

7. Новожилов М.Г., Бондарь С.А., Дриженко Ю.А. Область применения перспективных видов транспорта на глубоких карьерах // Горн. журн. - 1972. - № 12. - С. 34-37.
8. Бызов В.Ф., Мартыненко В.П., Станков А.П. Железородная промышленность глазами международных экспертов. - Кривой Рог: Минерал, 1995. - 35 с.
9. Астафьев Ю.П., Полищук Г.К., Горлов Н.И. Планирование и организация погрузочно-транспортных работ на карьерах. - М.: Недра, 1986. - 168 с.
10. Сироткин З.Л., Альтшулер В.М., Казарез А.Н. Надежность карьерных автосамосвалов. - М.: Недра, 1974. - 72 с.
11. Яковлев В.Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров. - Новосибирск.: Наука. Сиб. отделение, 1989. - 240 с.
12. Белятынский А.А. и др. Проектирование автомобильных дорог с учетом экономии энергоресурсов / А.А. Белятынский, Л.В. Василенко, А.М. Романюха. - К.: Будівельник, 1990. - 104 с.
13. Виницкий К.Е. Оптимизация технологических процессов на открытых горных разработках. - М.: Недра, 1976. - 280с.
14. Тымовский Л.Г. Комбинированный транспорт на карьерах. - М.: Госгортехиздат, 1963. - 120 с.
15. Жуков С.А., Филатов С.В., Гирич В.С. Состояние карьерного транспорта, пути его обновления и модернизации // Гірничя електромеханіка та автоматика. - Дніпропетровськ: НГУ, 2002. - №68. - С. 64-66.
16. Автомобільні двигуни / І.І. Тимченко, Ю.Ф. Гутаревич, К.Є. Долганов, М.Р. Муджобасв / За ред. І.І. Тимченка. - Х.: Основа, 1995. - 464 с.

Рукопис подано до редакції 22.03.16

УДК 622.807:502.175

М.Ф. ЄВДОКИМЕНКО, Є.В. ФРАНЦЕВ, М.В. БОНДАР, М.К. КУРІНОВА,  
НДІБПГ ДВНЗ «Криворізький національний університет»

## МОНІТОРИНГ ТА ПРОГНОЗ СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ МАСОВИХ ВИБУХІВ У ЗАЛІЗОРУДНИХ КАР'ЄРАХ КРИВ БАСУ

Викиди забруднюючих речовин під час проведення масових вибухів є залповими, тобто за короткий час у повітря викидається значна кількість забруднювачів. При цьому виникає небезпека перевищення гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин на межі санітарно-захисної зони та на межі житлової забудови. При визначенні місця відбору проб враховується місце розташування блоку, що підривається, параметри буро-вибухових робіт, напрям вітру, відстань до цього блоку. Крім визначення концентрацій забруднюючих речовин, що утворюються під час проведення масових вибухів, НДІБПГ КНУ проводить моніторинг природоохоронних заходів, які підприємство застосовує для боротьби з викидами. Важливим аспектом попередження забруднення атмосферного повітря при масових вибухах є прогнозні розрахунки приземних концентрацій на межі СЗЗ перед проведенням вибухів. Знання наслідків масового вибуху дозволить оперативно відкоригувати технологію ведення вибухових робіт у частині застосування заходів з пилогасоподавлення. Для вирішення цього питання необхідно розробити модель прогнозних розрахунків стану атмосферного повітря під час проведення масових вибухів на підставі комп'ютерних програм, затверджених Мінприроди України. В цьому випадку визначаються еквівалентні максимальні разові викиди (ЕМРВ) забруднюючих речовин, приведені до двадцятихвилинного інтервалу осереднення, величини яких можна використати як вихідні дані для програми розрахунків розсіювання ЕОЛ. Як показують результати розрахунків, вони мають досить велику збіжність з фактичними приземними концентраціями, отриманими шляхом вимірювань на підфакельних постах.

**Ключові слова:** масовий вибух, моніторинг, забруднюючі речовини, приземні концентрації, прогнозні розрахунки.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Викиди забруднюючих речовин під час проведення масових вибухів у кар'єрах є залповими, тобто за короткий час у повітря викидається значна кількість забруднювачів. При цьому виникає небезпека перевищення гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин на межі санітарно-захисної зони та на межі житлової забудови. Непоодинокі скарги жителів прилеглих до кар'єрів житлових масивів на забруднення повітря масовими вибухами підтверджують наявність проблеми та необхідність її вирішення. Тому суворе дотримання технології вибуху, а також моніторинг стану атмосферного повітря під час проведення масових вибухів є практичним завданням для виробничників та екологічних служб міста.

НДІБПГ КНУ протягом багатьох років займається вимірюванням вмісту в атмосферному повітрі забруднюючих речовин, що викидаються під час масових вибухів. Вимірювання проводяться на підфакельних постах на межі санітарно-захисної зони та житлової забудови прилеглих

лих районів. За період з 2003 року, коли почалися вимірювання, накопичений великий досвід у проведенні таких робіт та напрацьовано достатньо матеріалу для його обробки та систематизації.

Важливим аспектом попередження забруднення атмосферного повітря при масових вибухах є прогнози розрахунки приземних концентрацій на межі СЗЗ перед проведенням вибухів. Знання наслідків масового вибуху дозволить оперативно відкоригувати технологію ведення вибухових робіт у частині застосування заходів з пилогазоподавлення. На жаль сьогодні немає затвердженої методики та комп'ютерної програми щодо проведення цих розрахунків, тому вирішення цього питання також є актуальним.

**Аналіз досліджень і публікацій.** У роботах [1-4] наведено результати досліджень стану атмосферного повітря під час проведення масових вибухів у кар'єрах Кривбасу. Дослідження запиленості й загазованості повітря на межі санітарно-захисної зони від кар'єрів показали, що концентрації шкідливих газів оксиду вуглецю та оксидів азоту не перевищують гранично допустимих концентрацій для житлових масивів. Концентрація пилу в цих же точках в ряді випадків перевищує ГДК і залежить від обсягу вибухових речовин, глибини залягання блоку порід, що підривається, рельєфу місцевості, метеорологічних параметрів. У результаті обробки експериментальних даних, отримана емпірична формула, що дозволяє розрахувати запиленість повітря на межі санітарно-захисної зони від кар'єра в залежності від вищевказаних параметрів.

Однак в роботі не наведено дані щодо фактичних вимірюваних концентрацій забруднюючих речовин. Емпірична формула для визначення концентрацій забруднюючих речовин не враховує кількість блоків, що підриваються та їх розташування, а також різну відстань визначення концентрацій.

Запиленість і загазованість повітря на різних відстанях від кар'єрів після масових вибухів визначається за відомими аналітичними рішеннями рівняння турбулентної дифузії [5-9]. Цей метод дозволяє різнобічно підійти до прогнозу забруднення повітря на різних відстанях від кар'єрів з урахуванням зміни таких важливих параметрів, як стан атмосфери і дисперсність пилу. Провести розрахунок розсіювання домішок в приземному шарі атмосфери після масових вибухів можна за методикою НДІБПГ [10]. Однак ця методика призначена для визначення концентрацій забруднюючих речовин у пилогазовій хмарі, як у миттєвому джерелі, і не враховує необхідний 20-хвилинний інтервал осереднення концентрації забруднюючих речовин у хмарі під час руху над землею поверхнею, що потрібно згідно керівного документа [11]. Крім того, відсутні затверджені Мінприроди України комп'ютерні програми, розроблені за даною методикою, що не дозволяє оперувати великою кількістю вхідних даних та отримувати необхідні результати щодо прогнозу стану атмосфери під час проведення масових вибухів.

**Постановка завдання.** Питанням, що потребує вирішення, є аналіз багаторічних досліджень стану атмосферного повітря на межі санітарно-захисної зони та житлової забудови під час проведення масових вибухів у кар'єрах та розробка методики прогнозного оцінювання величин приземних концентрацій забруднюючих речовин у визначених точках СЗЗ та житлової забудови. Для вирішення цього питання необхідно визначити середні максимальні разові концентрації забруднюючих речовин у точках відбору проб та розробити модель прогнозних розрахунків стану атмосферного повітря під час проведення масових вибухів на підставі комп'ютерних програм, затверджених Мінприроди України.

**Викладення матеріалу та результати.** За основу аналізу взяті вимірювання, що проводилися на кар'єрах ПАТ «АМКР» в період 2008-15 рр. За цей час було проведено 354 відбору проб повітря.

Дослідження проводяться на кар'єрах № 2-біс та № 3 ПАТ «АМКР». Найближчий житловий масив від кар'єра № 2-біс (с. Шевченка) знаходиться на відстані 1000 м, найближчий житловий масив від кар'єра № 3 (с. Всебратьське) розташоване на відстані 1,5 км.

Вибір точки відбору проб з урахуванням місця розташування блоку, що підривається, в кар'єрі здійснюється так. Точка відбору проб повітря для визначення концентрацій забруднюючих речовин, що утворюються під час проведення масового вибуху, встановлюється на межі санітарно-захисної зони кар'єра, або на межі житлового масиву з підвітряного боку кар'єра. При визначенні місця відбору проб враховується місце розташування блоку, що підривається, параметри буровибухових робіт (довжина і ширина блоку, що підривається), напрям вітру, відстань до цього блоку. У разі підривання декількох блоків, при неможливості встановлення більше одного поста спостереження, точка відбору проб вибирається відносно блоку, де підривається найбільша кількість вибухових речовин.

Ширина смуги, в якій знаходиться точка відбору проб, визначається за умови максимального часу проходження пилогазової хмари через точку відбору проб. Це означає, що через точку повинна пройти частина хмари, що має максимальний розмір по ходу руху. Ця частина хмари визначається виходячи з розташування блоку, що підривається, по відношенню до напрямку вітру.

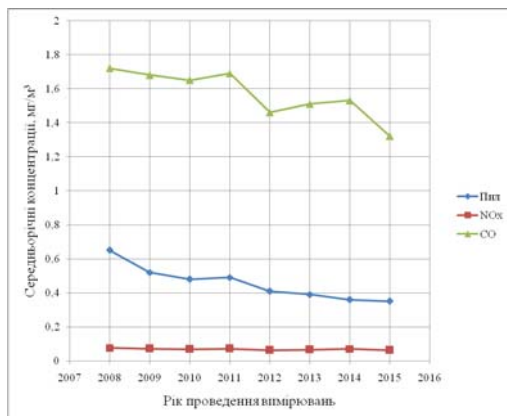
Методика відбору проб полягає в наступному. Для організації місця відбору проб вибирається відкритий, провітрюваний з усіх боків майданчик з твердим та не курним покриттям, з підвітряного боку кар'єру. Відбір проб проводиться на висоті 1,7 м над поверхнею землі.

Одночасно з відбором проб повітря проводяться метеорологічні спостереження за швидкістю та напрямком вітру, температурою повітря та барометричним тиском. Час початку відбору проб після вибуху розраховується виходячи з вимірної швидкості повітря та відстані до найближчого блоку, що підривається. Після закінчення розрахованого часу вмикається аспіратор і протягом 20 хвилин проводиться відбір проб повітря на запиленість і загазованість.

Проби пилу відбираються на фільтр АФА-ВП-10, проби шкідливих газів відбираються у мішок з поліетиленової плівки з подальшим аналізом на газоаналізаторі MiniWarn.

Проводяться вимірювання пилу, оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ) та оксиду вуглецю ( $\text{CO}$ ).

Результати промислових досліджень запиленості та загазованості повітря на межі СЗЗ та житлової забудови під час проведення масових вибухів у кар'єрах ПАТ «АМКР» за період 2008-2015 рр. наведено на рис. 1.



**Рис. 1.** Середньорічні максимальні разові концентрації пилу,  $\text{NO}_x$  та  $\text{CO}$  на межі СЗЗ під час проведення масових вибухів у кар'єрах №2-біс та №3 ПАТ "АМКР"

За даними моніторингу стану повітря під час проведення масових вибухів у кар'єрах ПАТ «АМКР» можна зробити висновок про те, що з 2008 р. по 2015 р. середні максимальні разові концентрації забруднюючих речовин мають тенденцію до зниження. Так у 2008 р. середня концентрація пилу склала  $0,65 \text{ мг/м}^3$ ,  $\text{NO}_x$  -  $0,076 \text{ мг/м}^3$ ,  $\text{CO}$  -  $1,72 \text{ мг/м}^3$ . При цьому мінімальні і максимальні концентрації склали: пил -  $0,13\text{-}3,60 \text{ мг/м}^3$ ,  $\text{NO}_x$  -  $0,027\text{-}0,083 \text{ мг/м}^3$ ,  $\text{CO}$  -  $1,0\text{-}4,4 \text{ мг/м}^3$ . У 2015 р. середні концентрації склали:

пил -  $0,35 \text{ мг/м}^3$ ,  $\text{NO}_x$  -  $0,063 \text{ мг/м}^3$ ,  $\text{CO}$  -  $1,32 \text{ мг/м}^3$ , мінімальні та максимальні концентрації мали значення: пил -  $0,23\text{-}0,43 \text{ мг/м}^3$ ,  $\text{NO}_x$  -  $0,033\text{-}0,113 \text{ мг/м}^3$ ,  $\text{CO}$  -  $0,17\text{-}4,88 \text{ мг/м}^3$ .

Загальне зниження середніх концентрацій забруднюючих речовин пояснюється поглибленням гірничих робіт у кар'єрах № 2-біс та № 3 за цей час приблизно на 50 м, через що більша частина пилу та газів не залишає кар'єрного простору, а осідає в кар'єрі.

Крім того впровадження сучасних емульсійних вибухових речовин та засобів підривання, а також постійне застосування природоохоронних засобів дозволило зменшити питомі викиди забруднюючих речовин на кар'єрах підприємства. В останні роки під час підривання блоків, що знаходяться на нижніх горизонтах, газопилова хмара майже не виходила з кар'єру, а от при підриванні верхніх горизонтів максимальні концентрації наближалися до гранично допустимих.

Схожі тенденції спостерігаються й на інших кар'єрах Кривбасу.

Відповідно до [12] на кар'єрах повинні впроваджуватися природоохоронні заходи щодо зменшення викидів забруднюючих речовин під час ведення різних технологічних операцій, в тому числі й вибухових робіт. Крім визначення концентрацій забруднюючих речовин, що утворюються під час проведення масових вибухів, НДІБПГ КНУ на кар'єрах ПАТ «АМКР» проводить моніторинг природоохоронних заходів, які підприємство застосовує для боротьби з викидами. На сьогодні це зовнішня та внутрішня водяні набійки, підривання на підпірну стінку з гірничої маси, що була підірвана раніше (підривання в затиснутому середовищі), зволоження матеріалу штатної набійки водою. Як показують результати моніторингу, підприємство у повному обсязі виконує зазначені заходи з пилоподавлення, завдяки чому також в останні роки приземні концентрації забруднених речовин не перевищують гранично допустимих.

Незважаючи на зменшення середніх за рік максимальних концентрацій забруднюючих речовин не залишає бути актуальним питання розрахунків прогнозного забруднення атмосферного повітря під час проведення масових вибухів у кар'єрах, щоб завчасно попередити негативні наслідки вибуху.

На сьогодні відсутні як затверджена методика визначення максимальних разових приземних концентрацій під час проведення масових вибухів, так і програми щодо реалізації цієї методики в комп'ютерних програмах. Однією з популярних програм розрахунків забруднення атмосфери є програма ЕОЛ різних версій, що затверджена Мінприроди України, і яка базується на нормативній методиці розрахунків концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств ОНД-86 [13].

Згідно з [13] розрахунками визначаються разові концентрації, що відносяться до 20-30-хвилинного інтервалу осереднення [14-16]. Масовий вибух - це процес швидкоплинний, викид забруднюючих речовин при цьому є залповий, його тривалість складає максимум кілька десятків секунд. Величина масової витрати матеріалу за цей час сягає десятків тонн.

Тому, наприклад, під час розробки дозвільних документів на викиди забруднюючих речовин масові вибухи нормуються як залпові і для них розраховуються тільки маси річних викидів забруднюючих речовин.

При цьому оцінка впливу на навколишнє середовище у вигляді розрахунків розсіювання не проводиться.

Але бувають випадки, коли необхідно провести розрахунки розсіювання забруднюючих речовин під час проведення масового вибуху в кар'єрі, наприклад, для прогнозу оцінки впливу вибуху на навколишні території.

В цьому випадку визначаються еквівалентні максимальні разові викиди забруднюючих речовин, приведені до двадцятихвилинного інтервалу осереднення, величини яких можна використати як вихідні дані для програми розрахунків розсіювання ЕОЛ.

Розрахунки еквівалентних максимальних разових викидів забруднюючих речовин для проведення розрахунків забруднення атмосфери під час проведення масових вибухів проводяться по [10] з урахуванням [13,14] за формулою, г/с

$$M_{mp} = 0,0329 \cdot Q_{bl}^{-0,08} \cdot q_{пит} \cdot (1 - \eta) \cdot V \cdot t, \quad (1)$$

де  $Q_{bl}$  - кількість вибухових речовин у блоці, що підривається, кг;  $q_{пит}$  - питомий викид забруднюючих речовин, кг/кг ВР;  $\eta$  - ефективність природоохоронних заходів;  $V$  - витрата пилогазоповітряної суміші, м<sup>3</sup>/с;  $t$  - час підривання блоку, с.

Витрата пилогазоповітряної суміші у (1) визначається за формулою

$$V = 0,785 \cdot v \cdot d_{св}^2 \cdot N_{св},$$

де  $v$  - швидкість виходу залишків продуктів детонації із свердловини, м/с;  $d_{св}$  - діаметр свердловини, м;  $N_{св}$  - кількість свердловин у блоці.

Час підривання блоку у (1) визначається з урахуванням [14] за формулою

$$t = 0,00019 \cdot Q_{св}^{1,34} \cdot (n_a + n_b - 1),$$

де  $Q_{св}$  - кількість вибухової речовини у свердловині, кг;  $n_a$  - кількість свердловин у ряду;  $n_b$  - кількість рядів свердловин на блоці.

Для перевірки доцільності використання еквівалентних максимальних разових викидів в якості прогнозних розрахунків впливу масових вибухів на довкілля були проведені розрахунки розсіювання з використанням конкретних даних по масовим вибухам, що проводилися у кар'єрах ПАТ «АМКР». Для розрахунків ЕМРВ приймалися фактичні дані по масовим вибухам: кількість ВР у блоці, кількість блоків, що підриваються за один масовий вибух, кількість свердловин на блоках, місце та глибина розташування блоку.

Результати розрахунків у порівнянні з приземними концентраціями, отриманими в результаті вимірювань на підфакельних постах наведено у табл.

Таблиця

Результати розрахунків та фактичних вимірювань приземних концентрацій

Дата вибуху	Горизонт блоку, м	Кількість вибухових речовин у блоці, кг	Кількість свердловин у блоці	Кількість вибухових речовин у свердловині, кг	Розрахункові величини приземних концентрацій, мг/м <sup>3</sup>			Фактичні величини приземних концентрацій, мг/м <sup>3</sup>		
					NO <sub>x</sub>	CO	пил	NO <sub>x</sub>	CO	пил
07.05.15	-135	73480	133	552,48	0,091	0,48	0,59	0,085	0,54	0,41
	-120	73190	126	580,87						
	-45	54570	95	574,42						

06.08.15	-240	58370	90	648,56	0,078	0,41	0,45	0,053	0,39	0,43
	-225	73860	120	615,50						
	-180	83870	140	599,07						
	-45	78570	140	561,21						
13.08.15	-135	67580	133	508,12	0,075	0,39	0,48	0,065	1,00	0,42
	-105	64000	102	627,45						
03.12.15	-150	29820	55	542,18	0,055	0,29	0,34	0,060	0,51	0,38
	-120	44370	84	528,21						
	-30	64710	126	513,57						

Як показують результати розрахунків, вони мають досить велику збіжність з фактичними приземними концентраціями, отриманими шляхом вимірювань на підфакельних постах. Так по оксидам азоту розбіжність результатів склала 7-32 %, по оксиду вуглецю - 5-61 %, по пилу - 5-18 %.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Проведений аналіз приземних концентрацій забруднюючих речовин, виміряних під час проведення масових вибухів у кар'єрах на підфакельних постах, який показав, що за останні роки концентрації знижуються внаслідок поглиблення гірничих робіт та удосконалення технології вибухових робіт.

Визначено методіку розрахунку еквівалентних максимальних разових викиди забруднюючих речовин під час масових вибухів у кар'єрах, величини яких можна використовувати як вихідні дані для прогнозних розрахунків впливу масових вибухів на довкілля. У подальшому треба удосконалювати модель прогнозу стану повітря під час проведення масових вибухів.

#### Список літератури

1. Тыщук В. Ю., Евдокименко Н.Ф., Котов Ю.Т. Разработка метода оценки влияния массовых взрывов в карьерах на запыленность и загазованность атмосферного воздуха. Информационный бюллетень Украинского союза инженеров-взрывников, № 1 (22), 2014. С. 13-18.
2. Проблемы экологии массовых взрывов в карьерах / [Э.И. Ефремов, П.В. Бересневич, В.Д. Петренко, В.А. Мартиненко] Под ред. чл.-корр. НАН Украины Е.И. Ефремова. – Днепропетровск: Січ, 1996 – 179 с.
3. Тыщук В.Ю. Розроблення і дослідження способу та засобу боротьби з пилом і газами при масових вибухах у кар'єрах / В.Ю.Тыщук М.Ф. Євдокименко, Ю.Т. Котов, В.Н. Палеха//Вісник Криворізького технічного університету: Збірник наукових праць – Кривий Ріг: КТУ, 2006. – Вип. 12. – С. 174-179.
4. Тыщук В.Ю., Євдокименко М.Ф., Губа М.М., Горобець Ю.І., Кузьменко П.К. Дослідження рівня забруднення атмосферного повітря на межі санітарно-захисної зони від кар'єрів після проведення масових вибухів // Охорона праці та навколишнього середовища на підприємствах гірничо-металургійного комплексу. – Зб. наук. праць. – Кривий Ріг: ДП «НДІБПГ». – 2007. Вип. 9. – С. 85-98.
5. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеоздат, 1975. – 448 с.
6. Левин А.В. О диффузии пылегазового облака в пограничном слое атмосферы // Тр.УкрНИИГМИ, вып. 150, 1976, с. 8-10.
7. Бересневич П.В., Деньгуб В.И., Наливайко В.Г. Изменения концентраций пыли, выделившейся при массовом взрыве в карьере, ФТПРПИ, № 2, 1987. - С. 100-103.
8. Sun W.-Y. and C.-Z. Chang. Diffusion model for a convective layer. Part 2: Plume released from a continuous point source. J. Climate Appl. Meteorol. 1986, vol. 25, No 10, pp. 1454-1463
9. Pasquill F. Atmospheric dispersion parameters in gaussian plume modeling: [part II. Possible Requirements for Change in the Turner Workbook Values] / F. Pasquill // EPA-600/4-76-030b, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina 27711. - 1976.
10. Методика расчета приземной концентрации вредных примесей при массовых взрывах на карьерах, Кривой Рог, НИИБТГ, 1996. – 17 с.
11. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. М.: Минздрав СССР, 1991. – 693 с.
12. Екологічні вимоги до кар'єрів щодо зменшення викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря. – Кривий Ріг, ДП «НДІБПГ», 2006.
13. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятия. - Л.: Гидрометеоздат, 1987. - 92 с.
14. Методика расчета выбросов вредных веществ карьеров с учетом нестационарности их технологических процессов. – Кривой Рог, ВНИИБТГ, 1989. - 57 с.
15. Сборник методик по расчету содержания загрязняющих веществ в выбросах от неорганизованных источников загрязнения атмосферы. - Донецк, УкрНТЭК, 1994. - 146 с.
16. Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. - Л., Гидрометеоздат, 1986. - 183 с.