

© О.Є. Хоменко¹, М.М. Кононенко¹, І.Г. Миронова¹, А.В. Косенко¹

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ВПЛИВ ЕМУЛЬСІЙНИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ПРИ ПІДЗЕМНОМУ ВИДОБУВАННІ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ

© O. Khomenko¹, M. Kononenko¹, I. Myronova¹, A. Kosenko¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

THE EFFECT OF EMULSION EXPLOSIVES ON ATMOSPHERIC AIR IN UNDERGROUND IRON ORE MINING

Мета. Метою роботи є проведення екологічної оцінки стану атмосферного повітря при підземному видобуванні залізної руди із застосуванням тротиловмісних та емульсійних вибухових речовин (ВР).

Методика дослідження. Для визначення особливостей розсіювання в атмосфері екологічно небезпечних речовин на різній відстані від вентиляційного ствола залізорудної шахти використано аналітичний метод розрахунку розподілу концентрацій шкідливих речовин, що утворилися після підричних робіт при підземному видобуванні залізної руди. За допомогою екологічного аналізу визначено рівень зниження екологічної небезпеки при застосуванні на підричних роботах емульсійних вибухових речовин (ЕВР) порівняно з тротиловмісними аналогами.

Результати дослідження. Розрахунком значень приземних концентрацій екологічно небезпечних речовин встановлено, що максимальна концентрація оксиду вуглецю, оксиду та діоксиду азоту спостерігалася у 2008 році, коли на підземних гірничих роботах використовували 100% тротиловмісних ВР. Використання упродовж 2020 року 78% ЕВР типу «Україніт» і 22% тротиловмісних ВР від їх загальних витрат, порівняно з 2008 роком, дало змогу знизити значення максимальних концентрацій екологічно небезпечних речовин: оксиду вуглецю – в 5,0–5,5 разів, а оксиду та діоксиду азоту – в 1,2–1,3 разів.

Наукова новизна. Полягає у встановленні залежності зниження приземних концентрацій екологічно небезпечних речовин і зменшення індексу екологічної небезпеки у середньому в 1,5 рази (до 36%), при використанні в умовах шахт Приватного акціонерного товариства «Запорізький залізорудний комбінат» (ПрАТ «ЗЗРК») ЕВР типу «Україніт» у порівнянні із застосуванням тротиловмісних ВР.

Практичне значення. Встановлено, що застосування ЕВР типу «Україніт» при підземному видобуванні руд призводить до зменшення концентрацій екологічно небезпечних речовин оксиду вуглецю, оксиду та діоксиду азоту, які утворюються після підричних робіт, а також до зниження техногенного навантаження на атмосферне повітря.

Ключові слова: джерело викиду, приземна концентрація, екологічно небезпечні речовини, емульсійні вибухові речовини, індекс екологічної небезпеки, екологічна оцінка.

Вступ. Угода про асоціацію України з Європейським союзом передбачає введення європейських стандартів і норм у сфері охорони довкілля, зокрема охорони атмосферного повітря. Гірничорудна промисловість є основним джерелом сировинних ресурсів для металургійних підприємств, та нажаль, вона становить екологічну загрозу для об'єктів навколишнього середовища. Тривалий видобуток залізних руд призвів до підвищення рівнів забрудненості атмосферного повітря, водних об'єктів, земельних угідь, накопичення значної кількості промислових відходів, що значно знижує рівень екологічної безпеки в гірничо-видобувних регіонах України. Видобування залізних руд підземним способом здійснюється за допомогою БПР із використанням різних ВР, при застосуванні яких рудникове повітря забруднюється продуктами вибуху та залізорудним пилом, і далі викидається без будь-якого очищення в атмосферу та становить небезпеку усім компонентам довкілля, що оточують шахти. Ці викиди негативно впливають на об'єкти довкілля, і у першу чергу, на здоров'я населення та на біоту прилеглих територій.

У гірничій справі застосування ВР розпочалося на початку XVII ст. Поштовх до розвитку підричних робіт пов'язують з появою у першій половині та на початку другої половини XIX ст. нових ВР і засобів ініціювання (ЗІ). Це загалом зумовлено швидким розвитком гірничодобувної промисловості в світі. На початку XX ст. гірнича справа отримала нову ВР – тринітротолуол (тротил, тол), яка стала наймасовішою ВР [1]. Дотепер гірничорудними підприємствами тротил використовується у вигляді тротиловмісних ВР. Відомо, що після підричних робіт із використанням цих ВР у атмосферу в значних обсягах надходять шкідливі речовини у вигляді оксидів азоту та оксиду вуглецю, що завдає істотної шкоди, як здоров'ю людини, так і довкіллю [2]. Тому практично у всьому світі тротил заборонено для використання у промисловості. Прямою альтернативою заміщення тротиловмісних ВР слугують аналоги місцевого приготування [3], до яких відносяться безтротилові ВР та ЕВР [4]. Останні є безпечні при транспортуванні [5] та зберіганні [6], екологічно чисті [7] й економічно вигідні [8].

Згідно з Цільовою регіональною програмою переходу гірничозбагачувальних комбінатів на безтротилові екологічно чисті ВР, яка спільними зусиллями гірничих підприємств Кривого Рогу була розроблена та започаткована 1999 року, з 2004 року рудні та нерудних кар'єри почали переходити на використання нових безтротилових ВР. І вже 2011 року використання цих ВР на гірничих підприємствах з відкритим способом розробки досягло 99% [9]. Це призвело до того, що за останні роки в Україні відбулися зміни у техніці та технології виконання підричних робіт [10], збільшився різновид ВР і виробів на їх основі, у тому числі, що отримані у результаті утилізації боєприпасів і твердого ракетного палива [11]. Особливо зросла номенклатура та збільшився обсяг споживання ВР, які виготовляються з невибухових матеріалів безпосередньо на місці виконання підричних робіт. На деяких гірничодобувних підприємствах побудовані власні виробництва ЕВР із використанням вітчизняних або закордонних технологій та обладнання. Це

дозволило суттєво підвищити рівень екологічної безпеки та підняти ефективність ведення підричних робіт у різних гірничо-геологічних умовах. Однак на гірничорудних підприємствах, які видобувають руду підземним способом переважно використовувалися тротилові ВР. Тому, з 2012 року Цільову регіональну програму переходу гірничодобувних підприємств на безтротилові екологічно чисті ВР почали реалізовувати і для цих гірничих підприємств [12].

Постановка завдання. На гірничих підприємствах з підземним способом розробки руд, спроби замінити тротилові ВР найпростішими сумішами, до основи яких належить гранульована аміачна селітра та вуглеводневе паливо, не вирішують проблеми в цілому. Оскільки в цих ВР якість вибуху повністю залежить від розміру та структури частинок аміачної селітри, які утворюються у результаті руйнування гранул селітри при пневматичну зарядженні шпурів або свердловин. Підвищення міцності гранул аміачної селітри призводить до різкого зростання критичного діаметру ВР, у результаті чого знижується працездатність [13] та виникають відмови зарядів. Навпаки, надмірне подрібнення аміачної селітри збільшує пилоутворення у робочій зоні при пневматичну зарядженні. Також були спроби при пневматичному зарядженні вводити 3–5% води. Це перешкоджає утворенню і накопиченню статичної електрики та забезпечує необхідний рівень безпеки, але, вода, створюючи плівку на поверхні гранул, перешкоджає їх запаленню, знижуючи детонаційну спроможність і чутливість ВР. Як показує досвід провідних світових виробників ВР, таких як «Orica» (Австралія), «AEL», «BME» (ПАР), «Dyno Nobil», «Dyno Mainer» (Швеція), найбільш безпечними й ефективними безтротіловими ВР для умов рудних шахт є наливні та патроновані ЕВР. Але водночас основним стримуючим фактором для переходу рудних шахт на ЕВР є висока вартість і відсутність спеціалізованої змішувально-зарядної техніки (ЗЗТ) [14], яка дозволяє з невибухових компонентів механізовано виготовляти ВР та формувати заряди, як в шпурах (довжиною до 5 м), так і у висхідних свердловинах діаметром до 110 мм та довжиною до 60 м. Крім цього, незважаючи на успішний досвід застосування наливних ЕВР (Україніт, Емоніт, ЕРА, Анемікс) на відкритих гірничих роботах [15], ці марки ВР вимагають доопрацювання рецептурного складу в частині підвищення чутливості, стабільності та в'язкості. Не менш важливим є і розробка нормативно-технічної документації, яка б забезпечувала безпечне та ефективне впровадження ЕВР на заміну штатних тротиловісних ВР. Це можливо завдяки складанню нових паспортів БПР [16] і проєктів на масові вибухи, які б враховували фізико-хімічні особливості та детонаційні характеристики ЕВР [17], вибір оптимальних інтервалів уповільнення, використання неелектричних систем ініціювання, а також розробки відповідних інструкцій для підричників і їх професійне навчання. Так за останні роки в Україні постійно зростають об'єми застосування ЕВР, які виготовляються на місцях ведення підричних робіт, та скорочення витрат ВР, що мають у своєму складі тротил. Це пов'язано з тим, що до складу ЕВР не

входять вихідні матеріали, які класифікуються як ВР [18]. ЕВР набувають вибухових властивостей лише на кінцевій стадії приготування та практично не чутливі до випадкового ініціювання від тертя, механічних впливів або вогню і є безпечнішими у виробництві, ніж інші промислові ВР [19]. Крім того, ці речовини не містять у своєму складі високотоксичні складові. Основним представником ЕВР, що широко впроваджується та використовується на підприємствах з підземним видобутком залізних руд в Україні є вітчизняна ЕВР типу «Україніт», яка була розроблена виключно для використання у підземних умовах і не містить у своєму складі тротилу. Для проведення дослідно-експериментальних підричних робіт, у ролі базового підприємства, було обрано залізорудний комбінат з найбільш сучасною технікою та технологією видобування руди, яким є ПрАТ «ЗЗРК».

Динаміка зростання річних обсягів споживання, безтритилових ВР типу «Україніт» для потреб шахт ПрАТ «ЗЗРК» упродовж 2009–2020 рр., подано на рис. 1.

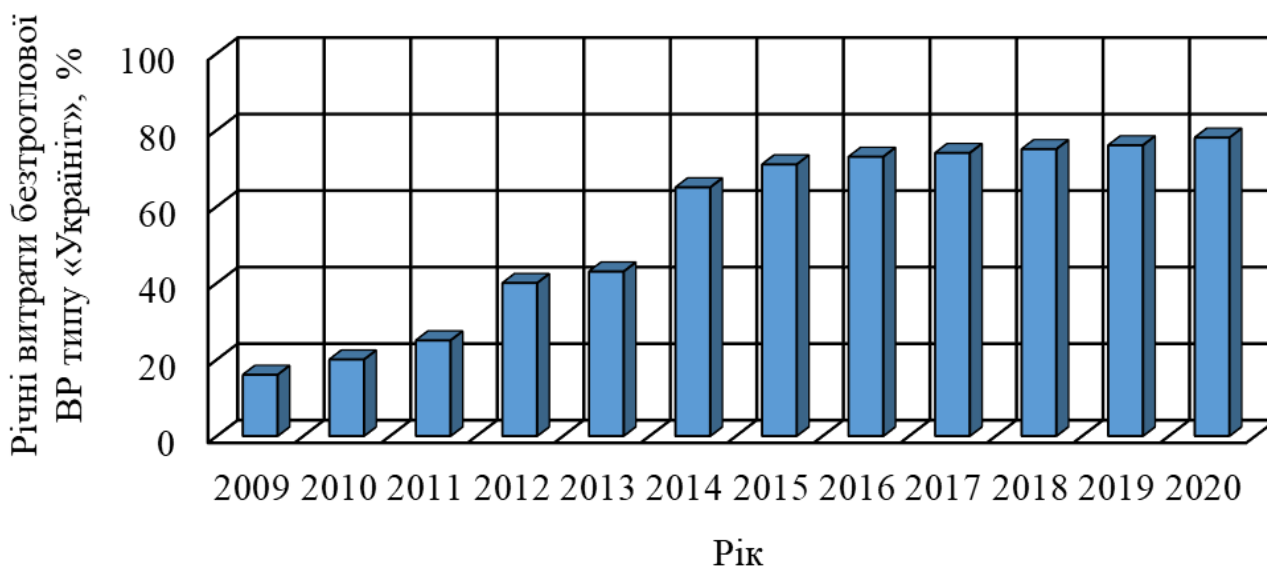


Рис. 1. Динаміка річних витрат безтритлової ВР типу «Україніт» для потреб шахт ПрАТ «ЗЗРК» упродовж 2009–2020 рр.

Тому виникає науковий інтерес проведення екологічної оцінки використання ЕВР типу «Україніт» при видобуванні залізної руди в умовах шахт ПрАТ «ЗЗРК».

Аналізом результатів впровадження безтритилових ВР при підземному видобуванні залізних руд встановлено, що застосування ЕВР типу «Україніт» в умовах шахт ПрАТ «ЗЗРК» зросло з 16% у 2009 році до 78% у 2020 році від загальних річних витрат ВР.

Тому метою роботи є проведення екологічної оцінки стану атмосферного повітря при підземному видобуванні залізної руди із застосуванням тритиловмісних та емульсійних вибухових речовин (ВР).

Для реалізації поставленої мети були вирішені наступні завдання:

- розрахунок приземної концентрації екологічно небезпечних речовин і встановлення їх характеру зміни від відстані до джерела викиду;
- встановлення індексів небезпеки для об'єктів навколишнього середовища при використанні тротиловмісних ВР і ЕВР в умовах шахт ПрАТ «ЗЗРК»;
- проведення оцінки екологічної небезпеки залізорудної шахти щодо техногенного впливу на атмосферу.

Методика досліджень. Поставлені завдання вирішувалися наступними методами: аналітичний методом розрахунку розподілу приземних концентрацій екологічно небезпечних речовин після підривних робіт на різній відстані від джерела викиду; екологічний аналіз – для визначення рівня зниження екологічної небезпеки при застосуванні різних ВР для ведення буропідривних робіт з видобування залізних руд.

Для визначення особливостей розсіювання в атмосфері екологічно небезпечних речовин на різній відстані від вентиляційного ствола залізорудної шахти використано нормативну методику визначення концентрацій шкідливих речовин, що утворилися після підривних робіт при підземному видобуванні залізної руди. Для визначення рівня зниження екологічної небезпеки при застосуванні на підривних роботах ЕВР, порівняно з тротиловмісними аналогами, проведено екологічний аналіз відповідно до нормативної методики визначення коефіцієнтів та індексів небезпеки.

Виклад основного матеріалу. Для зниження негативного впливу на навколишнє середовище, особливо на атмосферне повітря, та згідно з Цільовою регіональною програмою переходу гірничо-збагачувальних комбінатів на безтритилові ВР, гірничі підприємства з відкритим способом розробки вже у 2011 року використовували ЕВР об'ємом 99% від річних потреб. Що стосується гірничих підприємств з підземним способом розробки, то до 2008 року всіма залізорудними шахтами України для виконання підривних робіт, що пов'язані з видобуванням руд, використовувались тротиловмісні ВР. Враховуючи високу вартість промислових тротиловмісних ВР та їх технологічну й екологічну небезпеку, доцільним є застосування таких аналогів, що виготовляються безпосередньо на місцях ведення підривних робіт і є більш безпечними та екологічними. Тому, для підвищення екологічної безпеки, з 2009 року на базовому підприємстві ПрАТ «ЗЗРК» почалося впровадження екологічно чистої ЕВР типу «Україніт» і безтритилових ВР. Річний об'єм споживання шахтами ПрАТ «ЗЗРК» безтритилових ВР і ЕВР типу «Україніт» у 2009 році складав 16% від річних витрат ВР, а вже у 2020 році зріс до 78%.

Як відомо, після проведення підривних робіт, що пов'язані з підземним видобуванням руди, забруднене повітря з шахт надходить без очищення в атмосферу через вентиляційні стволи, тому, що дотепер не існує ефективного обладнання для вловлювання та нейтралізації газів, які викидаються в значних обсягах. Упродовж 2006–2010 рр. проведено виміри концентрації шкідливих газів у пробах повітря навколо вентиляційних стволів шахт ПрАТ «ЗЗРК» та розраховано розподіл приземних концентрацій сумарного впливу. З 2009 по 2011 рік

досліджено токсико-мутагенну активність атмосферного повітря навколо джерел викиду за допомогою тесту «стерильність пилку рослин». Для визначення техногенного впливу на процеси онтогенезу озимої пшениці у 2011 році виконувались дослідження значень величин лінійних розмірів і вагових показників пшениці поблизу вентиляційних стволів, а також виконувався аналіз значень величин біологічних ознак пророслих зерен пшениці [20].

У ході аналізу результатів досліджень встановлено, що рудникове повітря, яке надходить у атмосферу з вентиляційних стволів, негативно впливає на розвиток як вищих рослин, так і зернових культур. Зі збільшенням відстані від джерела викиду, вплив рудникового повітря на флору знижується. Проведені у 2016 році дослідження за допомогою фізико-хімічного аналізу та біологічної оцінки стану атмосферного повітря дозволили встановити зниження концентрації шкідливих речовин, що виділяються в атмосферне повітря при веденні БПР за допомогою ЕВР [21]. На основі запропонованої методики у 2017–2018 рр. виконано розрахунки [22] і проведено екологічну оцінку стану атмосферного повітря навколо шахтних вентиляційних стволів [23]. Це дозволило встановити залежність зменшення техногенного впливу на атмосферне повітря та зниження індексу екологічної небезпеки до 35%.

Таким чином, виникає науково-практична цікавість у встановленні техногенного впливу та індексу екологічної небезпеки на атмосферне повітря при зростанні обсягів річного споживання ЕВР і безтротилових ВР до 78% від загальних річних витрат. Для екологічної оцінки використання ЕВР шахтами ПрАТ «ЗЗРК» при видобуванні залізної руди виконаємо порівняння зміни концентрації шкідливих газів при використанні 100% тротиловмісних ВР у 2008 році, та при використанні 22% тротиловмісних ВР і 78% ЕВР типу «Україніт» у 2020 році. Після чого виконаємо розрахунок зміни індексу екологічної небезпеки, що дозволить встановити екологічну оцінку використання ЕВР типу «Україніт» в умовах шахт ПрАТ «ЗЗРК».

Для отримання якісної і кількісної оцінки поширення сумарного впливу екологічно небезпечних речовин на атмосферне повітря навколо вентиляційних стволів ПрАТ «ЗЗРК», виконували розрахунки приземної концентрації екологічно небезпечних речовин у програмі «ОНД-86 Калькулятор». Програма призначена для розрахунку полів концентрацій шкідливих речовин у атмосфері без врахування впливу забудови. В основу програмного забезпечення покладено норми, які встановлює діюча в Україні методика розрахунку концентрацій у атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств [24]. Цих норм дотримуються при проектуванні підприємств, а також при нормуванні викидів у атмосферу діючих і реконструйованих підприємств. Норми призначені для розрахунку приземних концентрацій у двометровому шарі над поверхнею землі, а також вертикального розподілу концентрацій. Ступінь небезпеки забруднення атмосферного повітря характеризується найбільшим розрахованим значенням концентрацій, відповідним несприятливим метеорологічним умовам, у тому числі небезпечної швидкості

вітру. Вони не поширюються на розрахунок концентрацій на далеких (понад 100 км) відстанях від джерела викиду.

Як приклад розглянемо формування полів приземної концентрації сумарного впливу екологічно небезпечних речовин у частках одиниць (ч.о.) гранично допустимої концентрації (ГДК) від джерела викиду. До розрахунку приймали наступні вихідні дані: коефіцієнт стратифікації атмосфери $A = 200$, коефіцієнт рельєфу місцевості $\eta = 1,03$, середня максимальна температура повітря найбільш жаркого місяця року, що дорівнює $33,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, середня максимальна температура повітря найбільш холодного місяця року, що дорівнює $-4,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, середня швидкість вітру дорівнює 9 м/с . Екологічно небезпечні речовини: оксид вуглецю – гранично допустима концентрація максимально разова (ГДК_{м.р.}) 5 мг/м^3 , клас безпеки 4, коефіцієнт осідання 1, коефіцієнт потенціювання – $0,9$; оксид і діоксид азоту – ГДК_{м.р.} $0,085\text{ мг/м}^3$, клас безпеки 2, коефіцієнт осідання 1, коефіцієнт потенціювання $1,3$. Джерела викиду: 3 вентиляційні стволи – північний вентиляційний ствол (ПнВС), дренажний вентиляційний ствол (ДВС) і південний вентиляційний ствол (ПдВС). За даними служби охорони навколишнього середовища ПрАТ «ЗЗРК» інтенсивність викидів екологічно небезпечних речовин з вентиляційних стволів, подано у табл. 1.

Таблиця 1

Інтенсивність викидів екологічно небезпечних речовин
з вентиляційних стволів ПрАТ «ЗЗРК»

Рік	Продуктивність вентилятора, м ³ /с	Інтенсивність викиду	
		СО	NO+NO ₂
		г/с	г/с
<i>Північний вентиляційний ствол (ПнВС)</i>			
2008	217	6,944	0,456
2020	250	1,551	0,429
<i>Дренажний вентиляційний ствол (ДВС)</i>			
2008	232	8,120	0,255
2020	180	1,116	0,309
<i>Південний вентиляційний ствол (ПдВС)</i>			
2008	257	7,967	0,514
2020	230	1,427	0,394

Розглянемо формування полів приземних концентрацій екологічно небезпечних речовин оксиду вуглецю й оксиду та діоксиду азоту навколо ПдВС у 2008 і 2020 році, що відповідає несприятливим метеорологічним умовам з урахуванням середньорічної швидкості вітру, що подано на рис. 2.

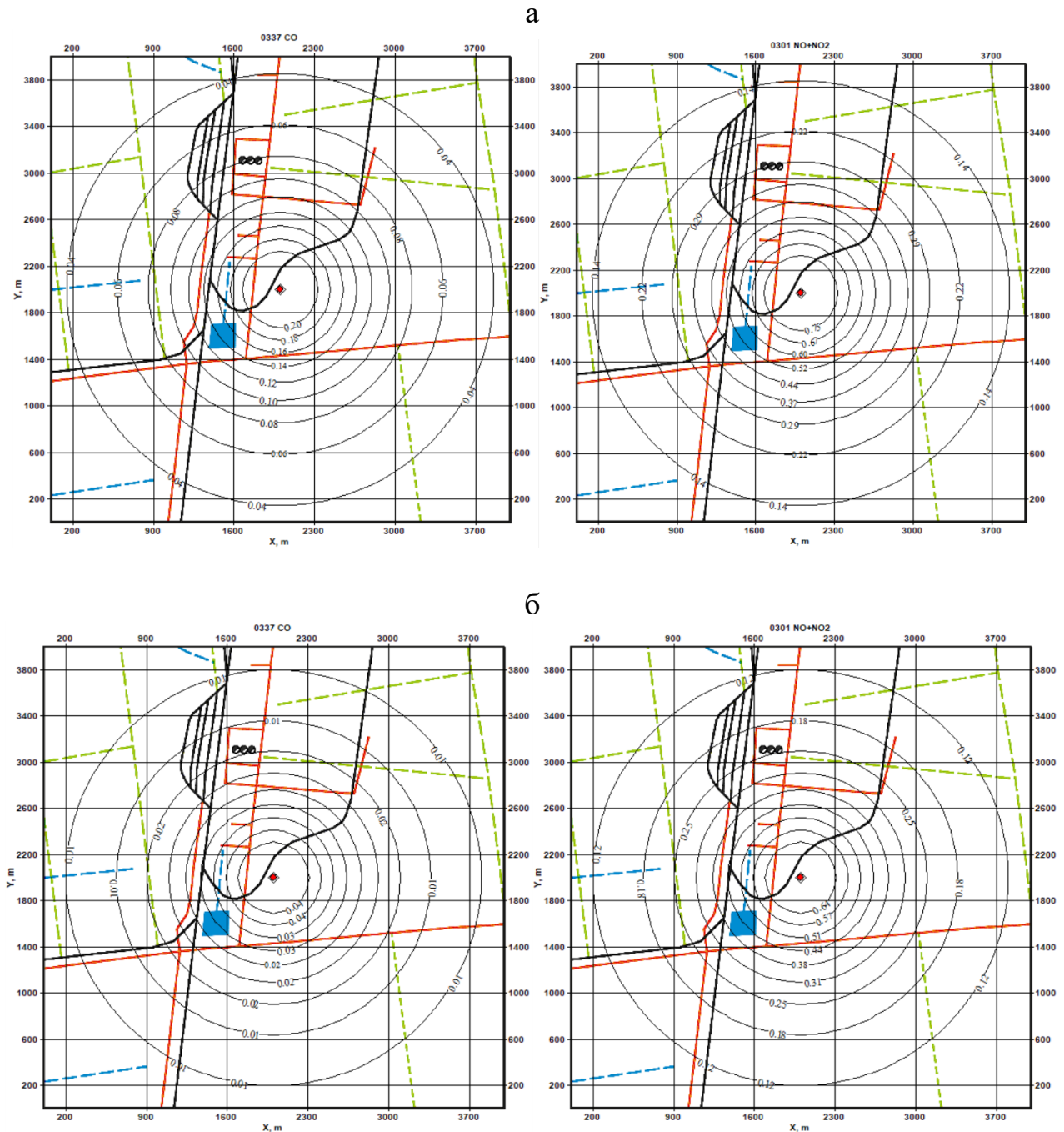


Рис. 2. Поля приземних концентрацій екологічно небезпечних речовин оксиду вуглецю й оксиду та діоксиду азоту навколо ПдВС у 2008 (а) і 2020 (б) році

Загальну картину зміни величини приземної концентрації екологічно небезпечних речовин оксиду вуглецю й оксиду та діоксиду азоту зі збільшенням відстані від джерела викиду можна спостерігати за зміною їх концентрації у частках одиниць ГДК (рис. 3). Аналізом значень приземних концентрацій екологічно небезпечних речовин встановлено, що максимальна концентрація екологічно небезпечних речовин оксиду вуглецю й оксиду та діоксиду азоту була у 2008 році, коли упродовж року на підземних гірничих роботах використовували 100% тротиловмісних ВР. При використанні упродовж 2020 року 78% ЕВР типу «Україніт» і 22% тротиловмісних ВР від загальних витрат ВР, значення

максимальних концентрацій екологічно небезпечних речовин порівняно з 2008 роком знизились, для оксиду вуглецю в 5,0–5,5 разів, а оксиду та діоксиду азоту в 1,2–1,3 рази. Це вказує на те, що при використанні на підземних гірничих роботах ЕВР типу «Україніт» призводить до зменшення концентрацій екологічно небезпечних речовин і знижує техногенне навантаження на атмосферне повітря. Остаточний результат екологічної оцінки використання ЕВР при видобуванні руди підземним способом буде встановлено після розрахунку індексу екологічної безпеки.

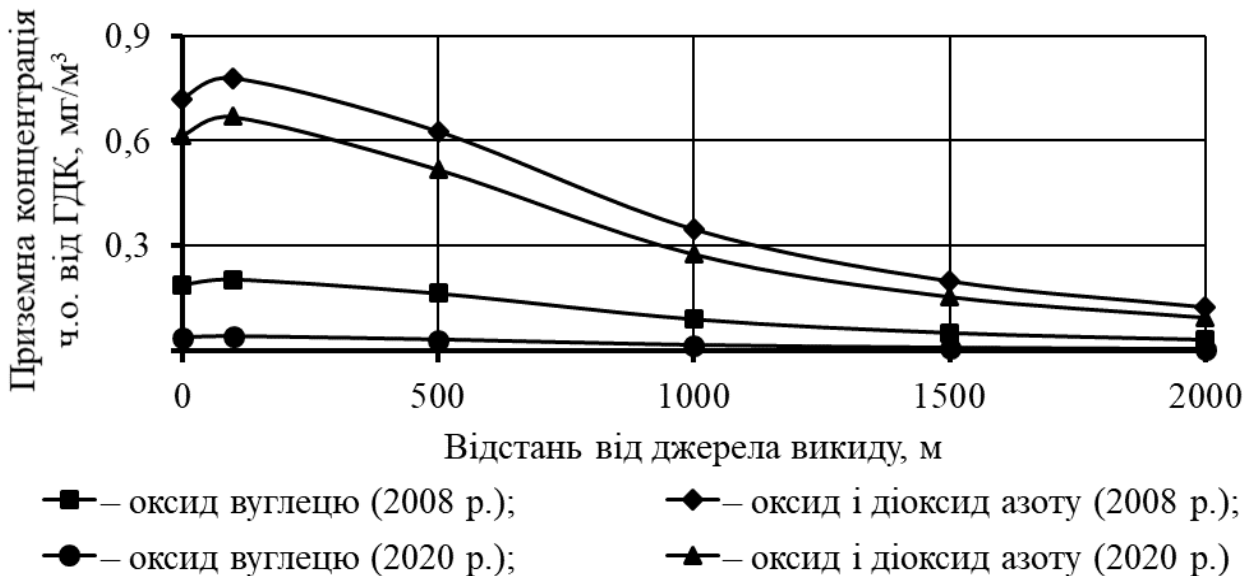


Рис. 3. Характер зміни приземних концентрацій екологічно небезпечних речовин від відстані до ПдВС

Визначення рівня екологічної безпеки виконували за допомогою методики, що подано у роботі [25], яка враховує ризик для здоров'я населення, яке зазнає негативного впливу забруднюючих речовин, що виділяються при застосуванні ВР.

Коефіцієнт екологічної безпеки можливої появи у живих організмів неканцерогенних ефектів від впливу розглянутих забруднюючих речовин

$$HQ_i = \frac{C_i}{RfC}, \quad (1)$$

де C_i – рівень впливу i -ої речовини, мг/м³; RfC – безпечний рівень впливу, мг/м³.

Індекс безпеки від комбінованого впливу екологічно небезпечних речовин

$$HI = \sum HQ_i. \quad (2)$$

Результати розрахунку коефіцієнтів та індексів безпеки для об'єктів навколишнього середовища при використанні 100% тротиловмісних ВР і 78% ЕВР і 22% тротиловмісних ВР подано у табл. 2.

Інтенсивність викидів екологічно небезпечних речовин з вентиляційних стволів

Показник	Відстань від джерела викиду (ПдВС), м				
	100	500	1000	1500	2000
<i>100% Тротиловмісних ВР (2008 р.)</i>					
<i>HQ(CO)</i>	0,21	0,17	0,09	0,05	0,03
<i>HQ(NO + NO₂)</i>	0,78	0,63	0,35	0,20	0,13
<i>HI</i>	0,99	0,80	0,44	0,25	0,16
<i>78% ЕВР та 22% тротиловмісних ВР (2020 р.)</i>					
<i>HQ(CO)</i>	0,04	0,03	0,017	0,01	0,006
<i>HQ(NO + NO₂)</i>	0,67	0,52	0,28	0,157	0,097
<i>HI</i>	0,71	0,55	0,297	0,167	0,103

За результатами розрахунку коефіцієнтів та індексів небезпеки побудовано гістограму зміни індексу небезпеки від відстані до джерела викиду (ПдВС), при використанні 100% тротиловмісних ВР (2008 рік) і 78% ЕВР типу «Україніт» і 22% тротиловмісних ВР (2020 рік), що подано на рис. 4.

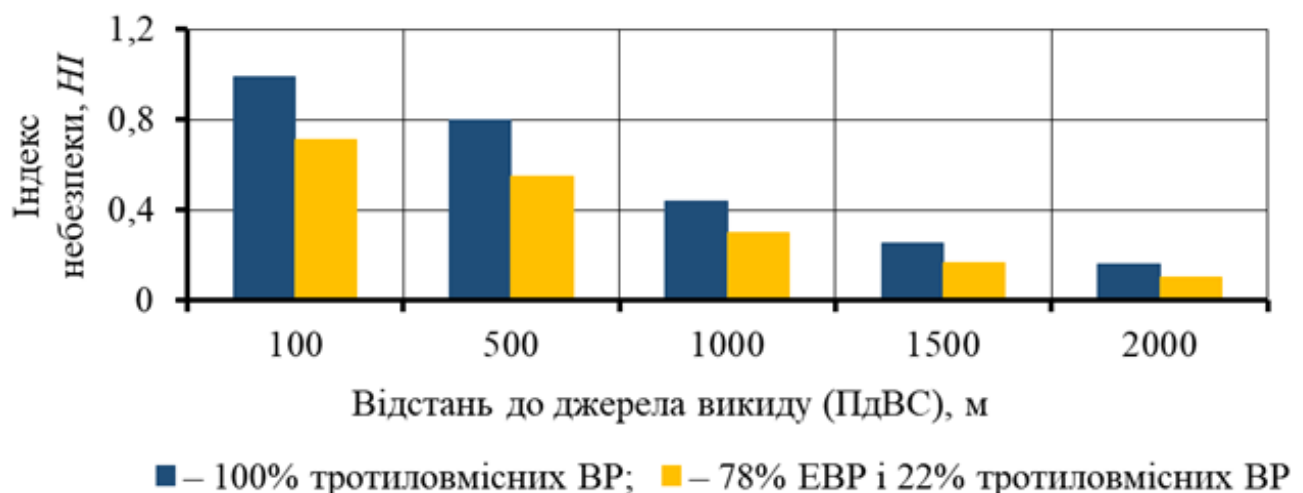


Рис. 4. Характер зміни індексу небезпеки від відстані до джерела викиду

З аналізу результатів, що подано у табл. 2 і за гістограмою зміни індексу небезпеки від відстані до джерела викиду (див. рис. 4) видно, що при використанні у 2008 році тротиловмісних ВР спостерігаються найбільші значення коефіцієнтів та індексів небезпеки для всіх екологічно небезпечних речовин. При використанні в умовах ПрАТ «ЗЗРК» у 2020 році 78% ЕВР типу «Україніт» і 22% тротиловмісних ВР від загальних річних витрат ВР встановлено зниження коефіцієнтів екологічної небезпеки у середньому для оксиду вуглецю в 5,3 рази, а оксиду та діоксиду азоту в 1,25 разів порівняно з використанням у 2008 році тротиловмісних ВР. Також спостерігається зменшення індексу небезпеки у середньому в 1,5 рази при використанні ЕВР «Україніт», порівняно з використанням тротиловмісних ВР, що складає зниження індексу екологічної небезпеки до 36%.

Це вказує, що використання ЕВР типу «Україніт» при підземному видобуванні руд призводить до зменшення концентрацій екологічно небезпечних речовин оксиду вуглецю й оксиду та діоксиду азоту, що утворюються після підіривних робіт, дозволяє знизити техногенне навантаження на атмосферне повітря.

Висновки.

1. За результатами розрахунку значень приземних концентрацій екологічно небезпечних речовин встановлено, що максимальна концентрація екологічно небезпечних речовин оксиду вуглецю й оксиду та діоксиду азоту спостерігається у 2008 році. Це вказує на те, що упродовж 2008 року на підземних гірничих роботах використовували 100% тротиловмісних ВР. При використанні упродовж 2020 року 78% ЕВР типу «Україніт» і 22% тротиловмісних ВР від загальних витрат ВР, значення максимальних концентрацій екологічно небезпечних речовин порівняно з 2008 роком знизились, для оксиду вуглецю в 5,0–5,5 разів, а оксиду та діоксиду азоту в 1,2–1,3 рази. Це вказує на те, що при використанні на підземних гірничих роботах ЕВР типу «Україніт» призводить до зменшення концентрацій екологічно небезпечних речовин.

2. Аналізом результатів зміни індексу безпеки від відстані до джерела викиду (вентиляційного ствола шахти) встановлено, що при використанні у 2008 році тротиловмісних ВР спостерігаються найбільші значення коефіцієнтів та індексів безпеки для всіх екологічно небезпечних речовин. Подальшим аналізом встановлено, що при використанні в умовах ПрАТ «ЗЗРК» у 2020 році 78% ЕВР типу «Україніт» і 22% тротиловмісних ВР від загальних річних витрат ВР призводить до зниження коефіцієнтів екологічної безпеки у середньому для оксиду вуглецю в 5,3 рази, а оксиду та діоксиду азоту в 1,25 разів порівняно з використанням у 2008 році тротиловмісних ВР. Також встановлено зменшення індексу безпеки у середньому в 1,5 рази при використанні ЕВР «Україніт», порівняно з використанням тротиловмісних ВР. Можна констатувати, що використання ЕВР типу «Україніт» при підземному видобуванні руд призводить до зменшення концентрацій екологічно небезпечних речовин оксиду вуглецю й оксиду та діоксиду азоту, що утворюються після підіривних робіт. Зі свого боку це призвело до зниження техногенного навантаження на атмосферне повітря.

Перелік посилань

1. Persson, P.-A., Holmberg, R., & Lee, J. (2018). *Rock Blasting and Explosives Engineering*. CRC press. <https://doi.org/10.1201/9780203740514>
2. Khomenko, O., Kononenko, M., & Myronova, I. (2013). Blasting works technology to decrease an emission of harmful matters into the mine atmosphere. *Annual Scientific-Technical Colletion – Mining of Mineral Deposits*, 231–235. <https://doi.org/10.1201/b16354-43>
3. Guang, Wang Xu (1994) *Emulsion explosives*. Beijing: Metallurgical Industry Press.
4. Krysin, R.S., Ishchenko, N.I., Klimenko, V.A., Piven, V.A., & Kuprin, V.P. (2004). Explosive ukanit-PM-1: Equipment and fabrication technology. *Gornyi Zhurnal*, (8), 32–37.
5. Lyashenko, V., Vorob'ev, A., Nebohin, V., Vorob'ev, K. (2018). Improving the efficiency of blasting operations in mines with the help of emulsion explosives. *Mining of Mineral Deposits*, 12(1), 95–102. <https://doi.org/10.15407/mining12.01.095>

6. Mertuszka, P., Fuławka, K., Pytlik, M., & Szastok, M. (2019). The influence of temperature on the detonation velocity of selected emulsion explosives. *Journal of Energetic Materials*, 38(3), 336–347. <https://doi.org/10.1080/07370652.2019.1702739>
7. Kholodenko, T., Ustimenko, Y., Pidkamenna, L., & Pavlychenko, A. (2014). Ecological safety of emulsion explosives use at mining enterprises. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 255–260. <http://doi.org/10.1201/b17547-45>
8. Kononenko M., Khomenko O., Myronova I., Kovalenko I. (2022). Economic and environmental aspects of using mining equipment and emulsion explosives for ore mining. *Mining Machines*, 40(2), 88–97. <https://doi.org/10.32056/KOMAG2022.2.4>
9. Gurin, A.A., & Lyashenko, V.I. (2018). Improvement of the Assessment Methods of the Effect of Mass Emissions in Pits on the Environment. *Occupational Safety in Industry*, (1), 35–41. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2018-1-35-41>
10. Kononenko M., Khomenko O., Kovalenko I., & Savchenko M. (2021). Control of density and velocity of emulsion explosives detonation for ore breaking. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 69–75. <http://doi.org/10.33271/nvngu/2021-2/069>
11. Kholodenko, T., Ustimenko, Y., Pidkamenna, L., & Pavlychenko, A. (2015). Technical, economic and environmental aspects of the use of emulsion explosives by ERA brand in underground and surface mining. *New Developments in Mining Engineering*, 211–219. <https://doi.org/10.1201/b19901-38>
12. Mironova I., Borysovs'ka O. (2014). Defining the parameters of the atmospheric air for iron ore mines. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*. 333–339. <https://doi.org/10.1201/b17547-57>
13. Kononenko M., Khomenko O., Kovalenko I., Kosenko A., Zagorodnii R., Dychkovskiy R. (2023). Determining the performance of explosives for blasting management. *Rudarsko-Geološko-Naftni Zbornik*, 38(3), 19–28. <https://doi.org/10.17794/rgn.2023.3.2>
14. Myronova, I. (2016). Prediction of contamination level of the atmosphere at influence zone of iron-ore mine. *Mining of Mineral Deposits*, 10(2), 64–71. <https://doi.org/10.15407/mining10.02.0064>
15. Brovko, D.V., Khvorost, V.V., Sergeev, S.S., & Prylepskyi, A.M. (2018). Study of efficiency of emulsion explosives utilization under the underground conditions of the Kryvyi Rih iron-ore basin. *Journal of Kryvyi Rih National University*, 46, 81–85. <https://doi.org/10.31721/2306-5451-2018-1-46-81-85>
16. Kononenko, M., Khomenko, O., Cabana, E., Mirek, A., Dyczko, A., Prostański, D., Dychkovskiy, R. (2023). Using the methods to calculate parameters of drilling and blasting operations for emulsion explosives. *Acta Montanistica Slovaca*, 28(3), 655–667. <https://doi.org/10.46544/ams.v28i3.10>
17. Kononenko M., Khomenko O., Sadovenko I., Sobolev V., Pazynich Yu., Smolinski A. (2023). Managing the rock mass destruction under the explosion. *Journal of sustainable mining*, 22(3), 240–247. <https://doi.org/10.46873/2300-3960.1391>
18. Mertuszka, P., Cenian, B., Kramarczyk, B., & Pytel, W. (2018). Influence of explosive charge diameter on the detonation velocity based on Emulinit 7L and 8L bulk emulsion explosives. *Central European Journal of Energetic Materials*, 15(2), 351–363. <https://doi.org/10.22211/cejem/78090>
19. Mertuszka, P., & Kramarczyk, B. (2018). The impact of time on the detonation capacity of bulk emulsion explosives based on Emulinit 8L. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 43(8), 799–804. <https://doi.org/10.1002/prep.201800062>
20. Khomenko O., Kononenko M., Myronova I., Kovalenko I., Cabana Edgar Cáceres, Dychkovskiy R. (2023). Technology for increasing the level of environmental safety of iron ore mines with use of emulsion explosives. *Mining Machines*, 41(1), 48–57. <https://doi.org/10.32056/KOMAG2023.1.5>
21. Myronova, I. (2015). The level of atmospheric pollution around the iron-ore mine. *New Developments in Mining Engineering*, 193–197. <https://doi.org/10.1201/b19901-35>

22. Khomenko, O. Ye., Kononenko, M. M., Myronova, I. G., & Sudakov, A. K. (2018). Increasing ecological safety during underground mining of iron-ore deposits. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 29–38. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-2/3>
23. Khomenko, O., Kononenko, M., & Myronova, I. (2017). Ecological and technological aspects of iron-ore underground mining. *Mining of Mineral Deposits*, 11(2), 59–67. <https://doi.org/10.15407/mining11.02.059>
24. Zaporozhets, O., Synylo, K., Karpenko, S., & Krupko, A. (2021). Improvement of the computer model of air pollution estimation due to emissions of stationary sources of airports and compressor stations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(10(111)), 54–64. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236125>
25. Khomenko O., Kononenko M., Myronova I., Kosenko A., & Cabana, Edgar Cáceres (2024). Environmental assessment of the use of emulsion explosives in underground iron ore mining. *Mining Machines*, 42(1), 49–58. <https://doi.org/10.32056/KOMAG2024.1.4>

ABSTRACT

Purpose. The purpose of the study is to conduct an environmental assessment of the state of the atmospheric air during iron ore mining using TNT-containing and emulsion explosives (EE).

The methodology of research. To determine the features of dispersion in the atmosphere of environmentally hazardous substances at different distances from the air pit of an iron ore mine, an analytical method for calculating the distribution of concentrations of harmful substances formed after blasting operations during underground iron ore mining was used. Using environmental analysis, the level of reduction in environmental hazard when using EE in blasting operations compared to TNT-containing analogues was determined.

Findings. Based on the calculation of the values of ground level concentration of environmentally hazardous substances, it was established that the maximum concentration of carbon monoxide, nitrogen oxide and nitrogen dioxide was observed in 2008, when 100% of TNT-containing explosives (E) were used in underground mining operations. The use of 78% of Ukrainit-type EE and 22% of TNT-containing E from their total costs during 2020, compared to 2008, made it possible to reduce the maximum concentrations of environmentally hazardous substances: carbon monoxide – by 5.0–5.5 times, and nitrogen oxide and dioxide – by 1.2–1.3 times.

The originality. Consists in establishing the dependence of a decrease in ground level concentration of environmentally hazardous substances and a decrease in the environmental hazard index by an average of 1.5 times (up to 36%), when using Ukrainit-type EE in the mines of the Zaporizhzhya Iron Ore Plant Private Joint-Stock Company (ZIOP PJSC) compared to the use of TNT-containing E.

Practical implications. It has been established that the use of Ukrainit type E in underground ore mining leads to a decrease in the concentrations of environmentally hazardous substances such as carbon monoxide, nitrogen oxide and dioxide formed after blasting operations, as well as a decrease in the technogenic load on the atmospheric air.

Keywords: *emission source, ground level concentration, environmentally hazardous substances, emulsion explosives, environmental hazard index, environmental assessment.*