

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Имянитов И. М. К вопросу о механизме электростатического заряжения//ДАН СССР.— 1958.— Т. 121, № 1.— С. 93—96.
2. Виснапуу Л. Ю. К теории индукционной электризации распыляемых жидкостей//Уч. зап. ТГУ.— 1971.— Вып. 283.— С. 141—155.
3. Санадзе Г. И. Гравитационное осаждение аэрозольных частиц из ламинарного потока между двумя соосными цилиндрами//Сообщения АН ГССР.— 1985.— Т. 120, № 2.— С. 293—296.
4. Санадзе Г. И. Диффузионное осаждение аэрозольных частиц из ламинарного потока между двумя соосными цилиндрами.— Деп. в ВИНТИ 15.10.84, № 6687—84.— 9 с.
5. Черный Л. Т., Холопов В. Л. Количественная теория электризации металлических тел в аэрозольных потоках с жидкой дисперсной фазой//Коллоид. ж.— 1982.— Т. 14, № 4.— С. 749—753.

Х. Ф. Таммет

### ТЕОРИЯ МЕТОДА СОВМЕСТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ИОНООБРАЗОВАНИЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ АЭРОЗОЛЯ

Электрической плотностью аэрозоля называется коэффициент пропорциональности интенсивности поглощения легких аэроионов на аэрозольных частицах к концентрации легких аэроионов. Электрическая плотность  $g$  приблизительно пропорциональна концентрации диаметра частиц  $v_d$  [2]:

$$v_d \approx ag, \quad (1)$$

где  $a = 54 \text{ кс/м}^2$ ,  $g$  в  $\text{кс}^{-1}$ .

Интенсивность ионообразования и электрическая плотность аэрозоля совместно могут быть измерены с помощью двух счетчиков легких аэроионов, один из которых снабжен дополнительным ионизатором и камерой для выдержки воздуха после дополнительной ионизации. Интенсивность ионообразования в естественном воздухе  $q_0$  и электрическая плотность аэрозоля определяются путем решения системы аппаратных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} n_0 &= f_0(q_0, g) = (\sqrt{g^2 + 4\alpha q_0} - g)/(2\alpha), \\ n_* &= f_*(q_0, g, p_i), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $n_0$  — концентрация легких аэроионов в естественном воздухе и  $n_*$  — в счетчике с дополнительным ионизатором,  $\alpha$  — коэффициент рекомбинации легких аэроионов,  $p_i$  — параметры дополнительного ионизатора с камерой выдержки воздуха.

Точность решения уравнений (2) зависит не только от непосредственных ошибок измерения  $n_0$  и  $n_*$ , но и от вида функции  $f_*$ . В случае неудачной конструкции дополнительного ионизатора система уравне-

ний (2) может оказаться плохо обусловленной, что приводит к недопустимому «усилению» ошибок измерения при обработке наблюдений. Поэтому важнейшей задачей теории измерения оказывается выяснение зависимости ошибок измерения от параметров измерительного устройства.

До решения конкретных задач необходимо уточнить вид функции  $f_*$ . Рассмотрим упрощенную модель дополнительного устройства ко второму счетчику аэроионов. В этой модели канал подвода и выдержки воздуха распределяется на две зоны. В первую зону воздух втекает из атмосферы и пребывает там в течение времени  $t_1$  в условиях интенсивности дополнительного ионообразования  $q_1$ . Во второй зоне время  $t_2$  и интенсивность дополнительного ионообразования  $q_2$ . После прохождения второй зоны воздух втекает в счетчик. Описанная модель является относительно хорошим приближением к разным реальным устройствам измерения.

Аппаратное уравнение счетчика с двухзонным ионизатором записывается так:

$$n_* = \frac{1}{2\alpha} \left( P_2 \frac{K_2 + R_2 K_1}{K_2 R_2 + K_1} - g \right), \quad (3)$$

где

$$K_1 = P_1(P_1 R_1 + P_0), \quad K_2 = P_2(P_1 + R_1 P_0),$$

$$R_1 = \text{th}(P_1 t_1 / 2), \quad R_2 = \text{cth}(P_2 t_2 / 2),$$

$$P_0 = \sqrt{g^2 + 4\alpha q_0}, \quad P_1 = \sqrt{g^2 + 4\alpha q_1}, \quad P_2 = \sqrt{g^2 + 4\alpha q_2}.$$

Анализ ошибок измерения осуществлен методом имитационного эксперимента на ЭВМ. Составлялась подпрограмма для решения аппаратных уравнений, и при варьировании исходных данных были оценены ошибки результатов измерения  $q_0$  и  $g$ .

Рассмотрим конкретно результаты двух вычислительных экспериментов.

**Эксперимент 1.** Изучение зависимости ошибок измерения от параметров двухзонного ионизатора. Вычислялись следующие характеристики ошибок измерения:  $E_q = \sigma_q / q$ ,  $E_g = \sigma_g / g$  и  $E = \sqrt{(E_q^2 + E_g^2)}/2$ . Выяснилось, что зависимость сводной ошибки  $E$  от мощности ионизатора  $M = t_1 q_1 + t_2 q_2$  имеет минимум при определенном значении  $M$ , которое зависит от значений  $q$  и  $g$ . Зависимость  $E$  от параметров ионизатора изучалась при следующих условиях:  $q = 15 \text{ см}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$ ,  $g = 50 \text{ кс}^{-1}$  ( $n_0 \approx 300 \text{ см}^{-3}$ ), относительная ошибка значения  $\alpha = 1 \%$ , относительная нестабильность  $t_1 + t_2 = 1 \%$ , относительная нестабильность  $t_1/t_2 = 1 \%$ , относительная нестабильность  $q_2/q_1 = 1 \%$ ,  $M$  подбирается по критерию  $E \rightarrow \min$ , относительная нестабильность  $M = 1 \%$ , ошибка измерения  $\sigma_n = n/100 + 1$ , где  $n$  — концентрация ионов в  $1 \text{ см}^3$ .

Избранные результаты приведены в табл. 1. Из этих результатов следуют выводы:

Таблица 1

Значения сводной ошибки  $E$  (%) в эксперименте 1

$t_1 + t_2$ с	$\frac{q_2}{q_1}$	$t_1/t_2$				
		0,1	0,2	0,5	0,8	0,9
10	0,01	3,7	3,7	4,1	5,1	5,6
30	0,01	2,9	2,9	2,9	3,0	3,2
120	0,01	3,0	3,0	2,9	2,9	2,8
10	0,1	4,6	4,3	4,4	5,2	5,6
30	0,1	3,1	3,0	2,9	3,1	3,2
120	0,1	3,0	3,0	2,9	2,9	2,9
10	0,5	5,9	5,6	5,4	5,7	5,9
30	0,5	3,4	3,3	3,2	3,2	3,3
120	0,5	3,0	3,0	3,0	2,9	2,9

— выгодно иметь малое значение  $q_2$ , лучше всего нулевое;

— значение  $t_1/t_2$  не имеет существенного влияния на метрологические характеристики устройства и должны быть определены на основе технических соображений;

— достаточно иметь  $t_1 + t_2 = 30$  с.

**Эксперимент 2.** Изучение зависимости оптимальной мощности ионизатора от уровней  $q$  и  $g$ . Избранные результаты для условий  $t_1 + t_2 = 30$  с и  $q_2 < q_1/20$  приведены в табл. 2.

Вывод: при исследовании воздуха приземного слоя атмосферы в течение времени выдержки 30 с мощность ионизатора  $20\ 000\ \text{см}^{-3}$  близка к оптимальной. Правила ОСП—72 допускают поставку без специальных разрешений контрольных бэта-источников стронция-90 активностью до 10 мкКи. Для достижения  $M = 20\ 000\ \text{см}^{-3}$  при расходе воздуха 1 л/с достаточно использовать 0,16 % энергии излучения такого источника.

Для обработки наблюдений, выполненных с помощью измерителей электрической проводимости воздуха в условиях  $M = 20\ 000\ \text{см}^{-3}$ ,  $t_1 \ll t_2$ ,  $q_2 \ll q_1$  и  $k = 1,4\ \text{см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$  составлена табл. 3. По таблице

Таблица 2

Результаты вычислительного эксперимента 2

$q\ \text{см}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$	$g\ \text{кС}^{-1}$	$n_0\ \text{см}^{-3}$	$M_{\text{опт}}\ \text{см}^{-3}$
10	20	483	14 000
15	50	297	25 000
20	20	935	16 000

Таблица 3  
Сокращенная таблица для обработки наблюдений

$\lambda_0$ фСм/м	$(\lambda_* - \lambda_0)$ фСм/м								
	10	16	24	32	40	60	100	140	180
0	120	103	89	78	70	55	35	22	12
10	118	102	87	77	69	54	34	21	10
20	117	100	86	75	67	52	33	19	9

определяется значение  $g$  в  $\text{кс}^{-1}$ , а значение  $q_0$  вычисляется по формуле

$$q_0 = 3(\lambda_- + 15g)\lambda_+/1000, \quad (4)$$

где  $\lambda_{\pm}$  в фСм/м.

Результаты практического использования описанной методики измерения описаны в работе [1].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов К. А., Соколенко Л. Г., Шварц Я. М. Совместное измерение электрической плотности аэрозоля и интенсивности ионообразования//III Всесоюз. симпозиум по атмосферному электричеству. Тезисы докладов.— Тарту, 1986.— С. 93.
2. Таммет Х. Ф. К интерпретации электрической плотности аэрозоля//Учен. зап. Тарт. ун-та.— 1984.— Вып. 669.— С. 31—38.

А. И. Дормидонов, Б. И. Попов

### ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ

При униполярной ионной зарядке аэрозольная частица приобретает заряд  $q$ , значение которого зависит от ее радиуса  $r$  и условий зарядки. В общем случае заряд частицы определяется суммой зарядов, приобретаемых за счет диффузионного и ударного механизмов зарядки одновременно [2]:

$$q = \alpha r + \beta E r^2, \quad (1)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  — кинетические коэффициенты диффузионного и ударного механизмов соответственно,  $E$  — напряженность электрического поля в зоне зарядки.

Для аэродисперсной системы, имеющей плотность распределения частиц по размерам  $f(r)$  и счетную концентрацию  $N$ , выражение для