

А.А. ГУРИН, д-р техн. наук, проф., В.И. ДЕНЬГУБ, канд.техн. наук., доц,
Т.В. ДЕНЬГУБ, аспирант, Криворожский национальный университет

О ПОДЪЕМЕ ПЫЛЕГАЗОВОГО ОБЛАКА ПОД МЕТАТЕЛЬНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Известен метод расчета динамической высоты подъема пылегазового облака, созданный на основе кинематической теории струй. Однако он не учитывает массы зарядов и дает завышенные результаты расчетов по сравнению с промышленными наблюдениями.

Предлагается уточненный метод расчета динамического подъема продуктов детонации взрывчатых веществ с учётом массы заряда в скважине и сжимаемости атмосферного воздуха на фронте ударной воздушной волны.

Сравнение полученных результатов расчёта с опытными данными подтверждают корректность предлагаемого метода расчета и его пригодность для оценки динамических высот подъема пылегазовых облаков при взрывных работах.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Исследованием процесса формирования пылегазового облака при массовых взрывах в карьерах занимались многие исследователи [1-4]. Определения высоты выброса пылегазового облака по формуле нормативного документа показывает, что она, как правило, превышает 100-150 м [1]. Результаты теоретических, полигонных и промышленных исследований, приведенные в работах [2-6], показывают, что величина динамического (под действием детонации взрывчатых веществ) подъема облака оказывается меньшей, чем дают формулы, приведенные в нормативной литературе, что приводят к завышенной оценке выбросов вредных газов и пыли в атмосферу.

В связи с изложенным возникает необходимость определить начальную высоту подъема пылегазового облака, обусловленную метательным действием взрывчатых веществ. В конечном итоге знание этого параметра позволит более точно описать полный процесс формирования и рассеяния пылегазового облака.

Изложение материала и результаты. Процесс подъема пылегазового облака под метательным действием взрывчатых веществ нами представляется следующей моделью. При истечении из образующей воронки взрыва продуктов детонации взрывчатых веществ со сверхзвуковой скоростью V на фронтальной части струи образуется скачок давления Δp . Сила противодействия, созданная за счет сжимаемости воздуха, тормозит движущуюся массу m струи до тех пор, пока ее скорость не станет равной скорости звука в воздухе. При таком значении распространения фронта ударной воздушной волны скорость в потоке за скачком давления станет равной нулю. Таким образом, метательное воздействие взрывчатых веществ прекращается и в дальнейшем облако будет подниматься как термик.

Изложенную физическую сущность явления можно описать дифференциальным уравнением второго закона Ньютона

$$\frac{d^2z}{dt^2} = -\frac{\Delta p S}{m} \quad (1)$$

при начальных условиях

$$z_0 = z(0) = l_c, \quad z^1(0) = V_0, \quad (2)$$

где d^2z/dt^2 - ускорение струи массой m в направлении оси аппликат O_z ; t - текущее время, отсчитываемое от момента выхода струи из взрываемого блока, с; Δp - перепад давления в ударной волне, Па; S - площадь фронтального сечения струи, m^2 ; l_c - глубина взрываемой скважины ($l_c \approx 18m$); V_0 - начальная скорость выхода струи из воронки взрыва, м/с.

В свою очередь перепад давления на фронте ударной волны можно определить исходя из свойств ударной адиабаты Гюгонио [7]

$$\Delta p = \frac{2pk}{k+1} \left[\frac{1}{c^2} \left(\frac{dz}{dt} \right)^2 - 1 \right], \quad (3)$$

где p - атмосферное давление, Па; k - показатель адиабаты ($k = 1.4$); c - скорость звука в воздухе, равная [7]

$$c = 20.1\sqrt{T}, \quad (4)$$

где T - абсолютная температура окружающего воздуха, °К.

Если высоту z подъема струи отсчитывать от её полюса, который будет размещаться на дне скважины, то площадь фронтального сечения струи рассчитывается по формуле

$$S = \pi(0,1z)^2. \quad (5)$$

С учетом формул (3)-(5) дифференциальное уравнение (1) можно привести к более общему виду

$$\frac{31,25mc^2}{\pi k p} \frac{d^2 z}{dt^2} = \left(\frac{dz}{dt} \right)^2 + c^2 z \quad (6)$$

с начальными условиями (2).

Используя для его решения метод Бернулли Д. [8], получим выражение для расчета динамического подъема z_k пылегазового облака над поверхностью взрываемого блока

$$z_k = \sqrt[3]{\frac{46,875(kH)mc^2}{\pi k p} \ln \frac{V_o^2 - c^2}{(0,063c)^2} - l_c}. \quad (7)$$

Время подъема τ_k пылегазового облака на высоту z_k вычисляется на основании зависимости

$$\tau_k = 2z_k / V_o \quad (8)$$

В табл. 1 представлены экспериментальные данные скорости истечения V_o продуктов детонации и динамической высоты подъема пылегазового облака z_k (столбцы 4,5), полученные на основании обработки кинограмм [6]. Массы взрывчатых веществ в скважинах конкретно не указаны, но они изменялись в пределах 600-900 кг. В столбцах 6,7 табл. 1 приведены результаты расчетов по формуле (7) для зарядов $m_1=900$ кг и $m_2=600$ кг при одинаковых параметрах $C=340$ м/с, $k=1,4$.

Таблица 1

Расчет высоты z_k и времени τ_k подъема пылегазового облака под метательным действием взрыва

Параметры	Длина - заряда ВВ, м	Длина забойки, м	Длина воздушной полости, м	Скорость истечения струи V_o , м/с	Высота z_k , м	Высота подъема z_k , м	
						масса заряда	
						$M_1=900$ кг	$M_2=600$ кг
1	11	1	6	1400	46,7	42,4	34,8
2	11	1	6	850	29,8	39,6	32,5
3	11	1	6	1500	52,5	42,8	35,1
4	11	1	6	1650	57,2	43,2	35,5
5	11	4,5	2,5	850	26,4	39,6	32,3
6	11	7	--	350	16,3	23,6	18,4
7	11	7	--	500	20,5	35,2	28,5
8	11	7	--	610	21,1	37,2	30,2
9	11	7	--	510	16,5	35,4	28,7
10	11	7	--	490	14,7	35,0	28,3
11	16	7	--	820	28,3	39,4	32,1

Анализ результатов расчетов показывает, что результаты теоретических вычислений (столб. 6 и 7) удовлетворительно совпадают с экспериментальными данными (столб. 5). Однако имеются расхождения, зависящие от длины забойки скважины. Так, например, при малых значениях формула (7) дает заниженные значения высот z_k (см. строки 1-5). При увеличении длины забойки $l \approx 7$ м (строки 7-11) теоретические расчеты по формуле (7) дают завышенные значения высот z_k по сравнению с экспериментами. Однако, в целом предлагаемый авторами метод оценки динамического подъема пылегазового облака под метательным действием взрыва дает более точную оценку, чем зависимости, приведенные в методике [1]. Вертикальный подъем нагретого пылегазового облака за счет действия на него архимедовой силы в настоящей статье нами не рассматривается.

Выводы и направления дальнейших исследований. На основании тормозящего действия сжатого ударной волной воздуха (образования в нем адиабаты Гюгонио) предложено дифференциальное уравнение процесса истечения пылегазовой струи в атмосферу карьера.

Решение дифференциального уравнения позволило выявить зависимость динамической высоты подъема пылегазового облака от начальной скорости газов, массы заряда, глубины скважины, крепости пород.

Установлено, что динамическую высоту подъема продукта взрыва следует ожидать в пределах 15-60 м, а время динамического подъема в пределах 50-110 мс. Для получения более «жесткой» оценки параметров пылевоздушной струи расчеты рекомендуется производить при максимально возможных массах зарядов.

Список литературы

1. Методика расчета выбросов вредных веществ карьеров с учётом нестационарности их технологических процессов. Кривой Рог, 1989. - 57 с.
 2. **Гурин А.А., Радченко И.С., Гурин Ю.А.** Влияние параметров забойки на высоту выброса пылегазового облака при массовых взрывах в карьерах // Сб. науч. тр. НИГРИ. Кривой Рог, 2009. - С. 61-71.
 3. **Гурин А.А., Гурин Ю.А., Серебrenников Э.В., Чердниченко В.О., Ляшенко В.И.** Исследование динамики выброса пылегазового облака при массовых взрывах в карьерах / Изв. вузов Горный журнал. 2015. №1. - С.109-117.
 4. **Зберовский А.В., Дубей В.В.** Явление скачкообразного увеличения температуры и скорости пылегазового облака при массовых взрывах в карьерах / Сб. науч. тр. Национальной горной академии Украины. Днепрпетровск. 1993. - С.86-90.
 5. **Бересневич П.В., Деньгуб В.И.** Определение объёмов выброса пыли, поступающей из карьера в окружающую среду // Разраб. рудн. месторожд. Республ. межвед. научно-техн. сб. Вып. 56 Кривой Рог, 1995. - С.112-118.
 6. **Ткачук К.Н.** Разрушение горных пород взрывом. – К.:Техника, 1974. - 203 с.
 7. **Лойцянский Л.Г.** механика жидкости и газа. – М.:Наука, 1973. - С.121-152.
 8. **Камкэ Э.** Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. – М.: Физматгиз, 1961, С.92-94.
- Рукопись поступила в редакцию 15.04.16

УДК 622.28.04

О.Є. ЛАПШИН, д-р техн. наук, проф., А.К. ГАЦЬКИЙ, канд. техн. наук, доц.
І.А. ГАЦЬКИЙ, студент, Т.Г. БОНДАРЕНКО, ст. викладач
Криворізький національний університет

ЗАПОБІЖНЕ ПЕРЕСУВНЕ КРІПЛЕННЯ ДЛЯ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ТРАВМУВАННЯ ПРАЦЮЮЧИХ В ГІРНИЧИХ ВИРОБКАХ

Назріла необхідність розробки нових, нетрадиційних конструктивно-технологічних рішень в області проведення та кріплення гірничих виробок в залізрудних та інших галузях гірничодобувної промисловості. При проведенні в масиві порід гірничої виробки і в процесі її експлуатації необхідно зберегти необхідні розміри і форму поперечного перерізу виробки, а також забезпечити безпечні умови для роботи людей і транспорту. Це в більшості випадків досягається виконанням низки заходів, найважливішим з яких є зведення гірської кріплення. Важливим завданням при проведенні гірничих виробок у складних гірничо-геологічних умовах є забезпечення безпеки виконуваних робіт у вибої з легко обвалюючими породами покрівлі, де часто відбуваються нещасні випадки, травмування людей і утворення завалів, що призводить до порушення технологічного циклу з відповідними їм додатковими трудовими і фінансовими втратами. Основною причиною травматизму в прохідницьких забоях, є відсутність ефективних технологічних прийомів, зручних і надійних захисних засобів, які могли б забезпечити безпечне перебування людей у призабійній зоні при виконанні операцій прохідницького циклу. Вдосконалення тимчасового запобіжного кріплення та підвищення безпеки працюючих за рахунок використання рухомого модуля рам, що мають верхнє і бокове перекриття з відпрацьованої конвеєрної стрічки і розширення умов застосування.

Ключові слова: прохідницькі забої, травматизм ефективні технології, гірські кріплення.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Важливим завданням при проведенні гірничих виробок у складних гірничо-геологічних умовах є забезпечення безпеки виконуваних робіт у вибої із породами покрівлі схильними до обвалення, де часто відбуваються нещасні випадки, травмування людей та утворення завалів, що приводить до порушення технологічного циклу з відповідними їм додатковими трудовими й фінансовими втратами.

На даний час на шахтах України травматизм від обвалення покрівлі на ділянці виробки від вибою до постійного кріплення становить 20,6 % від усього травматизму при обваленнях та вивалах у капітальних та підготовчих виробках [1,7]. Основною причиною травматизму в прохідницьких роботах, є відсутність ефективних технологічних прийомів, зручних та надійних захисних засобів, які могли б забезпечити безпечне перебування людей у привибійній зоні при виконанні операцій прохідницького циклу.