

Н.Ю. ШВАГЕР, д-р техн. наук, проф., Т.А. КОМІСАРЕНКО, канд. техн. наук, доц.  
Криворізький національний університет

## СПОСІБ КОНТРОЛЮ СКЛАДУ АТМОСФЕРИ КАР'ЄРІВ ПІСЛЯ МАСОВИХ ВИБУХІВ

**Мета.** Аналіз існуючих методів визначення наявності шкідливих речовин в атмосфері після масових вибухів в кар'єрах та розробка способу вимірювання газового складу атмосфери за допомогою безпілотного апарата БПЛА.

**Методи дослідження.** У статті використано загальнонаукові методи дослідження. За основу при проведенні дослідження було покладено системний підхід. За допомогою аналізу та порівняння виокремлено особливості різних способів визначення стану атмосфери кар'єра в цілому і його окремих ділянок. Утворені в момент вибуху шкідливі речовини досягають понаднормових концентрацій у повітрі кар'єру, що чинить негативний вплив на здоров'я працівників гірничого підприємства та жителів прилеглих до кар'єра територій. Метод узагальнення дав змогу визначити шляхи удосконалення способів контролю газового складу атмосфери.

**Наукова новизна.** Для вирішення цієї проблеми запропоновано спосіб контролю газового складу атмосфери після вибухів за допомогою БПЛА.

**Практична значимість.** Використання безпілотного апарата (БПЛА) для визначення концентрації шкідливих газів, що утворюються після масових вибухів на кар'єрі забезпечує відсутність необхідності перебування людини у зоні особливої небезпеки після масового вибуху, а також швидкі темпи обробки інформації (загальний час на збір інформації та її обробку не буде перевищувати 1 годину). До недоліків методу можна віднести порівняно високу вартість обладнання.

**Результати.** Надані пропозиції щодо способу контролю газового складу атмосфери після вибухів за допомогою БПЛА. Дослідження нових способів контролю складу атмосфери після масових вибухів при відкритому способі розробки родовищ корисних копалин має важливе значення для забезпечення безпеки праці та зниження екологічного навантаження на прилеглі до кар'єра території. Реалізація пропонованого способу контролю складу атмосфери після вибуху дозволить отримувати достовірні дані про хімічний склад атмосфери на ділянках, які розташовані в зоні вибуху в короткі терміни, а також проводити контрольні виміри в процесі виконання гірничотехнічних робіт без їх переривання і без участі людей.

**Ключові слова:** масовий вибух, моніторинг, шкідливі речовини, концентрація, безпілотний апарат

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-42-46

**Постановка проблеми та її зв'язок з науково-практичними задачами.** Діяльність гірничих підприємств з відкритим способом видобутку корисних копалин впливає перш за все на якість атмосферного повітря. Масові вибухи на кар'єрах супроводжуються утворенням пилогазової хмари з кількістю пилу  $0,030-0,19 \text{ кг/м}^3$ , окису вуглецю -  $60-95 \text{ л/кг}$ , а окисів азоту -  $3,5-7 \text{ л/кг}$ . Утворені в момент вибуху шкідливі речовини досягають понаднормових концентрацій у повітрі кар'єру, що чинить негативний вплив на здоров'я працівників гірничого підприємства та жителів прилеглих до кар'єра територій [1-3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогоднішній день найбільш поширеним способом визначення наявності шкідливих речовин (оксиду вуглецю CO, диоксиду вуглецю CO<sub>2</sub>, метану CH<sub>4</sub>, оксиду азоту NO, диоксиду азоту NO<sub>2</sub>) та пилу після проведення вибухових робіт на кар'єрах Криворізького залізрудного басейну є вимірювання, що проводяться групою спеціалізованих працівників які перебувають безпосередньо на місці вибуху [4-6]. Виміри складу атмосфери проводяться шляхом перекачування повітря через пробовідбірники в різних місцях фронту проведення гірничих робіт. Після цього проби повітря доставляються у лабораторію, що ухвалює рішення про допуск робітників у зону вибуху.

Головним недоліком даного способу є те, що працівники знаходяться в небезпечній зоні, і наражаються на небезпеку отруєння шкідливими газами і пилом. Крім того, цей спосіб вимагає значних витрат часу на доставку і аналіз проб в лабораторії. Отримані результати вимірювань даним способом недостовірні, оскільки відбори проб ведуться на рівні поверхні розвалу гірських порід, або в безпосередній близькості від неї.

Спосіб не дає можливості визначити зміни складу атмосфери на висоті декількох метрів та її зміну в процесі ведення гірничих робіт, при якому відбуваються викиди газів, що містяться в розвалі гірської породи [7].

Відомим є такий спосіб визначення наявності шкідливих речовин, який включає дискретні вимірювання хімічного складу атмосфери по заданих траєкторіях навколо геометричного центра розвалу підірваної породи - епіцентру в заданих точках. При цьому на місцевості роз-

міщують блоки відбору проб атмосфери, що складаються з набору окремих пристроїв, причому розташовують їх по умовних концентричних еліпсоїдних лініях (траєкторіям) навколо геометричного центра розвалу підірваної породи. Форма еліпсоїдних ліній враховує напрям і швидкість вітру [ 8]. У кожен блок відбору проб атмосфери включають таке число пристроїв для відбору проб, яке рівне числу моментів відбору проб в точці установлення блоку за регламентом контролю атмосфери. Після установки блоків відбору проб від них відводять електролінії на пульт управління, який влаштовують в безпечному місці. Після проведення вибуху і появи в атмосфері газів, періодично проводять дистанційне почергове відкриття камер пристроїв в моменти часу, згідно прийнятому регламенту контролю атмосфери. Після закінчення відбору проб, проводять їх евакуацію з камер і відомими методами виконують аналіз хімічного складу проб атмосфери.

Недоліком даного способу є його низька надійність, оскільки існує значна кількість блоків відбору проб, які заздалегідь розміщують в місці вибуху по еліпсоїдних траєкторіях, та можуть бути пошкоджені шматками підірваної породи і засипані нею. Окрім цього, спосіб є високо трудомістким і вимагає підвищених витрат часу для його реалізації із застосуванням ручної праці спеціалізованих працівників. В процесі евакуації проб з блоків, спеціалізовані працівники наражаються на небезпеку отруєння шкідливими газами та пилом. Цей спосіб не дає можливості достовірно визначати хімічний склад атмосфери після вибуху на різних висотних відмітках в зоні ведення робіт. Так само спосіб не дозволяє оперативно визначати зміну хімічного складу атмосфери, яке відбувається в результаті викидів шкідливих речовин з розвалів породи після початку вантажних робіт. Причому, достовірність отриманих даних буде різко спотворена у разі зміни напрямку вітру, або погодних умов в цілому.

Ще одним способом контролю складу атмосфери по технічній суті і результату, що досягається, є спосіб контролю газового складу атмосфери після вибуху, за допомогою використання безпілотного літального апарату (БПЛА), що здійснює дискретні вимірювання хімічного складу повітря по заданих траєкторіях навколо геометричного центра розвалу підірваної породи в заданих точках. БПЛА оснащують портативним газоаналізатором з детекторами газів і пилу, бортовим комп'ютером, електронним висотоміром і навігатором, а траєкторії руху БПЛА мають форму горизонтальних прямокутників, геометричний центр яких співпадає з геометричним центром розвалу підірваної породи. За допомогою портативного газоаналізатора автоматично зберігають поточні вимірювання із заданими інтервалами часу з передачею отриманих результатів на бортовий комп'ютер і формуванням радіосигналу, який передають на наземний персональний комп'ютер. За допомогою навігатора відстежують і фіксують траєкторії польоту БПЛА на фіксованих висотах від поверхні землі, які задають і контролюють за допомогою електронного висотоміра [9].

Однією з найважливіших характеристик є автономність дії та максимальна дальність БПЛА. Порівняно з іншими способами контролю, як наприклад безпосередній забір проб на місці, або аеророзвідка за допомогою авіації, автономність БПЛА має критично важливе значення.

**Постановка завдання.** Метою даної статті є аналіз існуючих методів визначення наявності шкідливих речовин в атмосфері після масових вибухів в кар'єрах та розробка способу вимірювання газового складу атмосфери за допомогою безпілотного апарату БПЛА.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** При масових вибухах у кар'єрах Криворізького залізничного басейну, площа підривної гірничої маси залежить від геологічних особливостей родовища, таким чином ширина підривної ділянки може починатися від 20 м, та довжина від 200 м [10].

Розглянемо кілька варіантів площі масового вибуху, щоб порівняти отримані дані, та визначити необхідну автономність. Крім того, слід враховувати безпечну відстань від фронту проведення робіт до укриття у якому буде знаходитись БПЛА. Цю відстань приймають від 500 м до 1000 м (у найбільш несприятливому випадку).

БПЛА має провести розвідку та аналіз стану повітря після масового вибуху, його схематична траєкторія руху буде такою, як показано на рис. 1.

Так, для параметрів блоку, при довжині  $A = 300$  м та ширині  $B = 30$  м, сумарна довжина траєкторії  $P$  руху БПЛА над блоком становитиме, при щільній сітці вимірів ( $l = 5$  м), м

$$P_{\text{вимір}} = (A/l \cdot L) + (A/l \cdot l);$$

$$P = (300/5 \cdot 30) + (300/5 \cdot 5) = 2100.$$

Також необхідно врахувати відстань від укриття до місця проведення масового вибуху, у нашому випадку  $P_{пол} = 2 \times 1000$  м, тобто 2000 м. Загалом БПЛА повинен пройти відстань у щонайменше 3 км для того, щоб здійснити виміри у підірваному блоці.

Швидкість руху БПЛА буде відрізнятися, при прольоті від укриття до місця вимірювання  $V_{пол}$ , та безпосередньо на місці вимірювання  $V_{вимір}$ . При прольоті від укриття до блоку, БПЛА може розвинути крейсерську швидкість  $V_{пол} = 8 - 10$  м/с, тоді як при вимірювання, ми обмежені максимальною швидкістю у  $V_{вимір} = 2 - 3$  м/с, щоб виміряти показники.

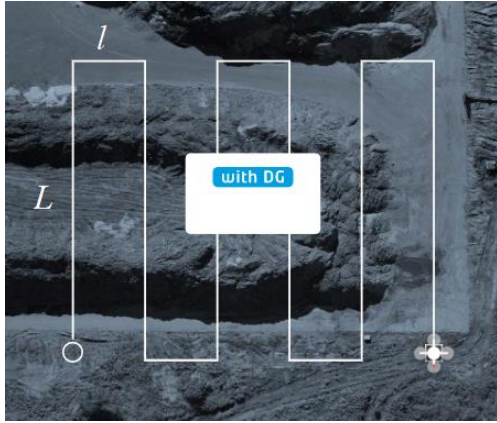


Рис. 1. Схематична траекторія руху БПЛА для проведення замірів якості повітря після масового вибуху

Таким чином, отримуємо:

$$T_{пол} = P_{пол} / V_{пол} = 2100 / 8 = 263 \text{ с, приймаємо } 5 \text{ хв.};$$

$$T_{вимір} = P_{вимір} / V_{вимір} = 1000 / 2 = 500 \text{ с, приймаємо } 9 \text{ хв.}$$

Отже, автономність нашого БПЛА повинна щонайменше становити 14 хв, при ідеальних умовах роботи (відсутність вітру, автономність живлення приладів вимірювання). Тому при виборі БПЛА, необхідно розглядати моделі, які матимуть автономність роботи від 30 хв, та крейсерську швидкість у 8 – 10 м/с для того, щоб забезпечити надійну експлуатацію без ризику втрати обладнання.

Необхідно також розглядати моделі, що мають радіус автономної дії у 2-3 км.

Задачею БПЛА є отримання достовірних даних про хімічний склад атмосфери на ділянках, розташованих в зоні вибуху по всій території фронту відкритих гірничих робіт на різних висотах без участі людей, а також забезпечення експрес-контролю хімічного складу атмосфери і вмісту пилу в процесі розробки і виїмки породи з розвалу при виконанні вантажних робіт [11-13].

Технічний результат від використання моделі полягає в тому, що пропонується спосіб дозволяє різко скоротити час контролю складу атмосфери, отримувати достовірні дані як після вибуху, так і в процесі ведення вантажних робіт, а також виключити участь спеціалізованих працівників під час контролю атмосфери в зоні вибуху і, таким чином повністю виключити небезпеку виробничого травматизму.

Згідно зі способом, що пропонується, вимірювання газового складу атмосфери проводять за



Рис. 2. Принципова схема БПЛА

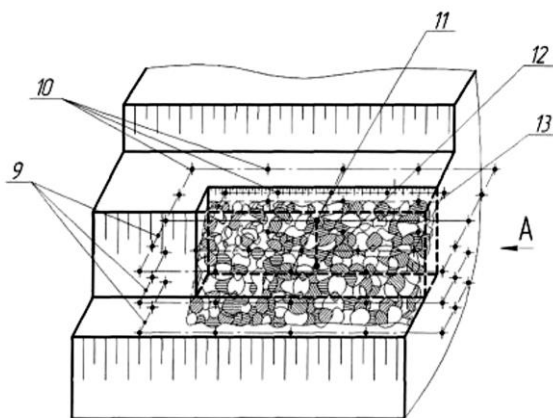


Рис. 3. Траекторії руху БПЛА

допомогою безпілотного апарата БПЛА (рис. 2), з автономними двигунами 1, який оснащують портативним газоаналізатором 2 з детекторами газів і пилу 3, бортовим комп'ютером 4 з носієм даних вимірювань складу атмосфери 5, електронним висотоміром 6 і навігатором 7. Бортовий комп'ютер формує радіосигнал і передає його на наземний персональний комп'ютер 8. Траекторії руху БПЛА (рис. 3) мають форму горизонтальних прямокутників 9, із заданими точками 10 вимірювань хімічного складу атмосфери. При цьому довжина і ширина траекторій 9 охоплюють весь розвал підірваної породи, а геометричний центр 11 траекторій 9 співпадає з геометричним центром 12 розвалу підірваної породи в плані. Параметри концентричних прямокутних траекторій 13 меншого розміру визначають виходячи з прийнятого регламенту контролю атмосфери. Траекторії 9 рухів БПЛА розташовують на різних фіксованих висотах Н1, Н2, Н3 від поверхні землі.

Для забезпечення прив'язки вимірювань концентрації шкідливих речовин до місцевості, БПЛА додатково оснащують фотореєструючою апаратурою, за допомогою якої проводять аерофотознімання в процесі вимірювання газового складу атмосфери з прив'язкою даних виконаних вимірювань до координат заданих точок траєкторії польоту БПЛА.

Розрахунок концентрацій шкідливих речовин на момент проведення вибухових робіт, що проведений авторами [14, 15], дозволяє зробити висновок, що концентрації оксиду вуглецю, оксидів азоту і пилу в атмосфері кар'єру багаторазово перевищують ГДК. Це створює критичну ситуацію по забрудненню атмосферного повітря робочої зони. Інтенсивність їх виділення залежить від властивостей і стану гірської породи, погодних умов, техніки і технології розробки, ефективності застосування способів придушення пилу і шкідливих газів. У зв'язку з цим запиленість і загазованість повітря на робочих місцях може змінюватися в широких межах. Значний вплив на стан атмосфери кар'єра в цілому і його окремих ділянок надає наявність, склад і характер рухомих повітряних потоків, які в багатьох випадках визначають кількість принесених, що виникають і виносяться з кар'єру шкідливих домішок, а іноді є і причиною інтенсивного пилоутворення. Для вирішення цієї проблеми запропоновано спосіб контролю газового складу атмосфери після вибухів за допомогою БПЛА.

**Висновки з проведеного дослідження.** Реалізація запропонованого способу контролю складу атмосфери після вибуху дозволить отримувати достовірні дані про хімічний склад атмосфери на ділянках, які розташовані в зоні вибуху в короткі терміни, а також проводити контрольні виміри в процесі виконання гірничотехнічних робіт без їх переривання і без участі людей.

Спосіб контролю газового складу атмосфери після вибухів, що включає дискретні вимірювання її хімічного складу по заданих траєкторіях навколо геометричного центра розвалу підірваної породи в заданих точках, який відрізняється тим, що вимірювання газового складу атмосфери проводять за допомогою безпілотного апарата, що літає (БПЛА), який оснащують портативним газоаналізатором з детекторами газів і пилу, бортовим комп'ютером, електронним висотоміром і навігатором, а траєкторії руху БПЛА мають форму горизонтальних прямокутників, геометричний центр яких співпадає з геометричним центром розвалу підірваної породи, при цьому за допомогою портативного газоаналізатора автоматично зберігають поточні вимірювання із заданими інтервалами часу з передачею отриманих результатів на бортовий комп'ютер і формуванням радіосигналу, який передають на наземний персональний комп'ютер, а за допомогою навігатора відстежують і фіксують траєкторії польоту БПЛА на фіксованих висотах від поверхні землі, які задають і контролюють за допомогою електронного висотоміра.

Вимірювання хімічного складу атмосфери на заданих траєкторіях проводять по декількох прямокутних траєкторіях на різних фіксованих висотах. БПЛА додатково оснащують фотореєструючою апаратурою, за допомогою якої проводять аерофотознімання в процесі вимірювання газового складу атмосфери з прив'язкою даних виконаних вимірювань до координат заданих точок траєкторії польоту БПЛА.

Таким чином, використання БПЛА для визначення концентрації шкідливих газів, що утворюються після масових вибухів на кар'єрі забезпечує відсутність необхідності перебування людини у зоні особливої небезпеки після масового вибуху, а також швидкі темпи обробки інформації (загальний час на збір інформації та її обробку не буде перевищувати 1 годину). До недоліків методу можна віднести порівняно високу вартість обладнання.

### Список літератури

1. 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.
2. Тишук 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. – 36. наук. праць. – Кривий Ріг: ДП «НДІБПГ». – 2007. Вип. 9. – С. 85-98.
3. Бересневич П.В., Деньгуб В.И., Наливайко В.Г. Изменения концентраций пыли, выделившейся при массовом взрыве в карьере, ФТПРПИ, № 2, 1987. - С. 100-103.
4. Ушаков К.З., Михайлов В.А. Аэрология карьеров. - М: Недра, 1985
5. Никитин В.С., Битколов Н.З. Проветривание карьеров. М.: "Недра". 1975. - 256 с.
6. Гуль Ю.В. О методе низкотемпературного нагрева атмосферы при управлении воздухообменом в глубоких карьерах/. Гуль Ю.В.Косарев Г.И., Роголев В.А. // Сб. Теория и практика работы карьеров Заполярья. Апатиты: КФАН, 1974. с. 217-219.

7. Борьба с пылью в рудных карьерах / [Михайлов В.А., Бересневич П.В., Борисов В.Г. и др.]. – М. : Недра, 1981. – 262 с.
8. Способ контроля газового состава атмосферы после взрывов А.Е. Азаркович, Л.Г. Болховитинов, А.С. Зверев/ АС. СССР 1798649, Кл. G01N 1/22, Заявл. 25.09.90. Оpubл. 28.02.93. Бюл. № 8.
9. Спосіб контролю складу атмосфери після вибухів А.С. Аралкин, Т.А. Комиссаренко / Патент України № 118217, бюл. №14, 25.07.2017
10. **Тыщук В.Ю.** Исследование удельного пылегазовыделения при массовых взрывах в карьерах и способы снижения вредных выбросов./ Тыщук В.Ю./- Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. Випуск 1/2010 (5), с.127–132.
11. Проблеми енергозбереження і механізації в гірничо-металургійному комплексі: Матеріали молодіжної науково-технічної конференції – Кривий Ріг: КНУ, 2019
12. **Берлянд М.Е.** Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеоздат, 1975. – 448 с.
13. **Левин А.В.** О диффузии пылегазового облака в пограничном слое атмосферы // Тр.УкрНИИГМИ, вып. 150, 1976, с. 8-10.
14. Методика расчета выбросов вредных веществ карьеров с учетом нестационарности их технологических процессов. – Кривой Рог, ВНИИБТГ, 1989. - 57 с.
15. **А.В. Звягинцева, А.Ю. Завьялова.** Анализ основных технологических и инженерно-технические мероприятия, направленные на сокращение пылегазовых выбросов при массовых взрывах на карьерах горно-обогатительного комбината. //Гелиогеофизические исследования - 2015.

Рукопис подано до редакції 05.11.2019

УДК 553.04-047.58:622.03

М.В. ШОЛОХ, канд. техн. наук, доц.  
Криворізький національний університет

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОГНОЗНОЇ ОЦІНКИ МІНЛИВОСТІ ВМІСТУ ЯКІСНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КОРИСНИХ КОПАЛИН У МАСИВІ І РОЗПУШЕНІЙ ЗАЛІЗОРУДНІЙ МАСІ

**Мета.** Метою даної роботи є моделювання динамічних рядів природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин. Побудова моделей прогнозування характеристик ознак динамічних рядів базується на методах аналізу тимчасових рядів вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин.

**Методи дослідження.** Розглянуто підходи для моделювання взаємозалежних динамічних рядів мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин. Моделювання взаємозалежних динамічних рядів вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин пов'язане з узагальненням методу для ізолюваних рядів. Для моделей прогнозування характеристик ознак динамічних рядів вмісту якісно-технологічних показників використано метод найменших квадратів. Побудовано адаптивну і дискретну лінійну модель прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак динамічного ряду вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин множинної регресії та алгебраїчного критерію стійкості.

**Наукова новизна.** Запроєктовано рекомендації технології прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин окремих рівнів залізорудної маси з невеликими інтервалами дискретності. Розглянуто приклади визначення центрованої постійної моделі прогнозування характеристик ознак і розрахунок прогнозних оцінок вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві і розпушеній залізорудній масі. Для ілюстрації методики послідовних операцій ідентифікації моделей прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин відосіблених рядів вмісту якісно-технологічних показників залізорудної маси використано дільниці рудного тіла і покладів родовищ Кривбасу.

**Практична значимість.** Рекомендована методика моделювання взаємозалежних динамічних рядів вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин і побудова моделей прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин динамічних рядів, обмежується двома взаємозалежними динамічними рядами вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин.

**Результати.** Розглянуті моделі прогнозування характеристик ознак мають високоадаптивні властивості, високу точність прогнозування і можливість моделювання нестационарних динамічних рядів вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин. За рахунок статистичного аналізу інформації прогнозування характеристик ознак окремих рівнів залізорудної маси, які пов'язанні технологічними процесами досягнуто узагальнення методів прогнозування ізолюваних рядів вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин на взаємозалежні.

**Ключові слова:** моделювання, об'ємно-якісні показники, динамічні ряди, родовище, залізисті кварцити.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-46-53