

**Practical implications.** On the basis of the analysis it was found that when using an electroionizing coagulator in combination with a cyclone, it is possible to significantly improve the efficiency of capturing fine dust in aspiration systems of concentrating mills without significantly changing their topology and design, which in turn allows to reduce the operating costs of the system and improve the sanitary- hygienic working conditions in the workplace.

**Keywords:** aspiration system, aerosol, dust, coagulation, electroionization

УДК 504.3.054:622.012.3

© О.М. Савотченко, О.В. Зберовський

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПИЛОГАЗОВИХ ВИКИДІВ ПРИ ВИБУХОВИХ РОБОТАХ У КАР'ЄРАХ

© O. Savotchenko, O. Zberovskyi

## RESEARCH OF PARAMETERS OF DUST AND GAS EMISSIONS DURING BLASTING OPERATIONS IN QUARRIES

У статті приведені результати досліджень параметрів пилогазової хмари, що утворюється при вибухових робіт на кар'єрах. Визначені значення висоти, швидкості та об'єму хмари.

В статті приведені результати досліджень параметрів пилогазового облака, які утворюються при вибухових робіт в кар'єрах. Визначені значення висоти, швидкості та об'єму облака.

**Вступ.** Підвищення екологічної безпеки при веденні відкритих гірничих робіт на кар'єрах є однією з актуальних проблем сучасності. На теперішній час переважає розробка корисних копалин відкритим способом, котрий характеризується як найбільш економічний та ефективний. Але саме розробка корисних копалин відкритим способом завдає найбільшу шкоду компонентам навколишнього середовища, а саме забруднення дрібнодисперсним пилом та шкідливими газами, що залежить як від природних факторів (кліматичні умови та геологічні характеристики родовища корисних копалин), так і від технології ведення гірничих робіт. Наприклад, при бурінні свердловин на кар'єрах Кривбасу концентрація пилу складає 1,4-12 мг/м<sup>3</sup>, а СО – в середньому 15,4 мг/м<sup>3</sup>; в екскаваторних забоях концентрація пилу досягає 21,2 мг/м<sup>3</sup>, а СО - 35 мг/м<sup>3</sup>; при транспортуванні гірничої маси концентрація пилу досягає 20 мг/м<sup>3</sup>, а СО - 40 мг/м<sup>3</sup>; при роботі бульдозерної техніки концентрація пилу – порядку 39 мг/м<sup>3</sup>, а СО - 22 мг/м<sup>3</sup> [1].

При масових вибухах на кар'єрах в атмосферу надходить до 100 т пилу та до 30 тис. м<sup>3</sup> СО (при вибуху до 600 т вибухової речовини). При масових вибухах 600-800 т вибухової речовини (ВР) на відстані 1 км від кар'єру концентра-

ція пилу досягає 1200-2800 ГДК, а на віддаленні 10 км – 90 ГДК [2]. Вищевикладене вказує на високу екологічну небезпеку вибухових робіт на кар'єрах, а дослідження параметрів розповсюдження пилогазових викидів при вибухах є актуальною науково-практичною задачею, яка відноситься до переліку пріоритетних напрямків розвитку науки та техніки до 2020 року (п. 4 «Рациональне природокористування», Закон України від 12.10.2010 р. № 2519-VI).

**Формулювання мети дослідження.** Дослідити основні параметри пилогазових викидів у атмосферу, що утворюються при вибухових роботах на кар'єрах.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Дія вибуху при руйнуванні гірничих порід характеризується величезною складністю процесу. Відомо, що при вибуху заряду ВР в свердловині газоподібні продукти вибуху миттєво створюють величезний тиск і наносять сильний удар по стінках свердловини. Прямі ударні хвилі з великою швидкістю поширюються у вибуховому середовищі. Гірничий масив в зоні дії продуктів вибуху залучається ними в рух, що супроводжується додатковим дробленням шматків породи, їх інтенсивним тертям між собою та виділенням великої кількості дрібнодисперсного пилу, що разом з продуктами вибуху та згорання залишків ВР, які не продетонували, утворюють пилогазову хмару (ПГХ). ПГХ підіймається на висоту до 800 м, розповсюджується за напрямком вітру та осідає на земну поверхню, у тому числі в житлових районах і на сільськогосподарських угіддях, що створює відчутні негативні ефекти в радіусі до 20 км від кар'єру [2].

Відповідно до мети роботи були досліджені такі параметри ПГХ як форма, об'єм, висота та швидкість підйому. Процес зародження та формування ПГХ є дуже швидкоплинним, тому для його дослідження були використані матеріали швидкісної технічної кінозйомки.

Раніше роботи по аналізу процесів зародження ПГХ при вибухових роботах на кар'єрах були виконані під керівництвом Зберовського О.В. [2] науковцями Собко Б.Ю. [3] та Дубеєм В.В. [4] у 80-90-х роках ХХ століття. У роботі [2] вже були хронометровані результати процесу формування ПГХ над вибуховим блоком, та наведені характеристики газодинамічних процесів утворення ПГХ у часі в наступному вигляді:

- ✓ 0-180 мс - виліт і переміщення забійки свердловин;
- ✓ 180-560 мс - вихід вибухових газів і пилу з свердловин та догорання залишків ВР в атмосфері;
- ✓ 0-560 мс - вихід пилу і газів в атмосферу по тріщинах гірських порід;
- ✓ 180-800 мс - період існування чітких меж видимого контуру оболонки ПГХ (від моменту формування до початку розсіювання контуру оболонки);
- ✓ 80-560 мс - формування теплового епіцентру ПГХ;
- ✓ 180-560 мс - формування пилового епіцентру ПГХ;
- ✓ 280-800 мс - формування ежекційних потоків в основі ПГХ;
- ✓ 1-5 с - період підйому ПГХ по вертикалі з урахуванням інерційного розширення;

- ✓ 5-30 с - початок періоду гальмування і розсіювання ПГХ під дією вітрових потоків.

Було запропоновано розглядати розвиток ПГХ при вибухових роботах в кар'єрі у вигляді послідовності трьох основних етапів:

1 етап - процес зародження ПГХ (інтервал часу 0-0,5 с);

2 етап - процес формування ПГХ (інтервал часу 0,5-5 с);

3 етап - процес поширення ПГХ в атмосфері кар'єра (інтервал часу 5-30 с).

Однак у той період при виконанні дослідження результатів швидкісної кінозйомки процесів зародження та формування ПГХ, а саме графоаналітичної обробки і аналізу кінограм та виявлення закономірностей розвитку ПГХ при вибуху, використовувалися ручні графічні технології обробки експериментальних даних. Через це не всі матеріали наукових досліджень були досконально оброблені та проаналізовані у той період. Нами були проведені додаткові дослідження результатів швидкісної технічної кінозйомки, котрі дозволили більш детально дослідити та розширити базу даних про основні характеристики ПГХ в початковий період, та встановити деякі нові закономірності розвитку хмари в атмосфері кар'єру у перші 1000 мс вибуху.

Методика комп'ютерного аналізу кінограм включала в себе:

1. Сканування кожного знімку на слайд-сканері Plustek OpticFilm 8200i SE з високим розширенням (7200 dpi) та обробку зображення за допомогою програмного забезпечення SilverFast 8, що забезпечили підвищення динамічного діапазону, зменшення шуму та деталізацію зображення на затемнених ділянках знімків.
2. Обробку зображення за допомогою програми AutoCAD 2016 для переведення графічних даних у чисельні значення.
3. Створення бази даних результатів дослідження у програмі Microsoft Access.
4. Апроксимація експериментальних даних у програмі Microsoft Excel.

Результати натурних досліджень та обробка кінограм фото-кінозйомки ПГХ показали, що в момент зародження (0-0,5 с) форму хмари можливо розглядати у вигляді форми сферичного сегменту, котрий характеризується двома параметрами: висотою та радіусом основи. В подальшому у процесі формування ПГХ (0,5-30 с), форму хмари можливо розглядати як турбулентний струмінь у вигляді зрізаного конусу зі сферичним сегментом. Ця стадія характеризується підживлення ПГХ за рахунок виходу залишків продуктів вибуху з роздробленого масиву та за рахунок повітряних струменів з атмосфери у процесі ежекції.

Схеми переходу від однієї форми до іншої зображені на рисунку 1.

Для розрахунку об'єму ПГХ на етапі її зародження запропонована наступна формула:

$$V_1 = \frac{\pi H}{6} (3R_n^2 + H^2), \quad (1)$$

де:  $H$  – висота ПГХ на етапі зародження;

$R_n$  – радіус основи ПГХ на етапі зародження.

Для розрахунку об'єму ПГХ на етапі її формування та поширення в атмосфері кар'єру запропонована формула:

$$V_2 = \frac{\pi H}{6}(3R_n^2 + H^2) + \frac{\pi h}{6}(R_b^2 + R_b R_n + R_n^2), \quad (2)$$

де:  $H$  – висота верхньої частини ПГХ;

$h$  – висота нижньої частини ПГХ;

$R_n^2$  – радіус нижньої основи ПГХ;

$R_b^2$  – радіус верхньої основи ПГХ.

Для активного подавлення ПГХ нами запропоно спосіб [5], що передбачає вплив на центр хмари паро-водо-газо-повітряними реактивними струменями та хладогентами. Тому для ефективного подавлення ПГХ необхідно знати висоту знаходження центру хмари при різній масі заряду ВР та точне місце розміщення установки у кар'єрі.

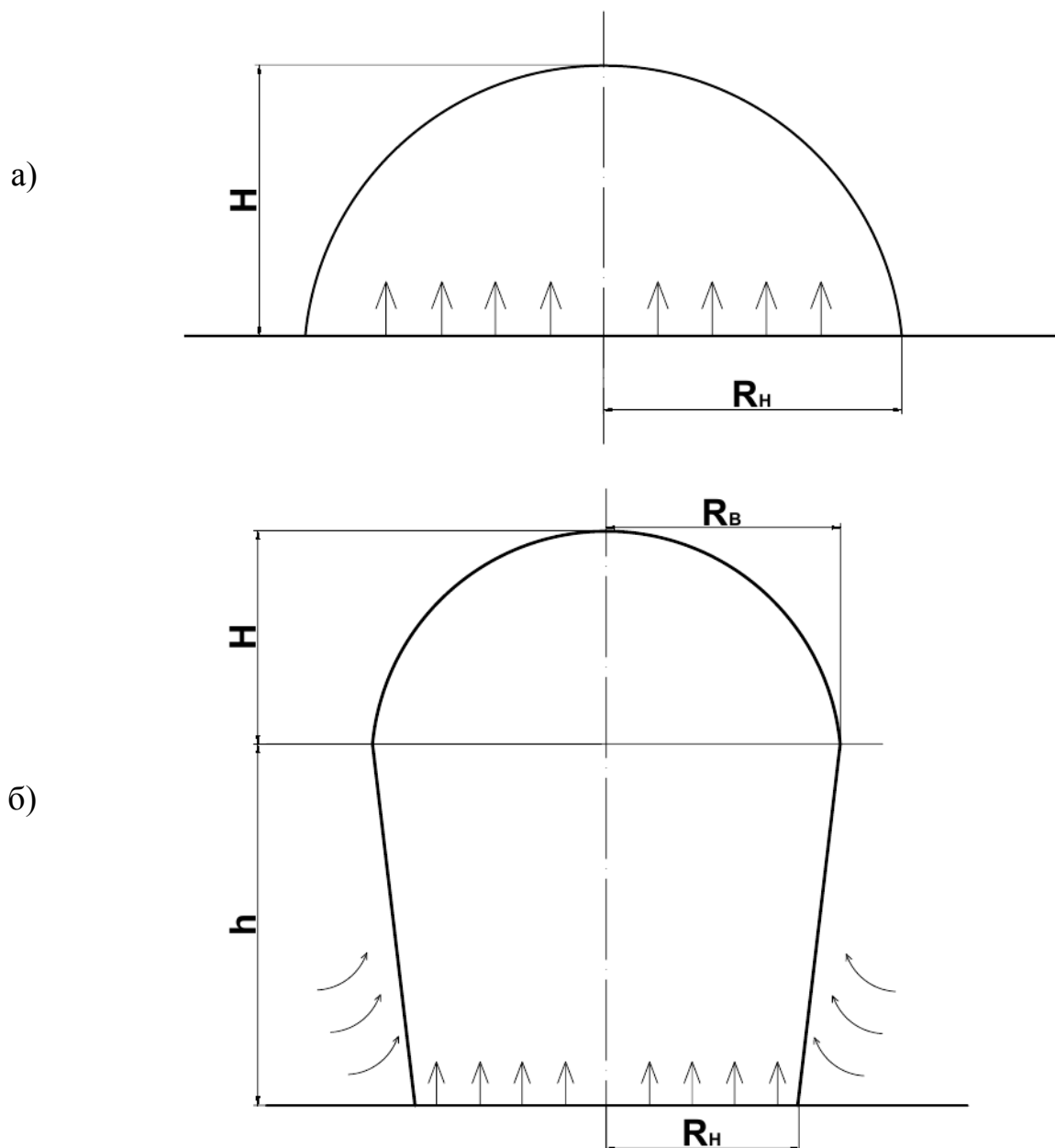


Рис. 1. Схема формування ПГХ:

а) у формі сферичного сегменту в момент зародження; б) у формі зрізаного конусу зі сферичним сегментом у період формування та поширення ПГХ

Таблиця 1

Залежності зміни висоти підйому ПГХ у часі на етапі її зародження при вибухах зарядів ВР масою від 10 до 160 т

№	Маса ВР, т	Залежність зміни висоти ПГХ (H) у часі (t)	Величина достовірності апроксимації
1	10	$H_1 = - 1842,3t^4 + 2578,4t^3 - 1314,4t^2 + 331,47t - 0,5701$	0,9932
2	20	$H_2 = 451t^3 - 564,89t^2 + 268,16t - 0,1455$	0,9989
3	30	$H_3 = - 226,5t^2 + 220,06t + 1,0492$	0,9921
4	40	$H_4 = - 283,12t^2 + 260,72t - 0,0852$	0,9964
5	50	$H_5 = - 320,78t^2 + 289,56t - 1,0545$	0,9914
6	60	$H_6 = - 328,37t^2 + 306,81t - 1,6031$	0,9874
7	70	$H_7 = - 344,89t^2 + 325,46t - 2,2009$	0,9835
8	80	$H_8 = - 358,36t^2 + 341,87t - 2,6994$	0,9807
9	90	$H_9 = - 368,71t^2 + 355,83t - 3,0758$	0,9785
10	100	$H_{10} = -380,68t^2 + 372,25t - 3,6656$	0,9772
11	110	$H_{11} = -378,43t^2 + 375,82t - 3,5632$	0,9775
12	120	$H_{12} = -377,84t^2 + 381,72t - 3,6159$	0,9786
13	130	$H_{13} = -375,01t^2 + 385,83t - 3,6203$	0,98
14	140	$H_{14} = -367,64t^2 + 386,72t - 3,5003$	0,982
15	150	$H_{15} = - 357,79t^2 + 385,56t - 3,2768$	0,9848
16	160	$H_{16} = - 343,35t^2 + 381,21t - 2,9102$	0,9875

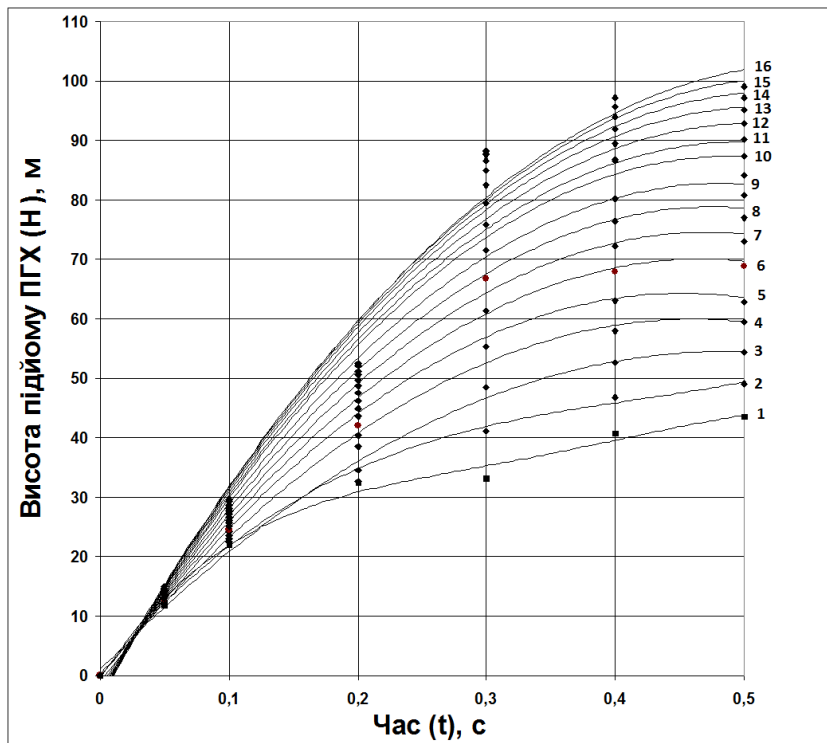


Рис. 2. Залежність зміни висоти підйому ПГХ у часі при вибуху зарядів ВР 10-160 т

Комп'ютерна обробка кінограм етапу зародження ПГХ дозволила отримати чисельні значення параметрів висоти підйому ПГХ в різні моменти часу при вибухах зарядів ВР масою від 10 до 160 т, на основі котрих були отримані залежності зміни висоти підйому ПГХ у часі на етапі її зародження, які описуються рівняннями, що наведені у таблиці 1.

На рисунку 2 приведена графічна інтерпретація наведених у таблиці 1 залежностей, що дозволяє з достатнім ступенем точності визначати висоту підйому ПГХ у часі. для проектування ефективних способів та засобів активного пилогазоподавлення ПГХ у атмосфері кар'єру.

Додаткова обробка кінограм дозволила отримати чисельні значення параметрів висоти підйому ПГХ у часі при вибухах ВР різної маси. Це дозволило отримати нові залежності зміни висоти підйому ПГХ від маси ВР на етапі зародження хмари, які з достатнім ступенем точності описуються рівняннями, що наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Залежності зміни висоти (Н) підйому ПГХ від маси (М) заряду ВР на етапі зародження хмари в період 0,05 - 0,5 с

№	Час, с	Залежність зміни висоти ПГХ (Н) від маси заряду ВР (М)	Величина достовірності апроксимації
1	0,05	$H_1 = 0,0000061M^2 + 0,0201201M - 11,5887500$	0,9992
2	0,1	$H_2 = - 0,0000016M^2 + 0,0517826M + 21,4694643$	0,9999
3	0,2	$H_3 = - 0,0006M^2 + 0,2456M + 29,148$	0,9807
4	0,3	$H_4 = - 0,0031M^2 + 0,8882M + 24,616$	0,9999
5	0,4	$H_5 = - 0,0018M^2 + 0,6793M + 33,82$	0,9984
6	0,5	$H_6 = - 0,0013M^2 + 0,5984M + 37,521$	0,9996

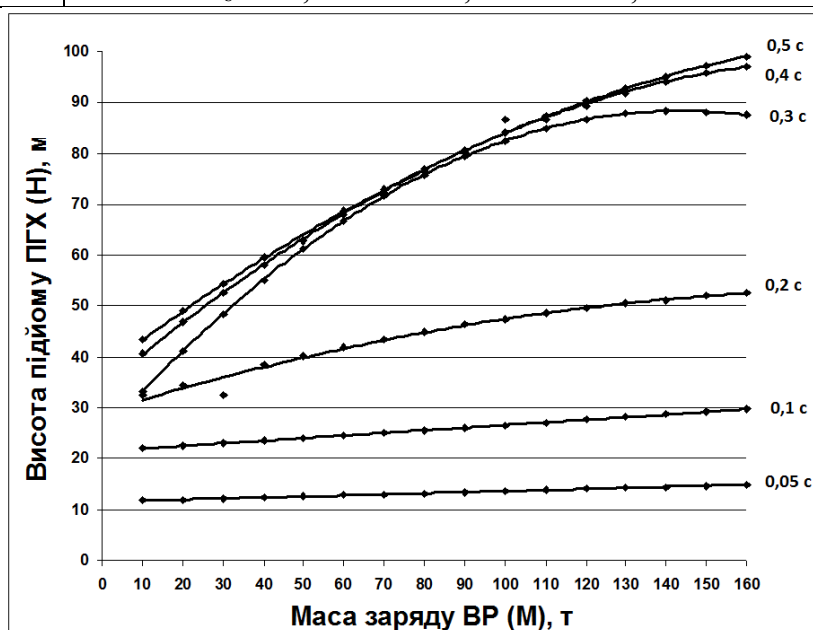


Рис. 3. Залежності зміни висоти підйому ПГХ у часі при вибуху зарядів ВР 10-160 т

На рисунку 3 приведена графічна інтерпретація наведених у таблиці 2 залежностей, що дозволяє визначати динаміку підйому ПГХ в залежності від маси заряду ВР для проектування ефективних способів та засобів активного пилогазоподавлення ПГХ у кар'єрі.

Важливою характеристикою процесу розвитку ПГХ в атмосфері є зміна швидкості її підйому в період зародження і формування теплового і пилового центру хмари. Додаткові результати аналізу кінограм масових вибухів дають змогу встановити залежність зміни швидкості підйому ПГХ в період перших 0,75 с процесу її зародження та формування. На рисунку 4 наведені результати кореляційного аналізу експериментальних даних, що дозволило встановити залежність зміни в часі середньої швидкості підйому ПГХ при вибуху зарядів ВР в кар'єрі масою 50-100 т.

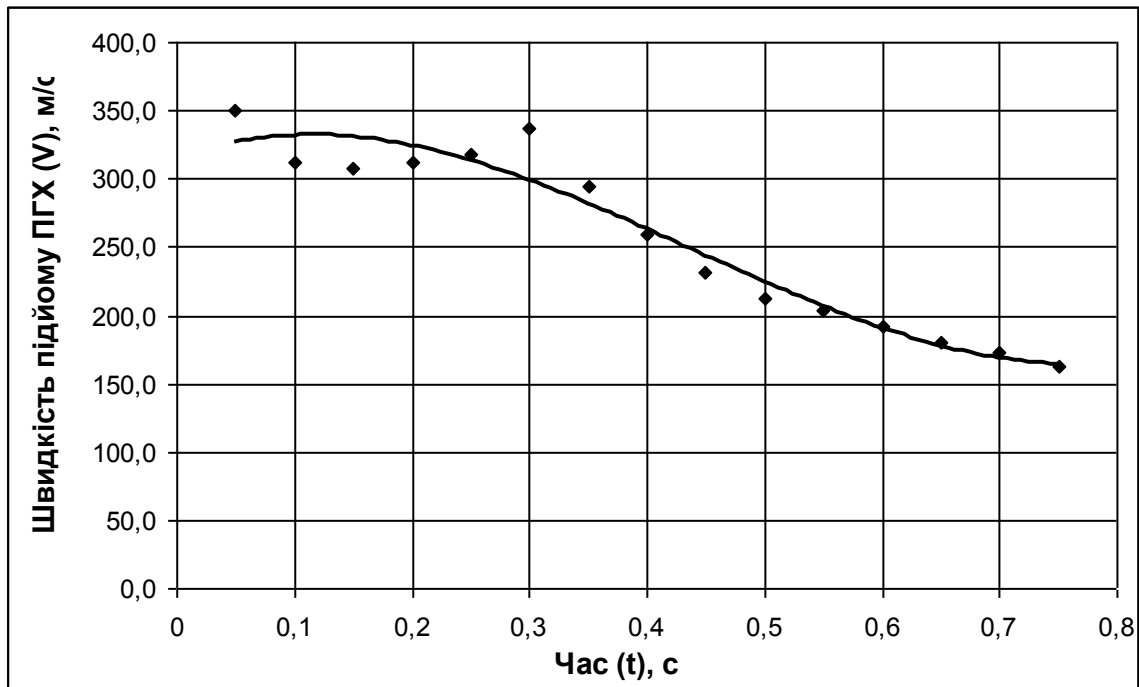


Рис. 4. Залежність зміни швидкості підйому ПГХ у часі при вибуху зарядів ВР в кар'єрі масою 50-100 т

Встановлено, що зміна швидкості підйому ПГХ за часом з достатнім ступенем точності описується поліномом 3-го ступеню виду:

$$V = 1245,7t^3 - 1640,3t^2 + 330,19t + 313,98 \quad (3)$$

при  $0,05 \text{ с} \leq t \leq 0,75 \text{ с}$ ,  $r^2 = 0,9407$

Отримане рівняння (3) дозволяє визначати швидкість підйому ПГХ при вибуху зарядів ВР масою 50-100 т в період зародження хмари  $0,05 \text{ с} \leq t \leq 0,75 \text{ с}$ . Це рівняння може використовуватися для оперативних інженерних розрахунків на практиці при проектуванні та виборі технічних засобів активного пилогазоподавлення ПГХ.

### **Висновки.**

- представленні нові результати досліджень параметрів пилогазових викидів при вибухових роботах у кар'єрах;
- вперше запропоновано розглядати ПГХ як просторовий об'єкт у формі сферичного сегменту на стадії зародження та як турбулентний струмінь у вигляді зрізаного конусу зі сферичним сегментом на стадії формування і поширення в атмосфері кар'єру;
- отримані залежності зміни висоти підйому ПГХ у часі на етапі її зародження у період 0,05-0,5 с;
- встановлені залежності для розрахунку швидкості вертикального руху ПГХ в атмосфері кар'єра з врахуванням маси заряду вибухової речовини;
- графоаналітична обробка експериментальних даних методами сучасного комп'ютерного аналізу дозволяє визначати висоту підйому ПГХ у часі та проектування ефективних способів та засобів активного пилогазоподавлення ПГХ у атмосфері кар'єру.

### **Перелік посилань**

1. Бересневич П.В., Ткаченко А.В. Микроклимат железорудных карьеров и нормализация их атмосферы. - Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 176 с.
2. Зберовский А.В. Охрана атмосферы в экосистеме «карьер-окружающая среда-человек».- Дн-вск: РИО АП ДКТ, 1997. – 136 с.
3. Собко Б.Е. Обоснование режимов проветривания и разработка средств пылегазоподавления при открыто-подземной добыче руд : Дис...канд.техн.наук: 05.26.01 / Горная академия Украины. – Днепропетровск, 1994. – 253 с.
4. Дубей В.В. Разработка системы активного пылегазоподавления при массовых взрывах в карьерах : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.26.05, 05.26.01 / Дубей В.В.; М-во образования Украины, Государственная горная академия. – Днепропетровск, 1996. – 23 с.
5. Пат. № 112259, Україна, МПК (2006.01) E21V 5/02 "Установка для захисту доквілля при вибухових роботах у кар'єрах". О.В. Зберовський (UA), О.М. Савотченко (UA). – № u 201605804; Заявл. 30.05.2016; Опубл. 12.12.2016, Бюл. № 23. – 8 с.

### **ABSTRACT**

**Purpose.** Investigate the main parameters of dust and gas emissions, which are formed during blasting operations in quarries.

**The methods.** Theoretical and experimental research methods were used in the work. To study the parameters of a dust and gas cloud, graphoanalytical methods for processing experimental cinegrams were used. The experimental data were processed using mathematical statistics and correlation analysis.

**Findings.** It is suggested to consider a dust and gas cloud in the form of a spherical segment at the stage of nucleation and in the form of a cut cone with a spherical segment - at the stage of formation and propagation in the quarry atmosphere; Formulas are proposed for calculating the volume of a dust and gas cloud at these stages. The dependences for the calculation of the lift height and the speed of vertical motion of the dust and gas cloud in the atmosphere of the quarry taking into



account the mass of the explosive charge at its nucleation and formation in the interval up to 0.75 s are established.

**The originality.** The obtained results of the parameters of dust and gas emissions during blasting operations in quarries allow to determine with high accuracy the height of the dust and gas cloud when explosives charges explosively of a specific mass from 10 to 160 tons; The volume of the dust and gas cloud, taking into account its shape; The rate of rise of the dust and gas cloud in the explosion of explosive charges with a mass of 50-100 tons at the stage of its nucleation and formation in the period up to 0.75 s.

**Practical implications.** Drawing on the got results of parameters of dust and gas extrass at explosive works in careers allows to decide the tasks of effective suppression of thermal and dynamic descriptions of dust and gas cloud in the period of his origin, that prevents his flight outside a quarry.

*Keywords: dust and gas cloud, explosion, quarry*

УДК 666.76.001.2

© В.Ю. Тищук

## ВПЛИВ КОКСОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ РОБОЧИХ ЗОН І РОЗРОБКА ЗАСОБІВ ЙОГО ОЧИЩЕННЯ І ПОКРАЩЕННЯ УМОВ ПРАЦІ

© V. Tyshchuk

## THE EFFECT OF COKE-CHEMICAL PROCESSES ON AIR POLLUTION OF WORKING ZONES AND DEVELOPMENT OF MEANS OF ITS CLEANING AND IMPROVEMENT OF WORKING CONDITIONS

Теоретично та експериментально обґрунтовано використання для нейтралізації шкідливих газів в коксохімічному виробництві розчинів природних речовин – водяних розчинів вуглекислого реагенту для нейтралізації оксидів вуглецю, азоту та сірки, а також у використанні для боротьби з бензапіреном способу опромінення його газових молекул ультрафіолетовим випромінюванням електричного розряду.

Теоретически и экспериментально обосновано использование для нейтрализации вредных газов в коксохимическом производстве растворов природных веществ - водных растворов углекислого реагента для нейтрализации оксидов углерода, азота и серы, а также в использовании для борьбы с бензапиреном способа облучения его газовых молекул ультрафиолетовым излучением электрического разряда.

**Вступ.** Основними джерелами технологічних викидів в повітря робочих зон і атмосферне повітря при коксохімічному виробництві є системи цеху вугледготовки, опалювальна система коксових печей, системи завантаження