

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВПЛИВУ СКЛАДАЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА МЕТАЛУРГІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА НА СТАН АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Золотько О.В., Войтенко Ю.В., Русакова Т.І., Долженкова О.В., Назаренко Д.Ю.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

пр. Гагаріна, 72, 49010, м. Дніпро

zltklena@gmail.com, Juliya.voy.1983@gmail.com, rusakovati1977@gmail.com,

dolena2017@gmail.com, diananazarenko69@gmail.com

Розглянуто основні показники екологічної безпеки діяльності складально-зварювального виробництва підприємства металообробки м. Дніпра, які характеризують рівень його впливу на атмосферне повітря, масштаби утворення шкідливих речовин та потенційні ризики для здоров'я населення прилеглих територій. Проведено аналіз технологічних процесів ручного, напівавтоматичного та автоматичного зварювання з урахуванням матеріальних балансів, складу електродів і флюсів. Це дозволило визначити частку шкідливих речовин, які виділяються в атмосферу: від 0,5 % для автоматичного зварювання під шаром флюсу до 3 % для ручного дугового. Встановлено, що підприємство металоконструкцій належить до IV класу небезпеки із нормованою санітарно-захисною зоною 100 м, при цьому найближча житлова забудова розташована на відстані понад 370 м від джерел викидів. Визначено, що для організованих джерел забруднення основними поллютантами є сполуки заліза, мангану, діоксид кремнію, фториди, оксиди азоту та вуглецю. За результатами розрахунків розсіювання встановлено, що максимальні приземні концентрації шкідливих речовин не перевищують гранично допустимі норми. Водночас з урахуванням фонових значень спостерігається перевищення ГДКс.д.: у 4,26 рази по залізу, у 1,016 – по суспендованих твердих частках та у 1,101 – по чадному газу. Зони впливу забруднювачів складають: для заліза – 566 м, суспендованих часток – 242 м, окису вуглецю – 353 м, фторидів – 2180 м. На основі розрахунку парціальних індексів забруднення атмосфери визначено комплексний індекс забруднення (КІЗА) = 6,99, що відповідає стану підвищеного забруднення повітря. Отримані результати свідчать про значний внесок зварювальних процесів у формування локального екологічного навантаження. Запропоновано підхід до оцінки рівня впливу підприємства на якість повітря з використанням комплексних показників, який може бути застосований для планування природоохоронних заходів, оптимізації технологічних режимів та зменшення ризиків для здоров'я населення прилеглих територій. *Ключові слова:* показники екологічної безпеки, екологічний контроль, складально-зварювальне виробництво, специфічні домішки, індекс забруднення атмосфери, повітря робочої зони.

Analysis of indicators of environmental safety of the impact on atmospheric air of the activities of assembly and welding production of a metalworking enterprise. Zolotko O., Voitenko Yu., Rusakova T., Dolzhenkova O., Nazarenko D.

The main indicators of environmental safety of the assembly and welding production activities of a metalworking enterprise in Dnipro have been examined. These indicators characterize the level of its impact on ambient air, the scale of harmful substance formation, and the potential health risks to the population of adjacent areas. An analysis of the technological processes of manual, semi-automatic, and automatic welding was carried out considering material balances and the composition of electrodes and fluxes. This made it possible to determine the share of harmful substances released into the atmosphere: from 0.5% for automatic submerged arc welding to 3% for manual arc welding. It was established that the metal structures enterprise belongs to hazard class IV with a regulated sanitary protection zone of 100 m, while the nearest residential area is located more than 370 m from the emission sources. For organized emission sources, the main pollutants are iron and manganese compounds, silicon dioxide, fluorides, nitrogen oxides, and carbon oxides. According to the results of dispersion modeling, the maximum ground-level concentrations of pollutants do not exceed the maximum permissible limits. However, when background concentrations are taken into account, exceedances of MPC (average daily) were observed: by 4.26 times for iron, by 1.016 times for suspended particulates and by 1.101 times for carbon monoxide. The zones of influence of pollutants were determined as follows: iron – 566 m, suspended particulates – 242 m, carbon monoxide – 353 m, fluorides – 2180 m. Based on the calculation of partial atmospheric pollution indices, the composite atmospheric pollution index (CAPI) was found to be 6.99, which corresponds to a moderately increased level of air pollution. The obtained results indicate a significant contribution of welding processes to the formation of local environmental loads. A methodological approach to assessing the enterprise's impact on air quality using integrated indicators is proposed. This approach can be applied for environmental protection planning, optimization of technological regimes, and reducing health risks for the population of nearby areas. *Key words:* environmental safety indicators, environmental monitoring, assembly and welding production, specific impurities, atmospheric pollution index, workplace air.

Постановка проблеми. Високий рівень антропогенного навантаження на навколишнє природне середовище в промислових регіонах України призвів до критичного стану забруднення атмосферного повітря у багатьох містах. За окремими показниками

спостерігається стійке перевищення гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин [1].

Екологічна безпека діяльності промислового підприємства визначається його спроможністю забезпечувати екологічно відповідальне функціонування,

запобігати шкідливому впливу на довкілля та дотримуватися чинних екологічних нормативів і стандартів.

Показники екологічної безпеки відображають рівень техногенного навантаження підприємства на навколишнє середовище та характеризують його здатність мінімізувати негативні наслідки виробничої діяльності.

Актуальність дослідження. Актуальність аналізу показників екологічної безпеки складально-зварювального виробництва підприємства металообробки у м. Дніпро зумовлена значним техногенним навантаженням на атмосферне повітря. Це пов'язано з наявністю у його викидах специфічних забруднюючих речовин, зокрема оксидів металів, оксидів азоту, оксиду вуглецю та фторидів, які суттєво впливають на якість повітря в зоні розташування підприємства. У зв'язку з цим виникає потреба в оцінюванні екологічної безпеки таких об'єктів та визначенні ступеня їх впливу на навколишнє середовище. Особливого значення це набуває для міст із розвинутою системою машинобудівних і металообробних підприємств, де забруднення має кумулятивний характер. Проведення аналізу показників екологічної безпеки дає змогу обґрунтувати напрями підвищення екологічної ефективності виробництва, зменшення техногенного навантаження на атмосферне повітря та забезпечення відповідності діяльності підприємства вимогам чинного природоохоронного законодавства України.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. На сучасному етапі визначення показників екологічної безпеки діяльності промислових підприємств є складною багатofакторною задачею, що потребує урахування різних аспектів. У більшості проведених досліджень стан окремих компонентів навколишнього середовища оцінюється за рівнем пріоритетних забруднювачів, тоді як наявність специфічних домішок, характерних для певних виробництв, часто залишається поза увагою. Такі речовини можуть відігравати визначальну роль у формуванні фонових концентрацій шкідливих домішок у промислових і житлових зонах. Визначення меж їх впливу має стати основою для розроблення обґрунтованих природоохоронних заходів і встановлення нормативів щодо допустимих викидів на підприємствах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [2] розкрито теоретичні аспекти управління екологічною безпекою та механізми екологічного менеджменту підприємств, наголошено на необхідності системного підходу й взаємодії суб'єктів екологічної політики. Ці положення є важливими для формування методологічної основи дослідження, хоча автор обмежується теоретичним рівнем узагальнення без наведення прикладних прикладів для окремих галузей. У дослідженнях [3] розглянуто теоретичні аспекти визначення поняття «екологічна безпека підприємства» і виділено основні критерії її оцінювання. Ці результати доцільно використо-

вати для обґрунтування системи показників екологічної безпеки, однак відсутність емпіричної перевірки обмежує практичне застосування методики. Авторка роботи [4] розробила наукові основи управління екологічною безпекою промислових комплексів вуглевидобувних підприємств, запропонувавши методичні підходи до оцінювання ризиків. Водночас галузева специфіка роботи потребує адаптації для металообробних і зварювальних виробництв.

На практиці для оцінювання екологічної безпеки діяльності підприємства найчастіше застосовують інтегральні показники, які враховують як кількісні, так і якісні аспекти впливу суб'єкта господарювання на довкілля [3, 4]. До таких показників належать клас небезпеки підприємства, комплексні індекси забруднення, динаміка екологічних параметрів, коефіцієнти екологічного ризику, рівень екологічної стабільності підприємства тощо.

Практичну спрямованість має дослідження [5], у якому проведено оцінку рівня забруднення атмосферного повітря м. Запоріжжя з використанням індексів забруднення. Результати відображають загальні міські тенденції, проте не дозволяють ідентифікувати внесок окремих технологічних процесів. У роботі [6] здійснено аналіз стану атмосферного повітря у малих містах Харківської області, визначено роль транспорту та підприємств. Незважаючи на регіональну актуальність, у дослідженні бракує деталізації складу викидів за видами промислових джерел. Авторами роботи [7] проведено гігієнічну оцінку методів зварювання та зварювальних матеріалів щодо утворення аерозолів і викидів у робочій зоні. Визначено склад шкідливих компонентів (оксиди металів, фтористі сполуки, озон, оксиди азоту) та їхню залежність від типу електрода і режиму зварювання. Результати важливі для оцінки професійного ризику та вдосконалення вентиляційних систем. Водночас дослідження зосереджене переважно на умовах робочого середовища, без урахування впливу зварювальних викидів на атмосферне повітря прилеглих територій. В дослідженні [8] узагальнено європейські підходи до екологічної безпеки сталих міст, розглянуто інтегровані системи моніторингу та управління ризиками. Дослідження має загальний характер, не аналізує локальний вплив промислових процесів, не містить розрахунків забруднення атмосфери чи оцінки ризику від зварювальних викидів. В роботі [9] наведено порівняльний аналіз методів визначення рівня забруднення атмосферного повітря, зокрема, індексних, статистичних, модельних, що є важливим для вибору адекватної методики моніторингу. Разом із тим автори не розглянули адаптацію цих методів до специфіки зварювальних процесів. Сучасні підходи до прогнозного моделювання забруднення атмосферного повітря розглянуто у роботі [10]. Автори запропонували модель вибору стратегії зменшення забруднення на основі даних прогнозного аналізу, але обмеження роботи полягає

у відсутності адаптації до локальних технологічних джерел. В роботі [11] запропоновано моделювання інтегрованого показника загального рівня екологічної безпеки підприємства, але не деталізовано специфічні домішки та локальні джерела. Автори роботи [12] розробили класифікацію якості повітря за комплексними індексами, проте без прикладної реалізації для конкретних промислових цехів. Методика міжнародного Air Quality Health Index [13] надає стандартизовані підходи до оцінки ризику для здоров'я населення, але не враховує локальні технологічні джерела забруднення. В роботі [14] узагальнено методи оцінки техногенного впливу на довкілля, проте без деталізації специфіки зварювальних і металообробних процесів.

У розвинених країнах методика визначення індексів якості атмосферного повітря має певні відмінності [13, 14]:

1. Індекс якості атмосферного повітря (Air Quality Index – AQI, США) визначається Агентством з охорони навколишнього середовища та враховує концентрації O_3 , завислих речовин, CO , SO_2 і NO_2 .

2. Індекс здоров'я за якістю атмосферного повітря (Air Quality Health Index – AQHI, Канада) розраховується на основі вмісту O_3 , завислих речовин та NO_2 . Значення AQHI варіює від 1 до 10 і відповідає шкалі ризику для здоров'я: 1–3 – низький, 4–6 – помірний, 7–10 – високий, >10 – дуже високий.

3. Індекс АТМО (Франція) враховує концентрації SO_2 , NO_2 , O_3 та завислих речовин і поділяє стан повітря на п'ять категорій: «дуже добрий», «добрий», «середній», «посередній» та «поганий».

4. Індекс якості повітря у Великобританії приймає значення від 1 до 10; рівні забруднення визначаються так: 1–3 – низький, 4–6 – помірний, 7–9 – високий, 10 – дуже високий. Враховуються концентрації O_3 , NO_2 , SO_2 та завислих речовин.

5. BELATMO (Бельгія) розраховується за вмістом O_3 , NO_2 , SO_2 і завислих речовин та варіює від 1 (відмінна якість) до 10 (дуже погана).

6. Індекс забруднення повітря API (Китай) включає SO_2 , NO_2 та $ТЧ_{10}$; визначається компонент з найвищим рівнем забруднення. Категорії якості: 0–50 – відмінна, 51–100 – добра, 101–150 – незначно забруднене, 151–200 – слабо забруднене, 201–250 – середньо забруднене, 251–300 – середньо-сильно забруднене, >300 – сильно забруднене повітря.

Таким чином, наявні дослідження охоплюють широкий спектр проблем екологічної безпеки та моніторингу атмосферного повітря, проте залишаються недостатньо розробленими питання, пов'язані з локальними технологічними джерелами забруднення. Зокрема, бракує робіт, які б поєднували індексну оцінку забруднення з розрахунками приземних концентрацій у межах складально-зварювальних цехів.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена

стаття. У даній роботі проведено оцінку показників екологічної безпеки впливу складально-зварювального виробництва підприємства металообробки у м. Дніпро на атмосферне повітря. Особлива увага приділена наявності специфічних домішок у викидах підприємства та їхньому впливу на екологічний стан повітря у зоні розташування виробничого об'єкта.

Методологічне або загальнонаукове значення полягає у розробці комплексного підходу до оцінки показників екологічної безпеки впливу складально-зварювального виробництва на атмосферне повітря. У роботі поєднано розрахунок приземних концентрацій специфічних домішок у викидах підприємства, визначення зон їх впливу та інтегровану оцінку стану повітря за допомогою індексів забруднення. Такий підхід дозволяє більш точно оцінити локальний екологічний ризик та формує наукову основу для розробки природоохоронних заходів і планування систем екологічного контролю на підприємствах металообробної галузі.

Викладення основного матеріалу. До основних показників екологічної безпеки діяльності промислових підприємств належать обсяги викидів забруднюючих речовин у повітря та скидів у водойми, кількість утворених відходів і ефективність їх утилізації, а також використання ресурсозберігаючих технологій.

Додатковими показниками є ефективність природоохоронних заходів, комплексні індекси забруднення, відповідність санітарно-захисної зони класу небезпеки підприємства, динаміка зміни екологічних показників та рівень екологічної відповідальності підприємства.

Виробничий процес досліджуваного підприємства металообробки у м. Дніпро включає механічну обробку металу: різання, складання, зварювання, обробку поверхонь та нанесення антикорозійних покриттів. Основним джерелом забруднення атмосферного повітря є складально-зварювальне виробництво. На підприємстві функціонують два складально-зварювальні цехи, де здійснюють різні види зварювання: автоматичне під шаром флюсу, напівавтоматичне у середовищі інертних газів та ручне дугове зварювання електродами. Найбільш екологічно безпечним серед них є процес автоматичного зварювання під шаром флюсу, під час якого в атмосферу надходить 0,0278 т/рік забруднюючих речовин. Для порівняння, при напівавтоматичному зварюванні в середовищі інертних газів обсяг викидів становить 0,473 т/рік. Матеріальний баланс процесу ручного дугового зварювання штучними електродами наведено на рисунку 1.

Проведений аналіз матеріальних балансів різних технологічних процесів зварювання показав, що частка шкідливих речовин, які потрапляють в атмосферу, є незначною. Вона становить від 0,5 % для автоматичного зварювання під шаром флюсу до 3 % для ручного дугового зварювання від загальної маси використаних матеріалів.

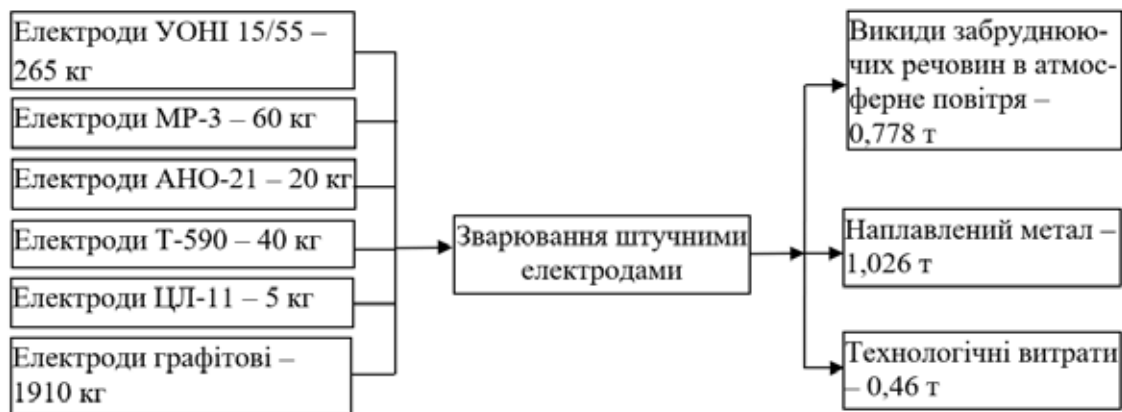


Рис. 1. Матеріальний баланс ручного зварювання штучними електродами

Із 30 організованих джерел забруднення атмосферного повітря підприємства чотирнадцять належать до складально-зварювальних цехів. У процесі зварювання в робочу зону виробничих приміщень виділяються сполуки заліза та мангану, а також діоксид кремнію у вигляді твердих частинок, недиференційованих за складом. Крім того, утворюються фтор і його газоподібні сполуки (у перерахунку на фтористий водень), а також оксиди азоту та вуглецю.

Відомо, що вплив зазначених речовин може спричинити розвиток професійних захворювань у зварювальників, зокрема пневмоконіозів, коніотуберкульозу, хронічного бронхіту, емфізематозно-бронхіального синдрому та хронічного ринофаринголарингіту. Ці ж забруднюючі речовини виявляються і у викидах в атмосферу від стаціонарних джерел складально-зварювальних цехів.

Територія заводу розташована у промисловій зоні м. Дніпро та оточена іншими підприємствами: цементний завод, виробництво металевої фурнітури, металургійний комбінат. Ступінь обмеження забруднення залежить від стану атмосферного повітря району. За даними Дніпропетровського регіонального центру з гідрометеорології, фонові концентрації 29 забруднюючих речовин охоплюють широкий спектр полутантів. До них належать пріоритетні домішки – пил, оксиди та діоксиди азоту і сірки, оксид вуглецю, аміак. А також специфічні для складально-зварювального виробництва речовини –

залізо, манган, нікель, свинець, хром, фтор, діоксиди титану та кремнію. Значення фонових концентрацій, які перевищують *ГДК*, наведені у таблиці 1.

Можна бачити, що серед забруднювальних речовин найбільше перевищення середньодобової *ГДК* спостерігається для сполук заліза. Ці частки чинять фіброгенний токсичний вплив: при короткочасній дії вони спричиняють подразнення слизових оболонок носа, горла та очей, кашель, а за тривалого впливу накопичуються в легенях і можуть призводити до розвитку сидерозу – форми пневмоконіозу, що характеризується задишкою, зниженням працездатності та хронічним кашлем.

У цілому для викидів промислових підприємств, розташованих у зоні дослідження, характерна наявність речовин із вираженими токсичними, подразнювальними, фіброгенними, нейротоксичними та канцерогенними властивостями.

Підприємство перебуває на державному обліку за кількістю фактичних обсягів викидів окремих речовин, що утворюються у складально-зварювальному виробництві. У таблиці 2 наведено значення фактичних обсягів таких викидів. Із неї видно, що під час технологічних процесів складання та зварювання кількість утворюваних речовин перевищує порогові значення від 1,3 разу (для оксиду вуглецю) до 27,3 разу (для сполук заліза).

Одним із показників екологічної безпеки діяльності підприємства є клас небезпеки підприємства

Таблиця 1

**Гігієнічні нормативи та фактичні фонові концентрації шкідливих речовин
в атмосферному повітрі біля підприємства**

№	Забруднююча речовина	<i>ГДК</i> (мг/м ³)	Фонова концентрація (мг/м ³)	Кратність перевищення
1	Залізо та його сполуки (у перерахунку на залізо)	0,04	0,16	4
2	Речовини у вигляді суспендованих твердих часток недиференційованих за складом	0,5	0,5003	1,001
3	Оксид вуглецю	5,0	5,5075	1,101

Таблиця 2

**Фактичні викиди забруднюючих речовин зварювального виробництва
та їх порогові критерії для взяття на державний облік**

№ з/п	Найменування	Фактичний обсяг викидів (т/рік)	Порогові значення потенційних викидів для взяття на держоблік (т/рік)
1	Залізо та його сполуки (у перерахунку на залізо)	2,731	0,1
2	Хром та його сполуки в перерахунку на триоксид хрому	0,07862	0,02
3	Марганець та його сполуки (у перерахунку на діоксид марганцю)	0,1117	0,005
4	Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок, недиференційованих за складом	10,00076	3
5	Оксиди азоту (оксид та діоксид азоту) у перерахунку на діоксид азоту	4,885	1
6	Оксид вуглецю	1,9352	1,5
7	Акролеїн	0,00791	0,004
8	Ацетон	0,922	0,5
9	Бутиловий ефір оцтової кислоти (бутилацетат)	3,353	0,3
10	Ксилол	5,0657	0,9
11	Толуол	4,364	0,1

(КНП). Його визначають з урахуванням типу виробництва, кількості та виду небезпечних речовин, імовірності виникнення аварійних ситуацій, рівня впливу на довкілля та відповідності нормативним вимогам. Оцінка КНП необхідна для встановлення екологічних обмежень, вимог до безпеки виробничих процесів і розроблення заходів щодо запобігання аваріям і мінімізації їхніх наслідків [15]. Показник КНП визначено згідно з [15] на основі маси, виду та складу шкідливих речовин, їх середньодобових ГДК і класу небезпеки. За результатами розрахунку підприємство металоконструкцій віднесено до 4 класу небезпеки, для якого встановлено санітарно-захисну зону 100 м. У її межах відсутня житлова забудова та об'єкти соціальної інфраструктури.

Найближчі житлові будинки розташовані на відстані понад 370 м у західному напрямку від джерел викидів, тобто за межами встановленої зони. Детальну оцінку зони впливу підприємства на населення можна здійснити після розрахунку розсіювання шкідливих речовин у повітрі.

Розрахунок розсіювання забруднюючих речовин виконано відповідно до п. 5.21 ОНД-86 із врахуванням маси викидів, значень максимальної разової ГДК речовин та параметра Φ , який залежить від середньої висоти джерела. Результати показали необхідність урахування впливу всіх речовин, що виділяються під час складання та зварювання: сполук заліза, мангану, хрому, діоксиду кремнію, фтору та його газоподібних сполук (у перерахунку на фтористий водень і фтор), а також оксидів азоту та вуглецю. Джерела викидів мають однакову висоту 20 м і розташовані на відстанях, менших за висоту

дефлектора, а також характеризуються близькими масовими та об'ємними витратами газоповітряної суміші, що дає підстави розглядати їх як зосереджене джерело забруднення. Результати наведено на рисунках 2–5 для речовин, фонові концентрації яких перевищують середньодобові ГДК, зокрема, залізо, СО, діоксид кремнію. Вісь абсцис відображає відстані до джерела у вигляді кратності від значень x_m (відстані від джерела, на якій досягаються значення максимальних приземних концентрацій). Вони становлять: для заліза – $x_m = 80,82$ м, для суспендованих твердих частинок і оксиду вуглецю – $x_m = 106,43$ м.

Слід зазначити, що графіки зміни концентрації шкідливих речовин із відстанню від джерела мають форму класичної симетричної гаусівської кривої. Значення максимальних приземних концентрацій не перевищують середньодобові ГДК, тобто рівень впливу речовин, що виділяються у складально-зварювальному виробництві, є безпечним для здоров'я населення.

Проте з урахуванням фонових концентрацій шкідливих речовин, при додаванні їх значень до отриманих концентрацій, відзначено перевищення ГДК для населених пунктів у 4,26 рази по залізу та його сполукам, у 1,016 разів по суспендованих твердих частках та у 1,101 разів по чадному газу.

Зону впливу кожної речовини на населення прилеглих територій, згідно з методикою ОНД-86, визначають як відстань, на якій концентрація шкідливої речовини зменшується до 0,05 ГДК. За результатами розрахунків, відстані зон впливу становлять: для заліза – 566 м, для суспендованих твердих частинок – 242 м, для оксиду вуглецю – 353 м, для фторидів – 2180 м.

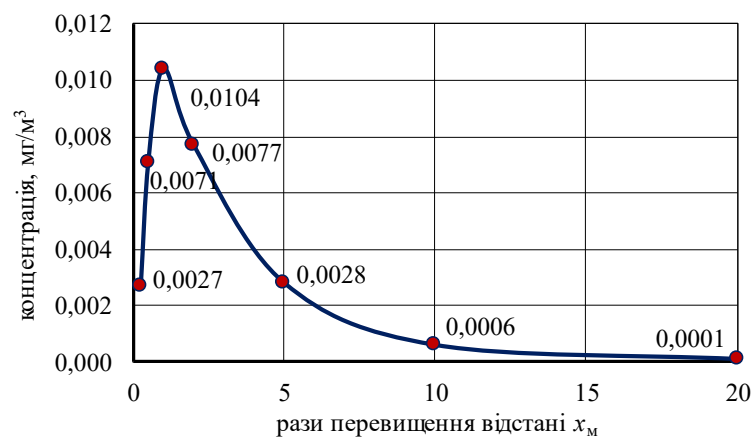


Рис. 2. Приземні концентрації заліза в атмосферному повітрі

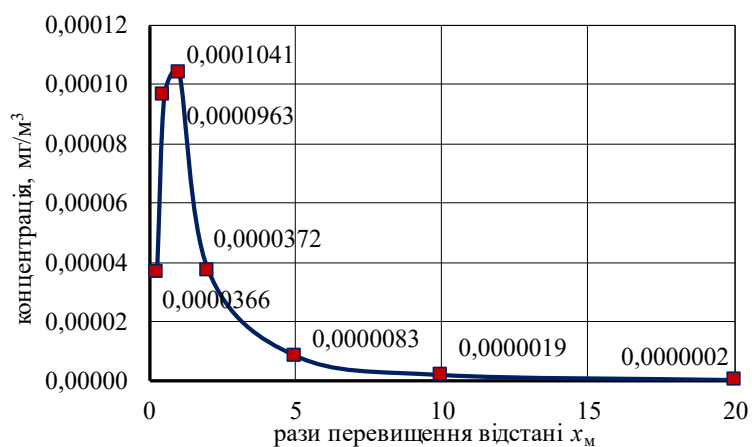


Рис. 3. Приземні концентрації оксиду вуглецю в атмосферному повітрі

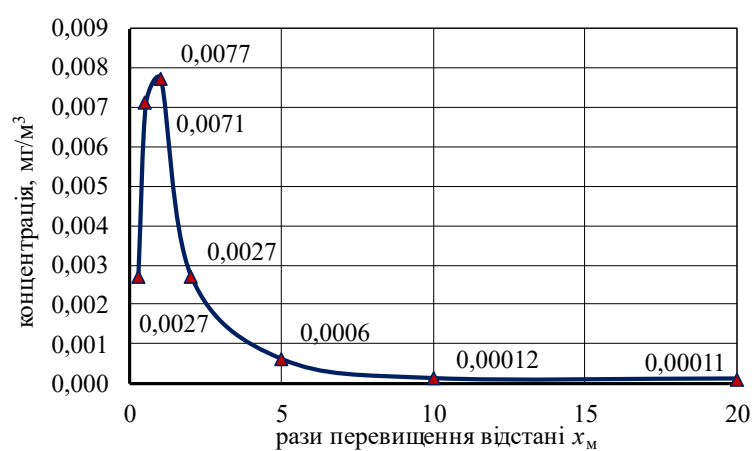


Рис. 4. Приземні концентрації суспендованих твердих частинок (ТЧ) в атмосферному повітрі



Рис. 5. Приземні концентрації фторидів в атмосферному повітрі

Для методичної частини дослідження застосовано загальноприйняті підходи та формули обчислення парціальних і комплексного індексів забруднення атмосфери (КІЗА) прилеглої території, що враховують вплив специфічних домішок складально-зварювального виробництва та фонові концентрації [12] (1).

$$KIZA = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_m + C_\phi}{ГДК_i} \right)^{a_i}, \quad (1)$$

де C_m – розрахована максимальна приземна концентрація шкідливої домішки, мг/м³; C_ϕ – фонові концентрації речовини у місці розташування підприємства, мг/м³; $ГДК_i$ – середньодобова гранично допустима концентрація i -тої забруднюючої речовини, мг/м³; a_i – безрозмірна константа, яка враховує клас небезпеки i -тої речовини.

Дані розрахунків парціальних індексів та комплексного індексу забруднення атмосфери наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Значення парціальних та комплексного індексів забруднення атмосфери (ІЗА) у зоні впливу підприємства

№	Назва речовини	ІЗА
1	Залізо	3,48
2	Манган	0,307
3	Нікель	0,82
4	Хром	0,02
5	Оксиди азоту	0,0667
6	Оксид вуглецю	1,284
7	Тверді частки	1,01
Комплексний індекс забруднення		6,99

Таким чином, розраховане значення комплексного індексу забруднення атмосфери специфічними домішками, що утворюються у складально-зварювальному виробництві, КІЗА = 6,99 ∈ (5,0–7,0),

свідчить про стан підвищеного рівня забруднення атмосферного повітря в районі розташування підприємства.

Результати дослідження свідчать про необхідність посилення контролю за викидами та реалізації природоохоронних заходів.

Головні висновки. В умовах високого антропогенного навантаження на навколишнє середовище в промислових регіонах України аналіз показників екологічної безпеки діяльності підприємств дозволяє оцінити ступінь їх впливу на атмосферне повітря та визначити напрями мінімізації негативного впливу.

До основних показників екологічної безпеки складально-зварювального виробництва підприємства відносяться:

- ÷ обсяги утворених відходів;
- ÷ наявність специфічних домішок у викидах та їх вплив на стан атмосферного повітря;
- ÷ формування зон впливу поллютантів на населення;
- ÷ комплексний індекс забруднення атмосфери.

Проведений аналіз матеріальних балансів ручного, автоматичного та напівавтоматичного зварювання показав, що основними утворюваними відходами є шкідливі речовини, які виділяються у атмосферу та становлять від 0,5 % (автоматичне зварювання під шаром флюсу) до 3 % (ручне дугове зварювання електродами) від загальної маси витрачених матеріалів.

Виділено 13 організованих джерел викидів складально-зварювального виробництва. Основними специфічними домішками, що потрапляють у атмосферу, є: залізо та його сполуки, манган, діоксид кремнію (у вигляді твердих часток), фтор та його газоподібні сполуки (у перерахунку на фтористий водень), оксиди азоту та вуглецю.

Фонові концентрації деяких забруднюючих речовин, особливо заліза та його сполук, перевищують

середньодобові гранично допустимі концентрації (ГДКс.д.) у 1,1–4 рази. За 11 речовинами, що присутні у викидах, підприємство перебуває на державному обліку.

Розрахований клас небезпеки підприємства показав, що воно відноситься до 4 класу небезпеки із нормованою санітарно-захисною зоною 100 м. При цьому найближча житлова забудова розташована на відстані понад 370 м від джерел викидів, що перевищує межі санітарно-захисної зони.

Розрахунок розсіювання основних забруднюючих атмосферу речовин показав, що максимальні приземні концентрації не перевищують ГДКс.д. Однак із врахуванням фонових концентрацій спостерігається перевищення ГДКс.д. у 4,26 рази по залізу та його сполуках, у 1,016 разів по суспендованим твердим часткам та у 1,101 разів по чадному газу. Визначені зони впливу окремих речовин (ОНД-86) складають: для заліза – 566 м, для суспендованих

твердих часток – 242 м, для оксиду вуглецю – 353 м, для фторидів – 2180 м.

Комплексний індекс забруднення атмосфери специфічними домішками складально-зварювального виробництва $K_{ІЗА} = 6,99 \in (5,0–7,0)$ відповідає стану підвищеного забруднення атмосфери, що свідчить про потенційний ризик для здоров'я населення прилеглих територій.

Перспективи використання результатів досліджень. Враховуючи високий фоновий рівень забруднення атмосфери на території розташування підприємства, природоохоронні заходи повинні бути спрямовані на зниження концентрацій шкідливих речовин у викидах складально-зварювального виробництва. Це можна досягти за допомогою впровадження ефективних систем вентиляції та пристроїв уловлювання твердих часток і газоподібних домішок, а також шляхом оптимізації технологічних режимів зварювання.

Література

1. Ричак Н.Л., Табачна І.М. Тенденції формування рівня забруднення атмосферного повітря урбанізованого середовища. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2012. № 3–4. С. 120–127. URL: https://journals.uran.ua/ludina_dov/article/view/22754 (дата звернення: 12.09.25).
2. Amber A. The essence and mechanism of environmental safety management. *Green, Blue and Digital Economy Journal*. 2023. 4(2). Р. 1–9. URL: <http://baltijapublishing.lv/index.php/gbdej/article/view/2095/2100> (дата звернення: 02.09.25).
3. Артюх-Пасюта О., Мілька А. Теоретичні аспекти визначення екологічної безпеки підприємства. *Економіка та суспільство*. 2021. № 25. С. 44–49. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-25-33>.
4. Луньова О.В. Наукові основи управління екологічною безпекою промислових комплексів вуглевидобувних підприємств. *Екологічні науки*. 2020. № 1(28). С. 50–59. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.8>.
5. Белоконь К.В., Пірогова І.М. Аналіз та оцінка рівня забруднення атмосферного повітря м. Запоріжжя. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету*. 2021. Том 1, № 38. С. 149–158. URL: <https://doi.org/10.31319/2519-2884.38.2021.18>.
6. Некос А.Н., Кравченко О.К. Оцінка стану та динаміки забруднення атмосферного повітря малих міст Харківської області. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2012. № 1–2. С. 122–127. URL: https://journals.uran.ua/ludina_dov/article/view/22406 (дата звернення: 18.09.25).
7. Levchenko O., Polukarov Y., Zemlyanska O. Hygienic characteristics of welding methods and welding materials. *Environmental Safety and Natural Resources*. 2025. № 53(1). С. 82–94. URL: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2025.1.82-94>.
8. Мельникова М.В., Градобоева, Є.С. Аналіз європейського досвіду використання системи екологічної безпеки стало розвинутих міст. *Економічний простір*. 2020. № 163, С. 109–113. <https://doi.org/10.32782/2224-6282/163-19>.
9. Доценко Л.В., Демиденко А.С. Порівняльний аналіз методів визначення рівня забруднення атмосферного повітря. *Екологічна безпека*. 2014. Вип. 2. С. 71–74. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekbez_2014_2_14 (дата звернення: 22.09.25).
10. Building a model for choosing a strategy for reducing air pollution based on data predictive analysis / A. Biloshchytskyi et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 3, no. 4 (117). Р. 23–30. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.259323>.
11. Radevych T.V., Nochovna Y.O., Samburs'ka N.I. Modelling of the integrated indicator of the general level of environmental safety of the enterprise. *Economic Analysis*. 2017. No. 27(2). Р. 182–191. URL: <https://doi.org/10.35774/econa2017.02.182>.
12. Колесник В.Є., Павличенко А.В., Калініна К.Р. Екологічна класифікація якості атмосферного повітря за комплексними індексами його забруднення. *Геотехнічна механіка*. 2017. Вип. 137. С. 156–169. URL: <https://nasplib.isofts.kiev.ua/handle/123456789/158647> (дата звернення: 14.09.25).
13. About the Air Quality Health Index. URL: https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/air-qualityhealth-index/about.html#What_is_AQHI (дата звернення: 08.07.2025).
14. Чурай А.В., Сафранов Т.А. Методи оцінки техногенного впливу на довкілля: навч. посібник. Одеса: Букаєв Вадим Вікторович, 2021. 118 с. URL: http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/10029/1/ChyhayAV_MetOchTehnogenVplyvy_2021.pdf (дата звернення: 08.08.2025).
15. ДСП 173-96. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. Київ: МОЗ України, 1996. 72 с. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96#Text> (дата звернення: 28.08.2025).

Дата першого надходження рукопису до видання: 27.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025