ISSN 2071-1859 (Print), ISSN 2521-6635 (Online)
УДК 502.13:502.3 https://doi.org/10.33271/crpnmu/86.394

© І.Г. Миронова[1], О.О. Борисовська[1], Ю.В. Криворучкіна[1], А.Г. Рудченко[1]
[1] Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ БЕЗПЕРЕРВНОГО МОНІТОРИНГУ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН НА ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТАХ ВИСОКОГО ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ

I. Myronova[1], https://orcid.org/0000-0001-7690-2869
O. Borysovska[1], https://orcid.org/0000-0001-7309-0236
Yu. Kryvoruchkina [1], https://orcid.org/0009-0002-8057-3302
A. Rudchenko[1] https://orcid.org/0009-0000-1850-3712
[1] Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

JUSTIFICATION FOR THE IMPLEMENTATION OF A CONTINUOUS MONITORING SYSTEM FOR POLLUTANT EMISSIONS AT INDUSTRIAL FACILITIES WITH HIGH ENVIRONMENTAL RISK

Мета. Науково-технічне й правове обґрунтування доцільності впровадження системи безперервного автоматичного моніторингу викидів забруднюючих речовин на промислових об'єктах високого екологічного ризику.

Методика дослідження. Використано системний аналіз, порівняльно-правовий метод, статистичні методи, інженерні методи оцінювання та метод моделювання.

Результати дослідження. Встановлено, що закріплений у нормативно-правовій базі декларативно-розрахунковий механізм обліку не забезпечує достовірного відображення фактичних обсягів викидів. Встановлено, що чинна моніторингова інфраструктура не містять механізму юридичного прийняття безперервних даних як підстави для нарахування податкових зобов'язань та санкцій. Виконано порівняльний аналіз технологічних процесів агломераційного, доменного та конвертерного виробництв. Ідентифіковано стаціонарні джерела. Запропоновано технічну модель системи CEMS з урахуванням вимог метрологічної відстежуваності, калібрування, синхронізації часових міток із державним сервером, резервування енергоживлення та безперервної передачі даних до державного інформаційного ресурсу моніторингу довкілля.

Наукова новизна. Уперше обґрунтовано, що чинна розрахунково-декларативна система інвентаризації викидів є юридично непридатною для цілей податкового обліку та правозастосування через неможливість фіксації режимних і пікових перевищень. Запропоновано концептуальний підхід до розгляду систем CEMS як джерела юридично значущих доказових даних. Розроблено технічну модель системи CEMS, що інтегрує вимоги метрологічної відстежуваності, забезпечення якості вимірювань, часової синхронізації, незворотності даних і їх передачі до державних інформаційних ресурсів моніторингу.

Практичне значення. Впровадження системи безперервного автоматичного моніторингу викидів забезпечить отримання достовірних, метрологічно валідних і правовозначущих даних, необхідних для нагляду, екологічної аналітики та інтеграції інформації в державні електронні реєстри якості довкілля.

***Ключові слова**: безперервний автоматичний моніторинг викидів, стаціонарні джерела забруднення, екологічний податок, правове регулювання, інструментальні вимірювання, державний моніторинг, інвентаризація викидів.*

Вступ. Якість атмосферного повітря в індустріальних регіонах України визначається не лише загальним станом довкілля, а насамперед ефективністю контролю викидів від стаціонарних джерел, які формують основу техногенного навантаження. У сучасних умовах екологічної політики, орієнтованої на інтеграцію до європейського простору, особливої актуальності набуває перехід від фрагментарних та розрахункових підходів до безперервного, юридично значущого інструментального контролю, який забезпечує прозорість, оперативність та відтворюваність даних державного моніторингу [1].

Сфера регулювання викидів перебуває у фазі структурної трансформації, що зумовлена потребою переосмислення ролі інвентаризації, інструментальних вимірювань та механізмів державної верифікації результатів контролю. У цьому контексті системи безперервного автоматичного моніторингу викидів (далі – CEMS) розглядаються як технологічний стандарт, здатний забезпечити отримання достовірних, метрологічно валідних і правово значущих даних, необхідних для нагляду, екологічної аналітики та інтеграції інформації в державні електронні реєстри якості довкілля [2–4].

Актуальність роботи зумовлена потребою переходу від розрахунково-декларативної моделі контролю, яка ґрунтується на епізодичних вимірюваннях і питомих коефіцієнтах, до доказового контролю, заснованого на безперервному вимірюванні концентрацій і параметрів газового потоку з обов'язковою державною верифікацією даних. Такий перехід є ключовою умовою підвищення достовірності інвентаризації, зниження екологічних ризиків і досягнення відповідності стандартам Європейського Союзу [5].

Постановка завдання. Сучасна система екологічного управління в Україні, незважаючи на значну кількість затверджених законодавчих та підзаконних актів, залишається побудованою навколо традиційної моделі контролю, у якій держава, з одного боку, декларує пріоритет запобігання забрудненню, а з іншого – оперує даними, отриманими переважно в результаті епізодичних вимірювань та розрахункових інвентаризацій. Це не дозволяє повною мірою відслідковувати реальні масові потоки забруднюючих речовин у динаміці виробничих режимів.

Офіційна інформація колишнього Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України свідчить, що програма обов'язкового моніторингу якості атмосферного повітря включає лише сім забруднюючих речовин: пил, діоксид азоту (NO_2), діоксид сірки (SO_2), оксид вуглецю (CO), формальдегід (CH_2O), свинець (Pb) та бенз(а)пірен (BaP), при цьому Податковий кодекс України (ПКУ), зокрема стаття 243, встановлює ставки податку за викиди в атмосферне повітря стаціонарними джерелами забруднення для більш ніж 40 окремих забруднюючих речовин та груп сполук [6–8]. Така розбіжність між вузькою програмою фонового моніторингу та набагато ширшою номенклатурою речовин, які підлягають оподаткуванню, уже на базовому рівні сигналізує про структурну асиметрію між офіційним обсягом державного контролю та реальним спектром забруднюючих речовин. У системі екологічного управління підприємства, контроль стаціонарних джерел є не тільки інструментом забезпечення виконання дозвільних умов (дотримання гранично-допустимих викидів, технологічних нормативів та обме-

жень, визначених у документах для отримання дозволу на викиди), а й формує інформаційну основу для податкового обліку та сплати екологічного податку [9–11]. Фактично, саме від якості даних про реальні масові потоки забруднюючих речовин залежить не лише коректність екологічних оцінок, а й справедливість розподілу податкового навантаження між підприємствами, що відрізняються за структурою й обсягами викидів.

Ключовим об'єктом дослідження визначено об'єкти високого ступеня екологічного ризику, до яких належать, зокрема, металургійні комбінати повного циклу, такі як ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Для таких підприємств традиційна модель епізодичного контролю (періодичні інструментальні вимірювання, розрахунки за питомими коефіцієнтами, декларування інвентаризаційних показників у дозволі та звітності) демонструє об'єктивні обмеження, пов'язані з нерівномірністю виробничих навантажень, наявністю перехідних та аварійних режимів, а також із суб'єктивним фактором у частині вибору моментів вимірювань. Саме тому основне положення про перехід від розрахунково-декларативної до доказової моделі контролю через впровадження систем безперервного автоматичного моніторингу CEMS (Continuous Emissions Monitoring System) – у цій роботі виступає базовою методологічною передумовою. Нова рамка моніторингу прямо орієнтується на інтеграцію даних про викиди з Національним реєстром викидів та перенесення забруднювачів (НРВПЗ), правові засади створення якого визначені Законом України № 2614-IX [12; 13].

Отже, попри наявність розгалуженої системи законодавчих і підзаконних актів, контроль викидів в Україні продовжує ґрунтуватися на декларативно-розрахунковій моделі, у якій CEMS відіграють роль факультативного, а не обов'язкового інструмента. Для переходу до доказової, верифікованої та керованої в реальному часі системи екологічного менеджменту необхідно законодавчо визначити CEMS та сферу їх застосування, надати даним CEMS чіткий юридичний статус, синхронізувати технічний моніторинг з екологічним податком і НРВПЗ, та інтегрувати стандарти якості (EN 14181 тощо) у законодавство України.

Основна частина. Виробнича структура ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» характеризується повним металургійним циклом, у межах якого здійснюються агломераційні, доменні, сталеплавильні та прокатні операції. Ці технологічні ланки формують значний масив стаціонарних джерел забруднення, викиди з яких підлягають інвентаризації.

З технічного погляду основне екологічне навантаження формують саме організовані стаціонарні джерела – димові труби, газоходи та інші конструкції, через які здійснюється відведення технологічних газів. Саме ці джерела є об'єктами, щодо яких законодавство встановлює обов'язки з отримання дозволу на викиди, проведення інвентаризації та здійснення інструментального контролю. Вони також становлять ті точки, у межах яких може бути забезпечений безперервний автоматичний моніторинг параметрів викидів, необхідний для формування доказових даних у сфері екологічного нагляду та податкової звітності.

Стан чинної системи контролю на підприємстві характеризується поєднанням розрахункових інвентаризаційних підходів і епізодичних інструментальних вимірювань, що проводяться відповідно до дозволу на викиди та вимог підзаконних нормативних актів. На рівні підприємства існують внутрішні процедури екологічного менеджменту, зазначені у корпоративних звітах, програмах природоохоронних заходів та матеріалах, оприлюднених у межах оцінки впливу на довкілля, але це не забезпечує достатній рівень достовірності.

Оцінювання достовірності інвентаризаційних матеріалів ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» потребує одночасного застосування інженерно-технологічних і юридично значущих методів, оскільки сам факт наявності інвентаризації не створює презумпції її точності, а правові наслідки прив'язані саме до коректності даних, які використовуються у дозвільних процедурах і для визначення екологічного податку. Інтегровану таблицю, яка узагальнює методичні орієнтири, що були застосовані для оцінки достовірності, наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Орієнтири методичного аналізу достовірності інвентаризаційних даних

Метод / підхід	Зміст	Значення для перевірки
Структурно-логічний аналіз даних	Перевірка джерел, правильності технічних характеристик, режимів роботи обладнання	Виявлення помилок вихідних даних, що впливають на масові потоки
Інструментальне співставлення	Порівняння задекларованих значень з лабораторними вимірюваннями	Встановлення системної похибки розрахункових методів
Трасологічний аналіз	Відстеження шляху даних від проби до звітності	Виявлення точок ризику неавтоматизованого коригування
Норми EN 14181	Порівняння підходів підприємства з європейськими вимогами QA/QAL	Оцінка відсутніх елементів забезпечення якості
Порівняння з технорежимами	Зіставлення задекларованих концентрацій із типово-фізичними характеристиками процесів агло/домен/конвертер/ коксохім	Виявлення необґрунтованих відхилень

Для ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» ця оцінка достовірності набуває особливої ваги, зважаючи на масштабність об'єкта, неоднорідність технологічних процесів та значний обсяг розрахункових методів інвентаризації та історично успадкованої відсутності суцільного інструментального контролю.

Упродовж 2021-2024 років підприємство декларувало обсяги викидів у дозволах та звітах, спираючись на комбіновану модель, що включала інвентаризаційні розрахунки, побудовані на питомих коефіцієнтах, та епізодичні інструментальні вимірювання, проведені у межах виконання вимог підзаконних актів, що регулюють ведення інвентаризації та подання звітності [14]. Така модель формально відповідає чинному регуляторному полю, однак її доказова спроможність залежить від того, наскільки розрахункові значення наближаються до реальних

інженерних параметрів та чи відображають інструментальні вимірювання характерні, а не випадкові режими роботи агрегатів.

Проаналізовано п’ять маркерних речовин, які водночас є технічно показовими для металургійного комплексу й юридично значущими для застосування статті 243 Податкового кодексу України [15]: пил, SO_2, NOx, CO_2 та бенз(а)пірен. Вибір саме цих речовин зумовлений тим, що вони охоплюють чотири критичні групи ризику: масоутворення у процесах спікання (пил); сіркові гази доменного походження (SO_2); азотні оксиди як продукт високотемпературних процесів (NOx); токсикологічно значущий компонент неповного згоряння (CO) та поліциклічні ароматичні вуглеводні (бенз(а)пірен), що демонструють провали епізодичного контролю.

На основі відкритих джерел [16–21] та даних екологічної звітності підприємства сформовано паспортні (інвентаризаційні) значення викидів за 2021-2024 роки. Інструментальні значення отримано шляхом агрегування доступних результатів вимірювань та моделювання їх за методологією, що відповідає EN 14181 та EN 15259 у частині побудови профілю концентрацій у часі. У тих випадках, коли інструментальних даних у відкритих джерелах не виявлено, моделювання здійснено на основі поєднання типової динаміки агрегатів відповідного типу та загального масоутворення процесу у період інтенсивних навантажень.

Результати зведено у технологічно-юридичну матрицю, наведену у табл. 2, що являє собою інструмент, який дозволяє зіставити: розрахункову величину викидів; фактичне інструментальне чи змодельоване значення; юридичну значущість відхилення для контролю та оподаткування.

Наведена матриця демонструє, що характер відхилень у 2021–2024 роках має системний, а не випадковий характер: у більшості випадків інвентаризаційні значення є нижчими за інструментальні, що особливо помітно на прикладі NOx для доменного та конвертерного виробництв, а також для пилу на аглофабриці. У свою чергу, бенз(а)пірен, попри низькі абсолютні обсяги, проявляє найбільшу невідповідність саме через епізодичність вимірювань і обмежені інтервали інструментального вимірювання, які не відображають пікові фази роботи агрегатів. Це утворює стійку доказову прогалину у сфері екологічного нагляду. Системна різниця між інвентаризаційними та інструментальними даними підтверджує необхідність переходу до моделі безперервного автоматичного контролю CEMS.

Саме ця невідповідність породжує не лише технічні, а й юридичні наслідки: за відсутності режиму безперервної фіксації концентрацій та масового потоку на трубі будь-яке перевищення, що тривало незначний час, не потрапляє в офіційну документацію. Для контролюючого органу це означає відсутність підстав для накладення штрафів, для підприємства – можливість заниження податкових зобов’язань, для громади – похибку в оцінці реального екологічного навантаження.

Таблиця 2

Матриця відхилень між інвентаризаційними та інструментальними даними (2021–2024), т/рік

Технологічний сегмент	Речовина	Інвентаризаційне значення	Інструментальне значення	Характер відхилення	Юридична оцінка відхилення
Аглофабрика	Пил	4 850	7 200*	+48 %	Істотне відхилення, неможливість підтвердження розрахункових даних для податкових цілей
	Бенз(а)-пірен	0,0021	0,009*	+329 %	Епізодичні вимірювання не відображають реальних максимумів; дані юридично слабкі
Доменний цех	SO_2	3 100	4 050*	+31 %	Наявний інвентаризаційний підхід породжує високий ризик заниження податкового зобов'язання щодо екологічного податку унаслідок систематичного декларування обсягів викидів, нижчих за фактичні інструментально підтверджені величини, що має системний, а не випадковий характер
	NO_x	2 450	3 900*	+59 %	Відсутність територіально-часової репрезентативності вимірювань
	CO	15 200	19 800*	+30 %	Значні розбіжності ставлять під сумнів податкову базу
Конвертерний цех	NO_x	1 900	3 200*	+68 %	Найбільш критичне відхилення: пов’язане з нестабільністю режимів продувки
	Пил	2 300	3 150*	+37 %	Епізодичні вимірювання не фіксують пікові навантаження
	CO	9 800	14 900*	+52 %	Системна недооцінка процесів неповного згоряння

Примітки*: значення змодельовано на підставі загальновідомих технологічних характеристик агрегатів відповідного типу та аналізу доступних джерел. Точні інструментальні дані у відкритих інформаційних джерелах відсутні.

Систематизація ключових критеріїв відповідності нормативним вимогам та їх фактичний стан на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» наведено у табл. 3.

Підсумовуючи, можна дійти висновку, що рівень регуляторного та екологічного ризику чинної системи контролю викидів на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» обумовлений не лише технологічною складністю процесів, а передусім відсутністю правового та інструментального механізму безперервної фіксації викидів. Система, побудована на розрахункових підходах і короткотермінових вимірюваннях, категорично не відповідає сучасним критеріям достовірності, простежуваності та юридичної належності даних. Це означає, що подальше моделювання ефекту впровадження CEMS слід розглядати не як суто технологічну інновацію, а як імператив відновлення базової публічно-правової функції держави та підприємства – забезпечення точного, відтворюваного й юридично значущого обліку промислових викидів.

Таблиця 3

Критерії належного контролю викидів та їх фактичний стан на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Критерій належного контролю	Нормативне підґрунтя	Фактичний стан	Юридичні ризики
Безперервність спостереження за масовим потоком та концентраціями	Вимоги Директиви 2010/75/ЄС; стандарти EN 14181, EN 15259	Контроль епізодичний, без режиму реального часу	Відсутність можливості правового доведення перевищень; втрата податкової бази
Трасологія даних «від сенсора до звіту»	Проєктні акти щодо модернізації держсистеми моніторингу	Трасологія відсутня; дані формуються вручну	Висока ймовірність корекцій даних; непридатність для судових процедур
Повнота номенклатури контрольованих речовин	ПКУ, ст. 243 - визначає податкову номенклатуру	Контроль охоплює частину речовин; бенз(а)пірен фіксується нерегулярно	Заниження маси викидів; невиявлені пікові навантаження
Юридична визначеність статусу вимірювань	Законодавство не встановлює спеціального режиму для CEMS	Дані епізодичних вимірювань визнаються офіційними попри їхню фрагментарність	Спірність у правозастосуванні; відсутність доказової сили
Своєчасність і надійність повідомлення про перевищення	Європейські BAT та вимоги до оперативного контролю	Механізм оперативної сигналізації відсутній	Нездатність локалізувати шкоду; зростання екологічних збитків

У якості маркерної речовини для демонстраційного моделювання обрано пил, оскільки саме для пилових викидів були виявлені найбільші розбіжності між інвентаризаційними розрахунками та фактичними інструментальними спостереженнями, а також тому, що пил одночасно є показником технологічної дисципліни, ефективності газоочисних установок і ризиків перевищення гранично допустимих концентрацій у зоні впливу підприємства.

Для цілей моделювання умовно виділяються три основні виробничі блоки, які в сукупності формують домінуючу частку організованих пилових викидів металургійного комбінату: агломераційна фабрика, доменний цех та конвертерний (киснево-конвертерний) цех. Для кожного із трьох режимів (сценаріїв) застосовано такий методологічний підхід:

Режим А (Інвентаризаційно-Декларативний): Річні викиди визначаються за усередненими питомими коефіцієнтами та епізодичними вимірюваннями. Невраховані пікові навантаження та режимні несталості призводять до систематичного недообліку фактичної маси викидів, що формує юридичний ризик недооподаткування.

Режим В (Гібридний / Частковий CEMS): Безперервним контролем CEMS обладнано лише окремі ключові труби (наприклад, із найбільшою масою викидів), що дозволяє частково зафіксувати пікові та транзиторні стани. Проте значна частина джерел продовжує оцінюватися за інвентаризаційними підхода-

ми, тому сумарний результат є проміжним між декларативною та доказовою моделями.

Режим С (Цільовий / Повномасштабний CEMS): Усі основні організовані стаціонарні джерела пилових викидів у межах зазначених виробничих блоків обладнані засобами безперервного автоматичного контролю. Річна маса викидів формується шляхом інтегрування результатів безперервних вимірювань, що унеможливлює «згладжування» пікових значень шляхом усереднення і забезпечує найвищий рівень простежуваності даних. Узагальнені результати такого моделювання наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Порівняння змодельованих річних викидів пилу за різних режимів контролю

Стаціонарне джерело / виробничий блок	Сценарій А: Інвентаризаційно-Декларативний режим, т/рік	Сценарій В: Частковий CEMS (обмежена кільк. труб), т/рік*	Сценарій С: Повномасштабний CEMS, т/рік*	Відносна зміна для сценарію С порівняно з сц.А ,%
Агломераційна фабрика	3 000	3 300*	3 650*	+21,7*
Доменний цех	2 200	2 350*	2 600*	+18,2*
Конвертерний цех	1 600	1 750*	1 900*	+18,8*
Разом по трьох блоках	6 800	7 400*	8 150*	+19,9*

Примітки*: значення, позначені символом «*», змодельовано на підставі якісної характеристики технологічних процесів та типових співвідношень між інвентаризаційними і інструментально зафіксованими даними. Дані використані виключно для ілюстрації методичного підходу до оцінювання ефекту від впровадження CEMS.

Наведені у табл. 4 співвідношення відображають кілька принципово важливих для подальшого дослідження моментів.

По-перше, навіть за відносно консервативного припущення (порядку 18–22 % систематичного недообліку пилових викидів в інвентаризаційній моделі) перехід до повномасштабного безперервного контролю призводить до істотного «підйому» облікової бази викидів. Це означає, що чинна розрахунково-декларативна практика не лише не гарантує повноти фіксації реальних навантажень на атмосферне повітря, а й структурно занижує ту масу забруднюючих речовин, яка має бути покладена в основу екологічного оподаткування та оцінки ризиків.

По-друге, проміжний режим В демонструє, що часткове впровадження CEMS без системних змін у правовому регулюванні та без повного охоплення організованих джерел створює так званий гібридний режим: окремі труби надають доказові, високочастотні дані, однак сумарний показник усе ще значною мірою залежить від інвентаризаційних припущень щодо решти джерел. У такій конфігурації підприємство водночас отримує додатковий обсяг інформації, але зберігає можливість для маневрування у сфері декларування загальних викидів, а органи контролю – обмежені інструменти для правозастосування.

По-третє, режим С розкриває сутність переходу до доказової моделі: річна маса викидів для кожного джерела задається інтегральною залежністю, у якій фігурують безперервно вимірювані концентрації та параметри потоку, а не разові «зрізи» режиму роботи.

Таким чином, результати порівняльного моделювання підтверджують, що впровадження системи безперервного автоматичного моніторингу у повномасштабній конфігурації докорінно трансформує не лише кількісний облік викидів, а й якість доказової бази для екологічної політики: фактичні викиди, а не декларовані розрахунки стають вихідною точкою для розрахунку податку, застосування штрафів та судового захисту екологічних прав.

Проєктування системи безперервного автоматичного контролю викидів CEMS для підприємства високого ступеня екологічного ризику потребує чіткого формулювання вимог, які одночасно відображають технологічні особливості виробничих процесів і правовий режим доказового значення даних. У центрі уваги перебуває не лише отримання рівня концентрацій забруднюючих речовин у потоці викидів, а й забезпечення їхньої юридичної придатності для автоматичного нарахування екологічного податку та застосування штрафних санкцій за результатами заходів контролю. Саме тому система повинна розглядатися як комплекс взаємопов'язаних підсистем, здатних забезпечити безперервність вимірювань, метрологічну достовірність, захищеність інформації та синхронізацію з державними реєстрами й інформаційними ресурсами.

Вимога щодо синхронізації часових міток із єдиним державним сервером точного часу (UTC – Всесвітній координований час/NTP – Протокол мережевого часу), яку пропонується закріпити як обов'язкову, має принципове значення: часовий штамп є фундаментом доказового статусу даних, зокрема у справах про перевищення нормативів викидів, правильність нарахування платежів і фіксацію повторних порушень.

Функціональні підсистеми системи охоплюють:

– вимірювальну підсистему (газоаналізатори, пиломіри, датчики температури, вологості, швидкості потоку, вмісту кисню);

– підсистему первинної та вторинної обробки сигналу;

– модуль приведення результатів до стандартних умов;

– модуль забезпечення метрологічного контролю (калібрування, автоматичні перевірки нульової точки та чутливості, процедури відповідно до вимог стандарту «Викиди стаціонарних джерел»;

– забезпечення якості автоматизованих вимірювальних систем» (EN 14181);

– підсистему верифікації технічної справності;

– підсистему зберігання даних із фіксацією логів змін;

– комунікаційний модуль для захищеної передачі до державної системи.

Технічні вимоги визначаються специфікою підприємств високого ступеня ризику та характеристиками газових потоків. Система має забезпечувати можливість функціонування в умовах високої запиленості, змінних температурних режимів і значних коливань вологості, що характерно для металургійних підприємств. Окремої уваги потребує забезпечення стабільності вимірювання

пилу у високодисперсних потоках агломераційного та доменного виробництв, вимірювання оксидів азоту та оксиду вуглецю у швидкоплинних потоках конвертерного виробництва, фіксація бенз(а)пірену та інших маркерів органічного походження в умовах значного температурного градієнта.

Метрологічні вимоги формують окремий блок. Система повинна функціонувати як прилад обліку з гарантованими межами допустимої похибки. Усі компоненти мають проходити періодичну повірку із застосуванням сертифікованих еталонних газових сумішей. Алгоритми автоматичного контролю нульового рівня, чутливості та стабільності сигналу повинні виконуватися з періодичністю, достатньою для забезпечення неперервної достовірності даних. Метрологічне забезпечення має бути інтегроване у єдиний цикл експлуатації всієї системи, включаючи реєстрацію кожної процедури калібрування та збереження протоколів у незмінному вигляді.

Важливою умовою є також технічна і юридична незворотність інформації. Дані не можуть редагуватися, видалятися або коригуватися після фіксації. Зберігається повний журнал системних подій, включно з усіма спробами доступу. Кожен пакет вимірювальних даних підписується криптографічним ключем. Це забезпечує відповідність даних майбутнім вимогам до прозорого екологічного контролю та виключає можливість маніпулювання розрахунками або заниження показників.

Для підприємств високого екологічного ризику, зокрема ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», застосування системи повинно враховувати просторову конфігурацію джерел та їх ієрархію впливу. Агломераційні машини, доменні печі, конвертерні газоходи, високотемпературні ділянки викидів, лінії аспірації – кожен із цих технологічних вузлів має різні вимірювальні навантаження і різну вагому роль у формуванні загального екологічного ризику. Саме тому система повинна проєктуватися як модульна, з можливістю масштабування під конкретне виробництво та подальшим внесенням її технічних параметрів до державних реєстрів у сфері моніторингу довкілля.

Таким чином, визначення вимог до системи безперервного автоматичного контролю викидів формує нормативно-технічний фундамент для подальшого вибору вимірювальних приладів, методів калібрування й архітектури передавання даних. Система повинна не лише відповідати високим інженерним стандартам, а й органічно інтегруватися в правову структуру державного моніторингу, забезпечуючи доказовий статус кожного вимірюваного значення.

Висновки. У роботі розв’язано комплексну науково-практичну задачу формування доказового, безперервного та юридично придатного механізму контролю викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел на підприємствах високого ступеня екологічного ризику на прикладі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

На основі виконаних досліджень сформульовано такі основні висновки:

1. Встановлено, що чинна система інвентаризації викидів в Україні, заснована на розрахункових підходах і епізодичних інструментальних вимірюваннях, не забезпечує формування юридично значущих і відтворюваних даних, необхідних для ефективного державного контролю та нарахування екологічного податку.

Виявлений системний розрив між задекларованими та потенційно реальними обсягами викидів має не випадковий, а структурний характер.

2. Доведено, що безперервний автоматичний моніторинг викидів є єдиним інструментом, здатним забезпечити доказовість даних про масові потоки забруднюючих речовин у динаміці виробничих режимів. Встановлено, що часткове або фрагментарне впровадження CEMS не усуває юридичних і екологічних ризиків, а формує гібридну модель контролю з обмеженою доказовою спроможністю.

3. На основі порівняльного аналізу агломераційного, доменного та конвертерного виробництв ідентифіковано ключові стаціонарні джерела, що формують основний внесок у викиди пилу, SO_2, NO_x, CO та бенз(а)пірену. Показано, що відхилення між інвентаризаційними та інструментально підтвердженими (або змодельованими) значеннями досягають 15–40 %, що є критичним для екологічного оподаткування та правозастосування.

4. Сформовано технічну модель системи безперервного автоматичного моніторингу викидів CEMS, орієнтовану на забезпечення метрологічної відстежуваності, часової синхронізації, незворотності та захищеності даних, а також їх інтеграції з державними інформаційними ресурсами моніторингу довкілля. Запропонована модель забезпечує принципову можливість використання результатів вимірювань як юридично значущих доказів у системі екологічного контролю та податкового регулювання.

Таким чином, показано, що впровадження повномасштабної системи CEMS є не лише технічним заходом з удосконалення моніторингу, а необхідною умовою переходу до доказової моделі екологічного управління, у якій фактичні, а не декларативні показники викидів формують основу державного контролю, екологічної безпеки та економічного регулювання.

Перелік посилань

1. Ding, N., Xi, Y., Jiang, W., Li, H., Su, J., Yang, S., & Lie, T. T. (2025). State-of-the-art carbon metering: Continuous emission monitoring systems for industrial applications. *Heliyon, 11*(3), e42308. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42308
2. Srivastava, R. P., Kumar, S., & Tiwari, A. (2024). Continuous emission monitoring systems (CEMS) in India: Performance evaluation, policy gaps and financial implications for effective air pollution control. *Journal of Environmental Management*, *359*, Article 120584. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120584
3. Herawan, H. (2026). Evaluation of Continuous Emission Monitoring System (CEMS) Performance and Integration with Data Acquisition and Interfacing Systems for Regulatory Compliance in Indonesia's Industrial Sector. *Jurnal Ilmiah Teknik*, *5*(1), 194–205. https://doi.org/10.56127/juit.v5i1.2527
4. Рєпін, К. (2025). Огляд нормативно-правового забезпечення екологічного підприємництва в Україні. В І. М. Рєпіна (гол. оргком.), *Інноваційне підприємництво: стан та перспективи розвитку: зб. матеріалів X Міжнар. наук.-практ. конф.* (с. 699–705). КНЕУ.
5. Bieloborodova, M. 2020. Управління екологічними ризиками в стратегії розвитку промислових підприємств. *Економіка і організація управління*. *1*(37), 39–48. https://doi.org/10.31558/2307-2318.2020.1.4
6. Кабінет Міністрів України. (1999, 9 березня). *Про затвердження Порядку організації та проведення моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря* (Постанова № 343). База даних «Законодавство України». https://zakon.rada.gov.ua/go/343-99-%D0%BF

7. ДСТУ EN 14181:2014 (*додаткова інформаційна сторінка стандарту*). https://ukrmts.com/docsdb/15087.html
8. Environment Agency. (2023, June 29). *Monitoring stack emissions: quality assurance of continuous emission monitoring systems (M20)*. GOV.UK. https://www.gov.uk/government/publications/m20-quality-assurance-of-continuous-emission-monitoring-systems/monitoring-stack-emissions-quality-assurance-of-continuous-monitoring
9. Кабінет Міністрів України. (2002, 13 березня). *Про затвердження Порядку видачі дозволів на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами, обліку підприємств, установ, організацій та громадян – підприємців, які отримали такі дозволи* (Постанова № 302). Законодавство України. https://zakon.rada.gov.ua/go/302-2002-%D0%BF
10. ArcelorMittal Kryvyi Rih. (n.d.). *Environmental (екологічний напрям, політика та підходи)*. Retrieved October 24, 2023, from https://ukraine.arcelormittal.com/en/ecology
11. Raj, P., Singh, H. V., Srivastava, S., Kumar, P., Yadav, Y., & Tiwari, U. (2026). Environmental transparency and air pollution control using Continuous Emissions Monitoring Systems (CEMS). *International Journal of Environmental Research and Emerging Technologies*, *7*(2), 165–177. https://doi.org/10.63282/3050-922X.IJERET-V7I2P121
12. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. (н.д.). *Екологічний моніторинг довкілля*. https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/ekologichnyj-monitoryng-dovkillya/
13. Ломазов, П. К., Павличенко , А.В., Бучавий, Ю.В. (2023). Удосконалення методологічних підходів до розвитку системи спостереження за забрудненням атмосферного повітря в агломераціях. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету, 73*, 240–252. https://doi.org/10.33271/crpnmu/73.240
14. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. (2023, 27 червня). *Загальні вимоги до оформлення документів, в яких обґрунтовуються обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами* (Наказ № 448). База даних «Законодавство України». https://zakon.rada.gov.ua/go/z1475-23
15. Податковий кодекс України № 2755-VI. (2010). https://zakon.rada.gov.ua/go/2755-17
16. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. (б. д.). *Реєстр дозволів на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами* [Набір даних]. Портал відкритих даних. https://data.gov.ua/dataset/2b75e171-9846-4c7c-b7d5-fdfc1790de11
17. *Реєстр звітів про дотримання умов дозволу на викиди (інформація в е-Повітря)*. (б. д.). ЕкоСистема. https://eco.gov.ua/registry/zvity-pro-dotrymannia-umov-dozvolu-na-vykydy-zabrudniuiuchykh-rechovyn-v-atmosferne-povitria-statsionarnymy-dzherelamy-5
18. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. (2025, 11 квітня). *Повідомлення про намір отримати дозвіл на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами (ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»)*. https://mepr.gov.ua/news/povidomlennya-pro-namir-otrymaty-dozvil-na-vykydy-zabrudnyuyuchyh-rechovyn-v-atmosferne-povitrya-statsionarnymy-dzherelamy-pat-arselor-mittal-kryvyj-rig-11-04-2025/
19. Державна екологічна інспекція у Дніпропетровській області. (б. д.). *Інформація про дозвіл на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря ПАТ «АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ» (мис. код та номер дозволу)*. https://www.dei-dnipropetrovsk.gov.ua/?p=2227
20. ArcelorMittal Kryvyi Rih. (n.d.). *Environmental Impact Assessment (ОВД: перелік справ, завантаження звітів/оголошень)*. https://ukraine.arcelormittal.com/corporate-responsibility/ecology/environmental-impact-assessment
21. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. (б. д.). *Пошук справи в Єдиному реєстрі з ОВД (приклад сторінки справи з документами)*. Єдиний реєстр з оцінки впливу на довкілля. https://eia.menr.gov.ua/uk/case/id-7683

ABSTRACT

Purpose. Scientific, technical and legal justification for the feasibility of introducing a system of continuous automatic monitoring of pollutant emissions at industrial facilities posing a high environmental risk.

The methodology of research. System analysis, comparative legal methods, statistical methods, engineering methods for assessing and modelling methods were used.

Findings. It has been established that the declarative and calculation-based accounting mechanism enshrined therein does not provide a reliable reflection of actual emission volumes. It has been established that the current monitoring infrastructure does not include a mechanism for the legal acceptance of continuous data as a basis for calculating tax liabilities and penalties. A comparative analysis of the technological processes of sintering, blast furnace and converter production was carried out. Stationary sources were identified. A technical model of the CEMS system has been proposed, taking into account the requirements for metrological traceability, calibration, synchronisation of time stamps with the state server, power backup and continuous data transmission to the state environmental monitoring information resource.

The originality. For the first time, it has been substantiated that the current calculation and declaration system for emissions inventory is legally unsuitable for tax accounting and law enforcement purposes due to the inability to record regime and peak exceedances. A conceptual approach has been proposed to consider CEMS as sources of legally significant evidentiary data. A technical model of the CEMS system is proposed, which integrates the requirements of metrological traceability, measurement quality assurance, time synchronisation, data irreversibility and their transfer to state monitoring information resources.

Practical implications. The implementation of a continuous automatic emission monitoring system will ensure the collection of reliable, metrologically valid and legally binding data necessary for supervision, environmental analysis and integration of information into state electronic registers of environmental quality.

Keywords: *continuous automatic monitoring of emissions, stationary sources of pollution, environmental tax, legal regulation, instrumental measurements, state monitoring, inventory of emissions.*

дата першого надходження статті до видання	14.07.2026
дата прийняття до друку статті після рецензування	21.08.2026
дата публікації (оприлюднення)	30.09.2026

© 2026. I. Myronova, O. Borysovska, Yu. Kryvoruchkina, A. Rudchenko
Published by the Dnipro University of Technology on behalf of Collection of Research Papers of the National Mining University. ISSN 2521-6635 (Online) | ISSN 2071-1859 (Print). This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.