин.

Розрахунок індексів небезпеки виконано для

сполук, які впливають на одну й ту саму систему організму працюючого (або орган). Однак, якщо вплив окремої сполуки може бути допустимим, то комбінований вплив сполук, які впливають на одну систему (орган), може призводити до порушень у цій системі або органі [15].

Результати дослідження та їх обговорення

При дослідженні повітря робочої зони на робочому місці агломератників був визначений виробничий пил, концентрація якого перевищувала ГДК у 11,2 разу, а також хімічні речовини (сірки діоксид, вуглецю оксид, аміак, азоту діоксид), уміст яких був у межах нормативних значень. Концентрації оксидів марганцю та заліза (III) (у перерахунку на залізо) були вищими за ГДК у 1,6 і 3,0 разу. Встановлено, що зазначені хімічні речовини діють на працюючих протягом 93,5 % тривалості робочої зміни. На основі аналізу результатів гігієнічної оцінки умови праці агломератника за вмістом виробничого пилу відповідають 3 класу 4 ступеня шкідливості, а за вмістом хімічних речовин — 3 класу 1 ступеня шкідливості [17]. Розраховані HQ для всіх перерахованих чинників наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Концентрації виробничого пилу та його складових у повітрі робочої зони, розрахований коефіцієнт небезпеки та некарцерогенний ризик з урахуванням критичних органів і систем на робочому місці агломератника

Речовини, які виділяються в повітря робочої зони	Концентрація, мг/м ³		Критичні органи	Коефіцієнт небезпеки
	середня, М ± m	гранично допустима с. д.		
Виробничий пил	44,6 ± 3,21	4,0	Органи дихання	11,5
Сірки діоксид	5,06 ± 0,01	10,0	Органи дихання, печінка, нирки	0,5
Вуглецю оксид	6,97 ± 0,08	20,0	Центральна нервова система, серцево-судинна система, кров	0,4
Аміак	5,56 ± 0,11	20,0	Органи дихання	0,3
Азоту діоксид	0,47 ± 0,08	2,0	Органи дихання	0,2
Марганцю оксид	0,08 ± 0,005	0,05	Центральна нервова система	1,6
Заліза (III) оксид (у перерахунку на залізо)	17,74 ± 0,38	6,0	Органи дихання, серцево-судинна система	2,9
Сумарний неканцерогенний ризик			HI _{загальний}	15,4
			HI _{органи дихання}	13,3
			HI _{центральна нервова система}	1,9
			HI _{нирки}	0,5
			HI _{кров}	0,4
			HI _{серцево-судинна система}	3,3

Як видно з даних таблиці 1, для виробничого пилу HQ становить 11,5, для сірки діоксиду — 0,5, вуглецю оксиду — 0,4, для аміаку — 0,3, для азоту діоксиду — 0,2, для марганцю оксиду — 1,6 та заліза (III) оксиду — 2,9. Отримані дані дозволяють висновувати, що HI для здоров'я працівників агломеративного цеху за впливу марганцю оксиду та заліза (III) оксиду в повітрі робочої зони не можна вважати допустимим, існує ймовірність виникнення шкідливих ефектів. У той самий час ризик для здоров'я працівників за впливу сірки діоксиду, вуглецю оксиду, аміаку та азоту діоксиду можна вважати допустимим, оскільки HQ не перевищує одиниці.

У таблиці 1 також наведено результати розрахунку сумарного ризику з урахуванням критичних органів і систем, які в першу чергу зазнають негативного впливу хімічних речовин, що присутні на робочому місці агломератника. За розрахунками $HI_{\text{загальний}} = 15,4$. Встановлено, що найбільший внесок, як у сумарну величину HI, так і у ризик впливу на органи дихання, має виробничий пил, провідну роль серед хімічних небезпечних речовин відіграють оксиди марганцю та заліза (III). Найменшу роль у формуванні сумарного ризику має азоту діоксид. Більшою мірою від впливу зазначених хімічних речовин страждає бронхо-легенева, серцево-судинна та центральна нервова системи працівників, тоді як їхній вплив на кров і нирки є незначним. Отримані дані є основою для обґрунтування заходів щодо зменшення надходження в повітря робочої зони агломератника виробничого пилу, оксидів марганцю та заліза (III).

За результатами гігієнічної оцінки умов праці працівники доменного цеху в усі пори року піддаються дії інтенсивного інфрачервоного випромінювання, джерелом якого є розплавлений чавун і шлак, поверхні доменних печей. На ливарних дворах також присутні джерела пиловиділення, а саме аерозоль конденсації над поверхнею розплавленого чавуну, який містить оксиди заліза та графіт. У процесі роботи в повітря робочої зони горнового доменної печі виділяються виробничий пил і пил доменного шлаку, уміст яких у 8,3 і 5,7 разу перевищував ГДК. Серед хімічних речовин у повітрі робочої зони визначено: сірки діоксид, нафталін, вуглецю оксид, азоту діоксид, концентрації яких були в межах ГДК. Перевищення нормативних значень відзначено для алюмінію оксиду (у 25,5 разу), заліза (III) оксиду (у 1,5 разу) та марганцю оксиду (у 1,2 разу) (табл. 2). Встановлено, що визначені

концентрації хімічних речовин і пилу діють на працівників доменного цеху протягом 83,7 % тривалості робочої зміни. Відповідно до отриманих результатів умови праці горнового доменної печі віднесено до 3 класу 4 ступеня шкідливості [17].

Виконані розрахунки HQ для працівників доменного цеху показали, що для виробничого пилу HQ складає 8,3, для пилу доменного — 5,7, для сірки діоксиду — 0,8, для вуглецю оксиду — 0,5, для алюмінію оксиду — 25,5, для марганцю оксиду — 1,2 та заліза (III) оксиду — 1,5 (табл. 2).

Розрахунки сумарного HI показали, що $HI_{\text{загальний}}$ складає 43,5. Найбільший внесок як у сумарну величину HI, так і в ризик впливу на органи дихання, має виробничий пил і пил доменного шлаку. Провідне місце серед хімічних речовин посідають оксид алюмінію, оксиди заліза та марганцю. Найменшу роль у формуванні сумарного ризику відіграє нафталін. Більшою мірою від впливу зазначених хімічних речовин страждають органи дихання, серцево-судинна та центральна нервова системи. Вплив хімічних чинників на кров і нирки є менш значимим. Ці дані є основою для обґрунтування заходів щодо зменшення надходження виробничого пилу, оксидів алюмінію, заліза та марганцю в повітря робочої зони доменного цеху.

До несприятливих факторів виробничого середовища мартенівського цеху відноситься виробничий пил, уміст якого перевищував значення ГДК у 4,5 разу. Серед хімічних речовин у повітрі робочої зони визначено підвищені концентрації марганцю оксиду (у 2,2 разу) та магнезиту ($MgCO_3$) (у 16,4 разу) (табл. 3). За даними виконаних гігієнічних досліджень умови праці сталеварів мартенівського цеху за вмістом виробничого пилу відповідають 3 класу 2 ступеня шкідливості, а за вмістом хімічних речовин — 3 класу 1 ступеня шкідливості [15].

Для працівників мартенівського цеху розрахунки HQ та сумарного HI виконані за даними, що отримані на робочому місці сталевара мартенівської печі та його підручного з урахуванням критичних органів і систем, які зазнають негативного впливу хімічних речовин (табл. 3 і 4).

Так, HQ на робочому місці сталевара мартенівської печі були наступні: для виробничого пилу — 4,5, для сірки діоксиду — 0,6, для вуглецю оксиду — 0,5, для нікелю та його сполук — 0,6, для азоту діоксиду — 0,7, для марганцю оксиду — 2,2 і магнезиту — 16,4.

Таблиця 2

Концентрації виробничого пилу та його складових у повітрі робочої зони, розрахований коефіцієнт небезпеки та некарценогенний ризик з урахуванням критичних органів і систем на робочому місці горнового доменної печі

Речовини, які виділяються в повітря робочої зони	Концентрація, мг/м ³		Критичні органи	Коефіцієнт небезпеки
	середня M ± m	гранично допустима с. д.		
Виробничий пил	33,29 ± 2,63	4,0	Органи дихання	8,3
Пил доменного шлаку	34,26 ± 2,90	6,0	Органи дихання	5,7
Сірки діоксид	7,91 ± 0,39	10,0	Органи дихання, печінка, нирки	0,8
Вуглецю оксид	9,34 ± 0,12	20,0	Центральна нервова система, серцево-судинна система, кров	0,5
Нафталін	2,55 ± 0,23	20	Органи дихання	0,1
Алюмінію оксид	51,07 ± 6,70	2	Органи дихання	25,5
Марганцю оксид	0,06 ± 0,01	0,05	Центральна нервова система	1,2
Заліза (III) оксид (у перерахунку на залізо)	8,74 ± 0,43	6,0	Органи дихання, серцево-судинна система	1,5
Сумарний неканцерогенний ризик			НІ _{загальний}	43,5
			НІ _{органи дихання}	13,5
			НІ _{центральна нервова система}	1,7
			НІ _{нирки}	0,8
			НІ _{кров}	0,5
			НІ _{серцево-судинна система}	1,9

За розрахунками сумарний $NI_{\text{загальний}}$ складав 25,43. Найбільший внесок як у сумарну величину NI , так і у ризик впливу на органи дихання справляли магнезит і марганцю оксид. Найменшу роль у формуванні сумарного ризику відіграє вуглецю оксид. Більшою мірою від впливу зазначених хімічних речовин страждають органи дихання ($NI = 22,7$) та серцево-судинна система ($NI = 17,5$), меншою мірою – центральна нервова системи ($NI = 3,31$). Вплив хімічних чинників на кров і нирки є менш значимим ($NI = 0,6$ і $NI = 1,1$ відповідно) (табл. 3).

Розраховані HQ на робочому місці підручного сталевара мартенівської печі становили: для виробничого пилу – 8,4, для сірки діоксиду – 0,7, для вуглецю оксиду – 0,5, для азоту діоксиду – 0,6, для марганцю оксиду – 2,2 і заліза (III) оксиду – 1,7.

За розрахунками сумарного ризику для підручного сталевара $NI_{\text{загальний}}$ становив 8,9. Найбільший внесок як у сумарну величину NI , так і впливу на органи склав виробничий пил, оксиди марганцю та заліза (III). Найменшу роль у формуванні сумарного ризику відіграв вуглецю оксид. Більшою мірою

від впливу зазначених хімічних речовин страждають органи дихання ($NI = 6,3$), центральна нервова система ($NI = 3,3$), потім нирки ($NI = 2,7$) та серцево-судинна система ($NI = 2,6$), тоді як вплив на кров є незначним (табл. 4).

Отримані дані свідчать, що сумарний NI для здоров'я підручних сталеварів мартенівського цеху за впливу виробничих чинників є менш небезпечним. Імовірність шкідливого впливу виробничого пилу, марганцю оксиду та заліза оксиду на здоров'я підручного сталевара є меншою, ніж для сталевара, NI за впливу інших чинників можна вважати допустимим, оскільки HQ не перевищує одиниці.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) небезпечними для здоров'я є PM_{10} , що надходять у повітря робочої зони під час плавлення чавуну та сталі. За рахунок малого розміру PM здатні проникати в грудний відділ дихальної системи та викликати негативний вплив на здоров'я працюючих. Встановлено, що верхні дихальні шляхи вражаються в основному PM_{10} , а легеневі альвеоли – $PM_{2,5}$ [18–20].

Таблиця 3

Концентрації виробничого пилу та його складових у повітрі робочої зони, розрахований коефіцієнт небезпеки та некарцерогенний ризик з урахуванням критичних органів і систем на робочому місці сталевара мартенівської печі

Речовини, які виділяються в повітря робочої зони	Концентрація, мг/м ³		Критичні органи	Коефіцієнт небезпеки
	середня, М ± m	гранично допустима с. д.		
Виробничий пил	18,03 ± 0,98	4,0	Органи дихання	4,5
Сірки діоксид	5,52 ± 0,12	10,0	Органи дихання, печінка, нирки	0,6
Вуглецю оксид	10,26 ± 0,29	20,0	Центральна нервова система, серцево-судинна система, кров	0,5
Нікель і його сполуки	0,030 ± 0,004	0,05	Органи дихання, центральна нервова система, кров, імунна система	0,6
Нітрогену діоксид	1,33 ± 0,14	2,0	Органи дихання	0,7
Марганцю оксид	0,11 ± 0,01	0,05	Центральна нервова система	2,2
Магнезит (MgCO ₃)	16,41 ± 3,70	1,0	Органи дихання, серцево-судинна система	16,4
Сумарний неканцерогенний ризик			НІ _{загальний}	25,4
			НІ _{органи дихання}	22,7
			НІ _{центральна нервова система}	3,3
			НІ _{нирки}	0,6
			НІ _{кров}	1,1
			НІ _{серцево-судинна система}	17,5

З урахуванням зазначеного, оцінка ризику несприятливого впливу РМ на організм працівників металургійного підприємства є вельми важливим завданням.

Характеристику ризику розвитку неканцерогенних ефектів за інгаляційного впливу РМ розміром до 4 мкм і до 10 мкм здійснювали шляхом порівняння фактичних рівнів експозиції з рекомендованими ВООЗ граничними концентраціями, оскільки небезпечні рівні для них не встановлені. Для РМ₁₀ рекомендована гранична концентрація (РГК) становить 50 мкг/м³ (0,05 мг/м³), для РМ_{2,5} — 25 мкг/м³ (0,025 мг/м³) [18]. НQ за впливу РМ визначено за вищезазначеними методичними рекомендаціями [15]. Оскільки для РМ₄ рекомендована величина відсутня, то для розрахунків нами була взята РГК для РМ_{2,5} (0,025 мг/м³).

За виконаними розрахунками за впливу РМ₁₀, що присутні в повітрі робочої зони мартенівського цеху, НQ становив у середньому 18,6, водночас для сталеварів і їхніх підручних — 19,0 і 18,2 відповідно. Для працівників доменного цеху середнє значення

НQ становило 38,2 (для горнового доменної печі — 25,6 та машиніста шихтоподачі — 43,0), для працівників агломераційного цеху — 25,4 (для агломератника — 19,8 та дозувальника шихтового відділення — 45,2). Найменші значення НQ були розраховані для працівників відділу заводу управління (1,2) (табл. 5).

НQ за впливу РМ₄ для працівників мартенівського цеху в середньому становив 26,4, для сталевара — 22,4, а його підручного — 34,4. Для працівників доменного цеху середнє значення НQ становило 48,8, для горнового доменної печі — 20,8, а машиніста шихтоподачі — 44,0. Для працівників агломераційного цеху НQ в середньому становив 31,6 для агломератника — 26,4, а для дозувальника шихтового відділення майже вдвічі більше — 51,6. Найменший НQ був визначений для працівників відділу заводу управління (НQ = 2,0) (табл. 5).

Отримані дані свідчать, що НІ для здоров'я працівників основних цехів металургійного виробництва за вмістом зважених часток РМ₄ і РМ₁₀

Таблиця 4

Концентрації виробничого пилу та його складових у повітрі робочої зони, розрахований коефіцієнт небезпеки та некарценогенний ризик з урахуванням критичних органів і систем на робочому місці підручного сталевара мартенівської печі

Речовини, які виділяються в повітря робочої зони	Концентрація, мг/м ³		Критичні органи	Коефіцієнт небезпеки
	середня М ± m	гранично допустима с. д.		
Виробничий пил	33,53 ± 3,49	4,0	Органи дихання	8,4
Сірки діоксид	6,54 ± 0,24	10,0	Органи дихання, печінка, нирки	0,7
Вуглецю оксид	11,56 ± 0,45	20,0	Центральна нервова система, серцево-судинна система, кров	0,5
Нітрогену діоксид	1,32 ± 0,08	2,0	Органи дихання	0,6
Марганцю оксид	0,18 ± 0,02	0,05	Центральна нервова система	2,2
Заліза (III) оксид (у перерахунку на залізо)	9,91 ± 0,51	6,0	Органи дихання, серцево-судинна система	1,7
Сумарний неканцерогенний ризик			НІ _{загальний}	8,9
			НІ _{органи дихання}	6,3
			НІ _{центральна нервова система}	3,3
			НІ _{нирки}	2,7
			НІ _{кров}	0,5
			НІ _{серцево-судинна система}	2,6

Таблиця 5

Коефіцієнти небезпеки впливу дрібнодисперсних частинок виробничого пилу (PM₁₀ і PM₄) на робочих місцях основних цехів металургійного виробництва

Цех/професія	PM ₁₀ , мг/м ³ (рекомендована гранична концентрація = 0,05 мг/м ³)	Коефіцієнт небезпеки	PM ₄ , мг/м ³ (рекомендована гранична концентрація = 0,025 мг/м ³)	Коефіцієнт небезпеки
Мартенівський цех	0,93 ± 0,04	18,6	0,66 ± 0,05	26,4
– сталевар	0,95 ± 0,06	19,0	0,56 ± 0,03	22,4
– підручний сталевара	0,91 ± 0,05	18,2	0,86 ± 0,12	34,4
Доменний цех	1,91 ± 0,11	38,2	1,22 ± 0,05	48,8
– горновий доменної печі	1,28 ± 0,08	25,6	0,77 ± 0,05	20,8
– машиніст шихтоподачі	2,15 ± 0,18	43,0	1,10 ± 0,08	44,0
Агломераційний цех	1,27 ± 0,04	25,4	0,79 ± 0,03	31,6
– агломератник	0,99 ± 0,04	19,8	0,66 ± 0,03	26,4
– дозувальник шихтового відділення	2,26 ± 0,08	45,2	1,29 ± 0,04	51,6
Відділ заводууправління (контроль)	0,060 ± 0,006	1,2	0,050 ± 0,004	2,0

у повітрі робочої зони не можна вважати допустимим, оскільки існує ймовірність виникнення шкідливих ефектів. За показником HQ PM розміром до 4 μm є більш небезпечними, ніж крупніші до 10 μm . Загроза їхнього негативного впливу є більш ймовірною для працівників доменного та агломераційного цехів металургійного виробництва. Найменшу загрозу для здоров'я зважені PM_4 і PM_{10} становлять для працівників заводууправління.

Висновки

1. Працівники металургійного підприємства в процесі трудової діяльності зазнають впливу виробничого пилу та хімічних речовин, а саме: оксидів марганцю та заліза (III), концентрації яких перевищували ГДК. Ризик їхнього впливу на здоров'я працівників не можна вважати допустимим, існує ймовірність виникнення шкідливих ефектів. Ризик за впливу сірки діоксиду, вуглецю оксиду, аміаку та азоту діоксиду можна вважати допустимим, оскільки їхній вміст у повітрі робочої зони був у межах нормативних значень.
2. В агломераційному цеху розрахований HQ для виробничого пилу, оксидів заліза та марганцю становив 11,5; 2,9 і 1,6, а сумарний HI для здоров'я працівників – 15,4. Найбільший внесок як у сумарну величину HI , так і у вплив на органи дихання має виробничий пил, провідну роль серед хімічних небезпечних речовин відіграють оксиди марганцю та заліза (III). Більшою мірою негативного впливу зазначених хімічних речовин зазнають бронхо-легенева, серцево-судинна та центральна нервова системи.
3. Для працівників доменного цеху розраховані HQ для виробничого пилу, оксидів алюмінію та заліза (III) дорівнювали 8,3; 25,5 і 1,5, а сумарний HI – 43,5. Найбільший внесок у величину HI , так і в ризик впливу на органи дихання, має виробничий пил і пил доменного шлаку. Провідне місце серед хімічних речовин посідають оксиди алюмінію, заліза та марганцю.
4. Для працівників мартенівського цеху HQ для виробничого пилу, оксиду марганцю та магнетиту становили 4,5; 2,2 і 16,4, а сумарний HI впливу виробничих чинників для здоров'я сталевара мартенівського цеху та його підручного – 25,4 і 8,9 відповідно. Основний внесок у величину HI і в ризик впливу на органи дихання цих працівників має магнетит, виробничий пил і марганцю оксид.
5. Ризик впливу завислих PM_4 і PM_{10} , що присутні в повітрі робочої зони працівників основних цехів металургійного підприємства, не можна вважати допустимим. HQ за впливу PM_{10} , що присутні в повітрі робочої зони мартенівського цеху, становив 18,6, для працівників доменного цеху – 38,0, для працівників агломератного цеху – 25,4, тоді як для працівників заводууправління – 1,2. За впливу PM_4 HQ для працівників мартенівського цеху становив 26,4, для працівників доменного цеху – 48,8, для працівників агломераційного цеху – 31,6, а для працівників відділу заводууправління – 2,0. Отже, вплив PM_4 на здоров'я працівників основних цехів металургійного підприємства є більш небезпечним ніж PM_{10} .
6. Особливостями формування професійних ризиків у працівників металургійного виробництва є вплив шкідливих чинників виробничого середовища. Визначення факторів ризику, доведення їх ролі в порушенні здоров'я працівників металургійної галузі промисловості, кількісна характеристика залежностей шкідливих ефектів від рівнів впливу конкретних факторів дозволяє оцінити реальну загрозу здоров'ю працівників і надає об'єктивні підстави для впровадження профілактичних заходів. Визначення ризику від забруднення повітря робочої зони хімічними речовинами, PM дозволяє не тільки прогнозувати ймовірність порушень здоров'я за різних сценаріїв впливу, а ще й встановлювати першочерговість і пріоритетність заходів з управління факторами ризику на індивідуальному та популяційному рівнях.

Література

1. Севальнев А. І., Шаравара Л. П. Професійна захворюваність працівників на підприємствах чорної металургії. *Медицина сьогодні і завтра*. 2013. № 3 (60). С. 160–163. URL: <https://msz.knmu.edu.ua/article/view/77>.
2. Орехова О. В. Професійна захворюваність у працівників гірничо-металургійної галузі України. *Вісник проблем біології і медицини*. 2015. Вип. 4, Т. 2 (125). С. 104–111.
3. Оцінка ризику розвитку професійних захворювань у працівників металургійної, вугільної промисловості та машинобудування. А. М. Нагорна, П. М. Вітте, М. П. Соколова та ін. *Український журнал з проблем медицини праці*. 2012. № 3 (31). С. 3–13.

4. Вертеленко М. В. Методичні підходи до оцінки ризику впливу шкідливих і небезпечних виробничих чинників на професійне здоров'я. *Український журнал з проблем медицини праці*. 2007. № 2. С. 72–77.
5. Ковальчук Т. А., Орехова О. В., Павленко О. І. Оцінка професійних ризиків розвитку захворювань у металургів. *Вісник проблем біології та медицини*. 2014. Вип. 3, Т. 2 (111). С. 84–92.
6. Павленко О. І. Оцінка ризику розвитку хронічного обструктивного захворювання легень у працівників основних професій сучасного металургійного підприємства. *Гігієна населених місць*. 2013. Вип. 61. С. 356–362.
7. Орехова О. В. Оцінка ризику серцево-судинних захворювань в умовах гарячих цехів сучасного металургійного виробництва. *Український журнал з проблем медицини праці*. 2009. № 3. С. 18–24.
8. Шаравара Л. П., Дмитруха Н. М., Андрусишина І. М. Професійні фактори ризику в процесі трудової діяльності працівників металургійного підприємства. *Український журнал з проблем медицини праці*. 2023. Т. 9, № 4. С. 277–284. <https://doi.org/10.33573/ujoh2023.04.277>.
9. Workplace Measurements of Ultrafine Particles – a literature review. A. K. Viitanen, S. Uuksulainen, A. J. Koivisto et al. *Ann Work Expo Health*. 2017. No. 61 (7). С. 749–758. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxx049>.
10. Шаравара Л. П. Ультрадисперсні частинки промислового аерозолі металургійного виробництва, оцінка впливу на здоров'я працюючих. *Гігієна праці та професійних захворювань: минуле, сьогодення та майбутнє: збірник матеріалів науково-практичної конференції (Харків, 10 травня 2023 р.)*; ред. кол. В. В. М'ясоєдов, М. Г. Щербань, О. Г. Мельник. Харків, 2023. С. 110–114. URL: <http://dspace.zsmu.edu.ua/handle/123456789/19642>.
11. Occupational exposure to fine particulate matter in the reinforced concrete production and its association with respiratory symptoms and lung function. D. Vinnikov, A. Abenova, A. Raushanova et al. *BMC Public Health*. 2023. No. 23 (1). P. 1813. <https://doi.org/10.1186/s12889-023-16753-x>.
12. Oberdörster G. Pulmonary effects of inhaled ultrafine particles. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*. 2001. No. 74. P. 1–8.
13. Дослідження забруднення атмосферного повітря зваженими частками (PM₁₀ та PM_{2,5}) у м. Києві. О. І. Турос, Т. П. Маремуха, А. А. Петросян, Н. В. Брезницька. *Довкілля та здоров'я*. 2018. № 4. С. 36–39. <https://doi.org/10.32402/dovkil2018.04.036>.
14. Ultrafine particles cross cellular membranes by nonphagocytic mechanisms in lungs and in cultured cells. M. Geiser, B. Rothen-Rutishauser, N. Kapp et al. *Environ. Health Perspect.* 2005. No. 113. P. 1555–1560. <https://doi.org/10.1289/ehp.8006>.
15. Методичні рекомендації «Оцінка ризиків для здоров'я працівників від забруднення повітря робочої зони хімічними речовинами». Наказ МОЗ України від 02.03.2024 № 358 (на сайті МОЗ України № 26-04/9616/2-24). А. М. Сердюк, І. О. Черниченко, О. М. Литвиченко, О. С. Кондратенко, В. Ф. Бабій, Д. О. Главачек, І. М. Трахтенберг, Н. М. Дмитруха та ін. 2024. 24 с.
16. KANOMAX, model 3521. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. KANOMAX-USA, 2006. 14 с.
17. Пгієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості і напруженості трудового процесу, затв. МОЗ України 08.04.2014. Наказ № 284. Київ, 2014. 37 с.
18. WHO. Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project. Technical Report. Copenhagen, Denmark : WHO Regional Office for Europe, 2023. URL: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/341712/WHO-EURO-2013-4101-43860-61757-eng.pdf> (дата звернення: 10.11.2024).
19. Exposure to Ultrafine Particles in the Ferroalloy Industry Using a Logbook Method. R. B. Jorgensen, I. T. Kero, A. Blom et al. *Nanomaterials*. 2020. Vol. 10, No. 12. P. 2546. <https://doi.org/10.3390/nano10122546>.
20. Koskela K., Oksa P., Uitti J. Pulmonary inflammation in foundry workers. *J. Occup. Environ. Med.* 2015. No. 57 (2). P. 124–128. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000000390>.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Dmytrukha N. M.¹, Sharavara L. P.², Kozlov K. P.¹

RISK ASSESSMENT OF THE IMPACT OF INDUSTRIAL DUST, CHEMICALS, AND FINE PARTICLES IN WORKPLACE AIR ON METALLURGICAL ENTERPRISE EMPLOYEES

¹State Institution "Kundliiev Institute of Occupational Health of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine

²Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University, Zaporizhzhia, Ukraine

Introduction. The metallurgical industry is a key sector in Ukraine, with workers consistently exposed to harmful environmental factors, leading to high incidences of occupational and industrially related diseases. Given the inherent hazards

in this industry, stemming from complex technological processes, complete elimination of these risks is not feasible. Consequently, assessing the potential health risks to workers remains critically important.

The aim of the research – to evaluate the risk posed by industrial dust, chemicals, and fine particulate matter (PM) in the air of the main workshops of a metallurgical enterprise, specifically focusing on their impact on worker health.

Materials and methods of the research. Industrial dust and chemical content were analyzed using standard methodologies, while fine particles (PM) were measured with the Kanomax Piezobalance Dust Monitor 3521. The risk assessment was conducted at metallurgical enterprise, utilizing the hazard coefficient (HQ) and total non-carcinogenic risk (NCRT) calculations as per the Methodological Recommendations "Assessment of Risks to the Health of Workers from Air Pollution of the Working Area with Chemicals", approved by the Ministry of Health of Ukraine (Order No. 358, March 2, 2024).

Results. The study revealed significant non-carcinogenic risks to the health of workers in different shops of the metallurgical enterprise. The total non-carcinogenic risk (NCRT) calculated for the sintering shop was 15.4, for the blast furnace shop it was 43.5, and for the open-hearth shop, it was 25.4. The main contributors to these risks were identified as industrial dust and hazardous chemicals, with manganese and iron (III) oxides playing a leading role. Further analysis of the hazard coefficients (HQ) for particulate matter indicated substantial risks. For PM₁₀ exposure, the HQ was 18.6 for workers in the open-hearth shop, 38.0 for those in the blast furnace shop, and 25.4 for the sinter shop. In contrast, the HQ for plant management workers was relatively low at 1.2. For PM₄ exposure, the HQ values were higher, with the open-hearth shop recording 26.4, the blast furnace shop 48.8, and the sinter shop 31.6. The plant management department had a HQ of 2.0. These results suggest that the levels of PM₄ and PM₁₀ present in the workplace air of employees in the main workshops are beyond acceptable limits, with PM₄ presenting a more significant risk to health.

Conclusions. Workers in the main shops of are exposed to levels of industrial dust and chemicals, specifically manganese oxide and iron (III) oxide, that exceed the maximum permissible concentrations (MPC). The calculated HQ and NCRT values for PM₄ and PM₁₀ highlight unacceptable risk levels, necessitating continuous monitoring and the implementation of stringent safety measures to protect worker health.

Key words: metallurgical enterprise, industrial dust, chemical factors, suspended fine particles, occupational risk assessment

References

1. Sevalnev AI, Sharavara LP. [Occupational morbidity of the ferrous metal work staff]. *Medicine Today and Tomorrow*. 2013;60(3):160-63. Ukrainian. URL: <https://msz.knmu.edu.ua/article/view/77>.
2. Orekhova OV. [The occupational diseases in workers of mining and metallurgical industry of Ukraine]. *Bulletin of Problems in Biology and Medicine*. 2015; 125(4,2):104-11. Ukrainian.
3. Nahorna AM, Vitte PN, Sokolova MP, Kononova IG, Orekhova O, Mazur VV. [Assessment of risk development of occupational diseases in workers of metallurgic, mining industries and machine building Ukraine]. *Ukrainian Journal of Occupational Health*. 2012;(3): 3-13. Ukrainian. DOI: <https://doi.org/10.33573/ujoh2012.03.003>.
4. Vertelenko MV. [Methodical approaches to estimation of risk of the effect of harmful and dangerous work factors on occupational health]. *Ukrainian Journal of Occupational Health*. 2007;(2):72-7. Ukrainian. DOI: <https://doi.org/10.33573/ujoh2007.02.072>.
5. Kovalchuk T, Orekhova, O, Pavlenko O. [Evaluation of professional risks of disease in metallurgists]. *Bulletin of Problems in Biology and Medicine*. 2014;111(3,2): 84-92. Ukrainian.
6. Pavlenko OI. [Assessment of the risk of developing chronic obstructive pulmonary disease in workers of the main professions of a modern metallurgical enterprise]. *Hygiene of Populated Places*. 2013;61: 356-62. Ukrainian.
7. Orekhova OV. [The estimation of risk of cardiovascular diseases in heated workshops of modern metallurgical enterprise]. *Ukrainian Journal of Occupational Health*. 2009;(3):18-24. Ukrainian. DOI: <https://doi.org/10.33573/ujoh2009.03.018>.
8. Sharavara LP, Dmytrukha NM, Andrusyshyna IM. Professional risk factors in the working process of employees of the metallurgical enterprise. *Ukrainian Journal of Occupational Health*. 2023;19(4):15-19. Ukrainian. <https://doi.org/10.33573/ujoh2023.04.277>.
9. Viitanen AK, Uuksulainen S, Koivisto AJ, Hämeri K., Kauppinen T. Workplace Measurements of Ultrafine Particles – A Literature Review. *Ann Work Expo Health*. 2017;61(7):749-58. DOI: <https://doi.org/10.1093/annweh/wxx049>.
10. Sharavara LP. [Ultrafine particles of industrial aerosol from metallurgical production, assessment of the impact on the health of workers]. In: Myasoedov VV, Scherban MG, Melnik OG, editors. [Occupational health and occupational diseases: past, present and future: proceedings of the scientific and practical conference; 2023 May 10; Kharkiv]. Kharkiv; 2023. p. 110-14. Ukrainian. URL: <http://dspace.zsmu.edu.ua/handle/123456789/19642>.
11. Vinnikov D, Abenova A, Raushanova A, et al. Occupational exposure to fine particulate matter in the

reinforced concrete production and its association with respiratory symptoms and lung function. BMC Public Health. 2023;23(1):1813. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12889-023-16753-x>.

12. Oberdörster G. Pulmonary effects of inhaled ultrafine particles. Int. Arch. Occup. Environ. Health. 2001;74:1-8.

13. Turos OI, Maremukha TP, Petrosian AA, Brezitska NV. Study of atmospheric air pollution with particulate matters (PM₁₀ and PM_{2.5}) in Kyiv. Environ. Health Perspect. 2018;4:36-9. Ukrainian. DOI: <https://doi.org/10.32402/dovkil2018.04.036>.

14. Geiser M, Rothen-Rutishauser B, Kapp N, Schürch S, et al. Ultrafine particles cross cellular membranes by nonphagocytic mechanisms in lungs and in cultured cells. Environ. Health Perspect. 2005;113(11):1555-60. DOI: <https://doi.org/10.1289/ehp.8006>.

15. [Assessment of risks to the health of workers from air pollution in the work area with chemicals: methodological recommendations (Serdyuk AM, Chernenchenko OI, Litvychenko OM, Kondratenko OS, Babiy VF, Glavachek DO, Trakhtenberg IM, Dmytrukha NM, Andrusyshyna IM, Varyvonchuk DV, Yavorobskiy OP, Tymoshyna DP, authors)]. Order of the Ministry of Health of Ukraine from 02.03.2024 No. 358

(website of Ministry of Health No. 26-04/9616/2-24). 2024. 24 p. Ukrainian.

16. KANOMAX, model 3521. Technical description and instructions for use. KANOMAX-USA, 2006. 14 p.

17. [Hygienic classification of labor according to indicators of harmfulness and danger of factors of the production environment, difficulty and intensity of the labor process, approved by the Ministry of Health of Ukraine 08.04.2014 Order No. 284]. Kyiv, 2014. 37 p. Ukrainian.

18. WHO. Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project. Technical Report [Internet]. Copenhagen, Denmark: WHO Regional Office for Europe; 2023[cited 2024 Nov 10]. Available from: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/341712/WHO-EURO-2013-4101-43860-61757-eng.pdf>.

19. Jorgensen RB, Kero IT, Blom A, Grove EE, Svendsen KvH. Exposure to Ultrafine Particles in the Ferroalloy Industry Using a Logbook Method. Nanomaterials. 2020;10(12):2546. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano10122546>.

20. Koskela K, Oksa P, Uitti J. Pulmonary inflammation in foundry workers. J. Occup. Environ. Med. 2015;57(2):124-28. DOI: <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000000390>.

ORCID ID співавторів та їхній внесок у підготовку та написання статті:

Дмитруха Н. М. (ORCID ID 0000-0001-9161-3889) – складання концепції, аналіз даних літератури, написання тексту статті;

Шаравара Л. П. (ORCID ID:0000-0001-9102-3686) – збір матеріалів, первинний аналіз даних, формулювання висновків;

Козлов К. П. (ORCID ID 0000-0002-4048-9061) – пошук та аналіз даних літератури, редагування тексту статті, підготовка статті до публікації.

Інформація щодо джерел фінансування дослідження: дослідження виконано за напрямом НДР

«Токсиколого-гігієнічні дослідження наночастинок металів та оцінка ризику їх несприятливого впливу для здоров'я працюючих», номер державної реєстрації 0122U000651; «Сучасні фактори ризику та їх профілактика в системі громадського здоров'я», номер державної реєстрації 0123U100215.

Надійшла: 12 листопада 2024 р.

Прийнята до друку: 11 грудня 2024 р.

Контактна особа: Дмитруха Наталія Миколаївна, доктор біологічних наук, ДУ «Інститут медицини праці імені Ю. І. Кундієва НАМН України», буд. 75, вул. Саксаганського, м. Київ, 01033. Тел.: + 38 0 44 289 51 85.