

УДК 551.4.012:504.064:502.313

Шабанов В. В., Базарский О. В.

Воронежский военный инженерный авиационный университет

**МЕТОДИКА ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ
АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ В ОБЛАКАХ, ОБРАЗОВАВШИХСЯ
ПРИ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТАХ***

Shabanov V.V., Bazarsky O.V.

Voronezh military engineering aviation university

**OPTICAL METHODOLOGY OF PARAMETERS MEASUREMENTS FOR AEROSOL
PARTICLES IN THE CLOUDS GENERATED
BY THE DRILLING-AND-BLASTING WORKS**

Аннотация. Проблема загрязнения окружающей среды при буровзрывных работах требует измерения как числа частиц в единице объема, так и закона их распределения по размерам. В настоящее время эти параметры определяются путем дорогостоящих авиационных измерений. Существующие дистанционные методы зондирования позволяют оценить только рассеивание излучения, отраженного аэрозольными облаками. Предлагается методика оценки параметров частиц в пылевых облаках при буровзрывных работах по данным оптических измерений. Представлен практический пример ее реализации.

Ключевые слова: экология, оптические измерения, аэрозоль, рассеивание, излучение.

Abstract. The problem of environment contamination in the result of drilling-and-blasting works puts forward the task of measurement both of the particles number per unit of cloud volume the law of their distribution by the dimensions.

Now these parameters are defined by expensive aviation measurements. Existing remote methods of sounding allow estimating only dispersion of radiation by aerosol clouds. The optical methodology of particles parameters evaluation in the clouds generated by the drilling-and-blasting works is described. Practical examples of its realization are presented.

Key words: ecology, optical methodology, aerosol, scattering, radiation.

Расчет видимого излучения, отраженного облаком аэрозольных частиц, требует знания в каждый момент времени числа частиц в единице объема облака и закона их распределения по размерам. [2-4] Эти характеристики измеряются с использованием авиации, что требует значительных материальных затрат. Поэтому разработка методики оценки параметров частиц в пылевых облаках при буровзрывных работах по данным наземных оптических измерений весьма актуальная проблема, решение которой важно для экологии.

Согласно теории объемного рассеивания на крупных частицах, размер которых много больше длины волны, объемный коэффициент аэрозольного рассеивания j выражается соотношением:

$$j = 2\pi d^2 N_0, \quad (1)$$

где: d - диаметр частиц; N_0 - число частиц в единичном объеме рассеивающего облака

объемом $V = \frac{1}{6}\pi d^3$

Тогда предыдущее выражение можно записать в следующем виде:

* © Шабанов В. В., Базарский О. В.,

$$j(t) = \frac{12N(t)}{d(t)}, \quad (2)$$

где $N = N_0V$ - число частиц в рассеивающем излучение облаке, пропорциональное его массе.

Параметры частиц и коэффициент рассеивания изменяются во времени за счет выпадения крупнодисперсных частиц.

Если осуществлять видеосъемку облака, то его оптическая плотность Q будет зависеть от времени, пропорционально коэффициенту рассеивания излучения J . Выражение (2) можно записать в виде:

$$Q(t) = \frac{\sum_{i=1}^m N_i P_i}{\sum_{i=1}^m d_i P_i} = \frac{N_{mCp}(t)}{d_{mCp}(t)}, \quad (3)$$

где P_i - повторяемости градаций частиц в их законе распределения;

m - число градаций крупнодисперсных частиц;

N_{Cp} и d_{Cp} - среднее число частиц и средний диаметр частиц, после выпадения очередной крупнодисперсной фракции по выбранным экспериментальным градациям.

В начальный момент времени $t_0 = 0$ d_{0Cp} - средний диаметр всех частиц в облаке, а N_{0Cp} - число частиц в облаке, пропорциональное его массе. Относительная масса частиц и их средний размер по выбранным градациям (фракциям) оцениваются экспериментально по гранулометрическому составу выпавших частиц. Время равномерного выпадения каждой фракции со средним диаметром частиц меньше 315 мкм можно определить из соотношения [1]:

$$t = \frac{18\eta h}{\rho g d_{Cp}^2}, \quad (4)$$

где: η - коэффициент динамической вязкости воздуха для нормальных условий; h - средняя высота поднятия облака;

ρ - плотность пылеватых частиц гранита; g - ускорение силы тяжести.

Частицы большого диаметра выпадают с ускорением через несколько секунд после образования облака. Измерив экспериментально зависимость оптической плотности облака от времени и величины относительной массы и среднего диаметра частиц после выпадения каждой фракции, можно составить двухкомпонентное уравнение регрессии, связывающее эти величины и оптическую плотность облака, что позволит по оптическим измерениям оценивать параметры частиц в облаке в соответствующие моменты времени.

На базе предприятия ОАО «Павловскгранит» был проведен эксперимент по изучению рассеивания видимого излучения крупнодисперсной органической пылью получаемой при буровзрывных работах. Сущность его заключается в анализе видеоролика массового взрыва блока гранита протяженностью 400 метров и массой взрывных веществ 306 тонн с продолжительностью ролика 5 минут. Взрыв производился с горизонта +35 м. Облако поднималось на высоту 60-80 м выше верхнего уровня борта карьера, рисунок 1. Экспериментальная высота поднятия облака определялась путем измерения угла визирования α при известном расстоянии до точки взрыва. Время формирования облака, измеренное экспериментально $t=5$ с, тогда $h \approx 125$ м, т. е. расчетная высота облака над бортом 80м, что соответствует экспериментально измеренной высоте.

С видеоролика с шагом 2 секунды были сделаны фотоснимки и обработаны с использованием программы CoralDraw13. Данные снимались с постоянно отслеживаемой площади размером 100x100 пикселей. Перед массовым взрывом определен уровень яркости фона - безоблачного неба, который составил 175 единиц. Были получены оптические данные яркости облака и стандартное отклонение с интервалом в 2 секунды.

Из видеоанализа ролика видно, что в исследуемом облаке с крупнодисперсными частицами отсутствует синева, или ее величина ничтожно мала, и тем самым отвергается рэлевское рассеивание.

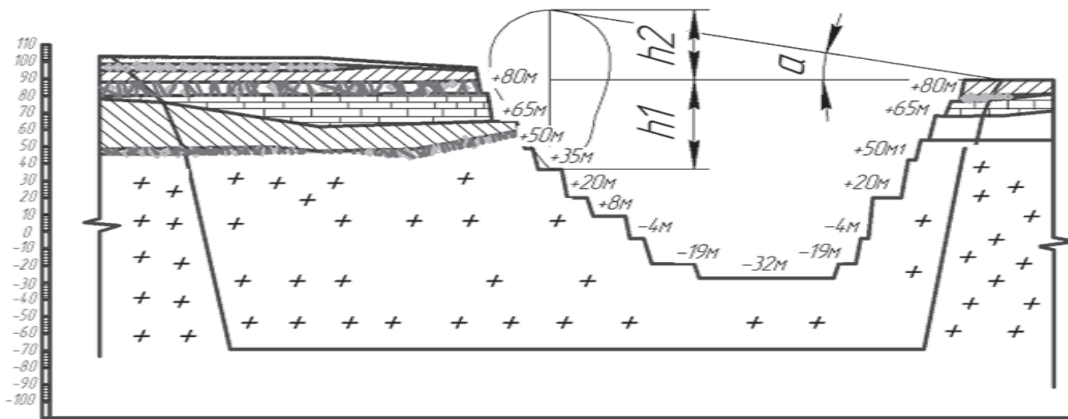


Рис. 1. Схема взрыва блока и видеонаблюдения за облаком

Таблица 1.

Результаты обработки экспериментальных данных

Диаметр выпавших частиц, мкм	Σ	500	315	160	71	50
Время выпадения, с	0	2,1	5,3	20,6	104,8	211,4
Яркость облака, <i>j</i>	76	90	112	125	137	143
Повторяемость выпадающей массы частиц	0	0,22	0,18	0,14	0,11	0,06
Нормированная яркость облака	0,43	0,51	0,64	0,71	0,78	0,82
Оптическая плотность облака, Q	0,57	0,49	0,36	0,29	0,22	0,18
Накопленная повторяемость по градациям массы облака, P	1,00	0,60	0,45	0,35	0,29	0,23
Средний диаметр частиц в процессе выпадения <i>d</i> _{Ср} , мкм	202	93	35	12	5	2

Обработка видеоданных производилось следующим образом. Первые 5 секунд, когда уровень турбулентности в облаке был очень высокий, его яркость остается практически неизменной. Это время формирования облака с начальной яркостью. Первая крупнодисперсная фракция частиц от 500 мкм до 315 мкм выпадает за 3 секунды. За это время яркость облака уменьшилась, и была определена путем усреднения по всем пикселям. Фракция с диаметром частиц от 315 мкм до 160 мкм по расчетам выпадает за 5 секунд. При этом получена соответствующая усредненная яркость облака. Далее аналогичным образом получена усредненная яркость облака во времени при выпадении последующих фракций: 160-71 мкм, 71-50 мкм. Дальнейший анализ показал, что яркость облака пришла к насыщению. Это объясняется двумя причинами. Во-первых, в облаке остались долгоживущие мелкодисперсные час-

тицы, мигрирующие на большие расстояния, концентрация которых незначительна. Во-вторых, был достигнут предел контрастной чувствительности видеоаппаратуры.

Результаты временной обработки видеоданных представлены в таблице 1. В ней приведена временная связь предикторов облака – повторяемости массы (числа частиц) облака и среднего диаметра частиц с оптической плотностью облака - предиктантом.

Полученные экспериментальные данные позволили построить уравнение двухкомпонентной регрессии, которое имеет следующий вид:

$$Q = a_0 + a_1 d_{cp} + a_2 P = -0.034 - 0.002 d_{cp} + 1.097 P, \dots (5)$$

где: Q – оптическая плотность облака; *a*₀, *a*₁, *a*₂ – коэффициенты регрессии; P – повторяемость по градациям массы облака по градациям с учетом выпадения частиц; *d*_{Ср} – средний диаметр частиц в облаке по града-

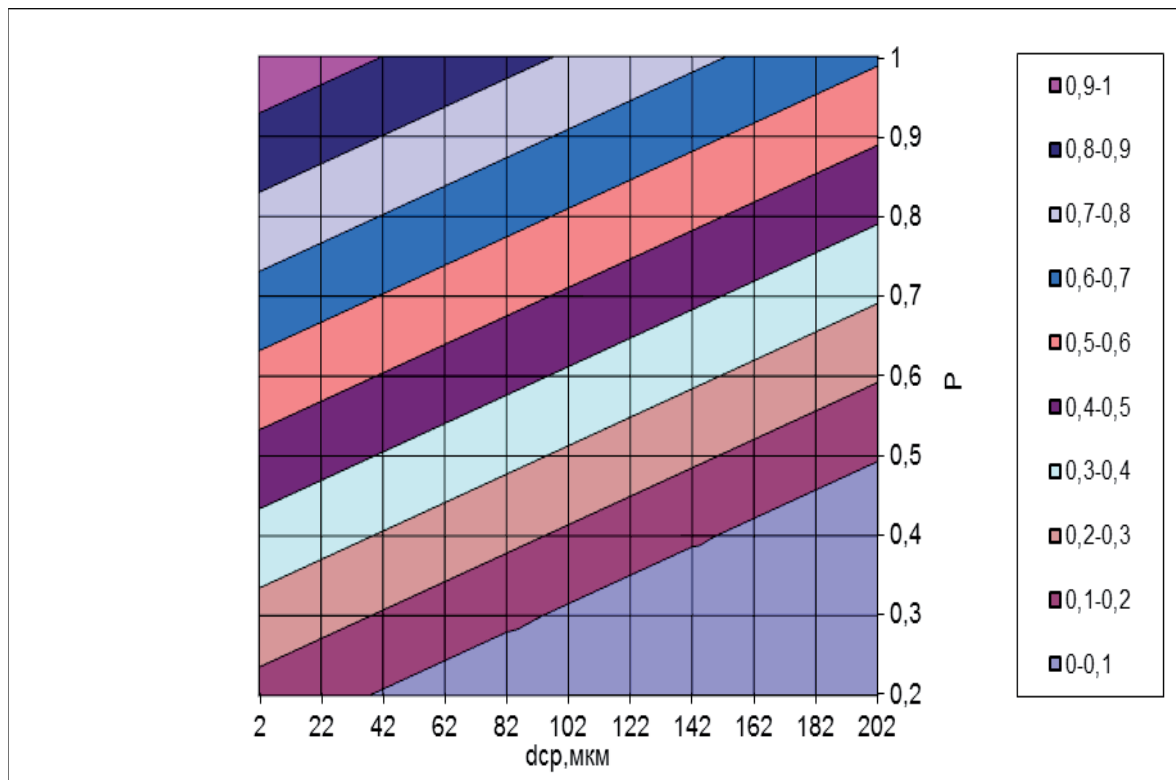


Рис. 2. Номограмма для определения относительной массы и среднего диаметра частиц пылевого облака по измерениям его оптической плотности

циям с учетом выпадения частиц.

Из корреляционной матрицы выявлены следующие коэффициенты взаимной корреляции $r(Q, P) = 0,948$, $r(Q, d_{cp}) = 0,927$, $r(P, d_{cp}) = 0,992$ и построена номограмма для определения относительной массы и среднего диаметра частиц пылевого облака по измерениям его оптической плотности (рисунок 2). Оптическая плотность разбита на 10 градаций, измерения в пределах которых меньше среднеквадратичной ошибки. Построенная номограмма позволяет по оптическим измерениям пылевого облака оценить средний диаметр и относительную массу облака в любой момент времени, пока в нем присутствуют крупнодисперсные частицы. Данный результат чрезвычайно важен для решения экологической задачи - расчета дальности полета и пространственного загрязнения окружающей среды крупнодисперсными частицами, составляющими основную массу облака, образовавшегося при буровзрывных работах.

ЛИТЕРАТУРА:

- 1 Базарский О.В., Шабанов В.В. Анализ загрязнения атмосферы территории ОАО «Павловскгранит» при буровзрывных работах. // Материалы научной сессии Воронежского Государственного Университета: Секция экологической геологии Вып. 2. Воронеж, 2009. С. 15-18.
- 2 Зуев В. Е., Кабанов М. В. Перенос оптических сигналов в земной атмосфере. М.: Советское радио, 1977. 496 с.
- 3 Лазарев Л.П. Оптико-электронные приборы наведения летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1984. 480 с.
- 4 Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 639 с.