

TARTU RIIKLIKU ÜLIKOOLI
TOIMETISED

УЧЕННЫЕ ЗАПИСКИ
ТАРТУСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
ACTA ET COMMENTATIONES UNIVERSITATIS TARTUENSIS

707

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СПЕКТРОМЕТРИЯ
АЭРОЗОЛЕЙ И ГАЗОВЫЙ РАЗРЯД

Ионизация, аэрозоли, электрометрия

TARTU RIIKLIKU ÜLIKOOLI TOIMETISED
УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ
ТАРТУСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
ACTA ET COMMENTATIONES UNIVERSITATIS TARTUENSIS
ALUSTATUD 1893.a. VIÑIK 707 ВЫПУСК ОСНОВАНЫ В 1893.g.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СПЕКТРОМЕТРИЯ АЭРОЗОЛЕЙ И ГАЗОВЫЙ РАЗРЯД

Ионизация, аэрозоли, электрометрия

ТАРТУ 1985

Редколлегия: О. Авасте, К. Куду, Х. Таммет.

Ответственный редактор Ю. Кикас.

Ученые записки Тартуского государственного университета.

Выпуск 707.

**ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СИМЕТРИЯ АЭРОЗОЛЕЙ И
ГАЗОВЫЙ РАЗРЯД.**

Ионизация, аэрозоли, электрометрия.

На русском языке.

Резюме на английском языке.

Тартуский государственный университет.

СССР, 202400, г.Тарту, ул.Пилксола, 18.

Ответственный редактор Ю.Кикас.

Корректор Л. Онопренко.

Подписано к печати 18.06.1985.

МВ 07709.

Формат 60x90/16.

Бумага писчая.

Машинопись. Ротапринт.

Учетно-издательских листов 11,48. Печатных листов 13,0.

Тираж 500.

Заказ № 638.

Цена I руб. 70 коп.

Типография ТГУ, СССР, 202400, г.Тарту, ул.Пилсона, 14.

УСТАНОВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В КАНАЛЕ ВЧ РАЗРЯДА

М.Х. Айтс

В настоящей работе изучалось установление распределения температуры в канале развивающего ВЧ разряда в воздухе при атмосферном давлении, при частоте питания 20 МГц. Разряд был возбужден на вольфрамовом острие подачей радиоимпульса длительностью порядка нескольких мс и амплитудой до 7 кВ. Дополнительно к ВЧ напряжению к острию было подключено постоянное напряжение +20 кВ. При этих условиях разряд в виде одиночного канала распространялся со скоростью 60 м/с до расстояния ~ 20 см. Более подробно об условиях возбуждения разряда и его параметрах см. в [1, 2, 3].

Для исследования изменения показателя преломления в разрядном канале использовался интерферометр Маха - Цендера (рис. 1). Источником света служил гелиево-неоновый лазер не-

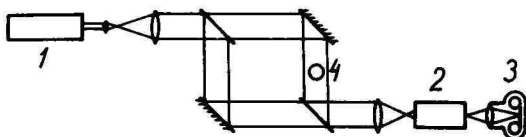


Рис. 1. Принципиальная схема оптических измерений;
1 - лазер; 2 - зои; 3 - фотоаппарат; 4 - объект.
Fig. 1. Sketch of the optical set-up; 1 - laser, 2 -
image-converter-intensifier-camera, 3 - camera,
4 - object.

прерывного действия с длиной волны $\lambda = 632,8$ нм. Интерференционная картина проецировалась на фотокатод электронно-оптического преобразователя (зои). Последний запускался от генератора сдвинутых импульсов через заданный промежуток времени после возникновения разряда. Времена экспозиции

эош-а находились в интервале 0,2+2 мкс. Интерференционная картина с выходного экрана эош-а фотографировалась при помощи обычного фотоаппарата. Типичные снимки показаны на рис.2.

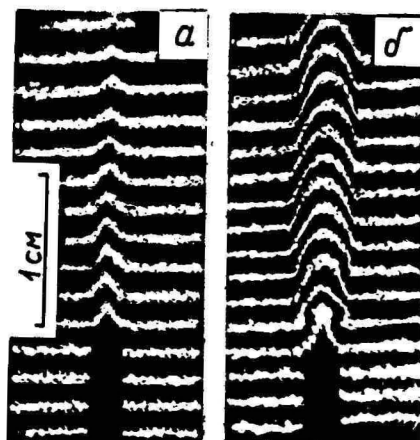


Рис. 2. Интерферограммы разряда; а - $t = 0,38$ мс, б - $t = 1,0$ мс.

Fig. 2. Interferograms of the discharge.

Поскольку исследуемый разряд обладает аксиальной симметрией, результирующее смещение h интерференционных полос, выраженное в числе полос, на расстоянии y от оси симметрии определяется интегралом

$$h(y) = \frac{2}{\lambda} \int_0^R [n_0 - n(r)] \frac{r dr}{\sqrt{r^2 - y^2}}, \quad (I)$$

где n_0 - значение показателя преломления окружающего воздуха; $n(r)$ - текущее значение показателя преломления плазмы. Выражение (I) представляет собой интегральное уравнение Абе-ля относительно функции $[n_0 - n(r)]$. Это уравнение решалось численно на ЭВМ, причем радиус канала был разбит на 7+20 равных участков, в пределах которых показатель преломления считался постоянным. По данным [3], концентрация электронов N_e в канале исследуемого разряда не превышает 10^{20} м^{-3} . Их вклад в рефракцию [4] составляет

$$n-1 = -\frac{e^2 N_e \lambda^2}{8 \pi^2 c^2 \epsilon_0 m_e} = -1,79 \cdot 10^{-8}.$$

Принимая минимальным измеримым смещением интерференционной полосы $h_{\min} = 0,1$, получим оценку

$$\Delta n_{\min} = [n_0 - n(r)]_{\min} = \frac{h_{\min} \lambda}{d},$$

где d — диаметр плазменного канала. По данным [3], $d = 0,5-9$ мм. Тогда минимальное изменение показателя преломления Δn_{\min} , которое можно обнаружить в нашем случае, будет в пределах $1,26 \cdot 10^{-4} - 7,03 \cdot 10^{-6}$, что более чем на два порядка превышает вклад электронов в рефракцию, так что последним будем пренебрегать.

Связь между изменением показателя преломления и изменением плотности ρ газа описывается формулой

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{n-1}{n_0-1}; \quad (2)$$

ρ_0 — плотность окружающего газа. Поскольку радиальная скорость расширения канала плазмы составляет несколько м/с, т.е. намного меньше скорости звука, можно допустить, что процесс происходит при постоянном давлении, равном атмосферному. Тогда абсолютная температура T связана с показателем преломления формулой

$$\frac{T}{T_0} = \frac{n_0-1}{n-1}; \quad (3)$$

T_0 — температура окружающего воздуха.

На рис. 3 и 4 представлены соответственно радиальное распределение плотности газа в различные моменты времени t после прохождения вершины канала исследуемого сечения (l — расстояние от вершины канала до исследуемого сечения) и температуры на оси канала в зависимости от времени. Исследуемое сечение находилось от вершины остривого электрода на расстоянии 10 мм. Контрольные измерения, сделанные на расстоянии 40 мм, дали такие же результаты. Погрешность определения ρ и T по показателю преломления имеет значительную

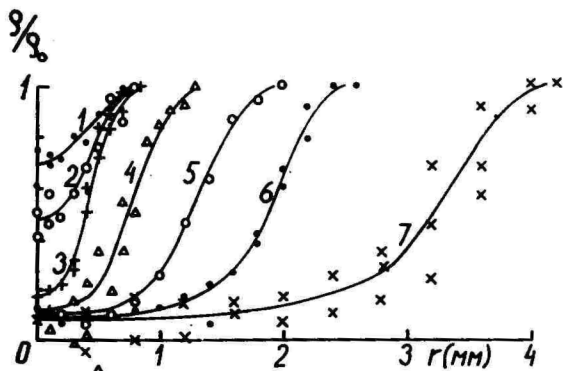


Рис. 3. Распределение плотности газа по радиусу в канале разряда; 1 - $t = 0,05$ мс ($l = 0,3$ см); 2 - $t = 0,083$ мс ($l = 0,5$ см); 3 - $t = 0,133$ мс ($l = 0,8$ см); 4 - $t = 0,23$ мс ($l = 1,4$ см); 5 - $t = 0,57$ мс ($l = 3,4$ см); 6 - $t = 0,83$ мс ($l = 5,0$ см); 7 - $t = 2,17$ мс ($l = 13$ см).

Fig. 3. Radial shapes of gas density in the discharge channel.

величину, особенно при малых ρ (высоких T), в приосевых областях канала. Связано это как с малыми поперечными размерами исследуемого объекта, так и с особенностями обработки результатов при численном решении уравнения (I) [5, 6]. Дополнительный разброс точек на кривых рис. 3 и 4 получается из-за того, что исследуемый разрядный канал фактически не является строго осесимметричным, как предполагается при составлении уравнения (I). Отклонения от осевой симметрии видимой структуры канала видны на фотографиях в [1] и в распределении интенсивности свечения в [3]. Эти отклонения имеют случайный характер. Применение зоп-а для получения моментальных снимков тоже вносит дополнительные искажения в получаемые интерферограммы. Из-за вышеперечисленных причин полученные в настоящей работе значения T можно считать более менее достоверными при $T \leq 2000$ К. Поэтому, чтобы продолжить кривые на рис. 3 и 4 в область больших значений T , были использованы также результаты работы [7], в которой изучалось развитие аналогичного разряда методами спектроскопии и была определена некоторая средняя по сечению температура канала в

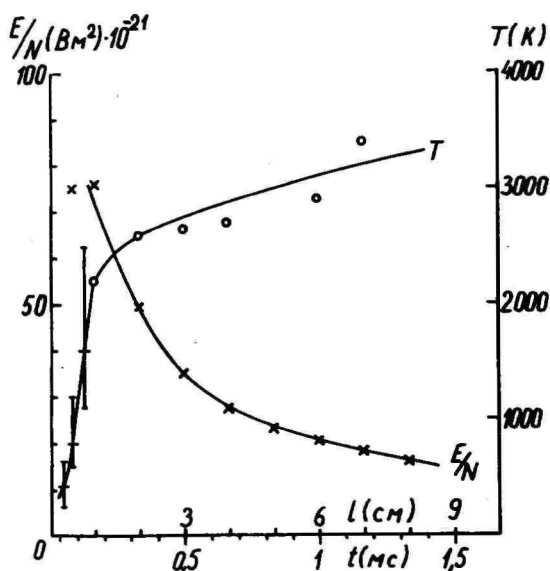


Рис. 4. Распределение температуры T и амплитудного значения E/N по длине разрядного канала. Точки "o" - из работы [7].

Fig. 4. Longitudinal distribution of temperature and E/N amplitude. Points "o" have been taken from [7].

зависимости от времени. Точки "o" на рис. 4 взяты из работы [7].

Для получения отношения E/N были использованы значения E из [3]; E - средняя по сечению амплитуда аксиальной составляющей ВЧ поля в канале, N - количество частиц газа в единице объема канала. N вычислено по уравнению состояния идеального газа с использованием значений T , представленных кривой на рис. 4.

Анализ кривых на рис. 3 показывает, что видимый диаметр разрядного канала (кривая d_0 на рис 6 в [3]) приблизительно совпадает с диаметром канала на уровне относительной плотности $\rho/\rho_0 = 0,3$ (на уровне $T = 1000$ К). Исключением является примерно сантиметровый участок у вершины канала, соответствующий первым 100-150 мкс развития разряда, где видимый диаметр отвечает более низким значениям температуры.

Температура газа в центральной области канала (кривая Т на рис. 4) поднимается до уровня 2000 К в течение первых 150 нкс. Затем рост температуры замедляется. К моменту времени $t = 1,5$ нкс температура находится между 3000 К и 4000 К. По данным [8], максимальная температура в центральной области стационарного факельного разряда при близких к настоящим условиям составляет 4000 К.

Величина E/N имеет максимальное значение около $75 \cdot 10^{21}$ В·м⁻² - при расстоянии $l \approx 1$ см от вершины канала. (Для определения E/N при меньших l нет достаточно достоверных данных о величине E). С ростом l величина E/N монотонно уменьшается. В воздухе при нормальной температуре эффективный коэффициент ионизации, по данным, приводимым чаще всего в литературе, становится больше нуля при $E/N > 100 \cdot 10^{21}$ В·м⁻². Полученные низкие значения E/N указывают на изменения в процессах, определяющих баланс числа заряженных частиц в канале, по сравнению с процессами в области головки канала, где, по данным [9, 10], в развивающемся ВЧ разряде наблюдаются значения E/N выше $100 \cdot 10^{21}$ В·м⁻².

В заключение считаем своим приятным долгом поблагодарить сотрудников сектора газового разряда лаборатории Аэроэлектричества ТГУ во главе с доцентом Куду К.Ф. и старшего инженера кафедры общей физики ТГУ Парис П.П. за полезные дискуссии и помощь при проведении эксперимента.

Л и т е р а т у р а

1. Айнс М.Х., Куду К.Ф., Хальясте А.Я. Определение микропараметров высокочастотных разрядных вспышек. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1982, вып. 631, с. 3.
2. Aints M., Kudu K., Haljaste A. Electrical parameters of a single-channel high-frequency discharge bursts., XVI ICRIG. Düsseldorf, 1983, p. 534.
3. Айнс М.Х., Куду К.Ф., Роос Х.П., Тенсинг А.Р. Характеристики одноэлектродного импульсного ВЧ разряда в воздухе на частоте 20 МГц. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1984, вып. 669, с. 3-12.
4. Зайдаль А.Н., Островская Г.В. Лазерные методы исследования плазмы. - Л.: Наука, 1977.

5. Пирс П.П. Расчет распределения по радиусу фотонных излучателей в симметричных источниках. - В кн.: Получение и исследование высокотемпературной плазмы. М.: Изд-во иностр. лит., 1962.
6. Лохте-Хольтгревен В. Определение параметров плазмы. - В кн.: Методы исследования плазмы /Под ред. Лохте-Хольтгревен В. М.: Мир, 1971.
7. Сузи Я.А., Лаан М.Р. Измерение вращательной температуры во время импульсного ВЧ разряда. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1982, вып. 631, 13.
8. Тихомиров И.А. и др. Исследование пространственного распределения параметров ВЧ факельного разряда. I Газовая температура. Томск, 1973. (Рукопись депон. в ВИНТИ 14.09.73, № 7606 - 73 Деп.).
9. Бердышев А.В. Фотоэлектрические исследования формирования высокочастотных разрядов с острия в воздухе. Дис. канд. физ-мат. наук. Л., 1971.
10. Лаан М.Р. О механизме развития высокочастотного разряда. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1981, вып. 588, с. 3.

ESTABLISHMENT OF THE TEMPERATURE IN
THE CHANNEL OF HF DISCHARGE

M. Aints

S u m m a r y

The distribution of gas density and of temperature were determined by means of a Mach-Zehnder interferometer in a channel of the high-frequency discharge at different moments of its development. The discharge was initiated in the atmospheric air feeding the needle electrode a single 20 MHz radiopulse 4 - 7 kV of amplitude. In addition to the high-frequency voltage the d. c. voltage of 20 kV was applied to the electrode. Under these conditions the discharge propagated as a single channel at a constant velocity of 60 m/s up to distances of 20 cm. It was established that the temperature of axial regions of the channel increases up to 2000 K in 150 μ s. Later the temperature growth velocity slows down. By the moment of 1.5 ms the temperature acquires the value of 3000 to 4000 K. The ratio of the field strength to the gas density E/N has the value of $75 \cdot 10^{21}$ V.m² at a distance of 10 mm from the channel tip and decreases to $20 \cdot 10^{21}$ V.m² at a distance of 9 cm from the channel tip.

**ИЗМЕРЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ПЕРЕХОДА
 $0 \rightarrow 0 \text{ } ^3\text{P}_u \rightarrow \text{B}^3\text{P}_g$ АЗОТА В РАЗВИВАЮЩЕМСЯ
 ВЫСОКОЧАСТОТНОМ РАЗРЯДЕ**

М.Р. Лаан, Я.А. Сузи

В наших предыдущих работах [1, 2] исследовалась динамика заселения колебательных уровней молекул азота в развивающемся ВЧ разряде. Была обнаружена временная зависимость отношений измеренных интенсивностей полос второй положительной системы азота с одинаковым верхним колебательным уровнем $J_{ik}^{43M} / J_{ik}^{43M} = f(t)$.

Для определения относительной колебательной заселенности молекул необходимо знать полную интенсивность полосы

$$J_{ik}(t) = \text{const} \cdot A_{ik} n_i(t), \quad (1)$$

где A_{ik} - коэффициент Эйнштейна и n_i - заселенность верхнего колебательного уровня. Отношения J_{ik} / J_{ik} по формуле (1) определяются отношениями A_{ik} / A_{ik} и не должны зависеть от времени. В эксперименте J_{ik} можно получить из измеренной интенсивности J_{ik}^{43M} при помощи соотношения

$$J_{ik}(t) = J_{ik}^{43M} \cdot Z(\Delta\lambda, T) \cdot F(\lambda) \cdot R(\lambda, T), \quad (2)$$

где $Z(\Delta\lambda, T)$ - поправка, учитывающая распределение интенсивностей вращательных линий в полосе, $\Delta\lambda$ - спектральная ширина щелей монохроматора, T - температура, $F(\lambda)$ - поправка на спектральную чувствительность системы и $R(\lambda, T)$ - поправка на реабсорбцию излучения. Обнаруженную временную зависимость отношений измеренных интенсивностей полос с одинаковым верхним уровнем можно объяснить двумя причинами: повышением температуры в разрядном канале и поглощением излучения, зависящим от времени. Если полагать, что эффект обусловлен только повышением температуры, то, учитывая поправки $Z(\Delta\lambda, T)$, взятые из работы [3], получаем зависимость температуры от времени в разрядном канале соответственно кривой I на рис. I. В работе [4] проведены интерферометрические измерения време-

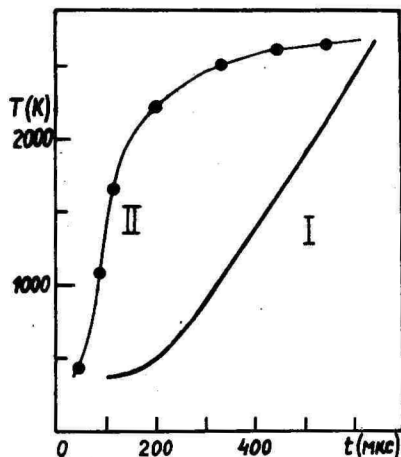


Рис. 1. I - вычисленный по интенсивностям ход температуры, полагая $\kappa_0 \ell = 0$. II - измеренный ход температуры по [4, 5].

Fig. 1. Computed temperature curve $T(t)$ for the discharge channel on the assumption of $\kappa_0 \ell = 0$. II - measured temperature curve from [4, 5].

температуры на начальных стадиях разряда ($t = 50+150$ мкс). Температура поздних стадий разряда ($t > 200$ мкс) определена в работе [5]. Результаты измерения температуры представлены кривой II на рис. 1. Разность между кривыми не объясняется погрешностями экспериментов.

Следовательно, заметную роль играет зависящая от времени реабсорбция излучения полос второй положительной системы азота. Значения поглощения разные для разных полос. Можно показать, что для переходов $0 \rightarrow 0$, $0 \rightarrow I$, $0 \rightarrow 2$, $0 \rightarrow 3$ и т.д. реабсорбция уменьшается с ростом нижнего колебательного квантового числа. Также легко убедиться в том, что поглощение полосы $0 \rightarrow 3$ по меньшей мере на порядок меньше поглощения полосы $0 \rightarrow 0$. Взяв значения температуры в разрядном канале из работ [4, 5] (рис. 1, II) и вводя поправку $Z(\Delta\lambda, T)$, получаем зависимости интенсивностей полос $J_{00}/J_{0k} = f(t)$, $k = I, 2, 3$ (рис. 2), которые характеризуют относительные поглощения полос $0 \rightarrow 0$, $0 \rightarrow I$, $0 \rightarrow 2$. Зависимость J_{00}/J_{03} отражает относительное поглощение полосы $0 \rightarrow 0$ при пренебрежении поглощением полосы $0 \rightarrow 3$.

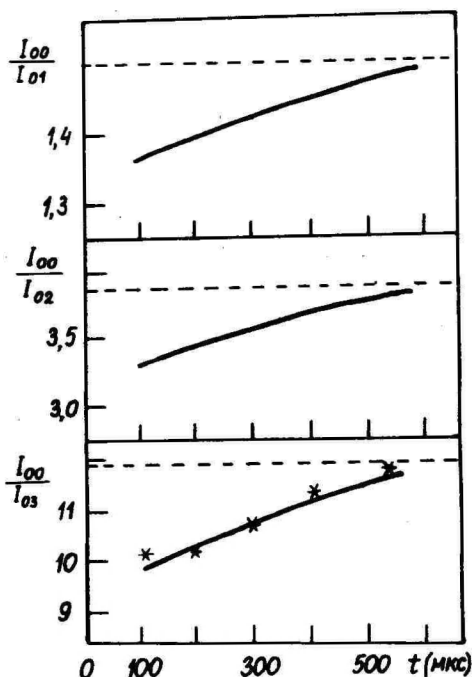


Рис. 2. Отношения интенсивностей полос с учетом хода температуры по [4, 5]. Втриковые линии - соответственные отношения коэффициентов Эйнштейна, * - реконструкция кривого по измеренным $\alpha_0 \ell$ для $0 \rightarrow 0$ перехода.

Fig. 2. Band intensity ratios taking into account the temperature according to [4, 5]. Dashed line-ratios of absolute transition probabilities. * - reconstruction of the curve using measured $\alpha_0 \ell$ values.

В данной работе было измерено относительное поглощение перехода $0 \rightarrow 0$ в импульсном ВЧ разряде, используя метод одного зеркала [6]. На рис. 3 изображена принципиальная схема установки. Зеркало I находилось на расстоянии равном его радиусу кривизны от оси разрядного промежутка, и его оптическая ось пересекала разряд на высоте I мм от вершины острей. Разрядный канал 3 и его отраженное перевернутое изображение проектировали линзой 4 2,7-кратным увеличением на щель монохроматора 6. Перед щелью монохроматора находилась горизонтальная щель 5, вырезающая из разрядного канала отрезок, вы-

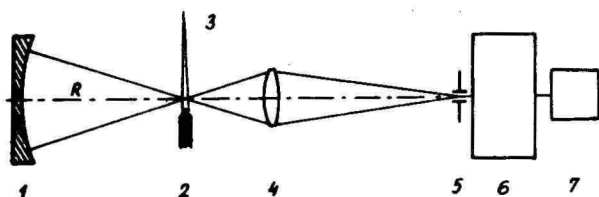


Рис. 3. Принципиальная схема установки определения поглощения. 1 - зеркало, 2 - острие, 3 - разрядный канал, 4 - линза, 5 - горизонтальная щель, 6 - монохроматор, 7 - ФЭУ.

Fig. 3. Set up for absorption measurements, 1 - mirror, 2 - point electrode, 3 - discharge channel, 4 - lens, 5 horizontal slit, 6 - monochromator, 7 - PM-tube.

сотой 0,2 мм вдоль оси канала. Сигнал регистрировали с помощью ФЭУ - I40 (7) и осциллографа С8-13. Из-за значительных флуктуаций разряда ширину входной щели монохроматора выбрали такой, чтобы была гарантирована регистрация только тех разрядных импульсов, при которых отраженное изображение разряда перекрывалось с разрядным каналом. Исследовался разряд с несущей частотой 20 МГц, аналогичный работе [4]. Относительное поглощение определяется по формуле

$$A(t) = \frac{(1+r) - \frac{J'(t)}{J(t)}}{r}, \quad (3)$$

где $J'(t)$ - интенсивность при открытом зеркале,
 $J(t)$ - интенсивность при перекрытом зеркале и
 r - коэффициент отражения зеркала.

Коэффициент r в данном эксперименте определяли при уширенной входной щели монохроматора и при неперекрывающихся изображениях разряда и его отражения:

$$r = \frac{J'}{J} - 1. \quad (4)$$

С другой стороны, относительное поглощение в предположении доплеровского контура выражается через функцию Ладенбурга - Ломэ $S(x, \ell)$:

$$A = \frac{S(x_0 l) - S(2x_0 l)}{S(x_0 l)} = \Phi(x_0 l), \quad (5)$$

где x_0 — коэффициент поглощения в центре контура линии,
 l — в данном случае диаметр канала.

Из последнего выражения, зная временную зависимость A , можно получить и зависимость для $x_0 l$, используя приведенные в [6] зависимости $\Phi(x_0 l)$ от $x_0 l$. Была также проверена применимость соотношения (5) для настоящего случая. При условиях исследуемого разряда полуширина лоренцовского контура не превышает полуширины доплеровского контура. Так как значения A не превышают 0,25 и поглощение определяется в основном центральной частью линии, мы сможем ограничиться приближением доплеровского контура, а также пренебречь искажением контура в результате реабсорбции.

В общем случае относительное поглощение зависит от радиального распределения излучения и поглощения в канале разряда. Но, как показано в [7], в случае $x_0 l < 1$ этой зависимостью можно пренебречь.

На рис. 4 представлена временная зависимость $x_0 l$. Видно, что $x_0 l$ уменьшается, несмотря на то, что l увеличивается.

Поскольку в эксперименте регистрировали поглощение в участках канала, ширина которых не превышает $1/3$ его диаметра, то для определения относительного ослабления излучения за счет самопоглощения можно применить модель светящегося слоя [6]. Связь между потоком, выходящим из объема без поглощения K , и потоком K' , ослабленным за счет поглощения можно записать в виде

$$K' = K S(x_0 l). \quad (6)$$

Используя представленные в [6] зависимости $S(x_0 l)$ от $x_0 l$ и зная ход $x_0 l(t)$, можно с учетом зависимости температуры в разрядном канале $T(t)$ реконструировать отношение интенсивностей полос $J_{00}/J_{03}(t) = f(t)$. На графике $J_{00}/J_{03} = f(t)$ рис. 2 звездочками отмечена подобная реконструкция. В пределах погрешностей она совпадает с отношением интенсивностей, полученным из измерений.

Из зависимости $x_0 l(t)$ можно получить абсолютные значения для заселенности колебательного уровня 0 в состоянии

$\text{B}^3\Pi_g$ в разные временные моменты разряда.

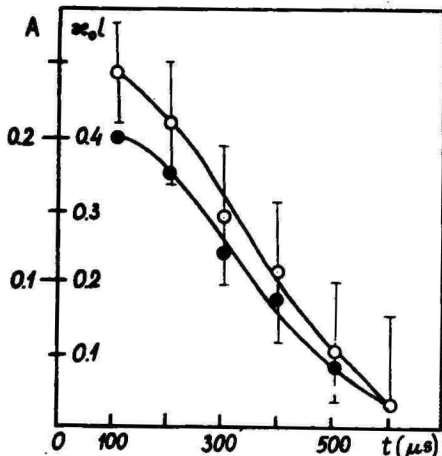


Рис. 4. Временные зависимости относительного поглощения A (○) и оптической толщины $x_0 l$ (●). Погрешности для A получены по среднеквадратичным отклонениям.

Fig. 4. Time dependencies of relative absorption A (○) and optical thickness $x_0 l$ (●). Errors for A got from standard deviation.

Л и т е р а т у р а

1. Лаан М.Р., Сузи Я.А. Определение относительной заселенности колебательных уровней молекул азота в состоянии $\text{C}^3\Pi$ в развивающемся высокочастотном разряде. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1984, вып. 669, с. 13-20.
2. Лаан М.Р., Сузи Я.А. О динамике заселенности возбужденных состояний в развивающемся ВЧ разряде. - В сб.: Возникновение и развитие газового разряда при высоких давлениях: Тезисы докладов II Всес. совещ. по физике электрического пробоя газов. Тарту, 1984, ч. I, с. 90-93.
3. Hartmann G. Spectroscopie de la décharge couronne: études des mécanismes de collisions dans le dard (streamer): Thèse doct. sci. Orsay, 1977.
4. Айтс М.И. Установление температуры в канале ВЧ разряда. См. наст. сб., с. 3-10.

5. Сузи Я.А., Лаан М.Р. Изменение вращательной температуры во время импульсного ВЧ разряда. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1982, вып. 631, с. 13-18.
6. Фрин С.Э. Определение концентраций нормальных и возбужденных атомов и сил осцилляторов методами испускания и поглощения света. - В кн.: Спектроскопия газоразрядной плазмы. Л.: Наука, 1970, с. 7-62.
7. Цвиккер Г. Определение параметров оптически толстых плазм. - В кн.: Методы исследования плазмы. М.: Мир, 1971, с. 169-194.

DETERMINATION OF $N_2 C^3\Pi_u \rightarrow B^3\Pi_g$
 $0 \rightarrow 0$ BAND ABSORPTION IN A PROPAGATING
HIGH FREQUENCY DISCHARGE

M. Laan and J. Susi

S u m m a r y

The absorption of $N_2 C^3\Pi_u \rightarrow B^3\Pi_g$ $0 \rightarrow 0$ band radiation was investigated in the channel of the propagating pulse-excited 20 MHz discharge in the atmospheric air. The absorption was measured by means of a spherical mirror (Fig. 3). The values for the optical thickness $\alpha_0 l$ in the discharge channel were found to decrease from 0.4 to 0.04 in the time interval of 100 to 600 μs from the initial moment (Fig. 4). The results are compared with the intensity measurements of the second positive system bands $0 \rightarrow 0, 0 \rightarrow 1, 0 \rightarrow 2$ and $0 \rightarrow 3$. It is shown that the absorption can be estimated from the comparative intensity measurements of the N_2 second positive system bands.

ФОРМИРОВАНИЕ ОБЪЕМНОГО ЗАРЯДА В ОДНОРОДНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ В ВОЗДУХЕ НА ЧАСТОТАХ 0,12-1,0 МГц

С.И. Бесхлебный, А.А. Жуков, В.Н. Крушин,
Я.И. Микицей, Н.К. Цыкун

В предыдущих работах [1-6] проведено исследование процесса накопления положительных и отрицательных ионов в однородном и неоднородном электрическом поле в диапазоне частот 1-40 МГц. Эксперимент показал, что при напряжениях, близких к напряжению возникновения самостоятельного разряда (U), для исследуемых промежутков возможно преобладание в количественном отношении как положительного, так и отрицательного объемного заряда. Причем в области более низких частот преобладает объемный заряд отрицательных ионов [4]. В области более высоких частот, когда отмечается понижение напряжения возникновения самостоятельного разряда, преобладает объемный заряд положительных ионов.

Представляет интерес экспериментальное исследование процесса накопления положительных и отрицательных ионов в однородном электрическом поле на частотах меньших 1 МГц. С этой целью были проведены измерения, результаты которых представлены в настоящей статье.

Экспериментальная установка и методика измерения

Исследование процесса формирования положительного и отрицательного объемного заряда проводилось на фиксированных частотах 0,12; 0,20; 0,31; 0,65 и 1,0 МГц в воздухе. Подробное описание экспериментальной установки дано в работах [4-6]. Здесь отметим только необходимые изменения, которые были осуществлены в связи с переходом на низкие частоты.

Высокопотенциальный электрод из алюминия диаметром 4 см был сделан в форме электродов Роговского и тщательно отшлифован. Заземленный электрод представлял из себя плоский диск диаметром 6 см, выполненный из маски кинескопа цветного телевизора (диаметр отверстий примерно 0,2 мм). Расстояние между электродами (d) выбиралось таким: 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 и 3,5 мм.

Для получения семейства кривых тока положительных и отрицательных ионов на различных частотах методика проведения эксперимента была следующей. Electroды илфировались, и расстояние между ними устанавливалось только один раз для всей серии измерений. При снятии указанных кривых на фиксированных частотах напряжение на электроды подавалось ниже напряжения пробоя примерно на 100 В. Таким образом можно было снять все кривые зависимости тока положительных и отрицательных ионов от величины приложенного к электродам напряжения на указанных частотах без дополнительной илфровки электродов, которая требуется в случае возникновения пробоя.

Экспериментальная установка

Экспериментальные зависимости выдуваемого воздушным потоком на коллектор тока положительных и отрицательных ионов, накапливающихся в исследуемом промежутке, от амплитуды приложенного к электродам переменного напряжения (U) на всех частотах и для всех указанных выше промежутков представлены графически на рис. 1-3.

На рис. 1а-г приведены зависимости тока положительных ионов $J_+ = J(U)$ для всех исследуемых промежутков на частотах 1,0; 0,66; 0,20 и 0,12 МГц соответственно. В целом характер поведения зависимостей $J_+ = J(U)$ соответствует кривым, полученным на частотах 1-10 МГц для однородного электрического поля ранее [5, 6]. Однако на частотах 0,20 и 0,12 МГц для промежутков 1,0; 1,5 и 2,0 мм при некотором значении амплитуды ВЧ напряжения наблюдается уменьшение скорости нарастания тока положительных ионов с увеличением напряжения, т.е. крутизна кривых $J_+ = J(U)$ уменьшается (см. рис. 1в, 1г). Такое поведение кривых $J_+ = J(U)$ указывает на уменьшение скорости накопления положительного объемного заряда в промежутке с понижением частоты приложенного напряжения и уменьшением расстояния между электродами.

На рис. 2а-г представлены зависимости тока отрицательных ионов, выдуваемых на коллектор, от величины амплитуды ВЧ напряжения на электродах разрядного промежутка. Характер поведения зависимостей $J_- = J(U)$ существенно отличается от поведения кривых $J_+ = J(U)$. Во-первых, ток отрицательных ионов обнаруживается, начиная с нуля оси напряжений. Во-вторых, ток отрицательных ионов резко возрастает в интервале напряжений до 1000 В и, достигая максимального значения,

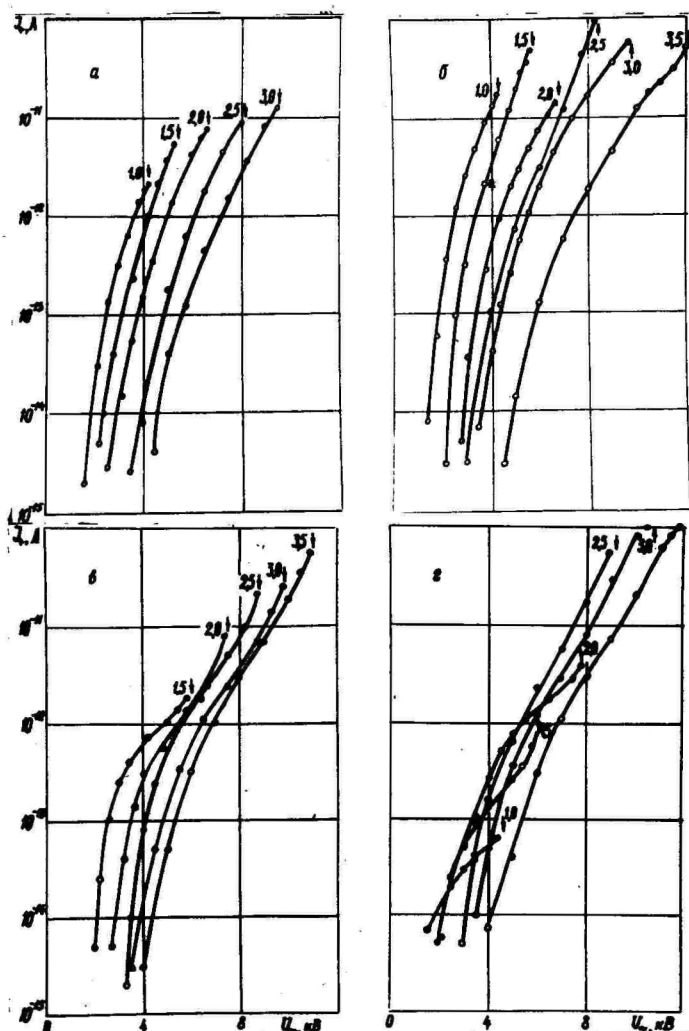


Рис. 1. Зависимость тока положительных ионов на коллектор (J_+) от амплитудного значения переменного напряжения (U). Цифры над кривыми обозначают расстояния между электродами в мм. Вертикальные стрелки над графиками указывают напряжение пробоя в данных условиях, а) $f = 1,0$ МГц; б) $f = 0,66$ МГц; в) $f = 0,20$ МГц; г) $f = 0,12$ МГц.

Fig. 1. Dependence of the positive ion current (I_+) on the amplitude value of HF voltage (U). Numbers over the lines denote the interelectrode distance in mm. Vertical arrows over the graphs denote breakdown voltage under present conditions.

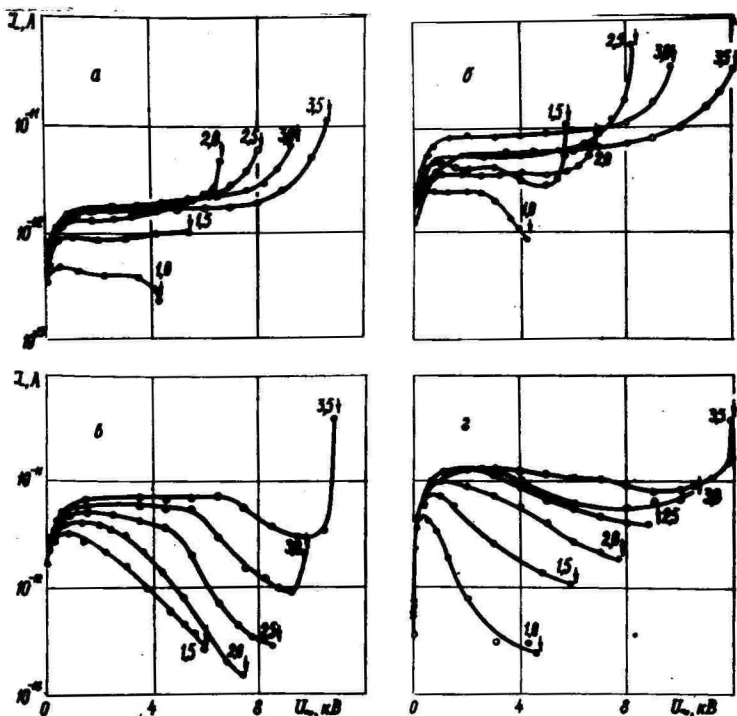


Рис. 2. Зависимость тока отрицательных ионов на коллектор J_- от амплитудного значения переменного напряжения (U). Остальные обозначения те же, что и на рис. 1.

Fig. 2. Dependence of the negative ion current (I_-) on the amplitude value of HF voltage (U). Other notations are the same as in Fig. 1.

начинает уменьшаться. Величина этого максимума зависит от расстояния между электродами (рис. 2а-г). Увеличение d приводит к росту максимума тока J_- . Спад кривых $J_- = J(U)$ круче тогда, когда меньше длина разрядного промежутка и ниже частота приложенного к электродам напряжения. Для кривых на частоте 1,0 МГц при промежутках больше чем 1,5 мм (см. рис. 2а), а также кривых на частоте 0,66 МГц для промежутков больших чем 2,0 мм наблюдается только уменьшение крутизны нарастания тока отрицательных ионов. В-третьих, после указанного спада кривых $J_- = J(U)$ с приближением ВЧ напряжения к пробойному значению (U) снова наблюдается резкое увеличение тока отрицательных ионов. Это увеличение обнаруживается на

частотах 1,0 и 0,66 МГц для промежутков больших 1 мм (см. рис. 2а, 2б). На частотах 0,20 и 0,12 МГц вторичное возрастание тока отрицательных ионов отмечается для промежутков 3,0 и 3,5 мм (см. рис. 2в, 2г).

Для сравнения экспериментальных данных, полученных на разных частотах для промежутка с $d = 1,5$ мм, были сняты семейства кривых, показанные на рис. 3а, 3б. Анализ зависимости

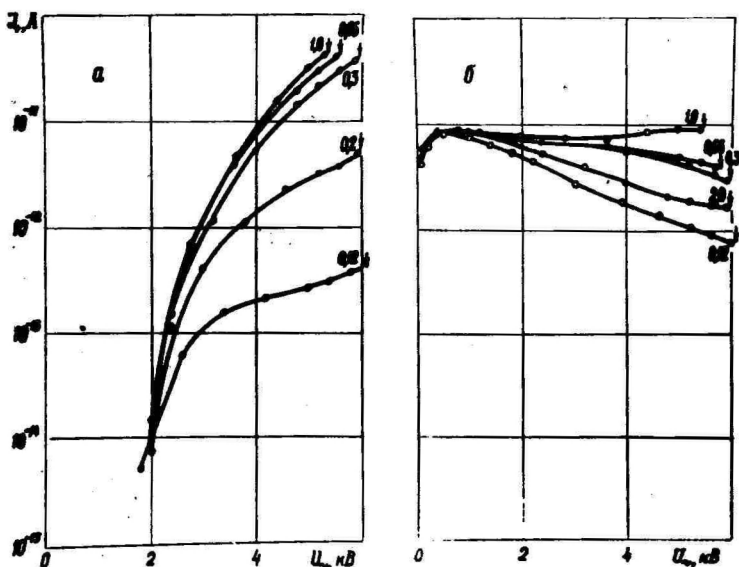


Рис. 3. Зависимость тока положительных (а) и отрицательных (б) ионов на коллектор от амплитудного значения переменного напряжения для промежутка 1,5 мм при различной частоте. Цифры над кривыми обозначают частоту приложенного к электродам напряжения в МГц. Вертикальные стрелки над графиками указывают напряжение пробоя.

Fig. 3. Dependence of the positive ion current (a) and of the negative ion current (b) on the amplitude value of HF voltage for a gap distance of 1.5 mm at different frequencies. Numbers over the curves denote the voltage frequency (MHz) applied to the electrodes. Vertical arrows over the graphs indicate the breakdown voltage.

стей $J_+ = J(u)$, приведенных на рис. 3а, показывает, что при напряжениях, близких к пробойным, понижение частоты прило-

женного напряжения приводит к уменьшению величины положительного объемного заряда. Величина напряжения пробоя растет с уменьшением частоты приложенного напряжения, а скорость образования положительного объемного заряда при этом уменьшается. Ток $J_- = J(u)$ после резкого возрастания в области напряжений до 1 кВ уменьшается с увеличением амплитуды ВЧ напряжения. На частоте 0,2 МГц при напряжениях, близких к напряжению пробоя, ток положительных ионов преобладает по величине, хотя и незначительно, т.е. положительный объемный заряд доминирует в промежутке. На частоте 0,12 МГц наблюдается преобладание отрицательного объемного заряда, несмотря на его уменьшение с ростом амплитуды ВЧ напряжения перед пробоем. На этой частоте во всем интервале исследуемых напряжений в промежутке преобладает по величине отрицательный объемный заряд.

Обсуждение результатов

В основном все экспериментальные результаты можно качественно объяснить, исходя из хорошо известных предположений о механизме ВЧ разряда в области первой критической частоты [6, 7]. Прежде всего можно отметить, что положительный объемный заряд при напряжениях, близких к пробойным, превращает отрицательный в разрядном промежутке на тех частотах, на которых наблюдается первое снижение напряжения ВЧ пробоя. Это подтверждает предположение о доминирующей роли положительного объемного заряда, накапливающегося в разрядном промежутке, в снижении напряжения пробоя. Роль отрицательных ионов в основном сводится к тому, что, распадаясь в сильных электрических полях, при напряжениях близких к пробойным они являются источниками дополнительных электронов [6, 8].

Общий характер поведения кривых $J_+ = J(u)$ на частотах выше первой критической был удовлетворительно объяснен в работе [6] с учетом как процесса ионизации электронным ударом, так и процессов, приводящих к потере положительного объемного заряда: прилипание электронов к атомам и молекулам с образованием отрицательных ионов, диффузия и выдувание воздушным потоком.

Что касается графиков $J_- = J(u)$, то полная их интерпретация в настоящий момент затруднительна. Здесь мы можем сделать предположения, касающиеся некоторых особенностей полученных кривых (рис. 2, 3).

Прежде всего, процесс образования в промежутке отрицательных ионов при напряжении значительно меньшей величины, необходимой для образования электронных лавин (в области $U = 0-1000$ В), связан с явлением прилипания начальных фотоэлектронов, вырванных из временного катода под действием ультрафиолетового облучения, к молекулам кислорода. Характер изменения тока отрицательных ионов определяется зависимостью коэффициента прилипания электронов к молекулам воздуха от напряженности электрического поля. В дальнейшем предполагается провести исследование зависимости $J_{\pm} = J(U)$ на более низких частотах для уточнения этих положений.

Выводы

1. Впервые сняты зависимости величины положительного и отрицательного объемного заряда, накапливающегося в однородном электрическом поле, от величины амплитудного значения переменного напряжения, приложенного к электродам в диапазоне частот 0,12-1,0 МГц.

2. Показано, что на низких частотах, меньших первой критической частоты для исследуемых разрядных промежутков, во всем интервале используемых напряжений, в промежутке преобладает во величине отрицательный объемный заряд.

3. Предполагается, что преобладание по величине положительного объемного заряда над отрицательным в области частот выше 1-ой критической подтверждает доминирующую роль положительного объемного заряда в снижении напряжения пробоя.

Л и т е р а т у р а

1. Луков А.А. Некоторые измерения положительного объемного заряда, создаваемого лавинным самостоятельным разрядом на переменном напряжении 2,5-40 МГц. - Труды/Научное объединение физико-математических факультетов педагогических институтов ДВ. Хабаровск, 1962, т. 2.
2. Луков А.А., Беслебный А.И., Беслебный С.И. Измерение токов самостоятельного лавинного разряда в промежутке острей - плоскость с платиновым и золотым острием. - В кн.: Вопросы радиофизики. Хабаровск, 1976.
3. Луков А.А., Беслебный А.И., Беслебный С.И. Формирование объемного заряда в электрическом поле высокой частоты в разрядном промежутке острей-плоскость в воздухе. - В кн.: Вопросы радиофизики. Хабаровск, 1976.

4. Бесхлебный С.И., Жуков А.А., Крупин В.Н., Микицей Я.И., Цыкун Н.К. Накопление положительных и отрицательных ионов в разрядном промежутке острей-плоскость в электрическом поле на частотах 0,5-1,0 МГц. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1983, вып. 648, с. 3-11.
5. Жуков А.А. Формирование объемного заряда в электрическом поле высокой частоты в воздухе. - ЭТФ, 1965, т. 35.
6. Жуков А.А. Формирование объемного заряда и механизм электрического пробоя воздуха в области первой критической частоты. Дис. канд. физ.-мат. наук. Хабаровск, 1966.
7. Аронов М.А., Колечитский Е.С., Ларионов В.П., Минин В.Ф., Сергеев Ю.Г. Электрические разряды в воздухе при напряжении высокой частоты. - М.: Энергия, 1969.
8. Богданова Н.Б., Пошков В.И. Форма коронного разряда и пробой воздушных промежутков. - Электричество, 1973, № 8.

FORMATION OF THE SPACE CHARGE IN A HOMOGENEOUS
ELECTRIC FIELD IN THE AIR WITHIN THE FREQUENCY RANGE
OF 0.12 - 1.0 MHz

S.I. Beskhlebny, A.A. Zhukov, V.N. Krupin,
Y.I. Mikitsei and N.K. Tsykun

S u m m a r y

For the first time the behaviour of the current of negative and positive ions blown out of the plate-to-plate discharge gap has been studied, depending on the amplitude value of the interelectrode voltage in a frequency range of 0.12 - 1.0 MHz. The interelectrode distance ranged from 1.0 - 3.5 mm. All measurements were carried out in air at a pressure of 760 mmHg and at a temperature of +20° C.

The behaviour of the positive ion current at supercritical frequencies is satisfactorily explicable on the basis of electron avalanche generation mechanisms and of the processes resulting in the loss of the positive space charge. It is mentioned that supplementary studies are necessary for a detailed explanation of the dependence of the ion current on the voltage applied to the electrodes.

СПЕКТР ПОДВИЖНОСТЕЙ ОДНОСЕКУНДНЫХ ЛЕГКИХ АЭРОИОНОВ В ПРИРОДНОМ ВОЗДУХЕ

Х.Ф. Таммет, Х.Р. Икер, Ф.Г. Миллер

Введение

Спектр подвижностей легких аэроионов зависит от букета примесей воздуха и от возраста аэроионов. С увеличением возраста увеличивается чувствительность спектра к микропримесям, заодно растет и сложность обеспечения удовлетворительной разрешающей силы спектрометра. Аэроионы малого возраста (до 0,1 с) изучены относительно хорошо, обзор соответствующих результатов можно найти, например, в книге [1]. Информация об аэроионах среднего возраста скуднее (см., например, [2, 3]), а тонкая структура спектров аэроионов большого возраста (выше 10 с) вообще неизвестна по причине недостаточной разрешающей способности существующей аппаратуры.

Высокая чувствительность спектра подвижностей легких аэроионов к примесям, наличие которых характеризует антропогенную загрязненность воздуха, позволила поставить вопрос о возможной роли спектрометрии подвижностей легких аэроионов в системе мониторинга загрязненности воздуха. Для получения ответа на этот вопрос необходимо решить две задачи. Во-первых, необходимо выяснить зависимость спектра легких аэроионов от концентраций примесей в воздухе. Во-вторых, необходимо определить статистические характеристики спектров в условиях фоновой антропогенной загрязненности. Первая задача пока удовлетворительного решения не имеет, а по второй вообще нет никаких результатов. Все исследования структуры спектра легких аэроионов проведены в лабораториях, расположенных в городах, а наиболее детальные результаты получены только для искусственно подготовленных газовых смесей. Цель настоящей работы — получить предварительную информацию для решения второй задачи. Концентрации примесей не были определены, и соответствующие соображения, оставшиеся на уровне гипотез, ниже не высказываются.

Аппаратура

Аппаратура построена на базе переносного спектрометра, описанного в работе [4]. По разрешающей силе этот прибор уступает стационарному спектрометру, использованному в работах [2, 3]. Для проведения настоящего исследования спектрометр был реконструирован. Введена возможность измерения спектров обеих полярностей. Электрометр заменен на современный, который построен на базе транзистора КП305 и имеет автоматическую коррекцию уровня нуля.

Управление спектрометром, предварительная обработка наблюдений и запись результатов на кассетную магнитную ленту осуществлялись с помощью ЭМ "Электроника ДЗ-28". Для подключения спектрометра к ЭМ был построен специальный контроллер, принципиальное устройство которого заимствовано из работы [5]. Контроллер дополнительно через каждую минуту выдает сигнал времени, который ЭМ использует для запуска цикла измерений. Информация о напряжении измерительного конденсатора, о выходном сигнале электрометра и о температуре воздуха вводится в ЭМ через АЦП типа Ф 7077/1 с использованием коммутатора аналоговых сигналов. Сигнал регистрировался с точностью трех значащих цифр. Если исключить случаи измерения с увлажненным электрометром, которые были при предварительном анализе наблюдения забракованы, то шум сигнала не превышал одного дискрета АЦП.

В одноминутном цикле измерения регистрируется 58 значений спектральной функции проводимости $\lambda(k) = k \varphi(k)$ для подвижностей от 0,389 до 1,445 IU. Поскольку точность калибровки расхода воздуха, протягиваемого через измерительный конденсатор, неудовлетворительна, то абсолютная шкала подвижностей не используется. Иодовая единица подвижности 1 IU $\approx \approx 1,8 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ определена как подвижность пика спектра отрицательных легких аэроионов в условиях добавления к загазованному воздуху около 1 мг/м³ паров иода [6]. Подвижности образуют логарифмический ряд с множителем $10^{0,01}$. Напряжения измерительного конденсатора устанавливали пропорциональными к плотности воздуха, что обеспечивает редукцию шкалы подвижности к нормальным условиям.

Место и программа наблюдений

Место наблюдений в деревне Тахкузе расположено в 27 км на северо-восток от города Цяну ЭССР. Аппаратура была уста-

новлена на чердаке необитаемого здания, воздух всасывался в спектрометр через окно. Единственными источниками антропогенных загрязнений в удалении до нескольких километров являлись редкие хутора и малоиспользуемое шоссе. Ближайший мощный источник антропогенных загрязнений – город Пярну (около 55000 жителей). Более мощные источники – город Таллин и район сланцевой промышленности – расположены на расстоянии 100–200 км в направлениях от севера до северо-востока.

Наблюдения проводились с 27.06.84 по 29.08.84 однокосыми сериями. Времена измерения распределены случайно как по дням, так и по времени суток, за исключением ночного времени от 01 до 07 часов, когда измерения не проводились. Без прерыва выполнялись от 1 до 5 серий, среднее число – 1,6 (здесь учитываются только те серии, которые используются для статистического описания спектров). Были записаны результаты 160 серий. По анализу записи шума электрометра забракованы 39 серий, в основу анализа взяты результаты 121 однокосовой серии.

Внутри каждой однокосовой серии выполнено попеременно 29 измерительных циклов для положительных и 29 – для отрицательных аэроионов. В конце часа вычислялись и записывались на магнитную ленту среднечасовые спектры и стандартные отклонения сигналов во всех точках спектральной шкалы для обеих полярностей.

Результаты анализировались позже с помощью ЭВМ "Искра-226" с использованием системы [7]. При этом непосредственно измеренные значения спектральной функции были заменены на значения безразмерной приведенной спектральной функции $y(k) = \lambda(k)/\varphi_{\pm}$, где φ_{\pm} – соответствующая полярная плотность заряда легких аэроионов.

Структура спектров

Структура спектра легких отрицательных аэроионов в природном воздухе мало отличается от структуры спектра в воздухе города. В этом убеждает сравнение результатов, представленных на рис. 1 и 2, а также результатов измерения спектров в воздухе города Тарту в 1980 г. [2]. Наряду с варьированием интенсивностей компонентов спектра наблюдается варьирование подвижности главного пика. Можно предполагать, что этот пик состоит из нескольких близко расположенных компонентов, которые сливаются по причине недостаточной разрешающей силы спектрометра.

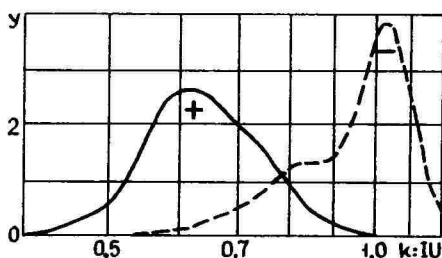


Рис. 1. Спектры подвижностей положительных и отрицательных аэрозолей в воздухе города Тарту 13.II.84 в 16-19 часов.

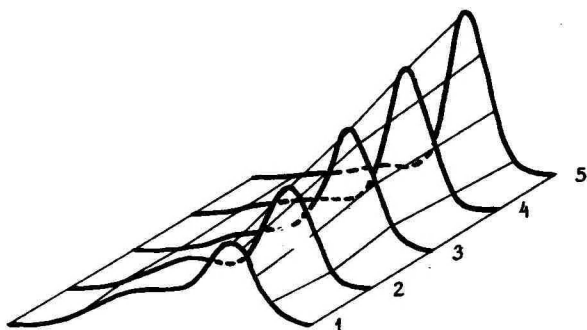


Рис. 2. Набор спектров подвижностей отрицательных аэрозолей в Таллинне, упорядоченный от одного экстремального спектра до другого:
 1) 01.08.84, 15-16 ч, 2) 31.07.84, 12-13 ч,
 3) 28.07.84, 18-19 ч, 4) 14.07.84, 11-12 ч,
 5) 29.08.84, 12-13 ч.

Спектры положительных аэрозолей существенно отличаются от спектров для воздуха города. Примеры приведены на рис. 3. Спектр "городского типа" № 1 является редким исключением, которое встречалось только дважды за период наблюдений. Обычно доминирует пик на подвижности около $0,95 \text{ IU}$, никогда не наблюдаемый нами в городе. Спектр № 2 показывает, что наряду с двумя главными компонентами спектра можно иногда выделить еще малоинтенсивные компоненты с подвижностями около $0,5 \text{ IU}$ и $0,7 \text{ IU}$.

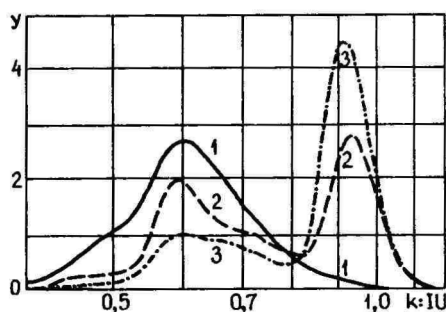


Рис. 3. Экстремальные спектры подвижностей положительных аэрозолей в Ташкузе:
 1) 04.08.84, 20-21 ч, 2) 27.08.84, 21-22 ч,
 3) 31.07.84, 7-8 ч.

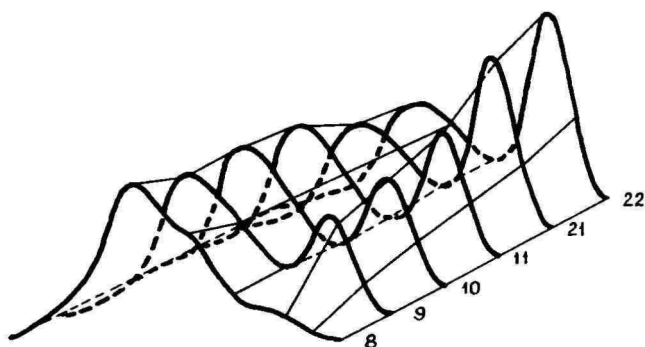


Рис. 4. Динамика спектра подвижностей положительных аэрозолей в Ташкузе 14.07.84.
 Цифры показывают время начала серии измерения.

Спектр подвижностей положительных аэрозолей, который в воздухе города оказывался исключительно стабильным, в природных условиях сильно варьируется во времени. Пример можно найти на рис. 4. Здесь, очевидно, наблюдается постепенное рассеивание загрязнений "городского типа".

Параметризация спектров

Для статистического анализа необходимо представить основную информацию о спектре через ограниченный набор параметров. Конкретный набор выбран по интуитивным соображениям и включает 12 параметров.

Два первых параметра p^- и p^+ — относительные вклады тяжелой фракции в спектре подвижностей легких аэрозолей соответствующих полярностей: $p^\pm = g_\pm(0, k'_\pm)/g_\pm$, где k_- и k'_+ — соответствующие граничные подвижности. Информативность параметра тем выше, чем больше его вариабельность. Поэтому граничные подвижности определялись по критерию максимума стандартного отклонения параметра. Зависимость стандартного отклонения от граничной подвижности изображена на рис. 5. Для дальнейшего выбраны значения $k'_- = 0,94 IU$ и $k'_+ = 0,82 IU$.

Остальные 10 параметров традиционные:

\bar{k}^- и \bar{k}^+ — средние подвижности отрицательных и положительных легких аэрозолей,

k^- и y^- — подвижность и высота главного пика в спектре отрицательных аэрозолей,

k_1^+ , y_1^+ , k_2^+ , y_2^+ — подвижности и высоты левого и правого пиков в спектре положительных аэрозолей,

k_+ и y_+ — подвижность и высота промежуточного минимума в спектре положительных аэрозолей.

Параметры p^+ и \bar{k}^+ или p^- и \bar{k}^- в некоторой степени дублируют друг друга. Какой из параметров p или k заслуживает предпочтения, зависит от простоты непосредственного измерения параметра, что трудно предоценить. Поэтому и при предварительном рассмотрении допускается дублирование.

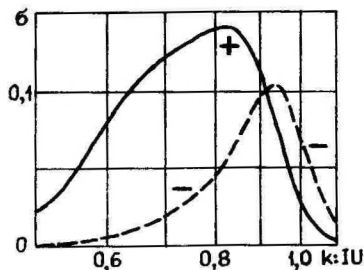


Рис. 5. Зависимость стандартного отклонения параметров p^- и p^+ от граничных подвижностей k_- и k_+ .

Статистическое описание спектров

Количественное описание спектров по параметрической модели дается таблицей I.

Вариативность параметров спектров положительных аэрозонов существенно превышает вариативность параметров спектров отрицательных аэрозонов. Исключением является относительно большая вариативность подвижности главного пика отрицательных аэрозонов. Весьма чувствительным параметром оказался $\rho+$. Преимущество параметра $\rho+$ заключается еще в том, что он мало чувствителен к ошибкам при задании граничной подвижности, чего нельзя сказать о параметре $\rho-$ (см. рис. 5).

Таблица I

Статистические оценки параметров спектров по I2I (для k_+ , k_2^+ , y_+ , y_2^+ по II4) наблюдению. Подвижности выражены в $1U$. В случае нормального распределения и отсутствия корреляции во времени 5- и 95- процентные точки для коэффициента асимметрии равны $-0,36$ и $+0,36$, а для коэффициента эксцесса $-2,5$ и $3,7$

Параметр	Мин. знач.	Средн. знач.	Макс. знач.	Кoeff. вар.	Кoeff. асимм.	Кoeff. эксц.
$\rho-$	0,30	0,51	0,77	0,21	0,34	2,5
$k-$	0,86	0,92	0,96	0,02	-0,24	2,9
k^-	0,87	0,96	1,02	0,03	-1,15	5,4
y^-	2,99	4,52	6,11	0,13	-0,14	3,6
$\rho+$	0,33	0,54	0,96	0,26	1,16	4,5
k_+	0,62	0,78	0,86	0,06	-1,61	6,0
k_1^+	0,59	0,63	0,68	0,03	0,55	2,9
k_2^+	0,77	0,81	0,86	0,02	0,28	3,1
k_2^+	0,87	0,94	0,99	0,02	-0,39	8,5
y_1^+	1,00	1,64	2,78	0,24	0,75	3,3
y_+	?	0,64	0,91	0,15	0,21	2,6
y_2^+	?	3,05	4,57	0,26	-0,29	2,6

Медианные по параметру ρ спектры представлены на рис. 6.

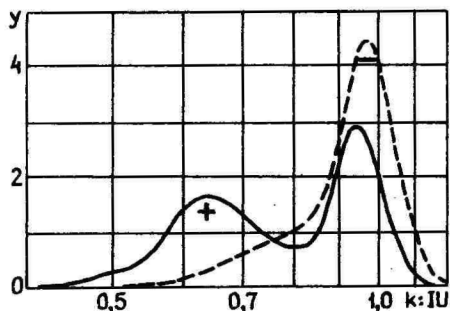


Рис. 6. Медианные по параметру ρ спектры легких аэрозолей в Ташкенте.

Статистические связи

Сила линейной статистической связи между параметрами спектров описана в таблице 2.

Некоторые выводы из анализа статистических связей, учитывающие также результаты анализа нелинейных связей, следующие:

- ✳ Корреляционная матрица подтверждает наличие ожидаемых связей и должна быть рассмотрена, в первую очередь, как количественное описание поведения спектров легких аэрозолей в природном воздухе.
- ✳ Параметры $\rho+$ и $\rho-$ (или $\bar{k}+$ и $\bar{k}-$) представляют почти независимую информацию. Наблюдается только слабая нелинейная зависимость $\bar{k}+$ от $\bar{k}-$ (выборочное корреляционное отношение $-0,59$), что означает дублирование информации в объеме 35%. Корреляционные отношения между $\rho+$ и $\rho-$ не превышают 0,38.
- ✳ Линейная связь между $\rho+$ и $\bar{k}+$ почти функциональная ($r = -99\%$), а $\rho-$ и $\bar{k}-$ дублируют друг друга не в полной мере (перекрывается 92% информации).
- ✳ Среднее значение коэффициентов корреляции между плотностью воздуха, с одной стороны, и приведенными к нормальным условиям результатами измерения подвижностей $\bar{k}-$, k^- , $\bar{k}+$, k_1^+ , k_+ и k_2^+ , с другой стороны, равно $+0,005$. Это указывает на то, что принятое предположение об обратной пропорциональности подвижности и плотности воздуха при приведении шкалы подвижностей к нормальным условиям вполне оправдано.

Таблица 2

Выборочные коэффициенты линейной корреляции (в процентах) между параметрами спектров. Критический уровень при доверительной вероятности 90% равен 15% и при уровне 99% равен 23%

r: %	p-	\bar{k} -	k^-	y^-	p+	\bar{k} +	k_1^+	k_+	k_2^+	y_1^+	y_+	y_2^+
p^-	≡	-96	-82	-84	+9	-18	-29	-56	-45	+11	-10	+18
\bar{k}^-	-96	≡	+69	+77	-19	+26	+14	+40	+32	-21	-1	-4
k^-	-82	+69	≡	+20	-4	+17	+52	+74	+65	-5	+13	-36
y^-	-64	+77	+20	≡	-33	+32	-10	-16	-22	-31	-5	+20
p^+	+9	-19	-4	-33	≡	-99	-2	+43	+2	+97	+47	-77
\bar{k}^+	-18	+26	+17	+32	-99	≡	+14	-29	+10	-96	-42	+69
k_1^+	-29	+14	+52	-10	-2	+14	≡	+48	+43	-5	+34	-33
k_+	-56	+40	+74	-16	+43	-29	+48	≡	+75	+36	+13	-56
k_2^+	-45	+32	+65	-22	+2	+10	+43	+75	≡	-5	-16	-8
y_1^+	+11	-21	-5	-31	+97	-96	-5	+36	-5	≡	+51	-81
y_+	-10	-1	+13	-5	+47	-42	+34	+13	-16	+51	≡	-67
y_2^+	+18	-4	-36	+20	-77	+69	-33	-56	-8	-81	-67	≡

- ⊛ Параметр $p+$ немного зависит от температуры ($r = 71\%$), чего нельзя сказать о параметре $p-$ ($r = 7\%$).
- ⊛ Зависимость параметров спектра от осадков и от относительной влажности обнаружить не удалось. Если такая зависимость существует, то она слабая.
- ⊛ Зависимость условных средних значений параметров $p+$ и $p-$ от направления ветра следующая:

Ветер	$p+$	$p-$
- с юга или запада	0,47	0,52
- с города Пярну	0,55	0,43
- с северо-восточного промышленного района	0,74	0,61

Оценки соответствующих корреляционных отношений равны 0,56 для $p+$ и 0,59 для $p-$. Создается впечатление, что параметр $p+$ допускает интерпретацию, как интегральный индикатор антропогенной загрязненности воздуха, а $p-$ представляет селективную информацию.

Л и т е р а т у р а

1. Смирнов Б.М. Комплексные ионы. М., 1983. - 150 с.
2. Икер Х.Р., Салым Я.Й. Зависимость спектра подвижностей легких аэроионов от их возраста. - Учен. зап. Тарт. ун-та, вып. 588. Тарту, 1981, с. 33-38.
3. Икер Х.Р., Салым Я.Й. Зависимость спектра подвижностей легких аэроионов от химических примесей в воздухе. - Учен. зап. Тарт. ун-та, вып. 631. Тарту, 1982, с. 27-34.
4. Таммет Х.Ф., Хилтус А.О., Салым Я.Й., Юс Э.Д. Спектрометр аэроионов для обнаружения некоторых примесей воздуха. - Учен. зап. Тарт. ун-та, вып. 409. Тарту, 1977, с. 84-88.
5. Мирме А.А. Гранулометр аэрозоля на линии с мини-ЭЕМ "Электроника ДЗ-28". - Учен. зап. Тарт. ун-та, вып. 631. Тарту, 1982, с. III-III.
6. Таммет Х.Ф. Зависимость спектра подвижностей легких аэроионов от микропримесей воздуха. - Учен. зап. Тарт. ун-та, вып. 348. Тарту, 1975, с. 3-15.
7. Бернотас Т.П., Калк Э.Э., Мирме А.А., Рейнарт А.Э., Таммет Х.Ф. Система сбора и обработки данных в спектрометрии аэрозолей и аэроионов. - См. наст. сб., с. 46.

MOBILITY SPECTRA OF ONE-SECOND-AGED
SMALL AIR IONS IN NATURAL AIR

H. Tammet, H. Iher and F. Miller

S u m m a r y

Measurements were carried out at the small village of Tahkuse 27 km north-east of the city of Pärnu (Estonian SSR). The spectrometer /4/ was improved and was used under the control of a microcomputer.

A set of the negative air-ion spectra from one extreme to the other is shown in Fig. 2. In this paper the iodine unit of mobility $1 \text{ IU} \approx 1.8 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ is used. The shape of the negative air-ion spectra in country air is similar to those in city air (Fig. 1). The shape of positive air-ion spectra in country air is completely different from the shape of the spectra in city air. Some examples are given in Fig. 3. The peak with a mobility of 0.94 IU dominates in clean air. We have never observed this peak in city air. Fig. 4 demonstrates the dynamics of the positive air-ion spectrum after short-duration transfer of polluted air.

Median air-ion spectra in country air are shown in Fig. 6. Table 1 presents statistical estimates of the quantitative parameters of spectra and Table 2 contains estimates of the correlation coefficients. The parameters of the spectra are: relative parts p_- and p_+ of the heavy fraction in the spectra (the mobility limit is 0.94 IU for negative and 0.82 IU for positive air ions), the average mobilities \bar{K}_- and \bar{K}_+ , the coordinates k^-, y^- of the peaks in the negative air-ion spectrum, the coordinates k_1^+, y_1^+ , k_2^+, y_2^+ of the peaks and the coordinates k_+, y_+ of the depression between the peaks in the positive air-ion spectrum.

The mobility spectra of positive and negative small air ions are almost independent of each other. The parameter p_+ or \bar{K}_+ behave as an integral indicator of the anthropogenic pollution of the air. The parameters p_- and \bar{K}_- have some selective qualities.

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ СЧЕТЧИКА АЭРОИОНОВ Т-8401

Р.Л. Матисен

Конфликт расчетной надежности счетчиков аэроионов с их реальной эксплуатационной надежностью общеизвестен. Нередко прибор с высокой гарантированной надежностью, например, аспирационный счетчик ионов АСИ-1, оказывается на практике трудноиспользуемым по причине частых и трудноустраняемых эксплуатационных отказов.

Цель настоящей работы – количественное описание реальной эксплуатационной надежности конкретных счетчиков аэроионов, как комплектных приборов. Объектом исследования выбран счетчик ТТ-8401, который является последней моделью наиболее полно изученного семейства счетчиков аэроионов ТТУ. При разработке счетчика приняты меры по обеспечению высокой эксплуатационной надежности, в частности использованы результаты экспериментальных исследований по определению эксплуатационной надежности измерительного конденсатора (ИК) счетчика аэроионов [1, 2].

Испытаниям была подвергнута опытная партия приборов в количестве 7 штук, изготовленных в производственных условиях отдела электроники р/к "Ляэне Калур" по документации, составленной в ТТУ. Испытания проводились в полевых условиях в период летней экспедиции на о. Вильсанди с 23 июля по 12 сентября 1984 года.

Приборы, в зависимости от времени включения в режим работы и неисправностей, выявленных в ходе предварительной проверки и в ходе испытаний, наработали в общей сложности от 500 до 1100 часов каждый. В течение всего периода испытаний счетчики аэроионов работали круглосуточно и выключались только в случае профилактической чистки ИК, отказов ИК, ремонта или при перебоях в подаче электроэнергии. Испытания на надежность являлись не единственной целью. Результаты измерений параметров атмосферного электричества использовались для изучения репрезентативности атмосферно-электрических наблюдений при определении загрязнения воздуха.

Все отказы счетчиков аэроионов регистрировались в аппаратных журналах с указанием времени, характера отказа и режима работы прибора. Счетчики аэроионов работали в режимах измерения полярной проводимости, легких и тяжелых положительных и отрицательных аэроионов. Для получения статистически достоверной информации, не зависящей от индивидуальных особенностей одного или другого прибора, режим каждого из приборов периодически изменялся, придерживаясь заранее установленного графика.

Во время испытаний приборы находились в условиях, близких к лабораторным. В павильоне поддерживалась относительная влажность на уровне 40–50% и температура воздуха 20–25°C. Влажный воздух просасывался только через ИК и воздушные тракты приборов, поэтому воздействию внешней среды подвергались только изоляторы и обкладки ИК. Все отказы счетчика аэроионов можно подразделить на эксплуатационные[§], которыми будем называть те, которые устраняются в процессе стандартного технического обслуживания путем чистки изоляторов, обкладок ИК, продувки пишущих узлов самописцев и технические отказы, устраняемые только путем ремонта.

В таблице I приведены статистические данные о числе и характере отказов, зарегистрированных в ходе испытаний.

Количество эксплуатационных отказов, зарегистрированных в связи с загрязнением изоляторов ИК, было мало и, как и ожидалось, не зависело от режима работы счетчиков аэроионов.

За весь период наблюдений было зарегистрировано девять таких отказов. Все эти отказы были зарегистрированы только у двух приборов из семи. Одной из возможных причин появления отказов может быть недостаточно хорошее качество обработки изоляторов ИК. Следует отметить, что все ИК один-два раза за время наблюдений подвергались профилактической чистке. Время до первой профилактической чистки составляло около 300 часов, повторная профилактика производилась через 240–260 часов. Среднее значение наработки на отказ определяется выражением

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n T_{cp}}{n}, \quad (I)$$

[§] В литературе [3] эксплуатационными отказами часто называют отказы, возникающие вследствие нарушения установленных правил и условий эксплуатации изделия.

Таблица I

Число зарегистрированных отказов, их причины, профилактическое обслуживание аппаратуры

Время работы приборов, час		6542	2010	2266	2266				
№ п/п	Характер отказов	общее число отказов	Распределение отказов по режимам работ						
			$\Phi = 4500 \text{ см}^{-3} \text{ с}^{-1}$ $U = 3,9 \text{ В}$	$\Phi = 450 \text{ см}^{-3} \text{ с}^{-1}$ $U = 24,6 \text{ В}$	$\Phi = 145 \text{ см}^{-3} \text{ с}^{-1}$ $U = 780 \text{ В}$				
I :	2	:	3	:	4	:	5	:	6
I.	Эксплуатационные отказы I рода, из них:	266							
I.1.	Загрязнение изоляторов ИК	9	3		2				4
I.2.	Загрязнение сетки, обкладок ИК	71	II		13				47
I.3.	Зашкаливание по техническим причинам	186	33		39				144
2.	Эксплуатационные отказы II рода, из них:	34							
2.1.	Отказы пишущего узла самописцев	26							
2.2.	Износ щеток электродвигателя	8							
3.	Технические отказы	21							
3.1.	Отказы радиоэлектронной составляющей	12							
3.2.	Механические дефекты	9							
4.	Другие нестандартные ситуации								
4.1.	Зашкаливание по причине быстрого роста ионизации	63	16		24				23
4.2.	Ошибки операторов	17							
4.3.	Корреляция "0" приборов	124							
4.4.	Профилактические чистки приборов	9							

где $T_{\text{ср}}$ – среднее значение наработки на отказ i -го прибора, n – число приборов.

Для изоляторов ИК счетчиков аэроионов это значение в случае двух приборов, у которых наблюдались отказы, составляет 175 часов. Среднее значение по всем приборам составляет более 580 часов.

Частота эксплуатационных отказов, вызванных загрязнением обкладок и сеток ИК, зависит от режима работы счетчика. При максимальном напряжении на внутренней обкладке ИК (при измерении тяжелых ионов) частота отказов была примерно в 4 раза выше, чем при измерении полярной проводимости. При измерении полярной проводимости наработка на отказ составляла 183 часа, при измерении концентраций легких ионов – 174 часа, а при измерении тяжелых ионов – 48 часов. Таким образом, надежность ИК была соответственно $P_1(t) = 0,9945$, $P_2(t) = 0,9943$ и $P_3(t) = 0,9794$. Распределение отказов в течение суток и увеличение числа отказов в вечерние часы (рис. 1) свидетельствует о том, что эти отказы вызываются в основном ворсинками и пылью, которые в течение дня накапливаются в воздухе.

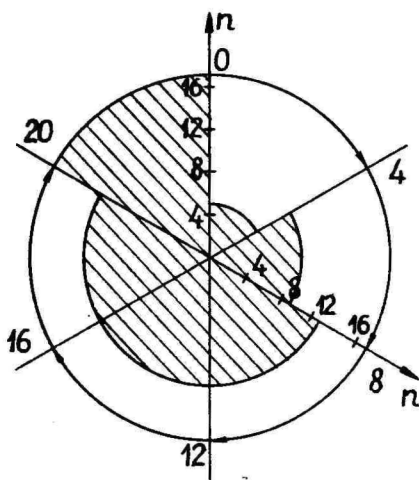


Рис. 1. Распределение отказов, связанных с загрязнением сетки и обкладок ИК в течение суток.

Fig. 1. Distribution of failures related to the contamination of the covers and to the protective network of the measuring condenser during 24 hr.

При длительных измерениях возможно появление случайных импульсных помех из электросети, а также кратковременные возрастания концентрации ионов. Чтобы не допустить выхода сигнала за пределы измерения, необходимо выбрать время сглаживания τ выходного сигнала счетчика достаточно большим. При превышении выходным сигналом предела шкалы на 30–40% срабатывает защита электрометра и режим измерения автоматически выключается, что приводит к потере части информации. Несмотря на то, что τ было выбрано максимальным, прибор время от времени зашкаливало и защита срабатывала. Анализ причин, вызывавших срабатывания защиты, позволяет сгруппировать их в 2 категории:

- 1) самоустраняющиеся отказы измерительного конденсатора;
- 2) срабатывания защиты как сигнализатор наступления отказа какого-либо узла счетчика (в таблицу I не включены).

I категория отказов, судя по их распределению по режимам работы счетчиков, вызывается пылинками и ворсинками, которые в течение некоторого времени находятся между обкладками ИК, а затем выносятся из него потоком воздуха.

II категория отказов представляла собой ряд последовательных учащающихся срабатываний защиты и обычно предшествовала отказу электродвигателя из-за износа щеток или отказу высоковольтного стабилизатора.

Эксплуатационные отказы пишущего узла самописцев из-за засорения канала подачи чернил наблюдались в среднем через 250 часов.

В соответствии с инструкцией по эксплуатации электродвигателя воздухоудувки ДИР-12 щетки подлежат замене через каждые 300 часов работы. С целью определения реального ресурса щеток в лабораторных условиях замена щеток электродвигателя производилась только в случае остановок двигателя или при появлении помех, вызывавших нарушение работоспособности приборов. Износ щеток наступал не ранее, чем через 360 часов работы двигателя, а в среднем через 500 часов. Таким образом, при соблюдении сроков проведения регламентных работ и правил эксплуатации электродвигателя отказов этого типа не будет.

К техническим отказам отнесены отказы радиоэлектронной составляющей и механические дефекты. Механические дефекты (недостаточно надежная фиксация ручек управления на валу переключателей, посторонние шумы, возникавшие при соприкосновении вентилятора с валом переключателя расхода воздуха) не вызывали отказов приборов, однако, часто становились причи-

ной ошибок операторов.

Отказы радиоволновой составляющей можно распределить на 2 группы:

- 1) отказы, связанные с конструктивными недоработками;
- 2) отказы комплектующих изделий и элементов из-за скрытых дефектов и брака при монтаже.

С конструктивными недоработками была связана большая часть отказов высоковольтного стабилизатора. Отсутствие защитной крышки на электродвигателе и лакового покрытия на печатной плате стабилизатора способствовало попаданию угольной пыли от щеток на плату и детали стабилизатора и возникновению утечек и пробоев по поверхности в четырех случаях.

Отказы комплектующих изделий и элементов из-за скрытых дефектов имели место в трех случаях: в двух случаях отказы происходили из-за некачественного монтажа. Три отказа имели место в результате грозы. Вследствие попадания молнии, вероятно в распределительный щит и по питающему кабелю в павильон, были выведены из строя по одному транзистору в трех приборах.

В [4] приведено расчетное значение надежности радиоволновой составляющей счетчика аэроионов, определенное на этапе разработки прибора по средним значениям интенсивности отказов радиокомпонентов $P(t) = 0,99992$. Интенсивность отказов, определенная по окончательной схеме с учетом коэффициентов нагрузок компонентов равна $\lambda = 0,13 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$. При этом $P_{\text{ре}}(t) = 0,9987$, а среднее время наработки на отказ $T_{\text{ср}} = 776$ часов. В реальных условиях эксплуатации получено среднее значение наработки на отказ $T_{\text{ср}} = 545$ часов, а если не учитывать отказы, связанные с выходом из строя элементов в результате грозы, то $T_{\text{ср}} = 727$ часов, т.е. достаточно близко к расчетному.

Кроме того, часть отказов можно отнести к приработанным отказам, так что для периода нормальной эксплуатации элементов среднее значение наработки на отказ будет еще выше.

После начала дождя часто наблюдалось резкое увеличение концентрации заряженных частиц, попадающих в ИК и образовавшихся за счет баллоэлектрического эффекта при дроблении капель дождя о металлическую крышу павильона. Оператор не всегда успевал реагировать на изменение концентрации, прибор зашкаливал и срабатывала защита.

Из-за процессов старения полевого транзистора на входе электрометра и недостаточной термокомпенсации необходима бы-

ла периодическая коррекция "0" приборов (в среднем через каждые 53 часа).

В таблицу 2 сведены данные по средним временам наработки на отказ и указано ориентировочное время, необходимое для устранения отказа.

Таблица 2

Средняя наработка на отказ и время, необходимое для устранения отказов

№ п/п	Отказ или нестандартная ситуация	$T_{\text{ср}}$ (час)	Время устранения (мин)
1	Загрязнение изоляторов	790	30
2	Загрязнение сетки или обкладок	135	10+30 [‡]
3	Замкачивание по техническим причинам	35	1+5 ^{‡‡}
4	Отказы пишущего узла самописцев	250	1
5	Износ щеток	500	30
6	Отказы РЭ	727	120+180
7	Коррекция "0"	53	2
8	Профилактическая чистка	280	40

[‡] Время чистки сетки и обкладок зависит от способа чистки (продувка потоком воздуха или промывка). В случае изменения конструкции крепления сетки, позволяющей снимать ее не разбирая ИК, время устранения отказа может быть снижено вдвое.

^{‡‡} Зависит от времени установления τ .

Выводы

1. Испытания счетчиков аэроионов в полевых условиях позволили получить данные об интенсивностях отказов измерительного конденсатора и радиоэлектронной составляющей. Надежность ИК счетчика аэроионов зависела от режима их работы и была не ниже $P_{\text{ИК}}(t) = 0,9794$, т.е. значительно выше, чем было получено в лабораторных испытаниях на макетах, где было получено значение $P_{\text{ИК}}(t) = 0,95$. Таким образом, меры по повышению надежности ИК оказались достаточно эффективными.

2. Надежность радиоэлектронной составляющей составила $P_{\text{РЭ}}(t) = 0,9987$ и может быть еще увеличена в случае устранения некоторых конструктивных недостатков. Для дальнейшего

повышения надежности необходимо:

- а) установить защитные крышки на электродвигатель;
- б) покрыть поверхность печатных плат кремнийорганическим лаком;
- в) своевременно выполнять регламентные работы по эксплуатации электродвигателя;
- г) улучшить схему термокомпенсации для облегчения подбора полевых транзисторов и уменьшения дрейфа "0";
- д) улучшить исполнение некоторых механических узлов;
- е) изменить конструкцию крепления сетки ИК.

3. Получены статистические данные о самоустраняющихся отказах ИК, которые не были получены при лабораторных экспериментах.

4. Установлена необходимая периодичность проведения профилактических и регламентных работ.

В заключение автор выражает признательность Х.Ф. Таммету за постоянное внимание и руководство работой, а также коллективу сотрудников аэроэлектрической лаборатории, принимавшему участие в разработке и испытаниях счетчика аэроионов.

Л и т е р а т у р а

1. Матизен Р.Л. Экспериментальное исследование надежности измерительного конденсатора счетчика аэроионов. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1982, вып. 63I, с. 64-7I.
2. Матизен Р.Л. О влиянии влажности на электрические свойства изоляторов измерительного конденсатора счетчика аэроионов. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1983, вып. 648, с. 80-87.
3. Никулин С.М. Надежность элементов радиоволновой аппаратуры. - М.: Энергия, 1979. - 80 с.
4. Матизен Р.Л. К вопросу надежности аэроэлектрической аппаратуры. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1984, вып. 669, с. 63-66.

RELIABILITY IN SERVICE OF THE AIR-ION COUNTER UT-8401

R. Matisen

S u m m a r y

The present paper discusses the results of trials carried out under field conditions concerning the reliability in service of an experimental batch of air-ion counters UT-8401 of a novel design. The efficiency of the measures proposed for the raising of the reliability of air-ion counters has been confirmed in practice. Some drawbacks of design have been established and ways of their removal have been indicated for further improvement of the reliability of instruments.

СИСТЕМА СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В СПЕКТРОМЕТРИИ АЭРОЗОЛЕЙ И АЭРОИОНОВ

Т.П. Бернотас, Э.Э. Кольк, А.А. Мирме,
А.Э. Рейнарт, Х.Ф. Ташмет

Введение

Аэрозоли и аэроионы являются трудными для исследования объектами. Электрические сигналы в спектрометрической аппаратуре очень малы (10^{-15} - 10^{-11} А). Наблюдения выполняются в естественных атмосферных условиях, в присутствии всего комплекса происходящих при этом процессов. Спектры и сигналы связаны между собой плохо обусловленной системой линейных уравнений большой размерности и с полуэмпирически определяемыми коэффициентами. Достижение минимально необходимых разрешения и точности измерения возможно только при полном учете всей доступной информации.

Планирование системы

Конкретные условия измерений самые различные. Выделим из них типовые:

- 1) специально оборудованная лаборатория;
- 2) лаборатория без специального оборудования;
- 3) стационарная полевая база;
- 4) мобильная экспедиция.

Система может содержать различные датчики информации (измерительные устройства). В нашем распоряжении имеются: переносный одноканальный сканирующий спектрометр легких аэроионов с разрешением в записи до 50+60 элементов [1], такой же стационарный спектрометр с разрешением в записи до 60+130 элементов [2], 6-канальный спектрометр легких аэроионов, 11-канальный спектрометр аэроионов [3], 26-канальные электрические спектрометры аэрозолей [4]. Непосредственная информационная продуктивность одноканально сканирующего спектрометра составляет 5-15 кбайт в час, а продуктивность 26-канального спектрометра - 10-100 кбайт в час в зависимости от метода измерения. Способность системы справляться с постав-

ленными задачами существенно зависят от используемой ЭМ и ее программного обеспечения. Спектрометрические измерения включают следующие этапы:

- 1) управление датчиком информации и измерение сигналов,
- 2) предварительная обработка результатов,
- 3) проявление (фильтрация) спектра,
- 4) статистическая обработка спектров,
- 5) анализ результатов.

Требования к ЭМ по этапам указаны в табл. I.

Задачи ЭМ на разных этапах существенно различны. Особенно выделяется этап анализа результатов, который обязательно требует возможности диалоговой работы перед графическим дисплеем. Количество новых программ указано в таблице с расчетом на максимальную нагрузку эксплуатации системы. Опыт показывает, что для анализа результатов одного эксперимента составляется 5-30 специальных программ, причем на составление одной программы затрачивается до одного рабочего дня человеческих ресурсов и до одного часа машинного времени при условии достаточной квалификации исследователя и наличии проблемно-ориентированного пакета готовых подпрограмм.

Оценка быстродействия на этапе 3 дана с расчетом на использование линейных методов фильтрации. Нелинейные методы требуют повышения быстродействия дополнительно на один порядок.

На всех этапах требуется возможность записи промежуточных данных и программ на внешний носитель информации в объеме 10-100 кбайт за рабочий день.

Требования к ЭМ на первых и последних этапах противоречивы. Используемая на первых этапах ЭМ должна быть малогабаритной, дешевой и надежной. Максимально-удовлетворительная для последнего этапа ЭМ не отвечает этим требованиям. Поэтому принято решение построить систему на основе ЭМ двух типов, один из которых ориентирован на два первые этапа, а второй - на два последние. Желательно, чтобы третий этап мог бы быть решен с помощью ЭМ или первого, или второго типа в зависимости от конкретной задачи.

Реализация системы

В Аврорэлектрической лаборатории ТГУ система спектрометрии аэрозолей и аэроионов создана на базе ЭМ "Электроника ДЗ-2Р" и "Искра-226". Конкретные типы ЭМ выбраны по соот-

Таблица I

Основные требования к ЭЕМ

Минимально требуемое	Этап I измерение	Этап 2 предобработка	Этап 3 проявление	Этап 4 статистика	Этап 5 анализ
Быстродействие (вычислительные операции с плавающей запятой)	$10^2 - 10^3$ лог.оп./с	$10^2 - 10^3$ лог.оп./с $10^0 - 10^2$ выч.оп./с	$10^2 - 10^3$ выч.оп./с	$10^2 - 10^4$ выч.оп./с	$10^3 - 10^4$ выч.оп./с
Объем ОЗУ	I кбайт	I кбайт	32 кбайт	64 кбайт	64 кбайт
Индикация	-	цифровая	цифровая (графическая)	-	алфавитно-цифровая и графическая
Протокол	-	-	алфавитно-цифровой	алфавитно-цифровой	алфавитно-цифровой и графический
Количество новых программ в год	I - 3	I - 3	I - 5	3 - 10	100 - 1000
Отечественная ЭЕМ	КИ-20 Электроника: ДЗ-28 БК-0010	КИ-20 Электроника: ДЗ-28 БК-0010	Искра-226 ДВК-2 (с ограничениями Электроника ДЗ-28)	Искра-226 ДВК-2 СМ-4	Искра-226

ветственно к изложенным выше требованиям и на основе доступности. Распределение задач ЭВМ в системе изображено на рис. 1.

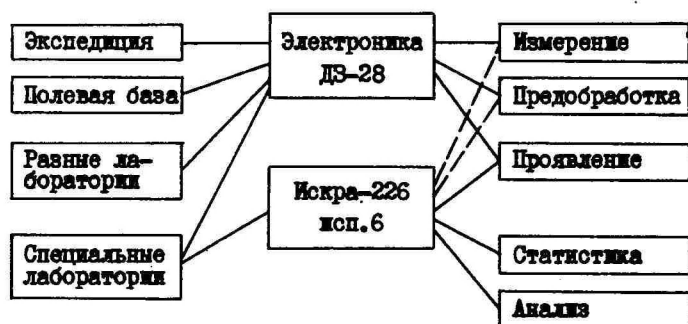


Рис. 1. Распределение задач ЭВМ.

Редко используемые связи указаны прерывистой линией.

Система содержит 4 ЭВМ типа "Электроника ДЗ-28" и 1 ЭВМ типа "Искра-226". ДЗ-28 через специально построенный [5] контроллер управляет со спектрометром (измерительным устройством), проводит измерения и часть обработки данных.

На печать может быть выведен краткий протокол измерения, а предварительно обработанные данные вместе с другими необходимыми сведениями записываются на магнитную кассету. В зависимости от программы ЭВМ может быть использована без печатающего устройства типа "CONSUL".

В дальнейшем информация с кассет переписывается на магнитный диск ЭВМ "Искра". Для этого любая свободная от измерений в данный момент ДЗ-28 через специальный блок связи и шину ИРПР подключается к ЭВМ "Искра", вводит данные с кассеты в свою ЗУ и осуществляет передачу. Блок связи позволяет передавать информацию и в обратном направлении, например, передавать в ДЗ-28 составленные с помощью ЭВМ "Искра" аппаратные матрицы спектрометров.

Дальнейшая обработка и анализ результатов проводятся средствами ЭВМ "Искра". Таким образом, система распадается на две части. Первая часть с ЭВМ ДЗ-28 имеет минимальное количество дополнительной аппаратуры, является достаточно малогабаритной и вполне может применяться вне лабораторий. Вторая часть находится стационарно в лаборатории и при необходимости может обслуживать несколько комплектов ДЗ-28. Сис-

тема достаточно гибка для реализации разных нестандартных способов сбора и обработки информации. Например, при условии непосредственной связи между ЭВМ можно реализовать измерения так, что в то время как ДЗ-28 проводит следующее измерение, "Искра" обрабатывает предыдущее.

При проведении экспериментов в специальной лаборатории все этапы могут быть реализованы на базе только ЭВМ "Искра". Поскольку ЭВМ "Электроника ДЗ-28" способна реализовать третий этап, то она может быть использована достаточно автономно, что существенно при работе в стационарной полевой базе.

Эксплуатационные свойства системы существенно зависят от программного обеспечения.

При создании системы как основная цель рассматривалась не разработка конкретных программ, а облегчение их создания. Поэтому главное внимание уделялось обеспечению простоты и гибкости программирования. Это позволяет сохранить гибкость системы, поддерживаемой аппаратурой. Основой программирования обеих машин является интерпретирующая реализация диалогового языка BASIC. Расширенный BASIC ЭВМ "Искра" практически не ограничивает программ обмена информацией с внешними устройствами. Это нельзя сказать о реализации языка для ЭВМ ДЗ-28. Проблема решена путем создания пакета проблемно-ориентированных внешних подпрограмм, которые могут быть вызваны интерпретатором BASIC ЭВМ ДЗ-28. Подпрограммы написаны в машинном коде и гарантируют полное использование ресурсов аппаратуры. В основном они обеспечивают обмен информацией между ДЗ-28 и другими устройствами. Другое применение внешних подпрограмм — быстрое выполнение векторных и матричных операций. BASIC ЭВМ ДЗ-28 не имеет для этого специальных средств. Программирование векторных операций на языке BASIC позволяет реализовать около 10% быстродействия этой ЭВМ. В результате создания пакета математических подпрограмм скорость вычислений значительно возросла, что открыло возможность проявления и фильтрации спектров непосредственно на ЭВМ "Электроника ДЗ-28". Измерение и обработка данных, включая проявление спектра в случае 26-канального электрического спектрометра аэрозолей, требует около двух минут, что во многих случаях вполне приемлемо.

Систему можно использовать не только для проведения спектрометрических измерений, но и для других целей, например, для обработки микрофотоснимков аэрозольных частиц на полуавтоматическом измерителе координат [6].

Принцип использования системы

Рассмотрим работу системы на примере проведения эксперимента с ультрафиолетовым излучением [7]. Задачей системы была непрерывная регистрация аэрозольного состояния в измерительном боксе, который находился в удалении от специализированной лаборатории. Датчик (измерительный блок многоканального электрического спектрометра аэрозолей [4]) помещался в бокс. Рядом с боксом были расположены контроллер и ЭМ "Электроника ДЗ-28" в комплекте с устройствами ввода и вывода.

Измерения проводились непрерывно с пятиминутным циклом. В начале каждого цикла в течение примерно двух минут проводилось 20 измерительных циклов с шагом 5 с во времени. В каждом цикле опрашивались все 26 каналов, оценивались их состояния и скорректированные каналные сигналы накапливались в буфере. После последнего измерения вычислялись нормированные каналные сигналы и их дисперсия. Такая процедура реализует алгоритм [8]. На этом предварительная обработка заканчивалась. Время измерения, каналные сигналы и их дисперсии записывались на магнитную ленту. Параллельно измерениям ЭМ "Электроника ДЗ-28" осуществляла также проявление спектра по алгоритму метода наименьших квадратов Гаусса-Маркова [9]. При этом на основе измеренных 26-канальных сигналов и их дисперсий и хранимой в ОЗУ аппаратной матрицы вычислялись значения спектральной функции в 13 узлах. Далее определялся спектр аэрозоля в виде численных концентраций в 12 фракциях. Полученные значения печатались в протокол вместе со значением времени измерения. Использование внешних подпрограмм позволяло реализовать эти вычисления за 3, 5 минут.

После окончания эксперимента кассета с магнитной лентой была перенесена в специализированную лабораторию и информация переписывалась на диск ЭМ "Искра". На ЭМ "Искра" было осуществлено повторное проявление спектров. С использованием модифицированной аппаратной матрицы это дало возможность оценки методических ошибок измерения, связанных с несовершенством аппаратной матрицы. В стадии анализа вычислялись различные характеристики спектров аэрозолей в зависимости от времени. Анализ завершался оформлением результатов эксперимента (пример см. рис. 2).

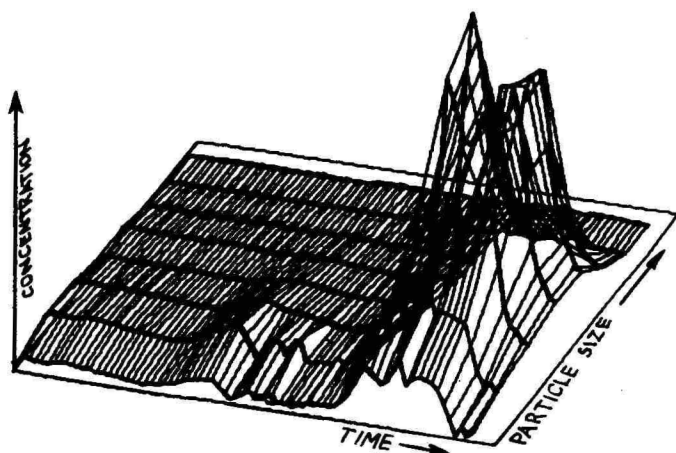


Рис. 2. Пример оформления результатов эксперимента
(Изменение спектра аэрозоля во времени).
Программу составил И.А. Пейль.

Общая продолжительность эксперимента составила 380 минут. При этом были получены 62 спектра. Из-за технических дефектов потеряно 14 спектров.

Л и т е р а т у р а

1. Таммет Х.Ф., Уялпус А.О., Салым Я.И., Дтс Э.Д. Спектрометр аэроионов для обнаружения некоторых примесей воздуха. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1977, вып. 409, с. 84-88.
2. Игер Х.Р., Салым Я.И. Зависимость спектра подвижностей легких аэроионов от их возраста. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1981, вып. 588, с. 33-38.
3. Салым Я.И., Рейнарт М.А. Измерение спектра подвижности аэроионов в широком диапазоне. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1983, вып. 648, с. 41-45.
4. Мирме А.А., Тамм Э.И., Таммет Х.Ф. Электрогранулометр аэрозольных частиц с широким пределом измерения. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1981, вып. 588, с. 84-92.

5. Мирме А.А. Гранулометр аэрозоля на линии с ЭИМ "Электроника ДЗ-28". - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1981, вып. 631, с. III-II8.
6. Мирме А.А., Таммет Х.Ф., Флшер М.М., Арольд М.У., Тамм Э.И. Полуавтоматический координатомер. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1979, вып. 479, с. 132-138.
7. Приймак Р.Р., Кикас В.Э. Об образовании субмикронных частиц при ультрафиолетовом облучении воздуха. См. наст. сб., с. 94-101.
8. Мирме А.А. Об оптимизации измерений электрическим спектрометром аэрозолей. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1983, вып. 648, с. 59-72.
9. Таммет Х.Ф., Мирме А.А., Тамм Э.И. К проблеме электрического анализа аэрозолей. - Труды/ИЭМ, 1983, вып. 30 (104), с. 122-136.

DATA COLLECTION AND PROCESSING SYSTEM IN THE SPECTRAL
MEASUREMENTS OF AEROSOLS AND AIR IONS

T. Bernotas, E. Kolk, A. Mirme, A. Reinart and H. Tammet

S u m m a r y

The paper examines the demands which are presented to the aerosol and air-ion spectral measuring systems. The variety of tasks to be solved by a computer in the stages of data collection and of an analysis of the spectra (Table 1) makes it expedient to use the two-computer system.

The system of the Air Electricity Laboratory has been built up on the basis of the microcomputers "Electronica D3-28" and "Iskra 226". The former carries out data collection and preliminary processing, the latter carries on processing and completes computations with an analysis of the results. The computers are programmed in BASIC. The limits of the BASIC for "Electronica D3-28" have been overcome by the writing of information exchange control and vector-matrix computation subroutines in processor codes.

By way of an example the description of the measurement of aerosol size distributions is presented.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ГРАДУИРОВКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СПЕКТРОМЕТРА АЭРОЗОЛЕЙ МЕТОДОМ ЭТАЛОННЫХ АЭРОЗОЛЕЙ

В.Э. Ижас, А.А. Мирме, И.А. Пейль, Э.И. Тамм, Х.Ф. Таммет

1. Принципы градуирования спектрометра

Распределение концентрации (например, численной или массовой) частиц по их размеру, или спектр частиц на практике описывается некоторым набором чисел $\varphi = \{ \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n \}$. Обычно шкала размеров частиц некоторым образом делится на n поддиапазонов и φ_i представляет концентрацию i -той фракции. В общем случае числа φ_i рассматриваются как координаты линейного разложения спектра частиц $f(r)$ по некоторому набору элементарных спектров (базовых функций) $f^i(r)$:

$$f(r) = \sum_{i=1}^n \varphi_i f^i(r). \quad (I)$$

Здесь r — радиус частиц, которые по предположению — сферические. В зависимости от конкретного вида базовых функций индекс i нумерует или фракции, или узлы, разделяющие поддиапазоны радиуса.

Электрический спектрометр аэрозоля непосредственно выдает информацию о спектре в виде некоторого другого набора чисел y_1, y_2, \dots, y_m , которые называются канальными сигналами и образуют в совокупности m -мерную запись спектрометра. Каналы спектрометра могут быть разделены или во времени, или в пространстве; канальные сигналы измеряются, соответственно, или последовательно, или одновременно. Общая линейная математическая модель процесса измерения учитывает, что в любой измерительный канал спектрометра могут попасть частицы различных фракций спектра, и запись зависит от спектра, согласно линейному аппаратному уравнению:

$$y_j = \sum_{i=1}^n H_{ji} \varphi_i, \quad (2)$$

или в матричной форме запись

$$y = H \varphi. \quad (2a)$$

Коэффициенты H_{ji} образуют аппаратную матрицу размера $m \times n$. Спектр вычисляется путем решения аппаратного уравнения (2) по методу наименьших квадратов. При этом матрица H как постоянная спектрометра должна быть известна. Определение этой матрицы называется градуированием спектрометра.

Предполагая, что спектрометр удовлетворяет требованию осаждения частиц любой фракции только в одном измерительном канале, авторы известного прибора TSI-3030 [1] предполагают, что аппаратное уравнение (2) сводится к простому масштабному преобразованию

$$\varphi_i = a_i y_i, \quad (3)$$

а градуировка — к определению коэффициентов пропорциональности a_i между канальными сигналами и фракционными концентрациями частиц (матрица H диагональна, $m = n$). Спектрометр с широким пределом измерения (от 5 нм до 500 нм по радиусу частиц), описанный в статье [2], такому жесткому требованию явно не удовлетворяет. Измерительный блок спектрометра состоит из двух идентичных цилиндрических второго порядка дифференциальных измерительных конденсаторов с секционированной собирающей обкладкой, с различными зарядниками частиц на их входах: диффузионным (Д) и ударным (Е) (со слабым и сильным полем в зоне зарядки, соответственно). В Д-конденсаторе — I4, в Е-конденсаторе — I2 рабочих секций; сигналы всех 26-и каналов измеряются одновременно. Д-конденсатор предназначен для измерения мелких частиц ($5 \text{ нм} < r < 250 \text{ нм}$), Е-конденсатор — крупных ($180 \text{ нм} < r < 5000 \text{ нм}$), но вследствие особенностей процесса ударной зарядки [2] в каналы Е-конденсатора попадут и мелкие частицы. Для повышения чувствительности отношение расходов аэрозоля и чистого воздуха выбрано сравнительно большим — 1:3. Для градуировки такого прибора можно предложить различные способы.

1. При теоретическом или абсолютном способе градуирования элементы H_{ji} вычисляются теоретически, используя знания о процессах зарядки и осаждения частиц в спектрометре и измеренные значения геометрических и режимных параметров прибора. Общая схема теоретического градуирования предложена в работе [3]. Все параметры спектрометра, особенно зарядников,

не могут быть измерены с достаточной точностью, поэтому в теоретической модели неизбежно остаются некоторые свободные параметры, которые надо определить экспериментально.

2. Матрицу H можно вычислить по результатам микроскопического измерения размеров осажденных на электродах измерительного конденсатора спектрометра твердых частиц. Теория метода изложена в статье [4]. Здесь необходимо, кроме анализа осадка, определять вероятность прохода частиц различных размеров через входные устройства спектрометра.

3. Градуирование спектрометра по аэрозолям с известными параметрами спектра частиц (эталонным аэрозолям) оказывается простейшим методом, если имеется комплект эталонных аэрозолей, спектры которых строго пропорциональны изолированным элементарным спектрам разложения (I). Тогда элемент аппаратной матрицы H_{ji} непосредственно измеряется как приведенный к единичной концентрации (численной или массовой) частиц сигнал j -го канала в случае аэрозоля с i -тым изолированным элементарным спектром поданного на вход спектрометра. Указанный набор эталонных аэрозолей трудно реализуем. Поэтому на практике используют квази-монодисперсные аэрозоли, спектр которых приближенно можно считать δ -функцией (дискретной линией). Приведенная к единичной массовой концентрации запись y спектрометра при аэрозоле с δ -спектром на входе называется аппаратным вектором h :

$$h_j = \frac{y_j}{N r^3} \quad (4)$$

Здесь N - численная концентрация частиц радиуса r на входе спектрометра. Измерив ряд аппаратных векторов, их аппроксимируют подходящей непрерывной функцией

$$h = h [j, a_1(r), a_2(r), \dots], \quad (5)$$

коэффициенты a_k которой зависят от радиуса частиц. Элементы аппаратной матрицы теперь вычисляются по формуле [5]:

$$H_{ji} = \int h(j, r) f^i(r) dr \quad (6)$$

Интегрировать необходимо через всю область определения элементарного спектра $f^i(r)$.

4. Наиболее достоверные результаты обеспечит комплекс-

нее градуирование спектрометра. При этом объединяют все оценки матрицы H , полученные тремя описанными выше методами.

Практические результаты пока получены только методом эталонных аэрозолей.

2. Методика эксперимента

2.1. Общая схема

На рис. 1 изображена блок-схема системы экспериментальных установок, использованной при градуировке спектрометра методом эталонных аэрозолей.

Квазик-монодисперсные аэрозоли, в основном, получали электрическим сепарированием первичных конденсационных аэрозолей, генерируемых термоконденсационными генераторами. Численную концентрацию частиц аэрозоля, поступающего из сепаратора в смеситель перед спектрометром, измеряли при помощи экранированного фильтра и электрометра.

Ниже рассматриваются отдельные блоки общей блок-схемы (рис. 1).

2.2. Генераторы аэрозолей

Для успешного электрического сепарирования требуются аэрозоли с не очень широким спектром частиц (геометрическое стандартное отклонение $\sigma_g \leq 1,3$) [6]. Это надо учитывать при выборе генераторов аэрозоля.

Были использованы аэрозоли из водистого серебра (AgI), поваренной соли ($NaCl$), диоксида-фталата (ДФ) и спор грибов (дождевика).

Аэрозоль AgI получали в одноступенчатом термоконденсационном генераторе (рис. 2), в котором горячая смесь паров AgI и воздуха проходит сопле и перемешивается с чистым холодным воздухом. При охлаждении происходит быстрая спонтанная конденсация паров AgI . При рабочих температурах пара от $400^\circ C$ до $700^\circ C$ (измеряется термопарой) удается получить сравнительно монодисперсный аэрозоль ($\sigma_g < 1,2$) в пределах среднего радиуса частиц \bar{r} от 5 нм до 75 нм.

Аэрозоль $NaCl$ получали в простом одноступенчатом генераторе, в котором нагретый пар $NaCl$ в зоне охлаждения конденсируется на ядрах конденсации (частицы AgI). При температурах пара от $450^\circ C$ до $700^\circ C$ получались аэрозоли с $\sigma_g < 1,3$ в пределах \bar{r} от 20 нм до 500 нм.

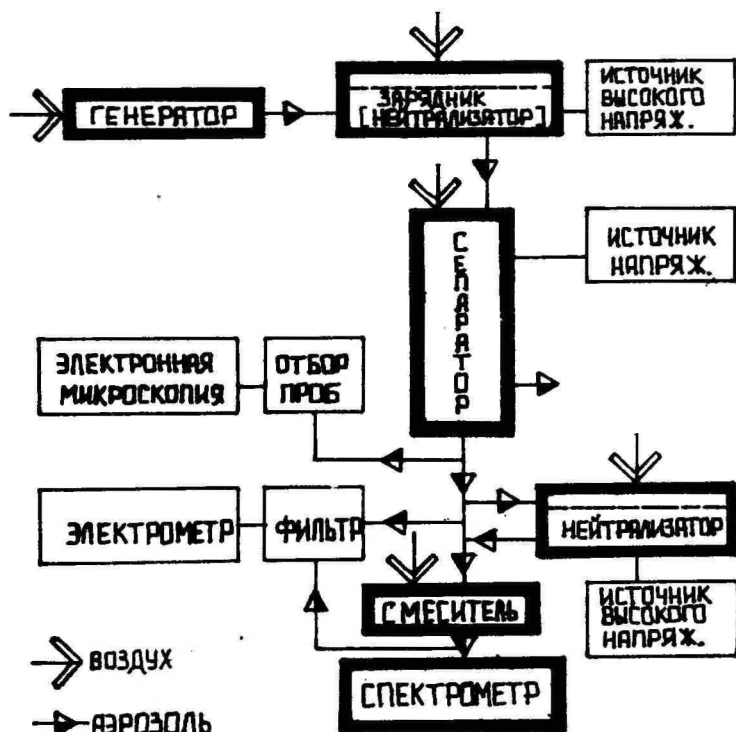


Рис. 1. Блок-схема системы для получения эталонных аэрозолей.

Fig. 1. Flow chart of the test aerosol generation system.

При более высоких температурах пара, а также в течение некоторого времени после добавления в генераторы новой порции испаряющегося вещества (AgI или $NaCl$) в обоих генераторах получаются и более крупные частицы, однако электронно-микроскопический анализ проб этих аэрозолей показывает, что это — сильно скоагулированные формирования, далеки от шарообразной формы. В указанных выше пределах среднего радиуса частицы AgI близки к шарообразным, а частицы $NaCl$ — кубичек.

Аэрозоли с более крупными частицами ($\bar{r} \lesssim 1100$ нм, $\sigma_g \lesssim$

$\leq 1,15$) получали в генераторе Рапапорта-Вайнштека [7] из диоксида талата. Средний радиус частиц выходящего из генератора аэрозоля проверяли тиндаллометром "Сова" [8]. Разбавлением ДОФ этиловым спиртом удалось нижнюю границу предела среднего радиуса генерируемого аэрозоля довести до 25 нм.

Технические возможности ограничивают сверху предел средних радиусов частиц аэрозоля, получаемого электрическим сепарированием, до ~ 1 мкм. Генераторы более крупных частиц должны обеспечивать необходимую при градуировке спектрометра монодисперсность аэрозоля ($\sigma_g \leq 1,1$).

Аэрозоль спор дождевика получали в расширителе порошков, изображенном на рис. 3. Получаемый из мембранного компрессора пульсирующий поток воздуха встряхивает порошок спор через сопло 1, захватывает его, разрушает агрегаты, и образовавшийся аэрозоль выходит через сопло 2. Споры приблизительно шарообразны, аэрозоль монодисперсен ($\sigma_g \leq 1,08$), средний радиус спор — от 1,4 мкм до 2,0 мкм (зависит от конкретного экземпляра гриба).

Приведенные выше данные о ширине спектра частиц были получены посредством электронно-микроскопического анализа. Пробы малых частиц ($\bar{r} \leq 50$ нм) отбирались в терморазделителе, пробы больших твердых — на ядерных фильтрах. Жидкие частицы диоксида талата микроскопическому анализу не подвергались; данные о ширине спектра взяты из работы [9].

Проблема генерирования аэрозолей со средним радиусом частиц $\bar{r} > 2$ мкм у нас пока не решена. Ведутся работы над генератором с вибрирующим капилляром.

2.3. Зарядка (нейтрализация) аэрозоля до сепарирования

Для электрического сепарирования желательнее сообщить всем частицам аэрозоля одинаковые заряды, что невозможно. На практике обычно применяется равновесная биполярная зарядка; узкую фракцию по размеру выделяют из частиц, несущих один элементарный заряд определенного знака. Устройство, где аэрозоль приобретает равновесное распределение заряда, называется зарядником или нейтрализатором (в случае предварительно униполярно заряженного аэрозоля).

В данной работе, по примеру статьи [10], применялся зарядник со струйным источником ионов. Воздух с большей скоростью протекает вокруг коронирующего острия, на которое подано переменное напряжение, захватывает ионы и, истекая турбу-

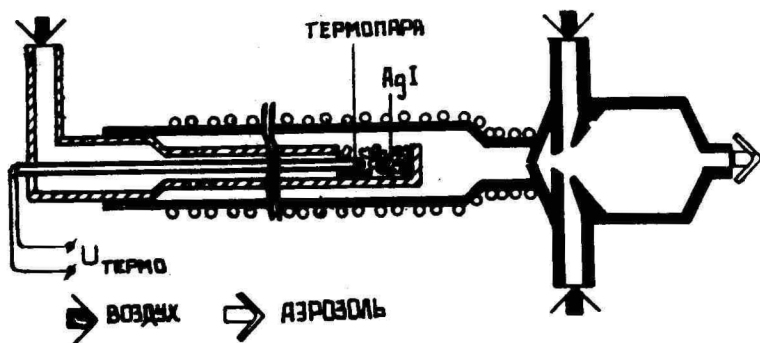


Рис. 2. Генератор аэрозоля

Fig. 2. Argentum iodide aerosol generator.

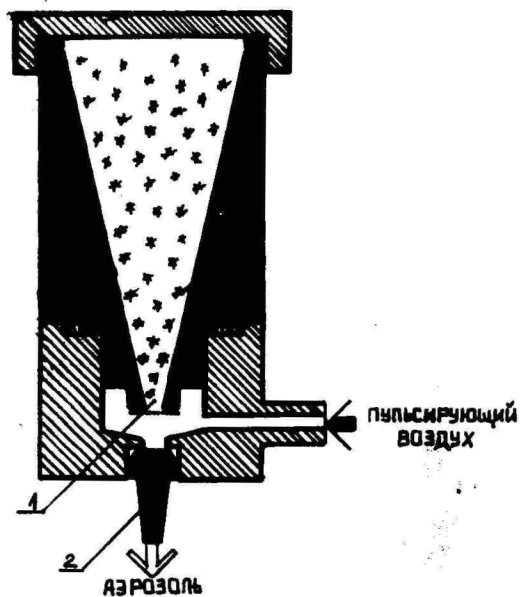


Рис. 3. Распылитель порошков (генератор аэрозоля спор грибов).

Fig. 3. Powder atomizer (fungal spore aerosol generator).

лентной струей сквозь сопло, смешивается с аэрозолем, подаваемым через щель с кольцеобразным сечением, соосной с соплом. Смешивание происходит в смесительной камере объемом 2 л. Произведение концентрации пар ионов на время пребывания частиц в заряднике $n_0 t > 10^6 \text{ с} \cdot \text{см}^{-3}$; в аэрозоле устанавливается равновесное распределение частиц по заряду, близкое к больцмановскому.

2.4. Электрическое сепарирование частиц

Принцип работы и теория электрического сепаратора частиц подробно описаны в статье [6]. Применяемый нами сепаратор также описан в литературе [II], он представляет собой цилиндрический аспирационный конденсатор. Аэрозоль и чистый воздух входят отдельными потоками (расходы Φ_2 и Φ_1) через кольцевые щели в одном конце конденсатора, в другом конце во внутренней обкладке имеется узкая выходная щель. В электрическом поле конденсатора заряженные частицы одного знака дрейфуют в направлении внутреннего электрода. Часть из них, имея электрическую подвижность в некотором узком интервале ($k, k + \Delta k$), попадает в выходящий через выходную щель поток воздуха (расход Φ_3). При условии равенства зарядов эти частицы оказываются в узком интервале и по размеру. Средняя электрическая подвижность \bar{k} , а значит и средний радиус \bar{r} выходящих частиц определяются емкостью ($45I \pm 5 \text{ пФ}$) и выбором значений расчетных параметров конденсатора: сепарирующего напряжения U и расходов Φ_1 , Φ_2 и Φ_3 . В наших экспериментах было зафиксировано $\Phi_2 = \Phi_3 = 28 \text{ см}^3 \text{ с}^{-1}$ и $\Phi_1 = 10 \Phi_2$. Изменением U от 5 В до 10 кВ достигается выбор \bar{r} в пределах от 5 нм до 1000 нм. В идеализированных условиях работы при $\Phi_2 : \Phi_1 = 1:10$ модуль спектра размеров отсепарированного аэрозоля не превышает 5% от \bar{r} . Качество аэрозоля ухудшают тепловая диффузия, малая остаточная турбулентность потоков, электрический ветер, возникающий при больших концентрациях частиц и, что особенно важно, неправильный выбор режима сепарирования. Выбором режима обеспечивается в отсепарированном аэрозоле минимальное количество многократно заряженных частиц, радиус которых (при равной электрической подвижности) существенно отличается от \bar{r} . Для правильного выбора режима сепарирования необходимо знать свойства (средний радиус и σ_g) входного аэрозоля, которые можно измерить при помощи того же сепаратора [II].

Электрическое сепарирование приводит к существенному (до 700-кратному) убыванию концентрации частиц, т.к. неподходящие на выход однократно заряженные частицы определенного знака заряда составляют малую часть всех частиц аэрозоля, а сепаратор в свою очередь выбирает из них небольшую часть. Это причиняет затруднения при градуировке спектрометра в области самых мелких частиц (малые сигналы электрометров спектрометра). Поэтому при $\bar{r} < 10$ нм, когда вероятность двукратного заряда на частице мала, перед сепаратором была применена униполярная зарядка. Аэрозоль ДОФ сепарировали без предварительной зарядки, т.к. оказалось [II], что генератор Рапапорта-Вайнштейна выдает аэрозоль с более узким распределением частиц по заряду, чем бельмановское.

2.5. Определение концентрации частиц отсепарированного аэрозоля

В случае правильного выбора режима сепаратора печи все частицы отсепарированного аэрозоля носят один элементарный заряд e . Протягивая аэрозоль через изолированный и экранированный фильтр и измерив электрометром ток I , истекающий с фильтра, определяют численную концентрацию частиц:

$$N = \frac{I}{e \Phi} \quad (7)$$

Здесь Φ — расход аэрозоля через фильтр.

В системе градуирования предусмотрена дополнительная возможность проверки концентрации частиц непосредственно у входов спектрометра. В смесителе (объем 40 л) перед спектрометром аэрозоль из сепаратора (расход $28 \text{ см}^3 \text{ с}^{-1}$) перемешивается с чистым воздухом, доводя расход до требуемого спектрометром ($800 \text{ см}^3 \text{ с}^{-1}$). Имеется возможность протягивать аэрозоль через фильтр непосредственно от входов спектрометра, проверив, таким образом, отсутствие потерь в смесителе и равенство концентраций частиц у входов в Е- и Д-конденсаторы.

Концентрацию спор дождевика определяли лазерным фотоэлектрическим счетчиком аэрозольных частиц типа П КОГ -0,2-001.

2.6. Дополнительная нейтрализация частиц

В случае самых мелких частиц ($r \leq 20$ нм) средний заряд их в зарядниках спектрометра оказывается равным или меньше

1е. Тогда при градуировке недопустимо пользоваться заряженными частицами, выходящими из сепаратора. Такой аэрозоль перед входом в смеситель нейтрализуется идентичным описанному выше нейтрализатором. При этом остаются неучтенными потери в этом нейтрализаторе.

2.7. Измерение аппаратных векторов

Были измерены аппаратные векторы для следующих радиусов частиц (в нанометрах): 5,8; 7,7; 10,3; 13,5; 18,3; 24,4; 32,5; 43; 57; 77; 103; 135; 183; 244; 325; 430; 575; 770; 1030; 1450. Приведенный ряд радиусов частиц был выбран как набор центров расчетных каналов спектрометра, он представляет геометрический ряд с множителем $\sqrt{10}$. Такой выбор необязателен; последняя точка выступает из ряда, она задана размером существующих частиц.

Спектрометр при градуировке работал на линии с ЭИМ "Электроника ДЗ-28". Применялась следующая программа измерения: 5 отсчетов в обратном режиме зарядки (регистрация нуля электрометров), 10 отсчетов в прямом режиме (измерение сигнала), 5 отсчетов в обратном режиме. Все отсчеты корректировалось, учитывая инертность и чувствительность электрометров; сигналы и нулевые отсчеты усредняли, отнимали средний нулевой отсчет электрометров от среднего сигнала, вычисляли среднеквадратическую ошибку (для всех 26 каналов спектрометра). На измерение и описанные расчеты (предварительную обработку данных) требуется 115 с, на распечатку полученной 26-компонентной записи спектрометра вместе с оценками ошибок на ПМ "Консул" - 30 с.

Итого было проведено 73 измерения аппаратных векторов при указанных выше размерах частиц. Непокрытым пока остается предел радиусов от 1500 до 5000 нм.

3. Обработка градуировочных данных

Из-за различия свойств процессов зарядки в Е- и Д-зарядниках зависимость компонент аппаратного вектора (4) от номера канала j , а также зависимость коэффициентов C_K формулы (5) от радиуса частиц существенно отличается для каналов Д- и Е-конденсаторов. Поэтому обработка данных была проведена отдельно для каналов Д-конденсатора ($j = 1...14$) и Е-конденсатора ($j = 15...26$).

Большинство аппаратных векторов в области Д-каналов хо-

рошо аппроксимируется функцией, подобной гауссовой:

$$h(j) = P \exp \left[-\frac{(j-M)^2}{2S^2} - B(j-M)^3 - D(j-M)^4 \right]. \quad (8)$$

Здесь M — номер канала, соответствующего максимуму $h(j)$, P — значение функции $h(j)$ при $j = M$, S — характеристика ширины функции $h(j)$ (приближенно равна среднеквадратическому отклонению), B и D — параметры, совместно характеризующие асимметрию и эксцесс функции $h(j)$.

Выражение (8) нелинейно относительно коэффициентов, и коэффициенты нельзя определить методами линейной регрессии. Поэтому аппаратные векторы сперва аппроксимировались полиномом четвертой степени в логарифмической шкале:

$$\ln h(j) = C_0 + C_1 j + C_2 j^2 + C_3 j^3 + C_4 j^4, \quad (9)$$

который оказывается линейным относительно коэффициентов C_k . Эти коэффициенты вычислялись по значениям h_j в 14-ти D -каналах спектрометра методом линейной регрессии для всех измеренных аппаратных векторов.

Переход от C_k к коэффициентам формулы (8) осуществляется через решения кубического уравнения, т.е. неоднозначно. В случае D -каналов из решений этого уравнения почти всегда только одно оказалось физически обоснованным. Определенные таким образом коэффициенты формулы (8) зависят от радиуса частиц. Для всех пяти коэффициентов методом линейной регрессии были найдены эмпирические формулы, аппроксимирующие эту зависимость. На рис. 4 для примера приведены график и эмпирическая формула функции $M = M(r)$. Подъем функции при $r > 500$ нм объясняется действием поля объемного заряда в D -заряднике и показывает, что спектрометр с одним только D -зарядником может в запыленном воздухе дать существенные ошибки при измерении частиц с радиусом порядка 100 нм. Параметр ширины S увеличивается с ростом r , что объясняется увеличением ширины спектра подвижности монодисперсных частиц, прошедших зарядник, с увеличением r и увеличением степени перекрытия аппаратных функций соседних D -каналов в шкале подвижности частиц с ростом номера канала. Увеличение S ухудшает разрешающую способность спектрометра.

На рис. 5 для примера приведены графики трех экспериментальных аппаратных векторов и приближающей функции (8), ко-

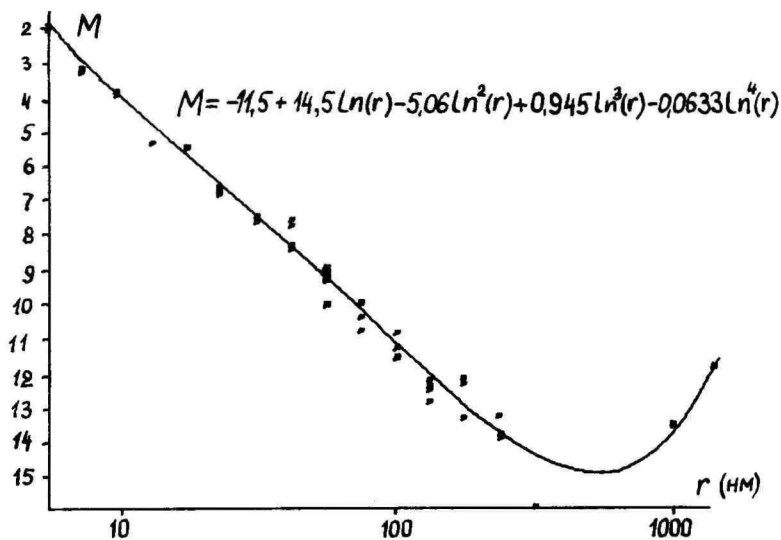


Рис. 4. Зависимость коэффициента M формулы (8) от радиуса частиц.

Fig. 4. Dependence of the coefficient M in formula (8) on the particle radius.

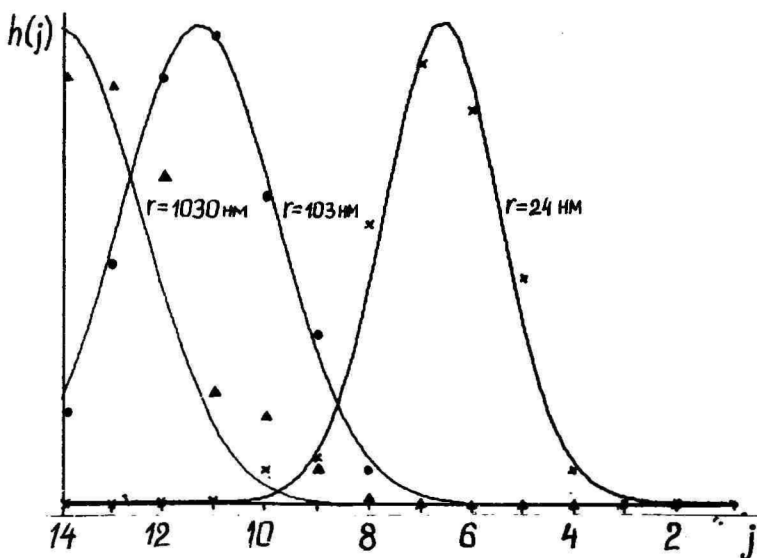


Рис. 5. Аппаратурные векторы (пример).

Fig. 5. Apparatus Vectors (example).

эффекты которой вычислены по упомянутым выше эмпирическим формулам при значении радиуса, равном среднему радиусу частиц аэрозоля, для которого получен экспериментальный аппаратный вектор.

Попытка обработки аппаратных векторов в области Е-каналов описанным выше способом не увенчалась успехом. Ход функции $h = h(j)$ в этой области слишком отличен от вида (8) (очень большая асимметрия). Кроме того, при малых размерах частиц (в Е-каналах при $r \leq 60$ нм, в Д-каналах при $r \leq 20$ нм) ясно проявляется дискретность заряда — аппаратные векторы полимодальны. Одномодальная функция (8) просто сглаживает побочные моды; так это при Д-каналах и случилось. Поэтому была предпринята попытка графического сглаживания аппаратных векторов.

Для вычисления элементов аппаратной матрицы интеграл в (6) вычисляется численным методом. Выбиралась перекрывающиеся базовые функции, имеющие вид треугольника в шкале r^{-1} [12], что обеспечивает кусочно-линейное приближение распределения массовой концентрации частиц $f(r)$ в шкале r^{-1} . Для повышения устойчивости спектрометра к одиночным отказам электрометров число фракций спектра выбирается существенно меньше числа каналов спектрометра m ; как базовая у нас применяется заимствованная у TSI-3030 схема фракций, при которой отношение границ фракций (узлов схемы) равно $\sqrt[4]{10}$, и у нашего спектрометра число узлов $n = 13$. Каждая фракция покрывается в среднем двумя каналами спектрометра. Каждая базовая функция $f^i(r)$ отлична от нуля в диапазоне двух соседних фракций, достигая максимум в узле между ними; за счет узости этих диапазонов при любом значении при интегрировании в (6) достаточно учитывать 7 внутренних точек этого интервала. При $j \leq 14$ функция $h_j(r)$ в этих точках вычислялась по формуле (8).

В случае Е-каналов ($j > 14$) формула (8), согласно сказанному выше, не работает. Значения $h_j(r)$ в четырех точках из семи можно получить непосредственно как элементы экспериментальных аппаратных векторов, т.к. из приведенного в п. 2.7 ряда радиусов в предел интегрирования для любой $f^i(r)$ остается четыре значения. При каждом радиусе частиц аппаратный вектор был измерен повторно; элементы аппаратных векторов были определены усреднением по результатам повторных измерений, учитывая вес результатов по аппаратному шуму и применяя визуальную цензуру для резко отклоняющихся точек (зве-

дение априорной информации о гладкости функций $h(j)$ далеко от мод). Значения $h_j(r)$ в остальных трех точках предела интегрирования были получены графическим интерполированием. Для этого использовался рельеф функции $h(j, r)$, на котором моды аппаратных векторов образуют гладкие линии. Требование гладкости линий пересечения функции $h(j, r)$ с вертикальными цилиндрическими поверхностями, параллельными такой поверхности, построенной через линии мод, служит основой интерполирования.

Таким образом были вычислены элементы аппаратной матрицы для $j > 14$, а для контроля и учета дискретности заряда — и для $j < 14$. Этот метод позволяет с некоторой точностью провести и экстраполяцию в сторону больших размеров, где экспериментальный материал отсутствует ($r > 1500$ нм). Полученная таким образом аппаратная матрица для большей наглядности изображена на рис. 6 в виде рельефа функции $H_{ji} = H(i, j)$. Рисунок ясно отражает диагональную структуру матрицы. Элементы главной диагонали резко изменяются по величине, т.к. они приведены к единичной массовой концентрации; на рис. 6 применен возрастающий с ростом i масштабный коэффициент. На графике вырисовывается и другая диагональ, отражающая действие электрического поля в D-заряднике и эффект малых частиц в E-конденсаторе.

Градуированный спектрометр предназначен для измерения аэрозолей с широким спектром частиц (выдает четыре фракции на один порядок величины размера частиц). Пример использования спектрометра с описанной здесь аппаратной матрицей для измерения спектра аэрозолей, генерируемых ультрафиолетовым излучением, можно найти в [13].

Некоторую оценку качества полученной аппаратной матрицы может дать вычисление спектра аэрозоля по тем записям (аппаратным векторам) спектрометра, по которым была произведена градуировка. В идеальном предельном случае фракционный спектр должен иметь одностолбцовый вид, или, т.к. размер всех использованных при градуировке частиц оказывается близким к одному из узлов фракционной структуры, двухстолбцовый. На рис. 7 приведены примеры спектров, вычисленных для некоторых размеров частиц, указанных на рисунке. Колебания решения аппаратного уравнения (2), ясно проявляющиеся особенно при больших размерах частиц, указывают на необходимость дальнейшего уточнения градуировки спектрометра. Следует выяснить влияние конечной ширины спектра используемых квази-

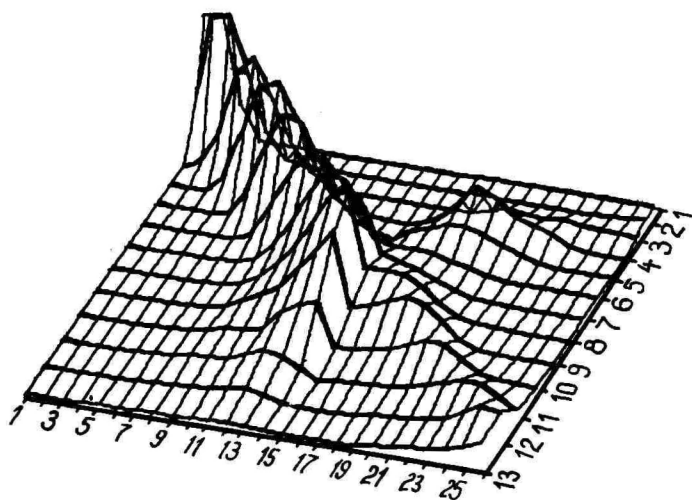


Рис. 6. Рельеф функции $H(j, i)$ (аппаратной матрицы).
 Fig. 6. Relief of the function $H(j, i)$ (apparatus matrix).

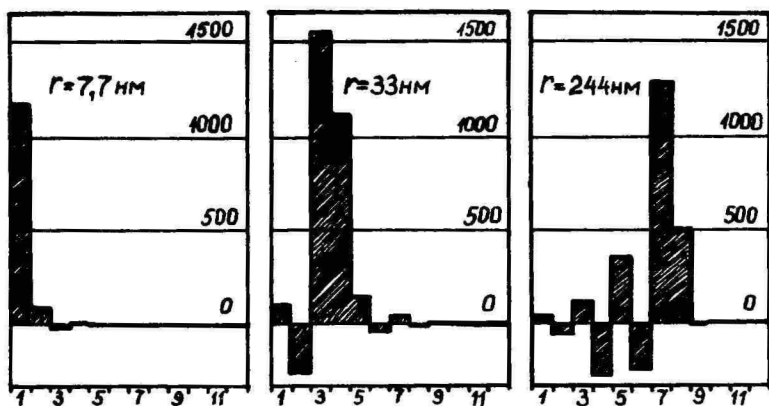


Рис. 7. Фракционные спектры монодисперсных частиц, вычисленные решением уравнения (2).
 Fig. 7. Fractional spectra of monodisperse aerosols calculated by solving equation (2).

нодисперсных аэрозолей на аппаратную матрицу и довести градуировку до конца в области больших частиц.

Авторы пользуются возможностью поблагодарить весь коллектив аэроэлектрической лаборатории ТГУ за существенную помощь при сооружении экспериментальной системы и проведении экспериментов, а также Ю. Хяммалова, В. Саммелсельга, Х. Калле и Е. Асари за участие в проведении электронно-микроскопического измерения частиц.

Л и т е р а т у р а

1. Pui P.Y.H., Liu B.Y.H. Electrical aerosol analyser: calibration and performance. - In: Aerosol measurement. A University of Florida Book, University of Florida, Gainesville, 1979, p. 384-399.
2. Мирме А.А., Тамм Э.И., Таммет Х.Ф. Электрогранулометр аэрозольных частиц с широким пределом измерения. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1981, вып. 588, с. 84-92.
3. Таммет Х.Ф. Об электрической гранулометрии аэрозолей. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1975, вып. 348, с. 30-33.
4. Таммет Х.Ф. Калибровка электрического гранулометра аэрозолей по распределению осажденных частиц. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1983, вып. 648, с. 52-57.
5. Таммет Х.Ф., Мирме А.А., Тамм Э.И. К проблеме электрического анализа аэрозолей. - Труды ин-та экспериментальной метеорологии, 1983, вып. 30 (104), с. 122-136.
6. Кикас Д.Э., Сузи Р.Э., Тамм Э.И. К теории метода электростатического сепарирования аэрозольных частиц. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1982, вып. 631, с. 76-84.
7. Raparport E., Weinstein S.E. A generator for homogeneous aerosols. - Experientia (Basel), 1955, vol. 11, N 1, p. 363-364.
8. Sinclair D., La Mer V.K. Light scattering as a measure of particle size in aerosols. The production of monodisperse aerosols. - Chem. rev., 1949, vol. 44, N 2, p. 245-267.
9. Тамм Э.И. Экспериментальное исследование генератора монодисперсного аэрозоля. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1973, вып. 195, с. 163-174.

10. Whitby K.T. et al. Generator for producing high concentration of small ions. - Techn. Report N 12 by Mech. Eng. Dept., University of Minnesota to U.S. Public Health Service, July 1960.
11. Пейль И.А., Тамм Э.И. О получении монодисперсного аэрозоля методом электрического сепарирования. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1984, вып. 669, с. 44-51.
12. Таммет Х.Ф. Кусочно-линейная модель спектра в аэрозольных измерениях. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1980, вып. 534, с. 45-53.
13. Приймак Р.Э., Кикас П.Э. Об образовании субмикронных частиц при ультрафиолетовом облучении воздуха. См. наст. сб., с.94-101.

EXPERIMENTAL CALIBRATION OF AN ELECTRICAL AEROSOL SPECTROMETER BY THE METHOD OF TEST AEROSOLS

Ü. Kikas, A. Mirme, I. Peil, E. Tamme and H. Tammet

S u m m a r y

The set of channel signals $\{y_j\}$ of an electric aerosol spectrometer [2] depends on the aerosol size spectrum $\{\varphi_1\}$ according to the linear apparatus equation (2) or (2a). Calibration of the spectrometer means determination of the apparatus matrix H. Four different methods for calibration have been suggested: 1) the theoretical or absolute method, 2) method of the microscopic analysis of the particles precipitated to the electrodes of the measuring channels, 3) the test-aerosol method, 4) complex calibration, in which the results of the previous three methods are combined. This paper deals in detail with the methods and the results of the calibration of the aerosol spectrometer [2] by the method of monodisperse test aerosols.

The elements of the apparatus matrix were calculated by means of formula (6), where the apparatus vector $h(j, r)$ is the response of the spectrometer to the monodisperse aerosol reduced to the unit mass concentration of particles, r denotes the size of particles, $f^1(r)$ designates basic functions, according to which the mass spectrum $f(r)$ is expanded

in series (formula (1)). Apparatus vectors were obtained experimentally for twenty different values of the particle radius. For the lacking values of the particle radius, necessary for the integration in formula (6), the values of $h(j,r)$ were determined by interpolation.

The test aerosols were obtained by electrostatic separation of primary aerosols produced in the condensation generators. The concentration of single-charged particles in the output of the electrostatic separators was measured with an aerosol electrometer. The spectrometer operates on a line with a micro-computer.

The structure of the apparatus matrix is illustrated in Fig. 6. Large particles ($r > 0.5 \mu\text{m}$) produce signals in the spectrometer channels provided with a diffusion charger ($j \leq 14$) on account of an electric field in the charger, while small particles are caught in the channels provided with a field charger ($j > 14$). Correct measurement of the aerosol spectrum is possible only in the case of simultaneous operation of the chargers of both types.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ АЭРОЗОЛЯ ПО ЗАРЯДУ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЕПАРАТОРОМ ЧАСТИЦ

И.А. Пейль, И.К. Холм

Для получения монодисперсного аэрозоля широко применяется метод электростатического сепарирования [1, 2, 3]. Аэрозольный сепаратор (иногда применяется и термин "классификатор") представляет собой дифференциальный аспирационный конденсатор второго порядка, который пропускает только узкую по подвижности фракцию аэрозольных частиц. Принцип и применение метода подробнее описывается в статье [4].

Добавляя к сепаратору электрометрический фильтр, можно измерять ток, переносимый частицами, высасываемыми из конденсатора. Это позволяет снять вольт-амперную характеристику установки — зависимость выходного тока I от напряжения U на сепараторе.

Вольт-амперная характеристика содержит некоторую информацию о входном аэрозоле. В случае, когда все частицы заряжены одинаково, установка работает как спектрометр подвижностей и размеров аэрозольных частиц. Но в реальных условиях всегда существует некоторое распределение частиц по зарядам. Оказывается, что для измерения этих распределений в случае аэрозолей с нешироким спектром размеров можно пользоваться вольт-амперными характеристиками сепаратора.

Предположим, что распределение аэрозольных частиц по размерам известно. Зная конструктивные и режимные параметры сепаратора, можно теоретически вычислить, как зависит ток, переносимый i -кратно заряженными частицами, от напряжения U на конденсаторе. Обозначим эту зависимость функцией $I_i = f(i, U)$. В таком случае полная вольт-амперная характеристика выражается линейной комбинацией таких функций:

$$I(U) = \sum_{i=1}^n a_i f(i, U). \quad (I)$$

Здесь a_i - коэффициенты, пропорциональные частным концентрациям i -кратно заряженных частиц.

Предположим, что при $i > n$ $a_i = 0$, то, измерив величины силы тока $I(U_j)$ при m разных напряжениях U_j , мы получим систему из m линейных уравнений:

$$I(U_j) = \sum_{i=1}^n a_i f(i, U_j), \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (2)$$

В случае $m > n$ получается переопределенная система, решение которой методом наименьших квадратов дает нам наилучшую оценку коэффициентов a_i , т.е. решение системы (2) и дает нам распределение частиц по зарядам.

Функции $f(i, U)$ вычисляются по методике, предлагаемой в статье [4]. Они определяются следующим образом:

$$f(i, U) = ic \int_{k_3}^{k_2} H(k, U) f(k) p(i, r) dk. \quad (3)$$

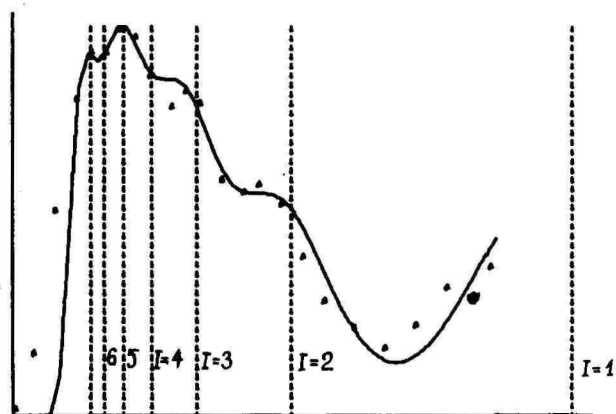
Здесь r и k - радиус и электрическая подвижность частицы, $f(k)$ - функция распределения числа частиц входного аэрозоля по подвижности, $H(k, U)$ - аппаратная функция сепаратора. k_2 и k_3 - предельные подвижности сепаратора, которые однозначно определены напряжением U [1]. Спектральный аргумент r и переменная интегрирования k связаны формулой

$$k = ie B(r), \quad (4)$$

где $B(r)$ - механическая подвижность частицы, выражается известной формулой Милликена. Аэрозольные спектры по подвижности и заряду при фиксированном i связаны следующим образом:

$$f(k) = f(r(k)) \left| \frac{dr}{dk} \right|. \quad (5)$$

$p(i, r)$ в формуле (3) - вероятность i -кратного заряда на частице радиуса r . Аппаратная функция неширокая (5% по подвижности), и исследуется аэрозоль, имеющий неширокий спектр по размерам. Следовательно, $p(i, r)$ в формуле (3) можно рассматривать даже как неизвестную константу для заданной i . Форма функции $f(i, U)$ из-за этого искажается незначительно. Так как для решения задачи (2) необходимо знать только форму, а не абсолютные значения функции $f(i, U)$, в (3) введен



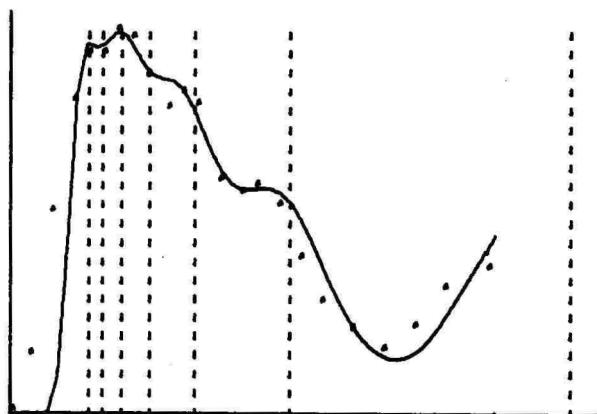
I	R(I)	CORRELATIONS
1)	296.99	-4
2)	127.22	1 -28
3)	113.02	15 -61
4)	52.57	-10 43
5)	73.96	8 -32
6)	-11.38	8 -48
7)	63.18	23 -89
		71 -98

Рис. 1. Протокол вычисления распределения по заряду методом наименьших квадратов.

Fig. 1. Charge distribution computations by the method of least squares.

ИСХОДНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
INITIAL DISTRIBUTION

I	A(I)
1	296.99
2	127.22
3	113.02
4	52.57
5	73.96
6	59.17
7	47.33



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ЗАРЯДУ
CHARGE DISTRIBUTION

I	A(I)	NORMALIZED A(I)
1	296.99	0.4173
2	128.23	0.1802
3	108.75	0.1528
4	56.35	0.0791
5	64.04	0.0899
6	0.00	0.0000
7	57.22	0.0804

Рис. 2. Протокол вычисления распределения по заряду методом дополнительной минимизации.

Fig. 2. Charge distribution computations by the additional minimization.

множитель C , нормирующий максимум функций до значения i .

Вычисления по выражению (3) довольно трудоемкие и применение их при решении системы (2) нецелесообразно. Предполагая, что аэрозоль имеет лог-нормальное распределение по радиусу, и применяя в качестве зависимости $p(i, U)$ от радиуса больцмановское распределение, удалось аппроксимировать $f(i, U)$ следующей функцией:

$$f(i, U) = i \exp\left(-\frac{(\ln U - \ln U_0)^2}{2 \ln^2 S}\right), \quad (6)$$

где напряжение максимального сигнала U_0 зависит от заряда частиц и параметров входного аэрозоля:

$$U_0 = U_0(r_g, \sigma_g) = [U^* + (12,5 - 0,465 r_g)(\sigma_g - 1)^{0,419}] / i. \quad (7)$$

Здесь

$$U^* = 12,76 r_g / [1 + 95,5 (0,864 + 0,29 \exp(-0,013 r_g)) / r_g]. \quad (8)$$

Параметр S , характеризующий ширину функции $f(i, U)$, вычисляется по формуле

$$S = S(r_g, \sigma_g) = (7,2 \sigma_g - 6,84) r_g^{-0,55} + 0,9 \sigma_g + 1. \quad (9)$$

где r_g и σ_g - геометрические средний радиус и стандартное отклонение аэрозольных частиц. Исходными данными являлись еще действующая емкость сепаратора $C = 451$ пФ, расходы чистого воздуха $\Phi_1 = 280$ см³с⁻¹ и аэрозоля $\Phi_2 = 28$ см³с⁻¹.

Исходя из вышесказанного, для ЭМ "Искра-226" составлена BASIC программа, которая вычисляет распределение частиц по заряду в исследуемом аэрозоле. Программа основывается на методах конфигурации [5] и наименьших квадратов. Исходными данными для программы являются параметры r_g и σ_g , точки вольт-амперной характеристики $I_j = I(U_j)$ и число n , которое определяет верхнюю границу для кратности элементарных зарядов на частицах.

На первом этапе методом наименьших квадратов решается система (2), и на экране дисплея ЭМ изображаются экспери-

ментальная вольт-амперная характеристика и ее аппроксимация по формуле (I). Если в результате вычислений все коэффициенты a_i получаются положительными, то решение задачи считается завершённым.

Но метод наименьших квадратов не исключает возможности появления отрицательных решений системы, особенно в случае больших зарядов. При появлении отрицательных частных концентраций программа методом конфигурации варьирует множители a_i до тех пор, пока сумма квадратов отклонений экспериментальных точек вольт-амперной характеристики от аппроксимирующей кривой не достигает минимального значения. При этом соблюдается, чтобы a_i остались положительными. Если a_i — первое отрицательное решение, полученное на первом этапе (a_i взяты в порядке увеличения индекса), то в ходе минимизации методом конфигурации в качестве исходного распределения используются величины a_1, a_2, \dots, a_{k-1} . Дальше берутся таким образом, чтобы отношения a_i/a_{i-1} соответствовали бoльцмановскому распределению. Минимизацию проводят до тех пор, пока шаг варьирования коэффициентов не превышает 0,1% от исходных значений.

Точность определения распределения аэрозольных частиц по заряду с помощью описанного метода зависит, главным образом, от точности измерения вольт-амперной характеристики сепаратора и определения параметров τ_g и σ_g исследуемого аэрозоля. Процедура минимизации сама работает с точностью 0,1% и формулы (6, ..., 9) аппроксимируют функцию $f(i, U)$ не грубее, чем 5%.

Пример одного вычислительного цикла приведен на рис. 1 и 2.

Л и т е р а т у р а

1. Кикас В.Э., Сузи Р.Э., Тамм Э.И. К теории метода электростатического сепарирования аэрозольных частиц. — Учен. зап. Тарт. ун-та, 1982, вып. 631, с. 76–84.
2. Scheibel H.G., Forstendörfer J. Generation of monodisperse Ag- and NaCl-aerosols with particle diameters between 2 and 200 nm. — J. Aerosol Sci., 1983, vol. 14, N 2, p. 113–126.

3. Jack Y. Dea. Stable generation of highly monodisperse aerosols. - Eleventh international conference on atmospheric aerosols, condensation and ice nuclei. Budapest, 1984, Preprint Volume II, p. 181-185.
4. Пейль И.А., Тамм Э.И. О получении монодисперсного аэрозоля методом электрического сепарирования. - Учен. зап. Тарт. ун-та, вып. 669, с. 44-51.
5. Библиотека алгоритмов, ИИ6 - 2006: Справочное пособие. - М.: Радио и связь, 1981, вып. 4, с. 60-66.

DETERMINATION OF THE CHARGE DISTRIBUTION OF AEROSOL
PARTICLES WITH AN ELECTROSTATIC SEPARATOR

I. Peil and I. Holm

S u m m a r y

Electrostatic separators (classifiers, electrical mobility analyzers) are mainly used for the generation of highly monodisperse calibration aerosols. The present paper describes a different kind of application of the device.

If we add to the outlet of the separator an electrometric filter for the measurement of the current carried by charged particles, we can take a characteristic curve of the system (dependence of current on the separation voltage). The form of the characteristic curve depends on the charge distribution of the input aerosol particles. It is possible therefore to use the separator as a charge distribution meter. In this paper the description of the method for charge distribution measurement and the algorithm for necessary computations are given.

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ ПО ЗАРЯДАМ
ПРИ ЗАРЯДКЕ ИХ В СИЛЬНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

М. Г. Ношпель

Расширение области измерения электрического спектрометра аэрозолей в сторону больших частиц требует зарядки аэрозольных частиц в сильных электрических полях [1].

Градуировка электрического спектрометра аэрозолей [2, 3] вызывает необходимость детального знания распределения электрических зарядов на аэрозольных частицах. Зная потоки ионов на частицы $- \Phi_q$, можно вычислять вероятность q -кратного элементарного заряда на частице по формуле [4].

$$P_q(t) = \sum_{i=q_{\min}}^q a_i \left(\prod_{k=i}^{q-1} \Phi_k \right) \sum_{j=1}^q \frac{\exp(-\Phi_j t)}{\prod_{l=1}^* (\Phi_l - \Phi_j)}, \quad (I)$$

где \prod^* означает произведение, в котором сомножители с равными индексами равны единице. Если $q = q_{\min}$, то $\prod_{k=i}^{q-1} \Phi_k = 1$.

Формула является решением системы уравнений кинетики униполярной зарядки аэрозольных частиц при начальных условиях

$$P_q(t=0) = a_q, \quad q_{\min} \leq q \leq q_{\max},$$

$$P_q(t=0) = 0, \quad q < q_{\min}, \quad q > q_{\max}.$$

Вычисления [5], где значения Φ_q определялись по формуле Фукса [6], показали, что при больших радиусах — свыше 0,5-1 мкм, из-за потери точности вычисления, применение формулы (I) для вычисления распределения на ЭМ практически невозможно.

В работе [7] предложен приближенный способ определения распределения. Поскольку в формулах допущены опечатки, приведем их снова. Предполагается, что распределение частиц по зарядам можно представить следующим образом:

$$z = \frac{q - \bar{q}}{\sigma},$$

$$P_q = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) \left[1 + \frac{\nu_1}{6} (z^3 - 3z) + \frac{\nu_2}{24} (z^4 - 6z^2 + 3) + \frac{\nu_1^2}{72} (z^6 - 15z^4 + 45z^2 - 15) \right], \quad (2)$$

где \bar{q} — среднее зарядное число, а σ , ν_1 , ν_2 представляют приближительные значения стандартного отклонения, коэффициента асимметрии и коэффициента эксцесса. Все эти четыре параметра являются неизвестными и подлежат определению. Принято, что $\sum_{q=-\infty}^{\infty} P_q \approx 1$ (условие нормировки).

На основании формулы (2) и системы уравнений кинетики униполярной зарядки аэрозольных частиц [4, 5] составлена система из четырех дифференциальных уравнений для определения \bar{q} , σ , ν_1 , ν_2 в зависимости от времени.

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d\bar{q}}{dt} &= \sum_q \Phi_q P_q, \\ \frac{d(q - \bar{q})^2}{dt} &= 2 \sum_q (q - \bar{q}) \Phi_q P_q + \frac{d\bar{q}}{dt}, \\ \frac{d(q - \bar{q})^3}{dt} &= 3 \sum_q (q - \bar{q})^2 \Phi_q P_q + 3 \sum_q (q - \bar{q}) \Phi_q P_q + \\ &\quad + \sum_q \Phi_q P_q - 3 (q - \bar{q})^2 \frac{d\bar{q}}{dt}, \\ \frac{d(q - \bar{q})^4}{dt} &= 4 \sum_q (q - \bar{q})^3 \Phi_q P_q + 6 \sum_q (q - \bar{q})^2 \Phi_q P_q + \\ &\quad + 4 \sum_q (q - \bar{q}) \Phi_q P_q + \sum_q \Phi_q P_q - 4 (q - \bar{q})^3 \frac{d\bar{q}}{dt} \end{aligned} \right. \quad (3)$$

$$\sigma = \sqrt{(q - \bar{q})^2}, \quad \nu_1 = (q - \bar{q})^3 / \sigma^3, \quad \nu_2 = [(q - \bar{q})^4 / \sigma^4] - 3.$$

Эту систему можно решить методом Рунге-Кутты.

В проведенных вычислениях для определения распределения частиц по зарядам при зарядке их в сильном электрическом поле в качестве Φ_q использовались приближенные формулы, предложенные в работе [8]. Эти формулы дают для проводящих частиц зависимость Φ_q от безразмерной напряженности электрического поля $w = eE_0 \rho / KT$, где e — элементарный заряд, E_0 — напряженность внешнего электрического поля, K — постоянная Больцмана, T — температура, ρ — радиус частицы, и от безраз-

мерной величины $\gamma_0 = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 qKT}$, где ϵ_0 - электрическая постоянная.

Вместо времени t использовалось безразмерное время $\tau = \frac{ekn_0 t}{4\epsilon_0}$, где k - подвижность ионов, n_0 - концентрация ионов в удалении от частицы.

В качестве начального распределения использовалось распределение Больцмана

$$P_q = \sqrt{\frac{\gamma_0}{2\pi}} \exp\left(-\frac{q^2 \gamma_0}{2}\right). \quad (4)$$

Формула (2) принимает вид (4), если брать

$$\sigma = 1/\sqrt{\gamma_0}, \quad \bar{q} = 0, \quad \nu_1 = 0, \quad \nu_2 = 0.$$

Система (3) решалась на ЭЕМ "Напри 3-2" при помощи стандартной процедуры "RUNGE" системы программирования МАЛГОЛ [9]. Вычислялись $\bar{q}\gamma_0$, $\sigma\sqrt{\gamma_0}$, ν_1 , ν_2 в интервалах: по $w - 1 \leq w \leq 3$, $3 \leq w \leq 10$, $10 \leq w \leq 200$ (предполагается, что соответствующая приближающая формула для Φ_q применима до $w = 200$); по $\gamma_0 - 0 < \gamma_0 \leq 0,9$, в каждом интервале II точек; по $\tau - 0 \leq \tau \leq 0,2$, $0,2 \leq \tau \leq 0,6$, $0,6 \leq \tau \leq 1,4$, $1,4 \leq \tau \leq 2,4$, $2,4 \leq \tau \leq 4$, в каждом интервале 2I точка. Интервалы по w и τ были выбраны так, что при аппроксимации зависимости заряда от w и τ , полученной путем интегрирования приближающих формул для Φ_q , порядок аппроксимирующих полиномов по τ остался около четырех, а по w - около двух при точности приближения 0,1%.

Вычисленные зависимости $\bar{q}\gamma_0$, $\sigma\sqrt{\gamma_0}$ от γ_0 приближали по методу наименьших квадратов полиномами первого порядка $Q_0 + Q_1\gamma_0$, $S_0 + S_1\gamma_0$ соответственно. Зависимость ν_1 от γ_0 приближали полиномом второго порядка $A_0 + A_1\gamma_0 + A_2\gamma_0^2$. Зависимость ν_2 от γ_0 приближали функцией $E_1\gamma_0$. Затем эти найденные коэффициенты Q_0 , Q_1 , S_0 или S_1^2 , S_1 или $1/S_1$, A_0 , A_1 , A_2 , E_1 , как функции от w и τ приближали комбинациями функций I, приведенных в таблице I в статье [II]. В этой статье приведены и найденные коэффициенты при приближающих функциях. Сравнение P_q , вычисленных по формуле (I) на основе значений Φ_q , полученных путем численного решения общего дифференциального уравнения зарядки [8, 10], со значениями P_q вычисленных по формуле (2) и по полиномам для $\bar{q}\gamma_0$, $\sigma\sqrt{\gamma_0}$, ν_1 , ν_2 , при значениях $\gamma_0 = 0,27$, $w = 4,18$ приве-

дено в таблице I.

Таблица I

Сравнение P_q , \bar{q} , σ , вычисленных при $w = 4,18$, $\gamma_0 = 0,27$ по формуле (I) (индекс (I)) и по формуле (2) и аппроксимирующих полиномов для \bar{q}, γ_0 , $\sigma\sqrt{\gamma_0}$, ν_1 , ν_2 (индекс (2)).

Table 1

Comparison of P_q , \bar{q} , σ computed at $w = 4,18$, $\gamma_0 = 0,27$ according to formula (1) and formula (2), where \bar{q} , σ , ν_1 , ν_2 are found by means of approximate polynomials for $\gamma_0, \bar{q}, \sigma\sqrt{\gamma_0}, \nu_1, \nu_2$.

τ	$\left \frac{\bar{q}^{(2)} - \bar{q}^{(1)}}{\bar{q}^{(1)}} \cdot 100 \right $	$\left \frac{\sigma^{(2)} - \sigma^{(1)}}{\sigma^{(1)}} \cdot 100 \right $	$\frac{P_q^{(1)} - P_q^{(2)}}{P_q^{(1)}} \cdot 100$		
			$-1 \leq \frac{q - \bar{q}^{(1)}}{\sigma^{(1)}} \leq 1$	$-2 \leq \frac{q - \bar{q}^{(1)}}{\sigma^{(1)}} \leq 2$	$-3 \leq \frac{q - \bar{q}^{(1)}}{\sigma^{(1)}} \leq 3$
0,072	0,01%	0,02%	0,2%	0,5%	1%
0,145	0,03%	0,03%	0,1%	0,5%	2%
0,217	0,07%	0,04%	0,2%	1%	2,5%
0,362	0,01%	0,15%	0,2%	0,5%	1,5%
0,724	0,09%	0,15%	1%	2%	3%
1,45	0,09%	0,15%	1,5%	3%	5%
2,17	0,07%	0,2%	1,5%	3%	5%
2,90	0,07%	0,2%	1,5%	3%	5%
3,62	0,03%	0,2%	1%	2%	3%

Точность совпадения $\bar{q}^{(1)}$ и $\bar{q}^{(2)}$ указывает на то, что при $w = 4,18$ приближенная формула для Φ_q хорошо аппроксимирует Φ_q .

Л и т е р а т у р а

1. Таммет Х.Ф. К технике электрической гранулометрии аэрозолей. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1980, вып. 534, с. 55-79.
2. Таммет Х.Ф. Об электрической гранулометрии аэрозолей. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1975, вып. 348, с. 30-34.
3. Таммет Х.Ф. Кусочно-линейная модель спектра в аэроионных и аэрозольных измерениях. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1980, вып. 534, с. 45-54.

4. Салым Я.И. Об униполярной зарядке первоначального заряженного аэрозоля. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1977, вып. 443, с. 57-61.
5. Ношпель М.Г. О распределении зарядов на аэрозольных частицах при зарядке их легкими аэроионами. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1982, вып. 631, с. 85-93.
6. Фукс Н.А. О величине зарядов на частицах атмосферных аэроколлоидов. - Изв. АН СССР. Сер. геогр. и геофиз., 1947, II, № 4, с. 341-348.
7. Ношпель М.Г. О распределении зарядов на аэрозольных частицах при униполярной зарядке их легкими аэроионами. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1983, вып. 648, с. 32-40.
8. Ношпель М.Г. О зарядке и разрядке аэрозольных частиц в сильных электрических полях. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1984, вып. 669, с. 25-30.
9. Система стандартных программ алгоритмического языка "МАЛГОЛ". Таллин, 1972.
10. Ношпель М.Г., Тамм Э.И. О разрядке униполярно заряженных аэрозольных частиц. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1980, вып. 534, с. 84-94.
11. Noppel M. Algorithm for rapid approximate calculation of the charge distribution of conductive aerosol particles charged in a strong electric field. См. наст. сб. с. 84-93.

ON THE DISTRIBUTION OF CHARGES OF AEROSOL
PARTICLES CHARGED IN A STRONG
ELECTRIC FIELD

M. Noppel

S u m m a r y

A method for an approximate determination of the charge distribution of aerosol particles is given. The computational operations performed for the determination of the distribution are described for conductive particles when charged in a strong electric field.

ALGORITHM FOR RAPID APPROXIMATE CALCULATION OF THE
CHARGE DISTRIBUTION OF CONDUCTIVE AEROSOL PARTICLES
CHARGED IN A STRONG ELECTRIC FIELD

M. Noppel

Argumentation of the algorithm and notations have been given in the article [1].

Output data: P - possibility of aerosol particles to possess q elementary charges.

Input data: T - absolute temperature,

q - number of elementary charges,

ρ - particle radius,

E_0 - strength of external electric field,

$\tau = ekn_0t/4\epsilon_0$ - charging parameter, where k is mobility of ions,

n_0 - concentration of ions in infinity,

t - charging time.

Constants: $K = 1.380662 \cdot 10^{-23}$,

$\epsilon_0 = 8.85412 \cdot 10^{-12}$,

$e = 1.60219 \cdot 10^{-19}$.

System of units is SI.

Let

$$w = \frac{eE_0 \rho}{KT}, \quad (1)$$

$$\gamma_0 = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \rho KT} \quad (2)$$

be calculated.

Let the lines that satisfy the conditions $w_{\min} \leq w \leq w_{\max}$, $\tau_{\min} \leq \tau \leq \tau_{\max}$ be found in Table 2 and Q_0 , Q_1 , S_0 or S_0^2 , S_1 or $1/S_1$, A_0 , A_1 , A_2 , E_1 be calculated according to

$$\sum_i C_i f_{d_i} \quad (3)$$

Index d_i points to the sequence numbers of functions f_{d_i} given in Table 1. For the determination of coefficients C_i and indexes d_i Tables 2 and 3 are used. Numbers of subtables in Table 3 for Q_0 , Q_1 , S_0 , S_0^2 , S_1 , $1/S_1$, A_0 ,

A_1, A_2, E_1 to be calculated are given in Table 2. Each line in a certain subtable determines one member in expression (3). Index i is equal to the sequence number of a line.

Let

$$\bar{q} = Q_0/\gamma_0 + Q_1, \quad (4)$$

$$\sigma = S_0/\sqrt{\gamma_0} + S_1\sqrt{\gamma_0}, \quad (5)$$

$$\gamma_1 = A_0 + A_1\gamma_0 + A_2\gamma_0^2, \quad (6)$$

$$\gamma_2 = E_1\gamma_0, \quad (7)$$

$$z = \frac{q - \bar{q}}{\sigma}, \quad (8)$$

$$P_q = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) \left[1 + \frac{\gamma_1}{6}(z^3 - 3z) + \frac{\gamma_2}{24}(z^4 - 6z^2 + 3) + \frac{\gamma_2^2}{72}(z^6 - 15z^4 + 45z^2 - 15) \right] \quad (9)$$

be calculated.

The algorithm requires about 10K...15K bytes of the computer memory.

Table 1

Functions f_{di} in formula (3)

$$x = ((\tau - \tau_{\min})/(\tau_{\max} - \tau_{\min})) - 0.5$$

$$y = ((w - w_{\min})/(w_{\max} - w_{\min})) - 0.5$$

The values of $\tau_{\min}, \tau_{\max}, w_{\min}, w_{\max}$ are given in Table 2. By way of exception in the calculation of y replace the value of w_{\max} with an asterisk * by 48

f	f	f	f	f
1) 1	7) y	12) xy	17) x^2y	22) x^3y
2) x	8) y^2	13) xy^2	18) x^2y^2	23) x^3y^2
3) x^2	9) y^3	14) xy^3	19) x^2y^3	24) x^4y
4) x^3	10) y^4	15) xy^4	20) x^2y^4	25) x^4y^2
5) x^4	11) y^5	16) xy^5	21) x^2y^5	26) x^5y
6) x^5				27) x^5y^2

Table 2

Numbers of subtables in Table 3 for coefficients C_i and indexes d_i of $Q_0 \dots E_1$ and limits of their applicability - w_{min} , w_{max} , τ_{min} , τ_{max} . ϵ denotes approximation errors.

w_{min}	w_{max}	τ_{min}	τ_{max}	ϵ	$Q_0 \dots E_1$ and numbers of the corresponding subtables of C_i, d_i in Table 3
1	3	0.01	0.2	0.1%	Q_0-1 Q_1-2 S_0^2-3 S_1-4
1	3	0	0.2	0.005	A_0-5 A_1-6 A_2-7
1	3	0	0.2	0.008	E_1-8
1	3	0.2	0.6	0.1%	Q_0-9 Q_1-10 S_0^2-11 S_1-12
1	3	0.2	0.6	0.005	A_0-13 A_1-14 A_2-15 E_1-16
1	3	0.6	1.4	0.1%	Q_0-17 Q_1-18 S_0^2-19 S_1-20
1	3	0.6	1.4	0.003	A_0-21 A_1-22 A_2-23
1	3	0.6	1.4	0.0045	E_1-24
1	3	1.4	2.4	0.1%	Q_0-25 Q_1-26 S_0-27 S_1-28
1	3	1.4	2.4	0.003	A_0-29 A_1-30 A_2-31 E_1-32
1	3	2.4	4	0.1%	Q_0-33 Q_1-34 S_0-35 S_1-36
1	3	2.4	4	0.003	A_0-37 A_1-38 A_2-39 E_1-40
3	10	0.01	0.06	0.01	A_0-41 A_1-42 A_2-43
3	10	0	0.04	0.006	E_1-44
3	10	0.01	0.2	0.3%	Q_0-45 Q_1-46 S_0^2-47 S_1-48
3	10	0.06	0.2	0.009	A_0-49 A_1-50 A_2-51
3	10	0.04	0.2	0.005	E_1-52
3	10	0.2	0.6	0.25%	Q_0-53 Q_1-54
3	10	0.2	0.6	0.35%	S_0^2-55 S_1-56
3	10	0.2	0.6	0.007	A_0-57 A_1-58 A_2-59
3	10	0.2	0.6	0.004	E_1-60
3	10	0.6	1.4	0.25%	Q_0-61 Q_1-62
3	10	0.6	1.4	0.3%	S_0-63 S_1-64
3	10	0.6	1.4	0.003	A_0-65 A_1-66 A_2-67
3	10	0.6	1.4	0.004	E_1-68
3	10	1.4	2.4	0.25%	Q_0-69 Q_1-70 S_0-71 S_1-72
3	10	1.4	2.4	0.0045	A_0-73 A_1-74 A_2-75 E_1-76
3	10	2.4	4	0.25%	Q_0-77 Q_1-78
3	10	2.4	4	1%	S_0-79 S_1-80
3	10	2.4	4	0.018	A_0-81 A_1-82 A_2-83
3	10	2.4	3.2	0.018	E_1-84
3	10	3.2	4	0.024	E_1-85
10	200	0.01	0.2	0.15%	Q_0-86 Q_1-87

10	200	0.01	0.2	0.2%	S_0^2-88 S_1-89
10	67	0.01	0.04	0.024	A_0-90 A_1-91 A_2-92
10	67	0.04	0.2	0.015	A_0-93 A_1-94 A_2-95
67	200	0.01	0.2	0.013	A_0-96 A_1-97 A_2-98
10	48	0.01	0.05	0.009	E_1-99
48	200	0.01	0.05	0.008	E_1-100
10	200	0.05	0.2	0.0045	E_1-101
10	200	0.2	0.6	0.15%	Q_0-102 Q_1-103
10	200	0.2	0.6	0.2%	S_0^2-104 $1/S_1-105$
10	200	0.2	0.6	0.006	A_0-106 A_1-107 A_2-108
10	105	0.2	0.6	0.0045	E_1-109
105	200	0.2	0.6	0.0045	E_1-134
10	200	0.6	1.4	0.2%	Q_0-110 Q_1-111 S_0^2-112 $1/S_1-113$
10	200	0.6	1.4	0.003	A_0-114 A_1-115 A_2-116
10	86	0.6	1.4	0.003	E_1-117
86	200	0.6	1.4	0.0045	E_1-134
10	200	1.4	2.4	0.2%	Q_0-118 Q_1-119 S_0^2-120 $1/S_1-121$
10	200	1.4	2.4	0.004	A_0-122 A_1-123 A_2-124
10	48	1.4	2.4	0.0045	E_1-125
48	200	1.4	2.4	0.0045	E_1-134
10	200	2.4	4	0.25%	Q_0-126 Q_1-127 S_0^2-128 $1/S_1-129$
10	200	2.4	4	0.0055	A_0-130 A_1-131 A_2-132
10	29*	2.4	4	0.008	E_1-133 ; when calculating y $w_{\max}=48$
29	200	2.4	4	0.004	E_1-134

* By way of exception in the calculation of y replace the value of w_{\max} with asterisk * by 48 although the applicability region is $10 \leq w \leq 29$.

ε denotes the exactness of the approximation of \bar{q}_j , σ_j in % or absolute error of approximation of v_1, v_2 when the sign of % is omitted (ref. [1]).

Table 3

Subtables of C_i and d_i . Structure of subtables is given at the beginning of Table 3. N_0 is number of a subtable, p is scale coefficient, d_i is index and $C_i = pC_i^*$ is coefficient in (3).

N_0	p	5 10^{-4}	9 10^{-4}	13 10^{-4}	18 10^{-4}
d_1	C_1^*	1) 206	1) 25868	1) 104	1) 1205
d_2	C_2^*	5) -1909	2) 18781	2) -110	2) 597
.....		6) 2815	3) -5102	7) 43	3) -259
d_n	C_n^*	7) 175	4) 1567	12) -159	7) -188
		8) -65	7) 15787		8) 77
1	10^{-5}	24) -1770	8) 740	14 10^{-4}	
		26) 2218	9) -466		19 10^{-4}
1)	85388		12) 11190	1) 774	
2)	140025	6 10^{-4}	13) 502	2) -953	1) 16169
3)	-23734		17) -3246	3) 652	2) -1821
4)	4474	1) 1653	22) 980	7) 189	4) 710
7)	52703	2) 116		12) -829	5) -708
8)	2701	3) -2305	10 10^{-4}	17) 362	7) 7941
9)	-2159	4) 5174			9) 332
12)	86288	5) -5701	1) 592	15 10^{-4}	12) -1515
13)	4784	7) 1221	2) 544		13) -398
14)	-3837	8) -115	3) -86	1) -267	17) -452
17)	-14843	9) -336	7) -173	2) 363	22) 926
22)	2787	12) -805	8) 60	3) -339	
		13) -243	12) -62	7) -125	20 10^{-4}
2	10^{-5}	24) -12753	17) 61	12) 352	
		26) 24557			1) 226
1)	1551		11 10^{-4}	16 10^{-4}	3) -33
2)	2827	7 10^{-4}			7) -44
7)	-850		1) 16888	1) -350	8) 19
8)	302	1) -666	2) 907	3) 411	
12)	-1154	3) 1069	3) -2298	4) -283	21 10^{-4}
13)	486	4) -2110	4) 1935	7) -110	
17)	665	5) 2066	5) -1035	12) -65	1) 38
		7) -509	7) 8187		3) 50
3	10^{-4}	9) 278	8) 257	17 10^{-4}	7) -65
		12) 378	12) 1645		12) -63
1)	13800	24) 4743	13) -101	1) 46295	
2)	4758	26) -10868	17) -2952	2) 19997	22 10^{-4}
3)	-3125		22) 2068	3) -7040	
4)	1260	8 10^{-4}		4) 2886	1) 262
7)	4259		12 10^{-4}	7) 27571	2) -122
8)	191	1) 161		8) 1056	3) 389
12)	5503	2) -902	1) 182	9) -498	7) -500
13)	244	3) 537	2) 102	12) 11040	8) 160
17)	-3235	5) -6218	3) -86	17) -4434	12) -470
22)	1207	6) 11340	7) -43	22) 1878	17) 439
		7) 246	8) 24		
4	10^{-4}	12) -867	12) -25		
		24) -3415			
1)	58	26) 12960			
2)	106				
7)	-15				
12)	-21				

23 10^{-4}	30 10^{-4}	38 10^{-4}	45 10^{-5}	50 10^{-4}
1) -112	1) 360	1) 574	1) 209501	1) 2770
3) -115	2) 184	2) 234	2) 342871	2) -1201
7) 244	7) -692	7) -718	3) -59315	5) -711
8) -103	8) 293	8) 339	4) 11162	7) 435
12) 234	=====	=====	7) 196873	8) -1190
17) -266	31 10^{-4}	39 10^{-4}	8) 2331	9) 1249
=====	=====	=====	9) -2661	12) -1203
24 10^{-4}	1) -180	1) -259	10) 2661	15) 2440
=====	2) -82	2) -102	12) 322140	17) 992
1) -197	7) 323	7) 332	13) 5456	=====
2) 129	=====	8) -165	14) -5179	51 10^{-4}
7) -70	32 10^{-4}	=====	17) -56150	=====
=====	=====	40 10^{-4}	22) 10380	1) -1130
25 10^{-4}	1) -147	=====	=====	2) 464
=====	=====	1) -162	46 10^{-5}	7) -299
1) 62837	33 10^{-3}	=====	=====	8) 492
2) 13740	=====	41 10^{-4}	1) 592	12) 464
3) -3756	1) 7631	=====	2) 1785	19) -2312
4) 1129	2) 1271	1) 376	3) 1241	=====
7) 36274	3) -356	2) 193	7) -717	52 10^{-4}
8) 1068	4) 112	3) -268	8) 978	=====
9) -310	7) 4261	7) 243	12) -609	1) 255
12) 7010	8) 81	=====	13) 1531	2) -1270
17) -2249	12) 580	42 10^{-4}	17) 1312	3) 912
=====	13) -36	=====	=====	8) -339
26 10^{-4}	17) -196	1) 3132	47 10^{-4}	13) 526
=====	=====	2) 971	=====	17) 1363
1) 1650	34 10^{-3}	3) -2454	1) 23915	22) -2305
2) 323	=====	4) 2786	2) 17840	=====
3) -131	1) 191	7) 2032	3) -10393	53 10^{-4}
7) -167	2) 22	8) -1338	4) 4320	=====
=====	7) -13	12) -860	5) -1548	1) 63141
27 10^{-4}	=====	17) -1739	7) 16102	2) 45415
=====	35 10^{-4}	22) 2998	8) 362	3) -12627
1) 12004	=====	23) -4730	12) 20813	4) 3758
2) -658	1) 11358	=====	13) 635	5) -930
3) 152	2) -612	43 10^{-4}	17) -12150	7) 58920
7) 2658	3) 182	=====	22) 5011	10) 3114
8) -444	7) 2224	1) -1315	=====	12) 41898
9) 233	8) -441	2) -339	48 10^{-4}	17) -12233
12) -442	9) 205	3) 1058	=====	22) 3642
17) 93	12) -414	4) -1085	1) 49	=====
=====	17) 127	7) -846	2) 94	54 10^{-4}
28 10^{-4}	=====	8) 586	3) -37	=====
=====	36 10^{-4}	12) 144	=====	1) 415
1) 216	=====	17) 682	49 10^{-4}	2) 466
2) -13	1) 204	=====	=====	7) -113
7) -36	7) -34	44 10^{-4}	1) 376	8) 163
=====	8) 16	=====	2) -143	13) 204
29 10^{-4}	=====	1) 1181	3) -56	=====
=====	37 10^{-4}	2) 339	7) 109	=====
1) 54	=====	3) -2444	8) -168	=====
2) 26	1) 85	4) 2848	12) -174	=====
7) -97	2) 32	7) 999	=====	=====
=====	7) -101	8) -409	=====	=====
=====	=====	12) -574	=====	=====
=====	=====	17) -2763	=====	=====
=====	=====	22) 4706	=====	=====

=====	=====	=====	=====	=====
55 10^{-4}	61 10^{-4}	66 10^{-4}	73 10^{-4}	80 10^{-4}
1) 36524	1) 111472	1) -281	1) -64	1) 191
2) 4984	2) 45990	2) -593	7) -90	2) 59
3) -8974	3) -17866	3) 714	8) 111	7) 30
4) 6787	4) 7401	4) -526	=====	12) 206
5) -3693	7) 102950	8) 611	74 10^{-4}	=====
7) 30968	8) 992	9) -2584	=====	81 10^{-4}
12) 6184	12) 40972	11) 4889	1) -474	-----
13) -810	17) -17097	12) -366	2) 30	1) -23
17) -10466	22) 7089	13) 640	3) 144	2) 51
22) 7673	=====	=====	7) -657	7) -102
24) -4156	62 10^{-4}	67 10^{-4}	8) 801	=====
=====	=====	=====	12) -339	82 10^{-4}
56 10^{-4}	1) 974	1) 132	=====	-----
-----	2) 588	2) 253	75 10^{-4}	1) -162
1) 121	3) -214	3) -299	-----	2) 506
2) 56	7) -162	8) -289	1) 213	7) -671
3) -37	8) 267	9) 584	7) 306	8) 478
7) -59	=====	12) 178	8) -385	12) 1595
12) -44	63 10^{-4}	=====	12) 215	14) -4851
=====	=====	68 10^{-4}	=====	17) 3334
57 10^{-4}	1) 10707	-----	76 10^{-4}	19) -12649
-----	2) -1689	1) -213	-----	=====
1) 120	3) -260	2) 202	1) -92	83 10^{-4}
2) -251	4) 811	3) -119	2) 73	-----
3) 152	5) -672	12) -110	7) 34	1) 105
12) -43	7) 7978	=====	12) 114	2) -194
13) 169	8) -1739	69 10^{-4}	=====	3) -201
=====	9) 692	-----	77 10^{-3}	7) 382
58 10^{-4}	12) -1005	1) 148194	=====	12) -671
-----	13) 547	2) 29362	1) 17572	14) 2646
1) 934	14) -899	3) -9195	2) 2490	=====
2) -1831	17) -496	4) 2564	3) -808	84 10^{-4}
3) 1099	22) 678	7) 134788	4) 246	-----
8) -364	=====	8) 1304	7) 15668	1) -16
13) 1113	64 10^{-4}	12) 24833	8) 143	2) 90
14) -1844	-----	17) -8732	12) 1915	7) 262
17) 270	1) 150	=====	17) -721	12) 334
=====	2) 18	70 10^{-4}	=====	=====
59 10^{-4}	7) -86	-----	78 10^{-3}	85 10^{-4}
-----	8) 49	1) 1444	-----	-----
1) -388	=====	2) 352	1) 176	1) 51
2) 784	65 10^{-4}	3) -128	2) 34	2) 53
3) -452	-----	7) -238	7) -16	7) 682
8) 219	1) -48	=====	12) 22	8) 428
13) -604	2) -82	71 10^{-4}	=====	12) 474
14) 859	3) 97	-----	79 10^{-4}	13) 666
=====	8) 88	1) 16926	=====	=====
60 10^{-4}	9) -194	2) -1679	1) 15309	86 10^{-4}
-----	12) -53	3) 352	2) -1459	-----
1) -404	=====	7) 6713	3) 539	1) 301309
3) 508	1) -48	8) -1235	7) 5278	2) 493223
4) -840	2) -82	12) -1417	8) -1095	3) -85410
7) 191	3) 97	13) 380	12) -1263	4) 15575
8) 143	8) 88	19) 1458	17) 623	7) 540968
9) -466	9) -194	=====	=====	12) 885531
13) 271	=====	72 10^{-4}	=====	17) -153345
=====	=====	-----	=====	22) 27933
=====	=====	1) 162	=====	=====
=====	=====	7) -80	=====	=====

87 10^{-4}	94 10^{-4}	99 10^{-4}	105 1	110 10^2
1) 45	1) 2272	1) 1418	1) 451	1) 15859
2) 159	2) -2453	2) -1279	2) -64	2) 6349
3) 136	3) 1916	7) -368	7) 687	3) -2523
=====	7) -1108	8) -596	=====	4) 1063
88 10^{-3}	8) 531	12) -1196	106 10^{-4}	5) -460
-----	13) 1804	13) 1638	-----	7) 28455
1) 25440	18) -3742	17) 2099	1) 46	12) 11367
2) 31740	24) 7441	=====	2) -108	17) -4538
3) -18406	=====	100 10^{-4}	3) 101	22) 1913
4) 7405	95 10^{-4}	-----	7) -42	24) -833
7) 44473	-----	1) 549	8) 117	=====
12) 57793	1) -954	2) -1164	11) -605	111 10^{-3}
17) -33562	2) 1031	3) 1291	12) 136	-----
22) 13531	3) -802	7) -689	13) -201	1) 92
24) 582	7) 450	8) 580	17) -96	2) 55
=====	8) -189	12) 644	=====	3) -21
89 10^{-3}	13) -806	=====	107 10^{-4}	=====
-----	18) 1552	101 10^{-4}	-----	112 10^{-3}
1) 2	24) -3102	-----	1) 367	-----
2) 5	=====	1) 27	2) -698	1) 46378
=====	96 10^{-4}	2) -168	3) 640	2) -10607
90 10^{-4}	-----	3) 460	4) -591	3) -2016
-----	1) 204	4) -644	7) -310	4) 6034
1) 623	2) -242	7) -122	10) 3053	5) -5015
3) -125	3) 606	8) 260	11) -4590	7) 82771
7) 131	4) -1000	12) 408	12) 749	12) -19277
8) -425	7) -106	13) -1481	13) -1494	17) -3755
12) -387	12) 100	14) 2366	16) 6913	22) 11033
=====	=====	17) -890	17) -708	24) -9111
91 10^{-4}	97 10^{-4}	18) 1071	18) 1052	=====
-----	=====	102 10^{-3}	108 10^{-4}	113 1
1) 4585	1) 1514	-----	-----	-----
2) -612	2) -2211	1) 90605	1) -151	1) 375
3) -966	3) 1549	2) 64683	2) 354	7) 503
7) 503	5) 13085	3) -18833	3) -313	=====
8) -2798	6) -24527	4) 5596	7) 130	114 10^{-4}
12) -2832	7) -724	7) 162658	10) -1395	-----
13) 2409	8) 571	12) 116082	11) 1848	1) -20
17) 2109	12) 1075	17) -33857	12) -256	2) -55
=====	17) -2369	22) 18048	14) -928	7) 19
92 10^{-4}	24) 10744	=====	15) 2403	12) 56
-----	25) -6844	103 10^{-3}	17) 297	=====
1) -1922	26) -10568	-----	=====	115 10^{-4}
2) 256	27) 4248	1) 38	109 10^{-4}	1) -152
3) 404	=====	2) 45	-----	2) -306
7) -209	98 10^{-4}	=====	1) -79	3) 259
8) 1159	-----	104 10^{-3}	3) 149	4) -227
12) 1153	1) -636	-----	7) 238	7) 174
13) -934	2) 929	1) 48232	8) -375	8) -215
17) -898	3) -650	2) 9555	13) -191	12) 283
=====	5) -5502	3) -15962	17) -294	13) -569
93 10^{-4}	6) 10115	4) 11818	-----	14) 730
-----	7) 303	5) -6518	-----	17) -369
1) 319	8) -240	7) 86052	-----	20) 2591
2) -335	12) -452	12) 17521	-----	-----
3) 181	17) 996	17) -29101	-----	-----
7) -149	24) -4518	22) 21491	-----	-----
13) 273	25) 2898	24) -11840	-----	-----
24) 1149	26) 4444	-----	-----	-----

116 10^{-4}	120 10^{-3}	124 10^{-4}	128 10^{-3}	131 10^{-4}
1) 66	1) 35184	1) 166	1) 25198	1) -455
2) 144	2) -10439	2) 62	2) -8912	2) -77
3) -127	3) 2491	7) -155	3) 3215	7) 236
7) -75	7) 62746	-----	4) -1012	8) -1382
8) 73	8) 730	125 10^{-4}	7) 44433	9) 3776
12) -175	12) -19040	-----	8) 602	10) 6318
13) 244	17) 4522	1) -52	12) -16363	11) -17500
17) 152	-----	2) 48	17) 5771	12) -138
-----	121 1	7) 55	22) -1869	13) -1450
117 10^{-4}	-----	8) -41	-----	14) 4615
-----	1) 411	-----	129 1	15) 11570
1) -56	7) 666	126 10^{-2}	-----	16) -28280
2) 58	-----	-----	1) 424	20) 5164
7) 150	122 10^{-4}	1) 24205	2) -40	21) -9621
8) -238	-----	2) 2907	7) 742	-----
12) -106	1) -53	3) -1133	-----	132 10^{-4}
-----	7) 48	4) 439	130 10^{-4}	-----
118 10^{-2}	-----	7) 43325	-----	1) 202
-----	123 10^{-4}	12) 5133	1) -66	2) 49
1) 20795	-----	17) -2034	7) 63	7) -166
2) 3787	1) -354	22) 780	11) -722	8) 121
3) -1335	2) -149	-----	14) -244	15) -1596
4) 468	3) 77	127 10^{-2}	15) 285	16) 2814
7) 37273	7) 346	-----	-----	20) -3021
12) 6746	8) -610	1) 16	-----	21) 6307
17) -2400	10) 1083	2) 3	-----	-----
22) 843	12) 135	-----	-----	133 10^{-4}
-----	15) 552	-----	-----	-----
119 10^{-2}	16) -2078	-----	-----	1) -21
-----	-----	-----	-----	2) 210
1) 13	-----	-----	-----	7) -230
2) 3	-----	-----	-----	8) 454
-----	-----	-----	-----	12) -558
-----	-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----	134 1
-----	-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----	1) 0

Reference

- I. Нопель М.Г. О распределении аэрозольных частиц при зарядке их в сильном электрическом поле. См. наст. сб., с. 79-83.

АЛГОРИТМ БЫСТРОГО ПРИБЛИЖЕННОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАРЯДОВ ПРОВОДЯЩИХ АЭРОЗОЛЬНЫХ
ЧАСТИЦ ПРИ ЗАРЯДКЕ ИХ В СИЛЬНОМ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

М.Г. Нопель

Резюме

Обоснование алгоритма и использованные обозначения изложены в статье [1].

Выходные данные: P – вероятность аэрозольной частицы иметь q элементарных зарядов.

Входные данные: T – абсолютная температура,
 q – число элементарных зарядов,
 φ – радиус частицы,
 E_0 – напряженность внешнего поля,
 $\tau = ek n_0 t / 4\epsilon_0$ параметр зарядки,

где k – подвижность ионов,
 n_0 – концентрация ионов в бесконечности,
 t – время зарядки.

Используется система СИ.

Вычислить w и γ_0 по формулам (1) и (2).

Найти в таблице 2 строки, для которых $w_{\min} \leq w \leq w_{\max}$, $\tau_{\min} \leq \tau \leq \tau_{\max}$ и вычислить Q_0, Q_1, S_0 или S_0^2, S_1 или $1/S_1, A_0, A_1, A_2, E_1$ по формуле (3). Индекс d_i указывает на порядковый номер функций f_{d_i} , приведенных в таблице 1. C_i и d_i находят по таблицам 2 и 3. В таблице 2 указаны номера подтаблиц таблицы 3 для каждой из вычисляемых величин $Q_0, Q_1, S_0, S_0^2, S_1, 1/S_1, A_0, A_1, A_2, E_1$. Каждый ряд конкретной подтаблицы определяет одну слагаемую в (3). Индекс i равен порядковому номеру ряда.

Вычислить $\bar{q}, \beta, \nu_1, \nu_2, P$ по формулам (4), (5), (6), (7), (8), (9).

Алгоритм требует 10–15 килобайтов памяти ЭВМ.

При вычислении значения γ , значение $29^{\#}$ в таблице 2 заменить на 48, хотя область применимости γ остается в пределах $10 \leq w \leq 29$.

ϵ в таблице указывает на точность приближения $\bar{q}\gamma$ и $\beta\sqrt{\gamma}$ в процентах или при отсутствии знака % на абсолютную ошибку приближения ν_1, ν_2 [1].

ОБ ОБРАЗОВАНИИ СУБМИКРОННЫХ ЧАСТИЦ ПРИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ ОБЛУЧЕНИИ ВОЗДУХА

Р.Э. Прийман, В.Э. Кикас

Исследовали спектр распределения аэрозольных частиц в диапазоне их размеров от 5 нм до 5 мкм по радиусу и полярную плотность заряда аэроионов при предельной подвижности 10^{-9} см²/(В·с) в незагрязненном и загрязненном, УФ облучаемом и не облучаемом воздухе. Эксперименты проводили в закрытой аэрозольной камере (4,6 x 2,1 x 2,6 м). В качестве УФ облучателей применяли бактерицидные (длина волны $\lambda = 257,3$ нм) и эритемные ($\lambda = 290$ нм) УФ облучатели типов ДБ-30, БУВ-30п, и ЛЭ-30. Два эритемных облучателя были горизонтально подвешены к потолку в середине камеры на расстоянии 1,5 м от пола. Под ними стояли вертикально на специальных подставках бактерицидные облучатели. Для создания циркуляции воздуха в середине камеры постоянно работал вентилятор. В зоне измерений скорость движения воздуха составляла 0,2 м/с по шаровому кататермометру.

Кроме облучателей в камере находились измерительные приборы: психрометр, термометр, многоканальный спектрометр аэрозольных частиц, соединенный с ЭИМ [1] и два счетчика аэроионов. Измерения полярной плотности заряда аэроионов фиксировали на ленте самописца счетчиков. Все измерения проводили с расстояния $1,5 \pm 0,2$ м от источников излучения.

В течение экспериментов температура, давление и относительная влажность в аэрозольной камере были, соответственно, 18°C , 1003 Па и 60%. До начала экспериментов регистратором оптического излучения РОИ-82 измеряли энергетическую освещенность (облученность) УФ излучения при различных расстояниях и сочетаниях работы УФ ламп. Эти данные приведены в табл. 1. Под облученностью следует понимать поверхностную плотность падающего на облучаемую поверхность УФ потока. Произведение облученности на время составляет дозу УФ облучения.

Проведение эксперимента включало несколько этапов. Характеристика воздуха в камере по этапам приведена в табл. 2.

Таблица I

УФ облученность, Вт/м² при работе бактерицидных и эритерных ламп или их сочетаний

УФ источники	Диапазон длины волны при измерении облученности, нм	Расстояние от источников, м		
		0,5	1,0	1,5
		облученность, Вт/м ²		
ЛЭ-30	280-320	2,7	0,92	0,44
ДБ-30	220-280	1,35	0,47	0,23
БУВ-30п	220-280	1,55	0,67	0,29
ЛЭ-30, ЛЭ-30	280-320	5,6	2,5	1,2
ДБ-30	220-280	1,5	0,6	0,3
ЛЭ-30, ЛЭ-30	280-320	5,8	2,6	1,5
ДБ-30, БУВ-30п	220-280	1,9	0,7	0,4

Таблица 2

Плотность заряда аэроионов и доза УФ облучения в этапах эксперимента

№ этапа	Время, мин	Характеристика воздуха в камере	Полярная плотность заряда тяжелых аэроионов, з вл.зар./см ³		
			+	:	-
1	0-36	Необлученный (НО), незагрязненный (НЗ)	1700		1100
2	36-109	УФ облученный (О), НЗ	2100		1200
3	109-148	УФ 0, следы УВ	2100		1100
4	148-178	НО, следы УВ	1800		1000
5	178-208	УФ 0, НЗ	2400		1800
6	208-243	УФ 0, загрязненный, (З) аммиак, следы УВ	2700		2000
6а	243-248	Вентилирование камеры			
7	248-331	УФ 0, З, аммиак, следы УВ и диоксид серы	2700		2300
8	331-381	З, аммиак, следы УВ и диоксид серы	2700		2100

Регистрировали плотность заряда аэроионов и спектр концентрации аэрозольных частиц. Средняя полярная плотность заряда аэроионов, измеряемая при предельной подвижности $10^{-3} \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, по этапам приведена в табл. 2.

Спектры аэрозольных частиц выдавались на печатающее устройство через каждые 5 мин. Математическая обработка данных эксперимента проводилась на ЭВМ "Искра-226". Техника регистрации спектра аэрозольных частиц осуществлялась многоканальным спектрометром аэрозолей и подробнее освещена в работе [1]. Пределы размеров измеряемых фракций аэрозольных частиц приведены в табл. 3. Изменения суммарной концентрации и среднего размера аэрозольных частиц во времени показаны на рис. 1 и 2.

Таблица 3
Пределы фракций в спектре размеров аэрозольных частиц

№ фр.	Размеры частиц, нм	№ фр.	Размеры частиц, нм
1	5,00 - 8,89	7	158 - 281
2	8,89 - 15,8	8	281 - 500
3	15,8 - 28,1	9	500 - 889
4	28,1 - 50,0	10	889 - 1580
5	50,0 - 88,9	11	1580 - 2810
6	88,9 - 158	12	2810 - 5000

Регистрирование физических характеристик воздуха проводили одинаково на всех этапах. При дальнейших объяснениях по этапам рис. 1 и 2, а также табл. 2 будут иллюстрировать рассматриваемое.

1. На первом этапе регистрировали фоновые параметры воздуха в камере. Необлученный незагрязненный воздух можно характеризовать относительно постоянной суммарной концентрацией аэрозольных частиц в среднем 25000 частиц/ см^3 . Средний радиус частиц составляет 35 нм.

2. Незагрязненный воздух облучали двумя ЛЭ-30 и одной ДБ-30 лампами 73 мин. Средний размер аэрозольных частиц при УФ облучении незагрязненного воздуха практически не изменяется. Наблюдается незначительное уменьшение (3%) суммарной концентрации аэрозольных частиц.

3. В незагрязненном воздухе присутствовала в следовых концентрациях (ниже 0,001 ПДК) смесь жидких углеводородов

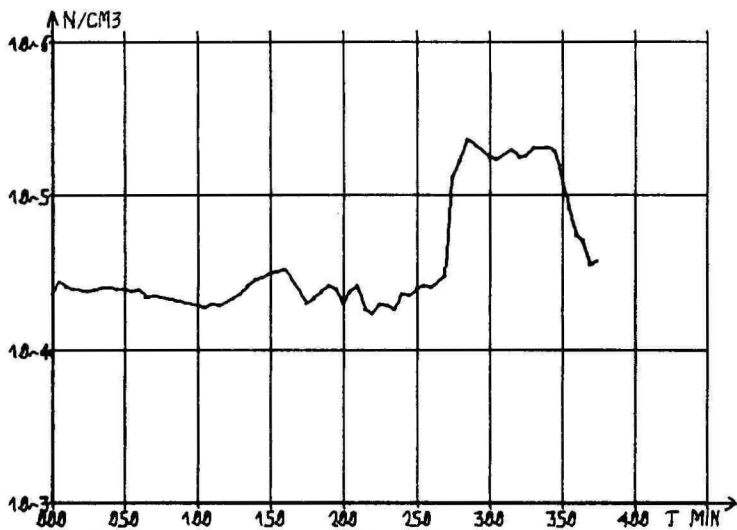


Рис. 1. Изменение суммарной концентрации аэрозольных частиц во времени.

Fig. 1. Total number concentration of aerosol particles versus time.

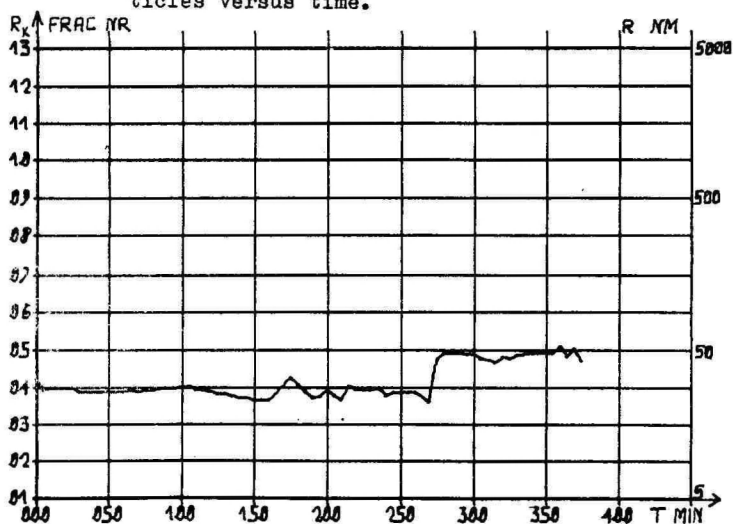


Рис. 2. Изменение среднего размера аэрозольных частиц во времени.

Fig. 2. Median size of aerosol particles versus time.

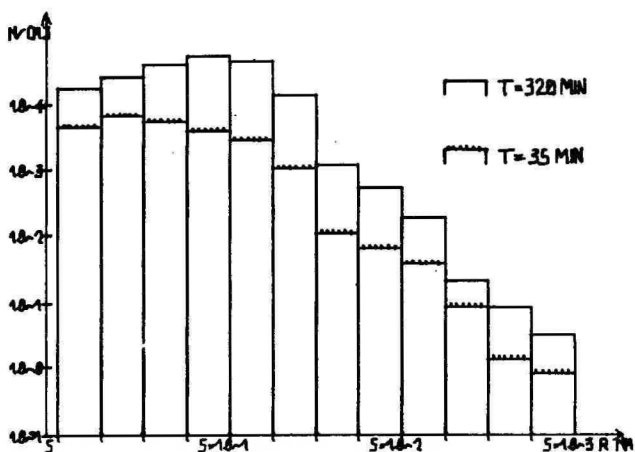


Рис. 3. Распределения аэрозольных частиц по размерам в разные моменты времени.

Fig. 3. Aerosol particle size distributions at different moments of time.

(УВ). Условия облучения были аналогичны этапу 2, время облучения - 39 мин. В этом случае наблюдается заметное увеличение концентрации аэрозольных частиц при их неизменном среднем размере. Плотность заряда аэроионов в облученном воздухе несколько увеличивается, причем наличие следов УВ в воздухе на этот показатель практически не влияет (табл. 2).

4. УФ облучение выключено. В воздухе присутствуют следовые концентрации УВ. Длительность этапа - 30 мин. После выключения облучения суммарная концентрация аэрозольных частиц продолжает расти. Заметно и повышение среднего размера аэрозольных частиц до 45 нм. Затем наблюдается снижение суммарной концентрации и среднего размера аэрозольных частиц до фоновому уровню. Эти явления могут быть обусловлены тем, что после выключения УФ облучателей химические реакции, инициируемые УФ, продолжаются. Образуются аэрозольные частицы, отличающиеся от начальных, которые являются относительно нестабильными и быстро распадаются. Опосредованно эту версию поддерживает спад плотности заряда аэроионов близко до фоновому уровню (табл. 2).

5. УФ облучение незагрязненного воздуха с двумя лампами ЛЭ-30, ДБ-30 и БУВ-30п. Длительность облучения - 30 мин. Здесь стабильность суммарной концентрации аэрозольных частиц не проявляется. Видимо, это обусловлено последствиями реакций, протекающих на этапе 4. Некоторое увеличение УФ облученности проявляет тенденцию увеличения суммарной концентрации аэрозольных частиц, однако, это требует специального исследования.

6. Аналогичное этапу 5 облучение воздуха. Воздух загрязнен аммиаком и следами УВ; средняя концентрация аммиака - 21 ± 3 мг/м³. Модальное загрязнение воздуха проведено по методике, приведенной в работе [2]. Определение аммиака проводили при помощи газоанализатора УГ-2 с индикаторными трубками. Время облучения - 35 мин. В отличие от облучаемого воздуха, загрязненного следами УВ, присутствие аммиака в концентрациях близких к ПДК не приводит за 35 мин к существенным изменениям в спектре аэрозольных частиц. Несколько увеличивается плотность заряда тяжелых аэроионов.

6а. Аналогичное этапу 5 облучение воздуха. Вентилирование камеры и помещения - 5 мин.

7. Аналогичное этапу 5 облучение воздуха. Воздух загрязнен аммиаком 36 ± 5 мг/м³, следами УВ и диоксидом серы 4 ± 1 мг/м³. (ПДК аммиака и диоксида серы в рабочей зоне по ГОСТ 12.1.005-76 составляет соответственно 20 и 10 мг/м³). Необходимую концентрацию диоксида серы создавали нагреванием метабисульфита натрия, при разложении которого выделялся диоксид серы, которую определяли газоопределятелем ГХ-4. Время облучения составляло 83 мин. При добавлении в воздух диоксида серы в концентрации 0,5 ПДК через некоторое время наблюдается повышение суммарной концентрации аэрозольных частиц примерно на порядок. Протекание химических реакций с образованием аэрозольных частиц запаздывает во времени; это объясняется тем, что для УФ иницирования и перемешивания газовой среды требуется определенное время. Начало химических реакций, ведущих к образованию аэрозольных частиц, отмечается заметным спадом среднего размера частиц, после которого средний размер частиц повышается до 50 нм и остается в течение облучения стабильным. Распределения аэрозольных частиц по размерам в фоновом и загрязненном воздухе показаны на рис. 3. Отметим, что конфигурация гистрограмм при разных этапах эксперимента остается приблизительно одинаковой в течение всего эксперимента.

8. УВ облучатели выключены. Воздух в камере загрязнен аналогично этапу 7. Длительность этапа – 50 мин. При выключении УФ облучателей первые 15 мин суммарная концентрация аэрозольных частиц остается малоизменной. Затем следует сначала быстрое, а потом несколько замедленное уменьшение суммарной концентрации аэрозольных частиц, которая из-за наличия в воздухе камеры аэрозольных частиц – необратимых продуктов реакции – остается выше фоновой исходной концентрации. Средний размер аэрозольных частиц остается повышенным, не проявляя тенденции заметного снижения.

Из обобщенных результатов следует:

1. Эритермное и бактерицидное УФ излучение обуславливает изменение концентрации аэрозольных частиц в воздухе. Прежде всего это относится к фракциям частиц менее 0,1 мкм. Глубина и степень этого изменения зависят от наличия номенклатуры и концентрации примесей в воздухе, а также от времени и дозы облучения. (Кратность циркуляции воздуха в данной работе не рассматривается.)

2. Изменения в аэрозольном составе воздуха, загрязненного следами УВ, аммиаком и двуокисью серы, необратимы.

3. При длительном (больше часа) УФ облучении ($\lambda = 220-380$ нм) незагрязненного воздуха, адекватного к атмосферному, наблюдается тенденция снижения суммарной концентрации аэрозольных частиц. В загрязненном (даже с микропримесями) воздухе может отмечаться обратное.

4. Наличие в воздухе одного аммиака со следами УВ в концентрациях, близких к ПДК, не приводит к существенному увеличению концентрации аэрозольных частиц.

Л и т е р а т у р а

1. Бернотас Т.П., Кольк Э.Э., Мирме А.А., Рейнарт А.Э., Таммет Х.Ф. Система сбора и обработки данных в спектрометрии аэрозолей и аэроионов. См. наст. сб., с.46-53.
2. Прийман Р.Э. О влиянии УФ облучения на свойства незагрязненного и загрязненного воздуха. См. наст. сб., с.102-109.

ON THE FORMATION OF SUBMICRON PARTICLES ACCOMPANIED
BY ULTRAVIOLET IRRADIATION OF AIR

R. Priiman and Ü. Kikas

S u m m a r y

The authors discuss the distribution of the size spectrum of aerosol particles ranging according to the radius from 5 nm to 5 μ m in polluted and unpolluted, UV irradiated and unirradiated air in an aerosol chamber. The irradiation of air was carried out at wave lengths of 200 - 380 nm. The air was polluted with ammonia and sulphur dioxide at permissible concentrations of work rooms or lower. The polluted air contained vapours of liquid hydrocarbons at trace concentrations. The polar charge density of air ions was measured at a limiting mobility of 10^{-3} cm²/(V·s). A brief analysis of the results of measurements has been presented in the paper. It partly follows from this analysis that the concentration of aerosol particles having a radius lower than 0.1 μ m increases by an order of magnitude in polluted irradiated air compared with unirradiated air.

О ВЛИЯНИИ УФ ОБЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА НЕЗАГРЯЗНЕННОГО И ЗАГРЯЗНЕННОГО ВОЗДУХА

Р.Э. Приyman

Высокая обеззараживающая эффективность бактерицидного ультрафиолетового (УФ) облучения доказана многими исследованиями и практикой. Однако в определенных условиях УФ облучение может обуславливать вторичное загрязнение воздуха продуктами фотохимического окисления.

Эксперименты проводили с УФ облученным незагрязненным и загрязненным аммиаком и следами углеводородов воздухом в закрытой камере объемом $1,3 \text{ м}^3$. Скорость конвективных потоков воздуха в камере (без работающих в ней приборов) составляла $0,02 \text{ м/с}$. Контрольные эксперименты были поставлены в аналогичных условиях в этой же камере без УФ облучения. Источником УФ облучения был бактерицидный облучатель БУВ-30п. Интенсивность лучистого потока составляла на расстояниях $0,5$, $1,0$ и $1,5 \text{ м}$ от центра лампы перпендикулярно к ее оси соответственно $2,0$, $0,65$ и $0,30 \text{ Вт/м}^2$.

Схема расположения приборов и устройств показана на рис. 1. После каждого эксперимента камеру вентилировали при открытых окнах камеры и комнаты при включенной вытяжной вентиляции в течение 15 мин . До и после экспериментов в камере определяли концентрации аммиака (только при загрязненном воздухе), двуокиси азота и озона. Из физических параметров воздуха измеряли плотность заряда аэроионов при предельных подвижностях $0,1$ и $0,001 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, концентрацию аэрозольных частиц в диапазонах диаметров $0,5-2,0 \text{ мкм}$, относительную влажность, температуру и давление воздуха, а также интенсивность лучистого потока.

Аммиак и двуокись азота определяли колориметрически с реактивом Нesslerа и n -(1-нафтил)-этилендиамином [1]. Озон — спектрофотометрически по выделившемуся йоду из щелочного раствора йодистого калия, подкисленного уксусной кислотой для устранения влияния двуокиси азота [2]. Полярную объемную плотность заряда аэроионов измеряли счетчиком аэроионов типа

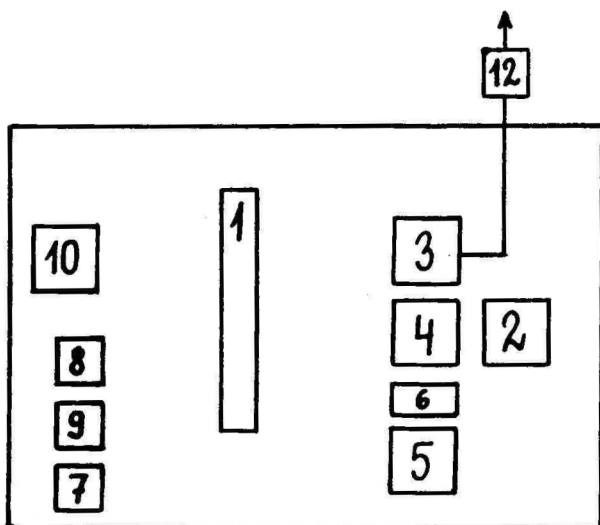


Рис. 1. Схема расположения приборов в камере.

1 - УФ облучатель, 2 - измерители давления, температуры и относительной влажности, 3 - отборники проб окислителей, 4,5 - счетчики аэрозольных частиц и аэроионов, 6 - дозиметр УФ излучения, 7,8,9 - источники жидких углеводородов, аммиака и паров воды, 10 - вентилятор, 11 - камера 0,5 x 1,9 x 1,4 м, 12 - расходомер.

Fig. 1. Scheme of the arrangement of the instruments in the chamber.

1 - UV-irradiator, 2 - instruments for measurement of pressure, temperature and relative humidity, 3 - selection flasks for oxidants, 4, 5 - counters of aerosols and air ions, 6 - dosimeter of UV irradiation, 7, 8, 9 - sources of liquid hydrocarbons, ammonia and water vapour, 10 - ventilator, 11 - chamber 0,5x1.9x1.4 m, 12 - anemometer

САИ ТПУ-7003. Численную концентрацию аэрозольных частиц измеряли фотоэлектрическим счетчиком аэрозольных частиц АЗ-5. УФ облученность определяли дозиметром ультрафиолетового излучения РОИ-82.

Все измерения проводили на расстоянии $1,0 \pm 0,1$ м от источника УФ излучения. Во время экспериментов и фоновых измерений в камере поддерживалась температура 17°C , давление - 1007 гПа. Относительную влажность в камере варьировали ис-

пользованием динамического равновесия концентрации паров воды над водой или насыщенным водным раствором соли и парогазовой смесью.

Исходные концентрации аммиака создавали введением в камеру кипящих 25%-ных растворов гидроокиси аммония, разлитых в стаканы с плоским дном различных диаметров. Одновременно в камеру был введен бикс со смесью жидких парафиновых углеводородов с целью подачи в воздух жидких углеводородов в следовых количествах (менее 0,001 ПДК) путем естественного испарения смеси.

До экспериментов в камере проверяли уменьшение концентрации аммиака за счет конвекционных потоков. При исходной концентрации аммиака 52 мг/м^3 его потери не превышали 6% в час.

После определения фонового уровня концентраций окислителей (озона и двуокиси азота), которые были ниже предела чувствительности метода их определения (для озона и аммиака соответственно 1,0 и $2,0 \text{ мкг/мл}$, а для двуокиси азота — $0,02 \text{ мкг/мл}$ исследуемой пробы), воздух в камере подвергали бактерицидному облучению от 10 до 100 мин. После определенных интервалов облучения воздух анализировали на отмеченные выше ингредиенты. Накопление в воздухе камеры окислителей в зависимости от времени облучения показано на рис. 2. Этот рисунок дополняет табл. I, в которой показаны динамика уменьшения концентрации аммиака и относительный уровень окислителей в облучаемом загрязненном воздухе.

После 35 ... 45 мин УФ облучения загрязненного воздуха наблюдалось исчезновение аммиака в камере. По сравнению с облученным в аналогичных условиях незагрязненным воздухом относительное повышение концентрации окислителей наблюдается с уменьшением концентрации аммиака и увеличением длительности облучения.

Концентрация озона достигает ПДК, установленной для рабочей зоны ($0,1 \text{ мг/м}^3$), примерно после часового и десятиминутного облучения соответственно соответственно незагрязненного и загрязненного воздуха. Концентрация двуокиси азота хотя и при облучении в несколько раз повышается, но ПДК, установленной для рабочей зоны (5 мг/м^3), далеко не достигает.

Причина повышения концентрации озона в загрязненном аммиаком УФ облучаемом воздухе не ясна и требует специального химического исследования. Видимо, это явление обусловлено каталитическим действием продуктов фотолиза загрязненного

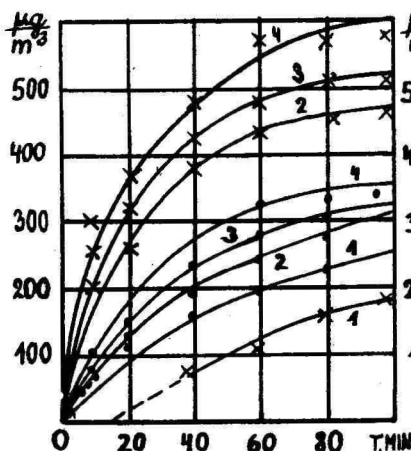


Рис. 2. Образование окислителей в зависимости от времени облучения: \cdot - озон, \times - двуокись азота; 1 - незагрязненный воздух, 2, 3, 4 - загрязненный воздух, концентрация аммиака 26, 42 и 83 $\text{мг}/\text{м}^3$.

Fig. 2. Formation of oxidants depending on the duration of irradiation. \cdot - ozone, \times - nitrogen dioxide, 1 - unpolluted air, 2, 3, 4 - polluted air, concentration of ammonia 26, 42, 83, mg/m^3 .

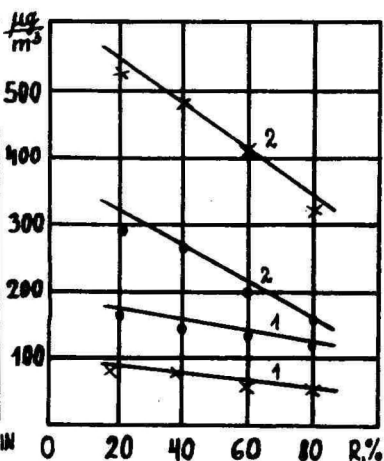


Рис. 3. Зависимость образования окислителей от относительной влажности. Время облучения - 40 мин. \cdot - озон, \times - двуокись азота; 1 - незагрязненный воздух, 2 - загрязненный воздух, концентрация аммиака 78 ± 3 $\text{мг}/\text{м}^3$.

Fig. 3. Dependence of the formation of oxidants on relative humidity. Duration of irradiation 40 min. \cdot - ozone, \times - nitrogen dioxide, 1 - unpolluted air, 2 - polluted air, concentration of ammonia 78 ± 3 mg/m^3 ...

воздуха. Незначительный рост концентрации двуокиси азота при УФ облучении загрязненного аммиаком воздуха объясняется тем, что основная часть аммиака при УФ облучении длиной волны $\lambda = 280$ нм превращается в гидразин [3]. ПДК гидразина и аммиака, установленных для рабочей зоны, составляет соответственно 0,13 и 35 $\text{мг}/\text{м}^3$ [2]. Для последующего анализа отметим, что ПДК для озона в атмосферном воздухе составляет 0,03, а для двуокиси азота - 0,085 $\text{мг}/\text{м}^3$.

Озону, многим фотооксидантам и двуокиси азота характерна суммация их токсического действия, по которой сумма соотношений концентраций озона и двуокиси азота к их ПДК в атмос-

Таблица I

Изменение содержания аммиака и относительное повышение концентраций окислителей в облучаемом загрязненном аммиаком воздухе при сравнении с незагрязненным облученным воздухом

Характеристика воздуха в камере	Время облучения, мин						
	0	10	20	40	60	80	100
Концентрация аммиака, мг/м ³	26	17	9				
Относительное увеличение концентрации:							
озона		1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,2
двуокиси азота				4,6	4,4	2,0	1,9
Концентрация аммиака, мг/м ³	42	27	16				
Относительное увеличение концентрации:							
озона		1,2	1,2	1,4	1,6	1,4	1,3
двуокиси азота				2,4	2,7	2,3	2,1
Концентрация аммиака, мг/м ³	83	60	32	14			
Относительное увеличение концентрации:							
озона		1,2	1,0	1,6	1,8	1,5	1,3
двуокиси азота				2,2	2,7	2,6	2,4

ферном воздухе должна быть меньше одного [4].

Применяя сказанное для оценки фотохимического загрязнения в камере, получим значения, приведенные в табл. 2. Эти относительные данные показательно характеризуют токсичность облученного незагрязненного и загрязненного воздуха.

Наблюдали уменьшение концентрации аэрозольных частиц диаметром 0,6 ... 1,0 мкм на 10 ... 20% после 30 мин облучения при их исходной концентрации 1800 ... 3700 частиц/л, фракции аэрозольных частиц 2,0 и 4,0 мкм практически оставались на исходном уровне, т.е. 300 ... 80 частиц/л. В загрязненном воздухе картина существенно не изменялась. Измеряемые фракции аэрозольных частиц не являются характерными для описания фотохимических превращений, которые в большинстве случаев протекают с образованием субмикронных фракций аэрозоль-

Таблица 2

Относительные эмпирические значения совместного токсичного влияния озона и двуокиси азота в УФ облученном незагрязненном и загрязненном воздухе

Характеристика воздуха в камере (относительная влажность 40%)	Время облучения, мин				
	10	20	40	60	80
Незагрязненный воздух	0,80	1,20	1,54	2,98	3,96
Загрязненный воздух при различных концентрациях аммиака, мг/м ³					
26,0	3,35	4,46	6,58	7,58	8,09
42,0	3,93	4,05	6,78	8,45	8,89
83,0	4,41	5,44	8,21	9,91	9,91

ных частиц [5]. Следовательно, измерение концентрации аэрозольных частиц широко потребляемым в практике счетчиком АЗ-5 в УФ облучаемом воздухе не дает полной информации о процессах формирования аэрозольных частиц, протекающих вне предела чувствительности этого прибора.

Полярная плотность заряда легких аэрозонов необлученного, облученного незагрязненного и загрязненного воздуха была в среднем следующей: $\pm 180-250$; $\pm 220-310$ и $\pm 130-190$ см²/(В·с). Соответствующие полярные плотности заряда тяжелых аэрозонов в аналогичном порядке составляли $\pm 1300-1800$; $\pm 1600-2100$; $\pm 2200-3300$ см²/(В·с). Эти данные показывают, что бактерицидное УФ излучение является слабым источником биполярной ионизации незагрязненного природного воздуха. Загрязнение воздуха аммиаком в пределах 1 ... 3 ПДК обуславливает значительное снижение плотности заряда легких и увеличение плотности заряда тяжелых аэрозонов.

Таким образом, бактерицидное УФ облучение является достаточно активным фактором, влияющим на химический состав и электрическое состояние воздуха. Глубина этого влияния зависит от химического и физического состояния облучаемого воздуха. Например, наличие аммиака обуславливает в облучаемом воздухе накопление окислителей и других продуктов фотоллиза, являющихся более токсичными, чем аммиак. Повышение относительной влажности воздуха, как это видно по рис. 3, несколько затормаживает процесс накопления окислителей в воздухе. Судя по повышению концентрации тяжелых и уменьшению концент-

рации легких аэрозонов в облучаемом загрязненном воздухе можно предполагать, что бактерицидное УФ облучение загрязненного аммиаком и следами углеводов воздуха обуславливает образование субмикронных аэрозольных частиц.

Из проведенного лабораторного исследования следует, что при применении УФ излучения в практических целях необходимо знать химический состав облучаемого воздуха, находящегося в динамическом равновесии с кратностью обмена воздуха в помещении, учитывать возможные фотохимические превращения и их каталитическое влияние друг на друга. УФ излучение, как правило, следует применять в хорошо вентилируемых помещениях, где кратность обмена воздуха больше 5 раз в час.

Л и т е р а т у р а

1. Унифицированные методы определения атмосферных загрязнений /Под ред. Сидоренко Г.И., Дмитриева М.Т. Совет экономической взаимопомощи. М., 1976. - 311 с.
2. Лейте В. Определение загрязнений воздуха в атмосфере и на рабочем месте. - Л.: Химия, 1980. - 342 с.
3. Окабе Х. Фотохимия малых молекул. - М.: Мир, 1981. - 500 с.
4. Перегуд Е.А., Горелик Д.О. Инструментальные методы контроля загрязнения атмосферы. - Л.: Химия, 1981. - 381 с.
5. Bricard J., Cabane M and others. Formation and Properties of Neutral Ultrafine Particles and Small Ions Conditioned by Gaseous Impurities of the Air. - J. Colloid Interface Sci., 1972, vol. 39, N 1, p. 42-58.

INFLUENCE OF ULTRAVIOLET IRRADIATION ON THE PROPERTIES
OF POLLUTED AND UNPOLLUTED AIR

R. Priiman

S u m m a r y

Bactericidal ultraviolet irradiation of rooms is widely used in medical and farming practice. Under certain conditions this may lead to the photochemical pollution of the air.

The formation of ozone and nitrogen dioxide in the closed chamber has been studied during the operation of an ultraviolet bulb in the case of unpolluted and polluted air (ammonia, traces of liquid hydrocarbons). At the same time the polar charge density of air ions and the numerical concentration of aerosol particles (larger than $0.5\mu\text{m}$ in diam.) has been measured.

Methods for the conduction of experiments and of analyses have been described. The results of experiments (changes in the concentrations of oxidants, of ammonia and of certain fractions of aerosol particles depending on the duration of ultraviolet irradiation and on the relative humidity) have been discussed.

ОБ ИЗМЕНЕНИИ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА ЗАКРЫТОГО
ПОМЕЩЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ ГЕНЕРАТОРА
ВОДНОГО ЭЛЕКТРОАЭРОЗОЛЯ

Л.П. Виснапу

Работа посвящена экспериментальному исследованию параметров микроклимата, создаваемого пневматическим генератором водного электроаэрозоля при его различных режимах работы в закрытом помещении. Целью исследования было выявление динамики и пределов изменения объемной плотности заряда, температуры и влажности воздуха после включения и выключения генератора электроаэрозоля. Полученные результаты представляют интерес при изучении вопросов кондиционирования воздуха [1].

Генератором электроаэрозоля служил пневматический распылитель с индуцирующим электродом [2]. Генератор был установлен в середине помещения, размерами $4 \times 4 \times 2,5 \text{ м}^3$, на высоте 0,3 м от пола. Распылитель питали сжатым воздухом, массовый расход которого $M_T = 5 \text{ г/с}$. В режиме зарядки распыливаемой воды на индуцирующий электрод подавали напряжение $U = +1 \text{ кВ}$. Распыливали водопроводную воду при массовом расходе $M_X = 1$ и 4 г/с , что регулировали осевым смещением индуцирующего электрода относительно жидкостного сопла. Ток конвекции измеряли по схеме, представленной в работе [3]. При обоих значениях расхода воды ток конвекции $I_K = 3,5 \text{ мкА}$.

Условную полярную плотность заряда электроаэрозоля измеряли аспирационным счетчиком аэроионов САИ ТТУ-66 [4] при предельных подвижностях $k_0 = 10^{-7}$, 10^{-6} и $10^{-5} \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$. Счетчик был расположен на расстоянии 1,5 м от генератора на высоте 0,8 м от пола. Объемный расход воздуха через измерительный конденсатор счетчика составлял при всех измерениях $4,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$.

Температуру и относительную влажность воздуха определяли аспирационным психрометром, установленным рядом со счетчиком аэроионов. При каждом из указанных значений предельной подвижности счетчика измеряли полярную объемную плотность заряда, температуру и относительную влажность воздуха перед включением в работу генератора электроаэрозоля, во время его

работы до наступления стационарного состояния измеряемых величин и после последующего выключения генератора электроаэрозоля до восстановления первоначального значения плотности заряда в воздухе. Показания измерительных приборов регистрировали в течение каждого цикла измерения через каждую минуту. При этом в режиме зарядки распыливаемой воды, когда на индуцирующий электрод подан потенциал +1 кВ, плотность положительного заряда была настолько малой, что счетчик не реагировал на нее. После каждого цикла измерения, длившегося 50 мин, помещение вентилировали до тех пор, пока параметры его микроклимата не достигли своих первоначальных значений.

В таблице представлены стационарные значения полярной плотности заряда, температуры и относительной влажности воздуха при различных режимах работы генератора электроаэрозоля. Предельная относительная погрешность представленных данных не превышает 10%. Значения величин, полученные без распыливания и зарядки воды, соответствуют их первоначальным (фоновым) значениям. Как видно из приведенных данных, пневматический распылитель позволяет повысить полярную объемную плотность заряда в воздухе при распыливании воды без электрической зарядки примерно в 100 раз. При этом повышение уровня плотности заряда больше при большем отношении M_T/M_X , т.е. при более высокодисперсном аэрозоле.

При распыливании воды с зарядкой полярная плотность заряда может увеличиваться до 1000 раз, причем на расстоянии от генератора большая плотность заряда может быть достигнута при меньшем отношении M_T/M_X . Это объясняется лучшими условиями удаления униполярных зарядов от генератора. Кроме того, необходимо заметить, что большее относительное увеличение плотности заряда при работе генератора электроаэрозоля в режиме зарядки происходит в части более подвижных заряженных частиц, а в режиме обычного распыливания без зарядки - в части менее подвижных заряженных частиц.

Включение рассматриваемого генератора водного электроаэрозоля приводит к понижению температуры воздуха на несколько градусов и к повышению относительной влажности на несколько десятков процентов. При достаточно большом расходе воды испарение капель распыла может привести к состоянию насыщающего пара (к 100 %-ной влажности). Большой расход воды вызывает большее понижение температуры и большее повышение относительной влажности. При этом режим зарядки распыливаемой воды обуславливает показание повышенной температуры и

Таблица

Стационарные значения условной плотности заряда, температуры и влажности воздуха при различных режимах работы генератора электроаэрозоля

Режим работы генератора	Полярная плотность заряда P (κ_0), нКл/м ³ при предельных подвижностях κ_0 , м ² /(В·с)			Температура воздуха T , °С	Относительная влажность воздуха R , %
	$P(10^{-7})$	$P(10^{-6})$	$P(10^{-5})$		
Без распыливания и зарядки воды	+1,6 -1,1	+0,6 -0,4	+0,3 -0,2	20	50
Распыливание ($M_{\text{ж}} = 1$ г/с) без зарядки	+180 -190	+80 -100	+11 -14	17	95
Распыливание ($M_{\text{ж}} = 1$ г/с) с зарядкой ($U = 1$ кВ)	+0 -240	+0 -190	+0 -100	18	87
Распыливание ($M_{\text{ж}} = 4$ г/с) без зарядки	+96 -100	+37 -42	+5,8 -7,4	15	100
Распыливание ($M_{\text{ж}} = 4$ г/с) с зарядкой ($U = 1$ кВ)	+0 -400	+0 -320	+0 -130	16	95

пониженной относительной влажности по сравнению с тем, что имеется при отсутствии зарядки.

Измерения показали, что 80 %-ные уровни стационарных значений плотности заряда, температуры и влажности воздуха устанавливаются через несколько минут после включения генератора электроаэрозолей, а их первоначальные (фоновые) значения восстанавливаются через несколько десятков минут после выключения генератора, причем относительно быстрее восстанавливаются фоновые значения температуры (10 мин) и плотности заряда частиц с подвижностью более $10^{-5} \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ (15 мин). В режиме распыливания воды с зарядкой фоновые значения плотности заряда восстанавливаются значительно быстрее, чем соответствующие значения влажности. С увеличением массового расхода распыливаемой воды время установления стационарных значений рассмотренных величин заметно уменьшается.

Л и т е р а т у р а

1. Губернский Ю.Д., Корневская Е.И. Гигиенические основы кондиционирования микроклимата жилых и общественных зданий. - М.: Медицина, 1978.
2. Виснапуу Л.Ю. Пневматический распылитель с индуцирующим электродом. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1973, вып. 320, с. 209-216.
3. Виснапуу Л.Ю. и др. Пневматический генератор электроаэрозолей для дезинфекции жилых помещений. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1971, вып. 283, с. 129-140.
4. Таммет Х.Ф. Счетчик аэроионов САИ-ТТУ-66. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1970, вып. 240, с. 157-163.

ON CHANGING THE PARAMETERS OF MICROCLIMATE IN A CLOSED
ROOM ACCOMPANIED BY THE GENERATION OF ELECTROAEROSOLS

L. Visnapuu

S u m m a r y

The conventional polar charge density, the relative humidity and the air temperature have been experimentally investigated in a closed room under different operating regimes of the pneumatic electroaerosol generator used for dispersing water. Examples have been presented on the application of these parameters after switching the generator on and off.

In the capacity of an aerosol generator was used a pneumatic sprayer with an axial-symmetrical nozzle, which was fed direct inducing voltage. The conventional charge density was measured with an aspiration counter of air ions of the type SAI-TGU, whereas the humidity and the air temperature were measured with an aspiration psychrometer.

The parameters measured were the following: the mass flow rate of the water to be dispersed - 4 g/s, the amount of the air to be dispersed - 5 g/s and that of the convective current - 3.5 μ A. The electroaerosol generator was located in the middle of the room having a volume of 40 m³. All the measurements were carried out near the wall of the room. The stationary polar charge density at a limiting mobility of 10^{-7} m²/(V·s) exceeded 400 nC/m³ and the relative humidity was under 0.95. The air temperature was reduced by 2 ... 4 K. The stationary values of the above-mentioned quantities were reached a few minutes after the switching-on of the generator whereas their initial (background) quantities were restored in the closed room after the passage of several tens of minutes.

О РЕЗУЛЬТАТАХ ИСПЫТАНИЯ ГЕНЕРАТОРА ЭЛЕКТРОАЭРОЗОЛЕЙ ДЛЯ ДЕЗИНФЕКЦИИ ПОМЕЩЕНИЙ

М.Н. Белов, Л.Ю. Виснапуу, Э.Э. Пярнасте

1. Введение

Эффективность производства продуктов животноводства в значительной мере зависит от санитарного состояния ферм и комплексов, обеспечения профилактики заболеваний животных и птиц, сокращения потерь в животноводстве. Для поддержания высокого уровня чистоты и санитарного благополучия в животноводстве требуется систематически очищать и дезинфицировать помещения, оборудование, обрабатывать самих животных. На предприятиях пищевой промышленности дезинфекция также является одной из важнейших санитарно-гигиенических мер, направленных на предупреждение загрязнений пищевых продуктов микроорганизмами и обеспечение санитарного благополучия этого вида продукции.

Так, по данным [1], при убое до тысячи птиц в один час в 1 м^3 воздуха в месте подвески птицы на конвейере обнаружено бактерий до 534 тыс., в центре цеха — до 450 тыс., а в месте снятия тушек с конвейера — до 390 тыс.; и среди них — кишечные палочки, протерии, гемолитические стрептококки, а также плесени и другие микроорганизмы. Обсеменению микроорганизмами подвергается не только воздух цеха, но и тушки животных и птиц, поверхности помещения и оборудования. Например, на поверхности столов во время убоя птиц и их обработки количество бактерий колеблется в пределах от $4 \cdot 10^6$ до $16 \cdot 10^{10}$ на 1 м^2 площади.

Исследования многих авторов показывают, что одним из наиболее эффективных методов санации воздуха, дезинфекции поверхностей помещения и оборудования является применение электрoзаряженных аэрозолей.

В качестве источника электроаэрозолей использовали модернизированный вариант генератора электроаэрозолей, описанного в работе [2].

Целью данной работы является изучение бактерицидной и

функциональной активности электроаэрозолей надуксусной кислоты и выяснение возможности их применения для профилактической дезинфекции.

2. Модернизированный генератор электроаэрозолей

Для проведения испытаний был изготовлен модернизированный генератор электроаэрозолей, представленный на рис. 1.

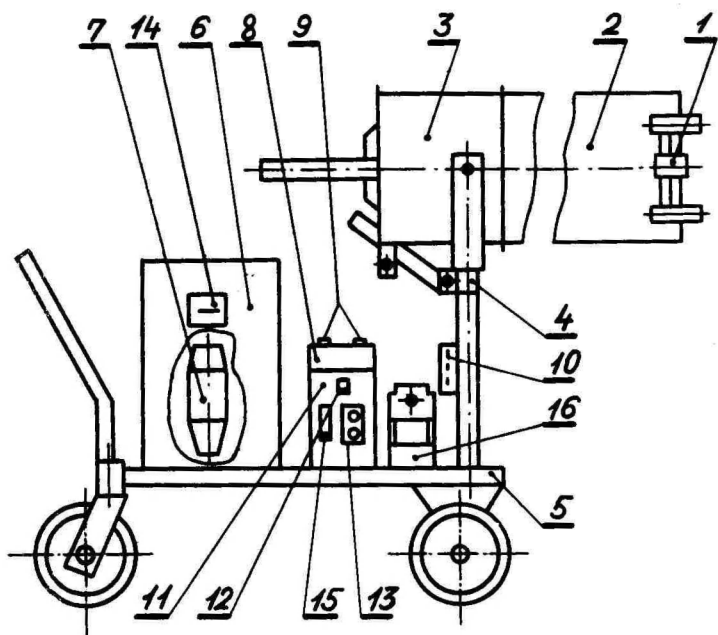


Рис. 1. Устройство модернизированного генератора электроаэрозолей: 1 - блок распылителей; 2 - трубчатый кожух; 3 - вентилятор; 4 - поворотное устройство; 5 - тележка; 6 - резервуар распыляемой жидкости; 7 - насос жидкости; 8 - источник индуцирующего напряжения; 9 - лампы индикации; 10 - узел разъема электропитания и разделения трубопровода подачи жидкости; 11 - блок управления; 12 - тумблер питания источника напряжения; 13 - пускатель вентилятора; 14 - выключатель насоса; 15 - общий автоматический выключатель; 16 - масло-влажностделитель.

Fig. 1. Device of a modernized electroaerosol generator.

Для повышения маневренности, снижения массы и удобства в эксплуатации габариты тележки 5 были уменьшены в 1,3 раза. Наличие узла 10 разъема электропитания и разделения трубопровода подачи жидкости позволяет быстро демонтировать генератор электроаэрозолей на отдельные блоки, что значительно облегчает транспортировку генератора электроаэрозолей. Регулирование подачи распыливаемой жидкости осуществляется вентилем (на рис. 1 не показано), прикрепленным к резервуару 6 распыливаемой жидкости.

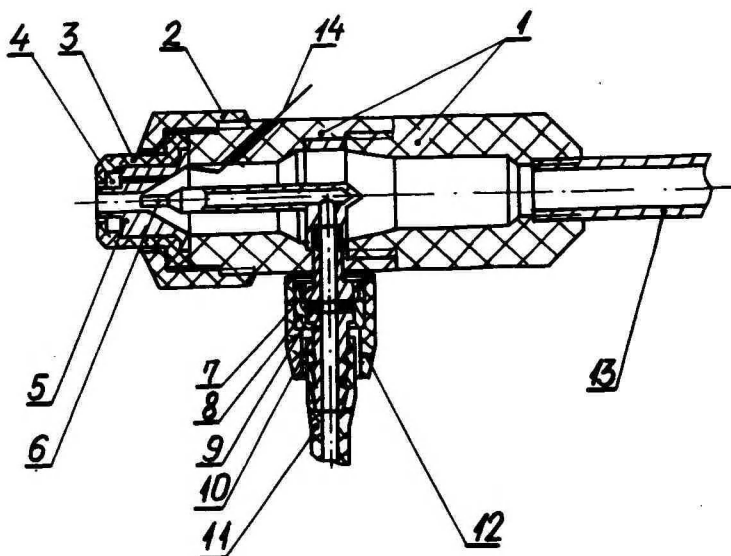


Рис. 2. Модернизированный распылитель:

1 - составной корпус; 2 - накидная гайка; 3 - кольцевой насадок; 4 - канал обдува индуцирующего электрода; 5 - индуцирующий электрод; 6 - жидкостное сопло; 7 - жидкостный штуцер; 8 - резьбовая втулка; 9 - прокладка; 10 - штуцер; 11 - трубка подачи жидкости; 12 - изоляционная втулка; 13 - патрубков подвода сжатого воздуха; 14 - провод питания индуцирующего электрода.

Fig. 2. A modernized sprayer.

В ходе предварительных испытаний выяснилось, что конструкция самих распылителей также нуждается в доработке. Требовалось улучшить электрическую изоляцию индуцирующих электродов.

тродов распылителей, упростить регулировку соосности индуцирующих электродов и жидкостных сопл, демонтаж и монтаж распылителей.

С целью устранения этих недостатков был разработан распылитель, представленный на рис. 2.

Улучшение изоляции было достигнуто за счет того, что провод питания I4 электрически соединен с индуцирующим электродом 5 не снаружи, а внутри корпуса I распылителя. Изоляция наружной поверхности индуцирующего электрода 5 усилена за счет его обдува сжатым воздухом по каналу 4. Регулировка соосности осуществляется за счет радиального смещения индуцирующего электрода 5 относительно корпуса I и последующей их фиксации накидной гайкой 2. Торцевое соединение распылителя с патрубком I3 подвода сжатого воздуха и фланцевое соединение жидкостного штуцера 7 со штуцером I0 подачи жидкости позволяют быстро произвести демонтаж и замену распылителей.

3. Материал и методика исследования

Объектом исследований служили производственные помещения Тартуского мясокомбината. При испытании модернизированного генератора электроаэрозолей в качестве источника сжатого воздуха использовали стационарную компрессорную станцию, развивающую давление 0,2-0,3 МПа при расходе сжатого воздуха 0,03-0,05 м³/с.

Для выяснения микробной загрязненности производственных помещений мясокомбината брали пробы воздуха помещений при помощи аппарата Кротова, а с поверхностей помещений - смывы стерильными ватными тампонами, смоченными стерильным физиологическим раствором хлористого натрия. Смывы брали с поверхностей (0,1 x 0,1 м) пола, стен на высоте 1,0-1,5 м. Посевы на питательные среды делали по общепринятой методике. Рабочие параметры генератора определяли так же, как в работе [2].

В качестве дезинфицирующего раствора использовали 30%-ный раствор препарата надуксусной кислоты - эстостерила. Норму расхода при этом поддерживали равной 5 мл действующего вещества эстостерила на 1 м³ помещения; время экспозиции - 2 ч.

4. Результаты исследований

В ходе опытов производительность по распыливаемой жидкости генератора составляла 20 г/с, массовый медианный диаметр

первоначальных капель распыла - 30 мкм, а их удельный заряд - до 2 мкКл/г. Длина факела электроаэрозоля достигала 5 м.

Результаты исследований бактерицидной и фунгицидной активности электроаэрозолей эстостерила в производственных условиях мясокомбината приведены в табл. I.

Как видно из этой таблицы, общая загрязненность поверхностей составила $3,0 \pm 0,3$ бактерий и $25,5 \pm 0,4$ спор плесневых грибов на одной пробе, что соответствует и количеству микроорганизмов на 1 см^2 .

После обработки помещения электроаэрозолями эстостерила загрязненность поверхностей составляла $0,5 \pm 0,3$ бактерий и $8,2 \pm 0,3$ спор плесневых грибов на 1 см^2 . Дезинфекционная эффективность - соответственно 83,3% и 67,8%.

В ходе оценки дезинфекционной эффективности электроаэрозолей эстостерила выяснилось также, что они оказывают бактерицидное и фунгицидное действие в отношении биологического аэрозоля. Так, если до дезинфекции загрязненность воздуха составляла на одной пробе $5,6 \pm 0,5$ бактерий и $25,0 \pm 0,5$ спор плесневых грибов, то после дезинфекции эти показатели равнялись $0,6 \pm 0,3$ и $0,7 \pm 0,3$, а дезинфекционная эффективность - соответственно 89,3% и 97,2%.

Приведенные данные свидетельствуют, что электроаэрозоли эстостерила обладают выраженным бактерицидным и фунгицидным действием в отношении биологического аэрозоля. В то же время обеззараживающее действие на поверхностях в отношении споровой микрофлоры было незначительным - 67,8%. Это объясняется тем, что при механической очистке не достигалось полного обезжиривания поверхностей. Это и явилось причиной недостаточной дезинфекционной эффективности электроаэрозолей эстостерила в условиях мясокомбината.

Учитывая вышеизложенное, авторы поставили задачу изучить возможность увеличения антимикробной активности путем прибавления к раствору поверхностно-активных веществ, например, сульфанола. Результаты соответствующих исследований также приведены в табл. I.

Как выяснилось, прибавление сульфанола в количестве 0,5% к раствору эстостерила повышает его антимикробное действие. Можно предположить, что сульфанол способствует более глубокому и быстрому проникновению надуксусной кислоты в микроструктуру загрязнений, покрывающих внутреннюю поверхность помещений.

Таблица I

Дезинфекционная эффективность электроаэрозолей при обработке помещения
 Efficiency of electroaerosols in the disinfection of rooms

Препарат	Объект исследования	К-во опытов	К-во посевов в опыте	Показатели	К-во колоний микробов на одной чашке Петри	К-во колоний плесневых грибов на одной чашке Петри
I	2	3	4	5	6	7
30%-ный раствор эвостерила	Внутренняя поверхность помещения	2	10	До дезинф.	$3,0 \pm 0,3$	$25,5 \pm 0,4$
				После дезинф.	$0,5 \pm 0,3$	$8,2 \pm 0,3$
				Эффективность, %	83,3	67,8
Воздух помещения	2	10	До дезинф.	$5,6 \pm 0,5$	$25,0 \pm 0,5$	
			После дезинф.	$0,6 \pm 0,3$	$0,7 \pm 0,3$	
			Эффективность, %	89,3	97,2	
30%-ный раствор эвостерила	Внутренняя поверхность помещения	2	10	До дезинф.	$4,9 \pm 0,4$	$22,5 \pm 1,5$
				После дезинф.	$0,5 \pm 0,5$	$4,4 \pm 0,6$
				Эффективность, %	89,8	80,4
с 0,5%-ным раствором сульфанола	Воздух помещения	2	10	До дезинф.	$5,9 \pm 1,4$	$26,3 \pm 0,7$
				После дезинф.	$0,5 \pm 0,2$	$0,7 \pm 0,2$
				Эффективность, %	91,2	97,3

5. Заключение

Результаты испытаний позволяют сделать вывод, что генератор электроаэрозолей целесообразно применять для дезинфекции объектов, имеющих стационарные компрессорные станции с производительностью 0,03–0,05 м³/с сжатого воздуха при давлении 0,2–0,25 МПа.

Электроаэрозоли эстостерила обладают выраженным бактерицидным и фунгицидным действием в отношении биологического аэрозоля. Так, при указанных выше режимах обработки загрязненного воздуха эффективность дезинфекции составила соответственно 89,3% и 97,2%. В то же время эффективность дезинфекции поверхностей оказалась ниже – 83,3% и 67,8%. Это вызвано недостаточным обезжириванием поверхностей при механической обработке.

Добавление к раствору эстостерила 0,5%-го поверхностно-активного вещества (сульфанола) повышает эффективность дезинфекционной обработки до 89,8% и 80,4% соответственно.

Авторы выражают благодарность старшему научному сотруднику Р.Э. Прийман за большую помощь в подготовке и проведении экспериментов, а также за ценные предложения, высказанные в ходе обсуждения результатов исследований.

Л и т е р а т у р а

1. Бочаров Д.А. Разработка методов и режимов профилактической дезинфекции цехов убой птицы. – Труды ВНИИЭС. М., 1969, т. 32.
2. Белов М.Н., Висопапу Л.Д. Об исследовании генератора электроаэрозолей с несколькими распылителями. – Учен. зап. Тарт. ун-та, 1979, вып. 479, с. 115–126.

ON THE RESULTS OF CONDUCTING TESTS WITH THE ELECTRO-
AEROSOL GENERATOR FOR DISINFECTION OF ROOMS

M. Belov, L. Visnapuu and E. Pärnaste

S u m m a r y

The paper describes the design of a modernized generator of aerosols provided with a pneumatic sprayer.

It has been experimentally established that the electroaerosol preparation "Etoosterile" has a pronounced bactericidal and fungicidal action with regard to biological aerosols, 89.3 % and 97.2 % respectively. At the same time the efficiency of the disinfection of surfaces turned out to be inferior - 83.3 % and 67.8 %. Addition of an infecting substance (sulphanol) raises the efficiency of disinfecting processing up to 89.8 % and 80.4 % respectively.

ОБ ЭВОЛЮЦИОННОМ МЕХАНИЗМЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
1/f -ФЛУКТУАЦИЙ

В. А. Кавалов

В исследованиях флуктуаций со спектральной плотностью, подчиняющейся 1/f закономерности (f - частота), широкое признание получили активационный механизм возникновения этих флуктуаций. Во многих физических процессах время жизни (время релаксации, постоянная времени) какого-нибудь состояния зависит экспоненциально от энергии активации E [1]:

$$\tau = \tau_0 \exp \frac{E}{kT}, \quad (I)$$

где τ_0 - константа, T - температура и k - постоянная Больцмана. Для доказательства возникновения 1/f -флуктуаций при таких процессах используется концепция широкого набора времен жизни или т.н. концепция Ван дер Зеля-Дю Пре (Van der Ziel - Du Pre) [2, 3]. Согласно этой концепции предполагают равновероятность всех активационных энергий в каком-нибудь промежутке от E_1 до E_2 . Тогда, согласно соотношению (I), возникает определенное распределение ($\sim 1/\tau$) времен жизни в соответствующем промежутке от τ_1 до τ_2 , что в конечном счете приводит к спектральной плотности флуктуаций типа 1/f, т.е. $S(f) \sim 1/f$ [1].

Подобное положение, предполагающее широкий набор времен жизни, получило большое распространение среди теоретических и экспериментальных работ по 1/f -флуктуациям, а особенно плодотворным оно является в исследованиях 1/f -флуктуаций в твердых телах (см., например, обзор [1]).

Но окончательно доказанной концепции Ван дер Зеля-Дю Пре нельзя еще считать, т.к., например, авторы работы [4] утверждают, что не видно прозрачного физического объяснения подобной гипотезы. С другой стороны, Махлуп (Machlup) [5] пишет: "В течение многих лет мы задавали себе вопрос о существовании какого-то особого механизма, имеющего своеобразный, на несколько декад распространенный, набор постоянных времени.

Но мы не нуждаемся в каком-либо особом механизме. Нам лишь нужно иметь широкий набор механизмов, которые не имеют никаких особых требований к масштабам. Дело в том, что природа достаточно хаотична, чтобы не предпочесть определенный масштаб".

Недостатком концепции Ван дер Зилья-Дю Пре является неубедительное обоснование равновероятности энергии в относительно широком интервале. На первый взгляд кажется, что вряд ли можно найти в природе такие процессы, которые имели бы подобное равновероятное распределение энергии. Эта трудность преодолевается введением принципа развития или эволюции $1/f$ -флуктуационных процессов, что и является целью данной работы.

В связи с описанием общих процессов, происходящих в самоорганизующихся системах, очень важное место занимает понятие эволюции [6]. Рассматривая какую-нибудь открытую систему, изменение энтропии dS в ней в течение времени dt может быть представлено в виде [6]:

$$dS = d_e S + d_i S,$$

где $d_e S$ - обменный поток (энергия и вещество) энтропии и $d_i S$ - производство энтропии в самой системе, вызванное происходящими там необратимыми процессами ($d_i S \geq 0$).

Критерием эволюции является переход, при котором удовлетворяется следующее условие [6]:

$$dS < 0, \quad (2)$$

т.е. эволюция представляет такой процесс, при котором данная система переходит из состояния с более высокой энтропией в состояние с более низкой энтропией. Это возможно только при отрицательных значениях $d_e S$ ($d_e S < 0$) при выполнении следующего условия:

$$|d_e S| > d_i S \geq 0. \quad (3)$$

В случае $dS = 0$ ($|d_e S| = d_i S$) имеем дело со стационарным состоянием.

Критерии эволюции (2) и (3) ничего не говорят о том, как может произойти переход из состояния с более высокой энтропией в состояние с более низкой. Очень возможным является

такой процесс, при котором окончательное (стационарное) состояние достигается путем перехода через промежуточные стационарные состояния. Тогда общий поток энтропии в систему и производство энтропии внутри ее представляются суммами:

$$d_e S = \sum_{j=1}^n d_{ej} S_j; \quad d_i S = \sum_{j=1}^n d_{ij} S_j, \quad (4)$$

где n — число промежуточных стационарных состояний.

Критерием эволюции в данном случае являются следующие неравенства:

$$\begin{cases} |d_{e1} S| > d_{i1} S; & |d_{e2} S| > d_{i2} S; \dots; & |d_{en} S| > d_{in} S, \\ |d_e S| > d_i S. \end{cases} \quad (5)$$

Предполагаем, что процесс эволюции протекает таким образом, что при прохождении системы через промежуточные состояния времена жизни следующих друг за другом промежуточных состояний увеличиваются. Таким образом, можно написать

$$\begin{cases} S_1 > S_2 > \dots > S_j > \dots > S_n, \\ \tau_1 < \tau_2 < \dots < \tau_j < \dots < \tau_n. \end{cases} \quad (6)$$

Соотношениями (4), (5) и (6) могут быть представлены чисто детерминистские процессы эволюции: переход из начального состояния в конечное происходит через определенные и строго последовательные промежуточные состояния, причем каждое последующее состояние характеризуется более низким уровнем энтропии и более продолжительным временем жизни.

Рассмотрим какую-нибудь большую систему, состоящую из независимых друг от друга подсистем, и пусть эволюция каждой подсистемы (и всей системы в целом) является уже не детерминированной, а случайным процессом. Пусть в данном случае для каждой подсистемы действительны условия (6), т.е. состоянию с более низкой энтропией соответствует более продолжительное время жизни, только переходы между промежуточными состояниями являются случайными процессами. Тогда каждую подсистему можно рассматривать с определенной вероятностью эволюционирующей, и для всей системы критерием эволюции является следующее соотношение:

$$dS = d^1S + d^2S + \dots + d^hS + \dots + d^NS < 0,$$

где d^hS является изменением энтропии h -ой подсистемы.

Пусть в начальный момент времени вся система находится в начальном состоянии. По мере возрастания времени происходит вероятностный переход всех подсистем в сторону конечного состояния. Пусть $P_1^h(t)$ является вероятностью перехода h -ой подсистемы к какому-нибудь моменту времени t_1 в промежуточное состояние с энтропией S_1 и временем жизни τ_1 , т.е. $(S_1; \tau_1)$; $P_2^h(t)$ - к моменту времени t_2 в состоянии $(S_2; \tau_2)$ и т.д. до $P_n^h(t)$ - вероятности перехода к моменту времени t_n в конечное состояние. Считая вероятность $P_j^h(t)$ ($h = 1, 2, \dots, N$) данного перехода для каждой подсистемы равной, можно опустить верхний индекс h и представить вероятность $P_j(t)$ нахождения данной подсистемы в состоянии $(S_j; \tau_j)$, как показано на рис. 1а. Продифференцировав данные кривые, получим диаграмму плотности вероятности $\rho(t, \tau)$ (рис. 1б) нахождения данной системы в момент времени t в состоянии с временем жизни τ , $\tau + d\tau$. В данном случае все подсистемы эволюционируют совместно и синхронно, хотя при этом плотность вероятности нахождения всех подсистем в интервале состояния τ , $\tau + d\tau$ со временем расширяется (рис. 2б). Переходы из одного состояния в другое сопровождаются флуктуациями, которые в частотном спектре отражаются таким образом, что по мере возрастания времени появляются более низкочастотные флуктуации и уходят более высокочастотные. Но на практике, по-видимому, такого типа переходы отсутствуют, по крайней мере нет об этом экспериментальных данных.

С практической точки зрения более важным представляется тот случай, когда мы не можем считать вероятности переходов $P_j(t)$ всех подсистемы из одного состояния в другое равными, а у нас имеется целый набор показанных на рис. 1а вероятностей, т.е. для каждой подсистемы имеются свои вероятности переходов. В таком случае диаграмма плотности вероятности $\rho(t, \tau)$ на рис. 1б преобразуется в диаграмму, показанную на рис. 1в. Видно, что теперь при малых временах t все подсистемы сосредоточены в области малых времен жизни, но по мере возрастания времени, плотность вероятности рассеивается в область более продолжительных времен жизни. При этом сохраняются состояния с малыми временами жизни, хотя их влияние при возрастании времени уменьшается.

Рассмотрим, какова вероятность эволюции $P(\tau)$, под кото-

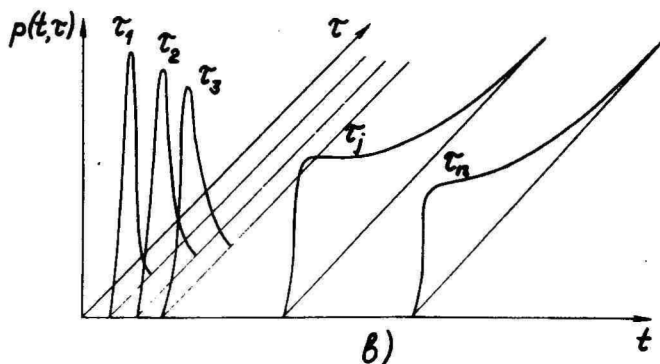
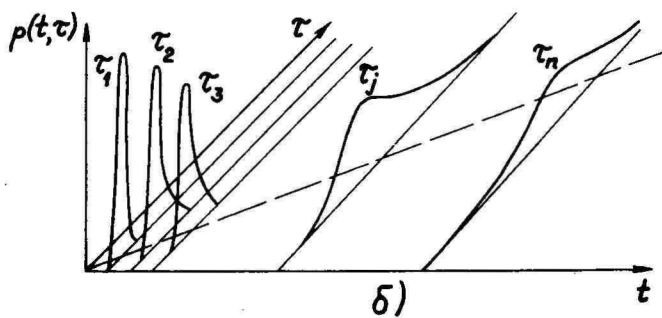
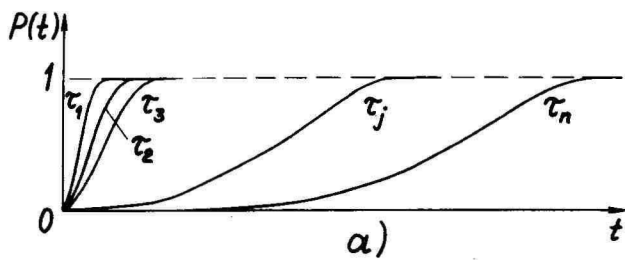


Рис. 1. Диаграммы вероятностей (объясняются в тексте).
 Fig. 1. Diagrams of probabilities (explanations in the text).

рой понимаем вероятность прохождения данной подсистемы в случайные моменты времени $t_1, t_2, \dots, t_j, \dots, t_n$ соответственно состояния $(S_1; \tau_1), (S_2; \tau_2), \dots, (S_j; \tau_j), \dots, (S_n, \tau_n)$. Чтобы данная подсистема эволюционировала к конечному состоянию, она должна пройти промежуточные состояния с вероятностями $P(\tau_1), P(\tau_2), \dots, P(\tau_j), \dots, P(\tau_n)$, что приводит к выражению:

$$P(\tau) = P(\tau_1) \cdot P(\tau_2) \cdot \dots \cdot P(\tau_j) \cdot \dots \cdot P(\tau_n) = P_1(\tau) \cdot P_2(\tau) \cdot \dots \cdot P_j(\tau) \cdot \dots \cdot P_n(\tau). \quad (7)$$

К подобному же выражению приходим, если рассмотрим в какой-нибудь момент времени вероятность нахождения всех подсистем в состояниях с временами жизни $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_j, \dots, \tau_n$.

После логарифмирования выражение (7) представляется в виде:

$$\log P(\tau) = \log P_1(\tau) + \log P_2(\tau) + \dots + \log P_j(\tau) + \dots + \log P_n(\tau).$$

Если для $\log P_j(\tau)$ существует первый и второй моменты, то, согласно центральной предельной теоремы, $\log P(\tau)$ подчиняется распределению Гаусса [7]:

$$F[\log P(\tau)] = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left[-\frac{(\log \tau - \log \bar{\tau})^2}{2\sigma^2} \right], \quad (8)$$

где σ^2 — дисперсия и $\bar{\tau}$ — среднее значение времени жизни.

Распределению (8) соответствует плотность распределения для нахождения τ в промежутке $\tau, \tau + d\tau$:

$$p(T) dT = \frac{1}{T} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left[-\frac{(\log T)^2}{2\sigma^2} \right] dT,$$

где с целью нормализации τ замечено на $\tau/\bar{\tau}$ ($\tau \rightarrow \tau/\bar{\tau} = T$). После логарифмирования данного выражения, получим

$$\log p(T) = -\log T - \frac{\log T^2}{2\sigma^2} - \frac{1}{2} \log 2\pi\sigma^2.$$

Отсюда видно, что для изменения плотности вероятности $p(\tau)$ по закону

$$p(\tau) \sim \frac{1}{\tau}, \quad (\tau_1 < \tau < \tau_2), \quad (9)$$

нужно предположить большие значения дисперсии σ^2 . Чем больше дисперсия, тем в большем промежутке времен жизни удовлетворяется соотношение (9). Подобное предположение разумно, т.к. дисперсия всей системы выражается суммой отдельных дисперсий $\sigma^2 = \sum_{j=1}^n \sigma_j^2$. Это также видно из рис. 1в, где плотность вероятности $p(\tau)$ расширяется с возрастанием времени эволюции.

Таким образом, в описываемой эволюционирующей системе с широким распределением времен жизни состояний ее подсистем возникает флуктуация со спектральной плотностью, подчиняющейся закону $1/f$.

В данном рассмотрении мы не исходили из уравнения (I), как это обычно делается, а руководствовались лишь общими принципами эволюционирующихся систем. Отсюда можно решить и обратную задачу, т.е. вывести уравнение (I). Если плотности вероятности в соотношении (9) соответствует функция распределения вероятности $G(\tau)$, то для τ получим аналогично уравнению (I):

$$\tau = \tau_0 \exp \frac{G(\tau)}{A},$$

где A - коэффициент пропорциональности.

Говоря о времени жизни какой-нибудь системы в данном состоянии, следует иметь в виду, что это всегда связано с энергией, а точнее - с глубиной потенциальных ям, поэтому вполне разумно принимать распределение $G(\tau)$ как распределение энергии. В данном случае, принимая $G(\tau) = CE$, получим и уравнение (I) (C - константа).

В заключение можно сказать следующее: чтобы иметь равновероятность энергии в каком-нибудь интервале в случайно развивающихся системах, необходимо рассматривать эти системы в течение относительно длительного времени.

Из равновероятности энергии в промежутке от E_1 до E_2 следует, что плотность вероятности $p(\tau)$ в данном случае представляет собой статистическую весовую функцию [5]. Тогда, по известной энтропийной формуле Больцмана, можно с точностью до константы написать:

$$S = k \ln p(\tau) = k \ln \frac{1}{\tau}. \quad (10)$$

Отсюда вытекает, что в сложной эволюционирующей системе, где времена жизни определяются соотношением (I), энтропия всей системы уменьшается при возрастании длительности времен жизни подсистем.

Из (IO) вытекает также выражение для производства негэнтропии dS_N в данной системе за промежуток $d\tau$ изменения времени жизни, что равносильно промежутку времени dt :

$$dS_N = -dS = \frac{k}{\tau} .$$

Следовательно, производство негэнтропии в данной системе, где образование промежуточных состояний подчиняется уравнению (I), при возрастании времен жизни уменьшается и в предельном случае, когда $\tau \rightarrow \infty$, обращается в нуль ($dS_N \rightarrow 0$). Тогда говорят, что система достигла своего стационарного состояния.

Учитывая то, что энтропия определяет меру упорядоченности в данной системе, можно сделать следующий вывод: связанное с уменьшением энтропии увеличение упорядоченности в случайно эволюционирующих системах сопровождается $1/f$ -флуктуациями, а при достижении стационарного состояния системы $1/f$ -флуктуации в ней связаны с сохранением уже существующей упорядоченности.

Л и т е р а т у р а

1. Dutta P., Horn P.M. Low-frequency fluctuations in solids: $1/f$ noise. - *Revs. Mod. Phys.*, 1981, vol. 53, N 3, p. 497-516.
2. Van der Ziel A. On the noise spectra of semiconductor noise and flicker effect. - *Physica*, 1950, vol. 16, N 4, p. 359-372.
3. Du Pre F.K. A suggestion regarding the spectral density of flicker noise. - *Phys. Rev.*, 1950, vol. 78, N 5, p. 615.
4. Бочков Г.Н., Кузовлев Ю.Е. Новое в исследованиях $1/f$ -шума. *Успехи физ. наук*, 1983, т. 141, вып. I, 151-176.
5. Machlup S. Earthquakes, thunderstorms, and other $1/f$ noises. - *Proc. 6th Int. Conf. on Noise in Physical Systems. Gaithersburg (USA). Dep. Commer. Nat. Bur. Stand. Spec. Publ.*, 1981, N 614, p. 157-160.

6. Ebeling W., Weistl R. Physik des Selbstorganisation und Evolution. Berlin: Akademie-Verlag, 1982, - 451 S.
7. Montroll, E.W., Shlesinger M.F. On $1/f$ noise and other distribution with long tails. - Proc. Nat. Acad. Sci. USA: Appl. Mathem. Sci., 1982, vol. 79, N 10, p.3380-3383.

AN EVOLUTIONARY MECHANISM OF THE RISE OF $1/f$ -FLUCTUATIONS

J. Hämmälöv

S u m m a r y

To explain the rise of $1/f$ -fluctuations, the concept of a wide set of time constants has been advanced by Van der Ziel and Du Pre, which has become widely accepted. The drawback of this concept is an insufficient motivation of an equal probability distribution of energy over a relatively wide interval.

To justify the equal probability distribution of energy, an evolutionary mechanism has been proposed. The author discusses a combined system whose subsystems can evolve from the initial state to the final state through a great number of stationary intermediate states. At the same time an increase in the time constants of the successive intermediate states has been assumed. In systems of this kind after a relatively long time of evolution the probability density distribution of time constants takes on the form of $1/\tau$, which directly leads to the rise of $1/f$ -fluctuations.

A significant conclusion drawn in this paper is the following: in combined evolutionary systems an increase in ordering is accompanied by $1/f$ -fluctuations.

О СВЯЗИ $1/f$ -ФЛУКТУАЦИЙ С УПОРЯДОЧЕНИЕМ

Ю.А. Хяммалов

В данной работе, являющейся продолжением работы [1], ставится целью определить в общих чертах место тех систем, в которых упорядочение сопровождается $1/f$ -флуктуациями. В конце работы коротко излагается ряд положений по исследованию $1/f$ -флуктуаций, поддерживающих (или во всяком случае не противоречащих) предложенный в работе [1] эволюционный механизм возникновения $1/f$ -флуктуаций.

Основной вывод работы [1] сводится к следующему: случайные эволюционные процессы в сложной системе приводят к уменьшению энтропии всей системы, и, таким образом, к увеличению упорядоченности; этот механизм упорядочения сопровождается $1/f$ -флуктуациями. Когда система достигает своего стационарного состояния, $1/f$ -флуктуации связаны с сохранением уже существующей упорядоченности в данной системе.

В природе существующие системы разделяются на диссипативные и консервативные [2, 3]. По Пригожину [3], упорядоченные структуры возникают в диссипативных открытых системах, выведенных далеко от равновесного состояния. Таким состояниям свойственна внутренняя нелинейная динамика. Для компенсации прироста энтропии внутри системы требуется постоянный приток энергии извне.

Приводя отличительные признаки диссипативных и консервативных систем, думается, что основное различие заключается в следующем. В консервативной системе ее составные части (подсистемы) связаны между собой силами, благодаря чему мы можем говорить о целостности данной системы. Это сводится к тому, что в консервативной системе существует потенциальное поле с ловушками (ямами). Последнее обстоятельство и определяет то, что упорядоченность в консервативных системах может сохраняться в течение длительного времени после прекращения притока энергии. В диссипативных системах постоянно проходят потоки энергии, и особенно большие потоки в случае возникновения там упорядоченных структур. Следовательно, в таких системах постоянно существует градиент энергии или направ-

ленное потенциальное поле.

Из определения диссипативной системы и ее отличия от консервативной системы следует, что изложенный в работе [1] медленный механизм упорядочения, сопровождающийся $1/f$ -флуктуациями, возможен лишь в консервативных системах.

Критерии эволюции [2, 3] не исключают и возможности существования в консервативных системах быстрого механизма упорядочения, т.е. прямого перехода из начального состояния с более высокой энтропией в конечное с более низкой (рис. 1б). Примером могут служить фазовые переходы, где упорядоченная структура из беспорядка возникает очень быстро (кристаллизация, парамагнетизм). При медленном механизме упорядоченность устанавливается из беспорядочного состояния (хаоса) непосредственно (рис. 1а), например, при адсорбции газов на поверхности или как продолжение упорядочения, следующее за быстрым механизмом (рис. 1б). О последнем свидетельствует то, что в твердых телах с кристаллической структурой, т.е. после совершения быстрого механизма упорядочения, существуют $1/f$ -флуктуации [4] медленного механизма упорядочения.

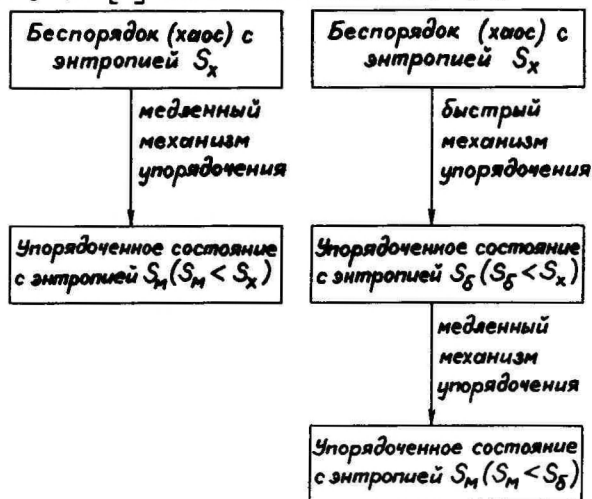


Рис. 1. Возможные механизмы упорядочения в консервативных системах: а) медленный механизм; б) быстрый механизм с последующим медленным механизмом.

Fig. 1. Possible mechanisms of ordering in conservative systems: а) slow mechanism; б) rapid mechanism followed by a slow mechanism.

В работе [1] и в данной работе не ставится целью выявить те источники энергии, за счет которых происходило бы уменьшение энтропии в консервативных системах. Согласно работе [1], для получения более длительных времен жизни промежуточных состояний самоорганизующихся систем требуются большие значения энергии. Энергетическую сторону упорядочения в общем виде можно рассматривать на основании первого начала термодинамики, представляя его в следующем виде:

$$S = \frac{U}{T} - \frac{F}{T}$$

где F - свободная энергия, U - внутренняя энергия, T - температура и S - энтропия. Так как температура является мерой внутренней энергии, то между ними существует однозначная связь, которую в случае газообразного состояния можно выразить как $U = \alpha T$, где α - константа. В таком случае можно написать

$$S = \alpha - \frac{F}{T}.$$

Отсюда видно, что при постоянной температуре энтропия системы может уменьшаться только с введением в систему извне свободной энергии. Это требование должно быть выполнено как при быстром, так и при медленном механизме упорядочения. Разница заключается только в том, что при быстром механизме свободная энергия вводится быстро, в то время как при медленном механизме это возможно лишь в течение довольно длительного времени.

На рис. 2 приведена классификация упорядоченных (самоорганизующихся) систем, возникающих из беспорядка. Говоря о потенциальном поле беспорядка, можно сказать, что беспорядок (хаос) характеризуется вообще отсутствием потенциального поля, если конечно система довольно большая, чтобы краевые условия не принимались в расчет. В таком случае беспорядок характеризуется чисто тепловыми флуктуациями.

В настоящее время нет достаточных данных утверждать, но вполне возможно, что диссипативные системы, где постоянно проходят большие потоки энергии, должны характеризоваться дробовыми флуктуациями. Последние, как известно, возникают из-за дискретности носителей энергии. Например, Ван дер Зил [5] приводит данные работ, где дробовые флуктуации исследовались в лазерах, которые, как известно [2], рассматриваются

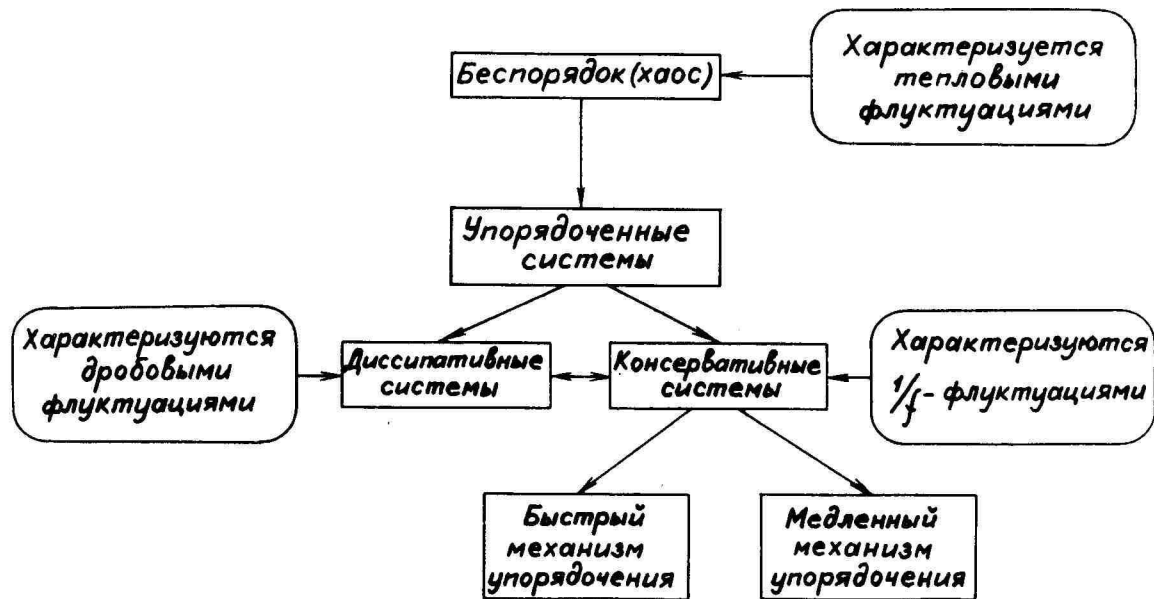


Рис. 2. Классификация упорядоченных систем с характерными типами флуктуаций.

Fig. 2. Classification of ordered systems with characteristic types of fluctuations.

как пример диссипативной системы.

На рис. 2 между диссипативными и консервативными системами указана связь, которая определяет то обстоятельство, что диссипативные системы могут существовать лишь в рамках консервативных систем. Это обстоятельство создает определенные трудности и в исследованиях $1/f$ -флуктуаций в консервативных системах. Дело в том, что в общем случае $1/f$ -флуктуации обнаруживаются в потоках частиц, например, в твердом теле, когда через объект пропускают ток [4].

Судя по специальной литературе, нет еще единой теории $1/f$ -флуктуаций. Можно лишь привести ряд положений, поддерживающих или во всяком случае не противоречащих предположению о том, что $1/f$ -флуктуации связаны с упорядочением и его сохранением в консервативных системах. Эти положения следующие.

Универсальность $1/f$ -флуктуаций. $1/f$ -флуктуации как явление, встречающееся в самых разнообразных системах: в физических [6], химических [7], космических [8], астрономических [9], геофизических [9], биологических [10]. С точки зрения механизма возникновения $1/f$ -флуктуаций во всех этих системах может служить эволюционный механизм, предложенный в работе [1].

Стационарность $1/f$ -флуктуаций. Вопрос о стационарности $1/f$ -флуктуаций уже в течение многих лет волнует многих исследователей. Результаты экспериментальных работ противоречивы. Тот факт, что спектральная плотность $1/f$ -флуктуаций при понижении частоты беспредельно растет и экспериментально [12] до сих пор не обнаружено никакого отклонения от закономерности $1/f$, уже говорит о нестационарности этих процессов. В работах по исследованию стационарности $1/f$ -флуктуаций обычно изучается распределение амплитуд флуктуаций и соответствие гауссовому распределению [11]. В случае отклонения от гауссового распределения можно сказать, что флуктуации нестационарны. Применяя здесь эволюционный механизм возникновения $1/f$ -флуктуаций, можно отметить, что во многих работах, как, например, указывается и в работе [13], время измерения (частотный диапазон измерения) слишком мало для того, чтобы обнаружить нестационарность в тех областях времен релаксации, до которых данная система уже эволюционировала. Но данный вопрос не является относительно $1/f$ -флуктуаций принципиально важным в том смысле, что если говорить о нестационарности процессов, то это значит, что система еще

эволюционируется (упорядочение растет). Если говорить о стационарности процессов, то система дальше не эволюционируется и $1/f$ -флуктуации являются лишь результатом сохранения достигнутой упорядоченности.

Термодинамическое равновесие $1/f$ -флуктуаций. Системы, где обнаружены $1/f$ -флуктуации, находятся с окружающей средой в термическом равновесии [4]. Но по распределению вещества они могут находиться вблизи равновесия [14], а также далеко от него, например, полупроводниковые приборы [5], неоднородные твердые тела [15], полупроводниковые объекты с прыжковой проводимостью [16]. Таким образом, является ли распределение вещества в данной системе равновесным или неравновесным, не влияет на $1/f$ закономерность спектральной плотности флуктуаций. Безусловно, на уровень флуктуаций это оказывает влияние [15], но не на $1/f$ закономерность. Результаты исследования $1/f$ -флуктуаций в твердых телах, наиболее развитой области исследования в настоящее время (об этом см., например, обзор [4]), показывают, что $1/f$ -флуктуации здесь связаны со структурными изменениями [13] в объекте. Это не противоречит эволюционной модели, т.к. упорядочение может найти место как в равновесных, так и неравновесных (по веществу) системах.

Л и т е р а т у р а

1. Хяммадов Ю.А. Об эволюционном механизме возникновения $1/f$ -флуктуаций. См. наст. сб., с.123-131.
2. Ebeling W., Feistel R. Physik der Selbstorganisation und Evolution. Berlin, 1982. - 451 S.
3. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М., 1979. - 512 с.
4. Dutta P., Horn P.M. Low-frequency fluctuations in solids: $1/f$ noise. - Revs. Mod. Phys., 1981, vol. 53, N 3, p. 497-516.
5. Van der Ziel A., History of noise research. - Adv. Electronics Electron Phys., 1980, vol. 50, p. 351-409.
6. Hooge F.N., Kleinpenning T.G.M., Vandamme L.K.J. Experimental studies on $1/f$ noise. - Rep. Progr. Phys., 1981, vol. 44, N 5, p. 479-532.

7. Bertocci U. Noise in electrochemical systems. - Proc. 6th Int. Conf. on Noise in Phys. Syst., Gaithersburg (USA), 1981, Nat. Bur. Stand., Spec. Publ., 1981, N 614, p. 157-160.
8. Либан И.Я., Дорман Л.И. Флуктуационные явления в космических лучах и их связь с процессами в межпланетной среде. - В кн.: Материалы III Всесоюзн. конф. "Флуктуационные явления в физических системах". Вильнюс, 1983, с. 121-124.
9. Press W.H. Flicker noise in astronomy and elsewhere. - Comments on Astrophys., 1978, vol. 7, N 4, p. 103-119.
10. Musha T. $1/f$ fluctuations in biological systems. - Proc. 6th Int. Conf. on Noise in Phys. Syst., Gaithersburg (USA), 1981, Nat. Bur. Stand., Spec. Publ., 1981, N 614, p. 143-146.
11. Bell D.A. A survey of $1/f$ noise in electrical conductors. - J. Phys. C: Sol. St. Phys., 1980, vol. 13, N 24, p. 4425-4437.
12. Caloyannides M.A. Microcycle spectral estimates of $1/f$ noise in semiconductors. - J. Appl. Phys., 1974, vol. 45, N 1, p. 307-316.
13. Nelkin M., Tremblay A.M.S. Deviation of $1/f$ voltage fluctuations from scale-similar Gaussian behavior. - J. Stat. Phys., 1981, vol. 25, N 2, p. 253-268.
14. Hooge F.N. $1/f$ noise. Physica, 1976, vol. 83B, N 1, p. 14-23.
15. Fleetwood D.M., Giordano N. Effect of strain on the $1/f$ noise of metal films. - Phys. Rev. B, 1983, vol. 28, N 6, p. 3625-3627.
16. Коган Ш.М., Шкловский Б.И. Избыточный низкочастотный шум при прыжковой проводимости. - ФП, 1981, т. 15, № 6, с. 1049-1061.

ON THE CONNECTION OF $1/f$ -FLUCTUATIONS WITH ORDERING

J. Hämmälöv

S u m m a r y

This paper is in general form concerned with systems where ordering may be accompanied by $1/f$ -fluctuations. It will be pointed out that in nature conservative systems can be connected with $1/f$ -fluctuations.

A classification of ordered systems is given. On the basis of this classification disorder is characterized by thermal fluctuations, conservative systems - by $1/f$ -fluctuations, and dissipative systems - by shot-fluctuations.

The basic state in the study of $1/f$ -fluctuations has been shortly treated. These do not contradict the evolutionary mechanism of the rise of these fluctuations.

О ПРИМЕНИМОСТИ МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫХ И ИГУЛЬЧАТЫХ КОНТАКТОВ В ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

О.В. Сакс, Е.И. Шульченко

В большинстве случаев электрометрическое устройство имеет на входе коммутационные элементы (КЭ) для переключения измерительных резисторов, накопительных конденсаторов, калиброванных источников сигнала, для отключения входа усилителя от датчика и пр., а также для замыкания входа усилителя. От качества КЭ в значительной мере могут зависеть эксплуатационные и некоторые метрологические характеристики электрометрического устройства, например, наименьший промежуток времени, за который можно выполнить одно измерение, надежность, ресурс работы и гарантийный срок устройства, переходные характеристики [1], уровни шума и паразитного тока [2; 3], точность воспроизведения измерений и др. [4; 5].

Широкий диапазон требований, предъявляемых к коммутационным элементам в современной технике электрометрии, объясняется прежде всего разнообразием электрометрических устройств [6], а также разными назначениями КЭ. Перечислим их:

- | | |
|--|--------------------------------------|
| - паразитный ток | не более 10^{-14} - 10^{-18} А; |
| - наброс заряда при переключении | не более 10^{-12} - 10^{-16} Кл; |
| - сопротивление утечки | не ниже 10^{11} - 10^{16} Ом; |
| - проходная емкость при разомкнутой цепи | не более 10^{-11} - 10^{-12} Ф; |
| - минимальный передаваемый по КЭ ток | 10^{-12} - 10^{-17} А; |
| - переходное сопротивление | не более 10^{-2} - 10^6 Ом; |
| - ресурс по числу коммутаций | не ниже 10^4 - 10^9 ; |
| - управление | ручное или релейное. |

К этим можно добавить еще тривиальные требования: простота изготовления и невысокая стоимость.

Серийные радиотехнические переключатели, как правило, не удовлетворяют полному комплексу требований. Поэтому в промышленных электрометрических устройствах нашли применение различные КЭ: переделанные электромагнитные реле, кнопочные

переключатели, дополненные контактными иглами, магнитоуправляемые контакты (герконы), МОП-транзисторы, специальные реле серии РВ [7] или специально сконструированные переключатели, например, в приборах Б6-13, Б6-14, ВК2-16, ЭД-05М, ИТН-6 и др.

В данной работе авторы ограничиваются рассмотрением только проблем электромеханических КЭ. Приводятся результаты исследования некоторых конструкций КЭ, разработанных О.В. Саксом, а также некоторых типов серийных магнитоуправляемых контактов (МК).

Большинство требований, предъявляемых к КЭ и перечисленных выше, в отдельности могут быть удовлетворены без особых затруднений, однако, их одновременное выполнение представляет уже сложную конструкторскую и технологическую задачу.

Паразитный ток механических КЭ состоит из нескольких составляющих, важнейшими из которых являются следующие:

- ток утечки изолятора;
- ионизационный ток;
- холодная эмиссия электронов.

С применением лейкосапфира, янтаря, полистирола, фторопласта и др. можно легко свести ток утечки до уровня 10^{-17} А и ниже. Для ограничения паразитного ионизационного тока следует уменьшить геометрические размеры КЭ, а также применить экран для обеспечения минимального активного воздушного объема вокруг КЭ [3; 8]. Для уменьшения холодной эмиссии электронов до уровня 10^{-17} А необходимо обеспечить размыкание контактов с минимальным взаимным трением по касающимся поверхностям.

Переключение и размыкание высокоомной цепи всегда сопровождается набросом заряда, представляющего собой либо одну, либо сумму двух-трех составляющих. Механизмы генерации составляющих заряда те же, с которыми сталкиваются в технике контактных вибропреобразователей [9]:

- генерация заряда в результате изменения емкости в присутствии электростатического поля, в том числе и контактной разности потенциалов (КРП);
- трение между подвижными деталями, например, металла по диэлектрику;
- изменение усилия, приложенного к изолятору;
- в момент включения или выключения реле индуцирование заряда в КЭ изменяющимися полями: магнитным или электростатическим, т.е. током или напряжением питания реле.

В высокочувствительных динамических электрометрах неред-

ко применялись различные игольчатые переключатели [6, 8]. На рис. 1 представлен пример одной секции дистанционно управляемого переключателя, применяемого на входе электрометра УТ-7101 и других приборов.

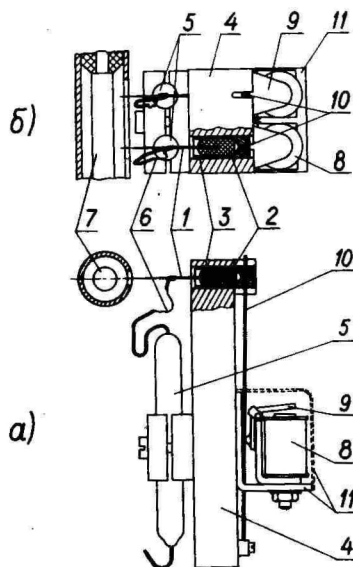


Рис. 1. Игольчатый переключатель.
Fig. 1. Needle switch.

Контактная игла I закреплена в изоляторе 2, изготовленном из полистирола, янтаря или фторопласта. Изолятор помещен в металлическую гильзу 3, выполняющую роль электростатического экрана. Гильза вместе с изолятором и иглой может перемещаться на 1-2 мм по направляющей паза в верхней части корпуса 4 переключателя. Измерительный резистор 5 соединен с иглой I гибкой проволокой 6. При срабатывании реле 8 резистор подключается иглой к входному стержню 7, электрометрического усилителя. Перемещение якоря 9 передается гильзе 3 через стержневую пружину 10. Когда реле обесточивается, пружина 10 оттягивает иглу I от стержня 7. Реле помещено в магнитный экран II.

Переключатель может иметь любое количество таких секций. Располагают их вокруг входного стержня 7, в ряд на одной ли-

нии или группами по две-три секции с противоположных сторон стержня 7. На рис. 16 приведена двухэлементная секция переключателя.

Хотя изготовление игольчатого переключателя сложно, он удовлетворяет некоторым наивысшим требованиям, например, обладает малыми набросами заряда и паразитным током (в разомкнутом состоянии паразитный ток между стержнем 7 и иголкой I порядка 10^{-18} А), малой емкостью (обычно 0,1-1 пФ). Однако игольчатый контакт имеет также существенные недостатки: малый ресурс переключений ($10^4 - 10^5$), низкая надежность (нередко требует регулировки или ремонта), переходное сопротивление контакта не постоянно - при повторном переключении оно может меняться случайным образом в пределах двух-трех порядков, например, от 10^{-2} до 10 Ом. Последний недостаток лишает возможности применять игольчатый переключатель в точных измерителях сопротивления (в мостах).

На рис. 2 приведена типичная гистограмма распределения

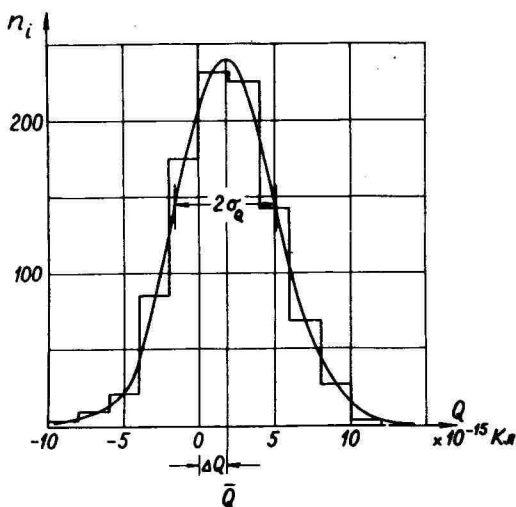


Рис. 2. Гистограмма распределения отклонений показаний электрометра, обусловленных набросом заряда.

Fig. 2. Histogram of the distribution of deviation of readings.

отклонений результата измерения динамического электрометра (УТ-6Е01, УТ-7101, УТ-7515 и других подобных) с игольчатым

контактом. Измерения проведены в режиме измерения заряда на пределе 30 фКл. Гистограмма составлена на основе данных, полученных при осуществлении 1000 размыканий контакта. Среднее арифметическое значение генерируемого заряда \bar{Q} оказывалось равным 1,8 фКл. Распределение отдельных отклонений от \bar{Q} соответствует нормальному распределению со средним квадратическим значением $\sigma_Q = 3,4$ фКл. Следует отметить, что среднее арифметическое значение \bar{Q} не является постоянной величиной. Детальное исследование повторных серий показало, что \bar{Q}_i изменяется во времени. Пример реального изменения \bar{Q}_i представлен на рис. 3.

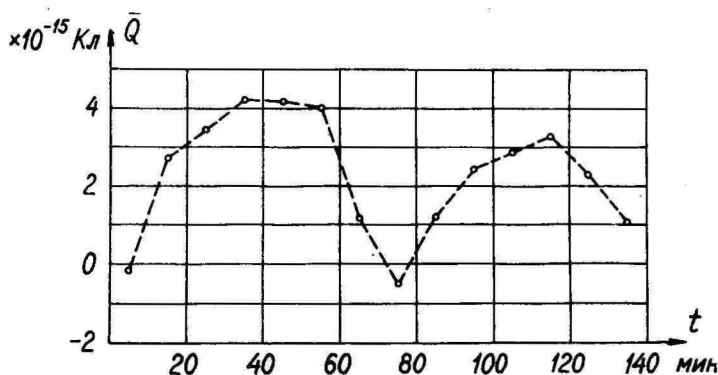


Рис. 3. График реального изменения среднего арифметического значения \bar{Q}_i .

Fig. 3. Chart of factual alterations of arithmetic mean value \bar{Q}_i .

Одной из возможных причин изменения \bar{Q} является изменение КРП между иглой и входным стержнем 7 (по рис. 1). Однако это не единственная причина изменения \bar{Q} . Авторами установлено, что смещение среднего значения \bar{Q} вызывается также изменением давления контакта, режима питания реле, скорости движения подвижных частей контакта, неустойчивостью креплений деталей, перемещением геометрических точек контактирования, и, наконец, изменением (даже микроскопическим) глубины "кратера", который возникает вследствие ударов иглки о поверхности стержня 7.

Высокой надежностью и ресурсом работы (до 10^9 замыканий) обладают магнитоуправляемые контакты (МК). Однако не все се-

рично выпускаемые типы МК применены в электрометрических устройствах [10].

Авторами исследовались герметичные МК (герконы) типа МКА-10501 (рис. 4а) и МК-27-3Б (рис. 4б). Первые из них обеспечивают паразитный ток порядка 10^{-17} А, вторые - 10^{-14} А и выше в нормальных условиях. Измерения проводились на динамическом электрометре типа УТ-7515 с уровнем собственного паразитного тока, не превышающим $3 \cdot 10^{-17}$ А. Паразитные токи

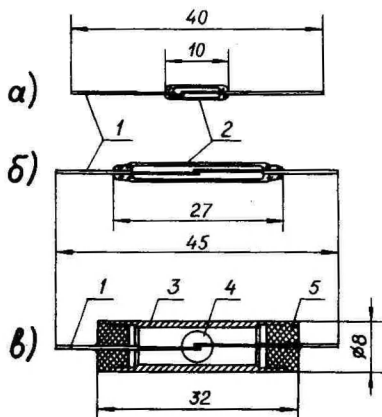


Рис. 4. Серийные герконы МКА-10501(а), МК-27-3Б(б) и магнитоуправляемый контакт на янтарных изоляторах (в).

Fig. 4. Dry-reed switches: а, б - commercially available; в - home-made on amber insulators.

регистрировались только по истечении 12 часов и более с момента подключения МК ко входу электрометра. После подключения к поверхностям геркона больше не прикасались. Указанные типы герконов обладают также малой емкостью разомкнутых контактов - в среднем $0,2$ пФ и достаточно высоким сопротивлением утечки - выше 10^{14} Ом. Однако из-за большого паразитного тока КЭ типа МК-27-3Б в большинстве случаев не могут быть применены без переделки. На рис. 4в показан разрез переделанного МК, в котором применены контакты I, освобожденные от стеклянного баллона 2 геркона МК-27-3Б. Контакты I установлены с помощью эпоксидного компаунда в янтарные втулки 5. Стеклянный баллон геркона заменен трубочкой 3 из немагнитной нержавеющей стали Х18Н9Т. В центре трубочки просверлено от-

верстие 4, необходимое для точной установки контактов I при их монтаже (для обеспечения их плоскопараллельности и для регулировки зазора между ними). Емкость между разомкнутыми контактами в среднем составляет 0,1 пФ.

В таблицах I и 2 приведены результаты исследования наброса заряда герконов МК-1050I и переделанных МК (по рис. 4в): среднее арифметическое значение наброса заряда \bar{Q} и оценка среднего квадратического отклонения набросов заряда как

$$S_Q = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2},$$

где n - общее число размыканий; Q_i - наброс заряда;
 \bar{Q} - среднее арифметическое значение наброса заряда как

$$\bar{Q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i.$$

S_Q и \bar{Q} выражены в фемтокулонах.

Таблица I

Геркон МКА-1050I; $n = 30$

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
\bar{Q}	43,3	22,8	62,1	-17,6	-24,9	31,6	70,7	14,1	36,9	7,0
S_Q	0,3	3,2	0,9	0,7	0,9	1,4	3,6	0,1	0,3	0,4

Таблица 2

МК по рис. 4в; $n = 100$

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
\bar{Q}	27,7	24,7	23,0	10,0	14,3	7,7	45,9	2,2	0,6	6,9
S_Q	10,4	1,5	10,1	18,3	1,5	0,8	2,2	2,1	3,3	3,0

Опытным путем установлено, что значительную роль играет длина соединительного провода замыкающего контакта. С уменьшением длины этого провода уменьшается наброс заряда, что объясняется уменьшением электромагнитных помех в контуре КЭ.

Кроме того, одно и то же замыкающее устройство в составе разных типов электрометрических устройств, как правило, дает отличающиеся друг от друга значения S_q , что также объясняется контурными помехами.

Выводы

1. Сравнивая типичные значения \bar{Q} игольчатых контактов (рис. 2 и 3) и МК (таблицы I и 2), можно утверждать, что наброс заряда у игольчатых контактов в среднем на порядок величины меньше, чем у МК по рис. 4.

2. Дисперсия отклонений от \bar{Q} , характеризующая значениями S_q , наименьшая у герконов МКА-10501.

3. Среди большой партии герконов МКА-10501 находятся экземпляры с набросом заряда ниже 10 фКл. В заводских условиях в принципе можно выделить такие экземпляры для электрометрических устройств.

4. В большинстве случаев герконы МКА-10501 и переделанные МК (на изоляторах из лейкосапфира, янтаря и др. материалов) могут быть применены вместо игольчатых контактов, которые сложнее, дороже и менее надежны.

5. Применение игольчатых контактов (ручных или релейных) оправдано в случаях, когда требуется уровень паразитного тока, вносимого коммутирующим элементом, ниже 10^{-17} А.

Л и т е р а т у р а

1. Ансо М.Х. Широкополосный усилитель малых токов УТ-8105. - В кн.: Вопросы динамики электрометрической аппаратуры: Тез. докл. научн.-техн. совещания. Тарту, 1982, с. 26-29.
2. Прокуров А.В. Факторы, ограничивающие чувствительность и точность измерителей малых токов с динамическим конденсатором. - Измер. техника, 1966, № II, с. 50-52.
3. Сакс О.В. Собственные помехи преобразователя с динамическим конденсатором. - Учен. зап. Тарт. ун-та, 1977, вып. 443, с. 99-138.
4. Рождественская Т.Б., Антонова Д.И., Жutowский В.Л. Аппаратура для точного измерения больших сопротивлений, малых постоянных токов и методы ее поверки. - М.: Изд-во стандартов, 1973, -146 с.

5. Клыбанов Л.И., Павленко В.С., Цисун С.П., Чернов А.М., Шевчук Г.И., Шигорин В.П., Идкович И.Ш. Высокоомные меры электрического сопротивления: Аппаратура и методы аттестации. - Измерения, контроль, автоматизация, 1981, № 3, с. 19-28.
6. Идкович А.М. Техника электротри. - М.: "Энергия", 1976. - 400 с.
7. Шуклин К.С. Опыт создания специальных элементов и узлов для входных цепей электрометров. - Труды/ВНИИ физ.-техн. и радиотехн. измерений. М., 1970, вып. I (31), ч. I, с. 166-206.
8. Кайтса Э.Е., Кирсс В.Э., Мадисе Т.В., Рэвбен В.А., Сакс О.В. Высокочувствительный электрометр типа УТ-6801 с динамическим конденсатором. - Труды/ВНИИ физ.-техн. и радиотехн. измерений. М., 1973, вып. 10(40), с.18-26.
9. Полоянников Д.Е. Электронные усилители автоматических компенсаторов. - М.: Физматгиз, 1960. - 336 с.
10. Kemp L.A.W., Woodall J. E. Evaluation of a high-insulation dry-reed switch for electrometer applications.- Electronic Engineering, 1968, May, p. 236-239.

ON THE APPLICABILITY OF NEEDLE-SWITCHES AND DRY-REED SWITCHES IN ELECTROMETRIC APPLIANCES

O. Saks and E. Schulichenko

S u m m a r y

The paper presents the most important characteristics of the research results of using needle-switches and dry-reed switches in electrometric appliances from the aspect of their application. Dry-reed switches of the type МКА-10501 generate parasitic current at 10^{-17} A in normal conditions and charges of some tens of femtocoulombs. Needle-switches generate parasitic current and charges lower by an order of magnitude; the reliability of needle-switches is considerably lower.

СПЕКТРЫ ФОТОЭЛЕКТРОНОВ ГЕТЕРОЦИКЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ
АТОМЫ КИСЛОРОДА И СЕРЫ. III. 1,3-ДИОКСАН

Н.В. Виллем, Я.Я. Виллем

Одним из главных применений спектроскопии фотоэлектронов (ФЭ) является количественное определение орбитальных взаимодействий в молекулах. Кофманном [1] был изучен вопрос о том, как осуществляется взаимодействие двух орбиталей, находящихся в несоединенном положении в одной молекуле.

Циклическая система 1,3-диоксана (Д) включает идентичные $2p$ -орбитали двух несоседних атомов кислорода $n_O(\pi)$, которые взаимодействуют между собой при перекрывании волновых функций. Это приводит к расщеплению уровней с образованием двух МО: связывающей n_O^+ и разрыхляющей n_O^- комбинаций.

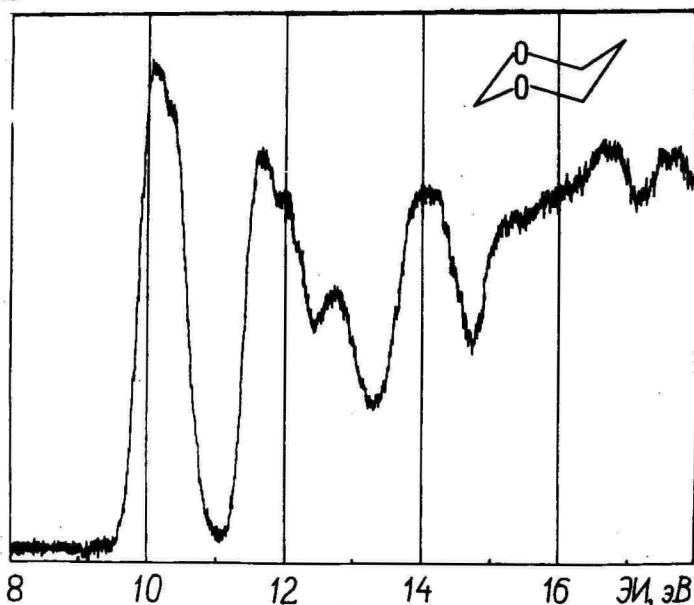



Рис. 1. Спектр ФЭ 1,3-диоксана.

Fig. 1. He I PE spectrum of 1,3-dioxane.

Спектр ФЭ незамещенного ДО известен с 1972 года, когда он был получен Свайгартон и Тенером [2]. Как это предсказано Хоффманом, первая полоса спектра имеет два максимума при энергиях 10,1 эВ и 10,35 эВ. При этом положительное перекрытие стабилизирует соответствующий энергетический уровень, а верхняя комбинация n_0^- имеет узел волновой функции.

Годом позже появилась работа Кобаяси и Нагакури [3], где также приведен спектр ФЭ и значения ЭИ для ДО: 10,12; 10,38; 11,66; 12,07; 12,80; 14,00; 14,17; 15,21 (широкая полоса). Отнесение полос в спектре сделано на основании ППДП/2 расчета, который дал следующий порядок следования МО: $n_{eq}^- (a'')$; $n_{ax}^+ (a')$; $\sigma (a')$; $n_{ax}^- (a'')$; $\delta (a')$; $n_{eq}^+ (a')$; (a'') ; (a'') ; (a') . Однако полученная данным расчетом последовательность МО для молекулы тетрагидропирана  не согласуется с экспериментальными данными. Кроме того неверно сопоставлена n_{ax} с соответствующей орбиталью в H_2O .

В двух других недавно опубликованных работах [4, 5], так же как и в первой работе по ДО [2], рассмотрение ограничивается первой полосой спектра. Причем состав двух верхних МО во всех четырех работах [2-5] дается различный. Поэтому, хотя целью наших исследований было определение орбитального строения и изучение внутримолекулярных взаимодействий в замещенных ДО, мы повторно измерили спектр ФЭ незамещенного ДО (рис. 1) и провели идентификацию полос в области до 18 эВ. На рис. 2 приведена диаграмма образования МО в 1,3-диоксане и величины ЭИ для 12 валентных МО.

При сравнении спектра ФЭ ДО со спектром метилала - $-H_2C(ONCH_3)_2$ [6] видно, что контуры первых полос хорошо совпадают по ширине и профилю. У метилала первая полоса при 10,42 эВ широкая и симметричная, с полушириной 0,7 эВ. В газовой фазе метилаль находится в гош-гош-конформации [7], а отсутствие энергетического расщепления первой полосы спектра [6] объясняется близким к ортогональному расположением друг к другу н.э.п. кислородов $n_0(\pi)$, что в свою очередь приводит к почти полному отсутствию перекрытия между ними. В более поздней публикации Йоргенсена [8] указывается, что энергетическая щель для двух первых МО при гош-гош-конформации близка к нулю.

Геометрические параметры ДО получены методом газовой электронографии Шульцем и Харгиттай [9]. По измерению на сделанной нами геометрической модели угол между $2p_0$ -орбиталями, перпендикулярными C-O-C плоскостям, составляет $\sim 45^\circ$,

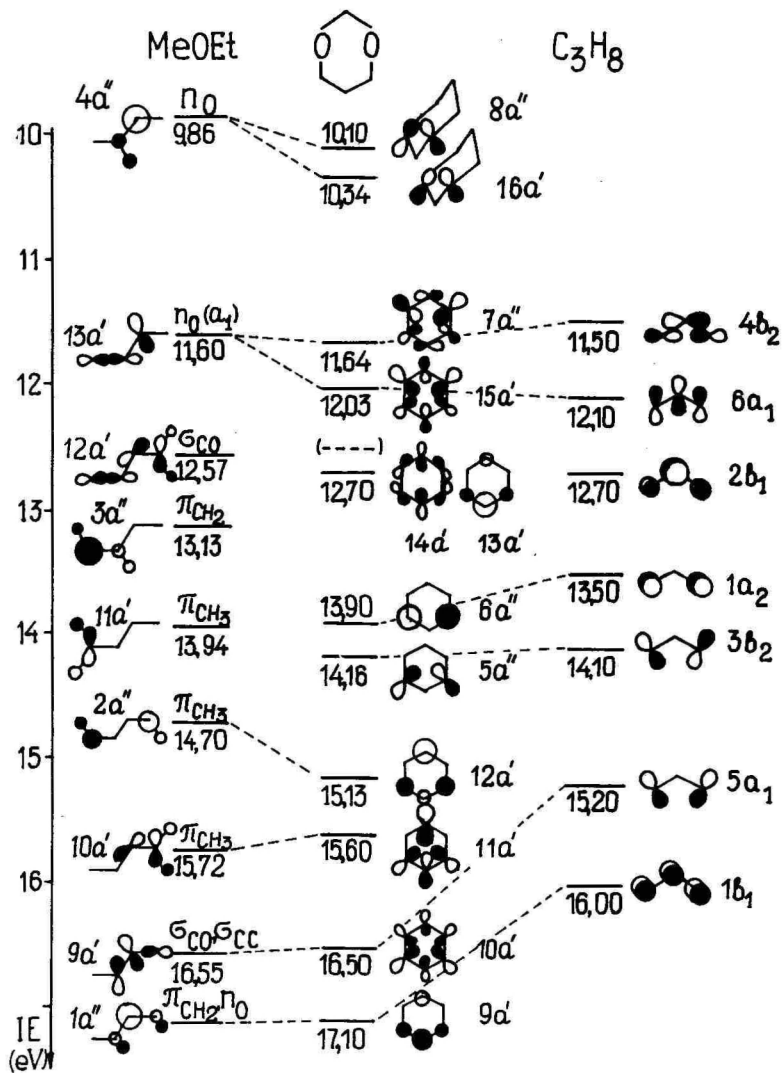


Рис. 2. Диаграмма образования МО в 1,3-диоксане.
 Fig. 2. Diagram of MO formation in 1,3-dioxane.

что позволяет прямое перекрывание этих орбиталей. Действительно, в спектре ДО вершина первой полосы имеет асимметричность, но максимумы плохо выделяются, и величина определяемого расщепления, в наших измерениях $\approx 0,24$ эВ, может включать существенную погрешность.

В аналогичных метилалю и ДО серусодержащих соединениях при плоской геометрии молекулы рассматривается антисвязывающий вклад в n_s^+ комбинацию н.э.п. серы от σ -орбиталей соединяющей CH_2 -группы. Эти орбитали по симметрии не влияют на n_s^- , но дестабилизируют n_s^+ так, что она становится ВЗМО. В первой полосе спектра ФЭ $\text{H}_2\text{C}(\text{SCH}_3)_2$ [I0] отчетливо видны два максимума ($\Delta\text{ЭИ} = 0,25$ эВ). Первый максимум приписывается комбинации симметричной комбинации н.э.п. при плоской форме молекулы. В спектре $(\text{CH}_3)_2\text{C}(\text{SCH}_3)_2$ [II] расщепление несколько больше (0,32 эВ), причем полоса, соответствующая второму максимуму очень узкая, что дает авторам работы основание приписать ее разрыхляющей комбинации n_s^- , а дестабилизацию n_s^+ объяснить взаимодействием с фрагментом $(\text{CH}_3)_2\text{C} <$. Однако в 1,2-дигтале отсутствует мостиковая CH_2 -группа и прямое перекрывание н.э.п. серы приводит к расщеплению уровней на 0,95 эВ. В спектре [I2] соответствующие полосы разделены полностью, а контуры первой из них, n_s^- -комбинации, и второй, n_s^+ -комбинации, имеют одинаковую ширину. Возможно, что различие контуров полос в $(\text{CH}_3)_2\text{C}(\text{SCH}_3)_2$ можно объяснить различием C-C-сверхсопряжения, имеющем больший эффект, чем C-H-сверхсопряжение [I3], которое наблюдалось в остальных соединениях. Узость полос может указать на очень слабое взаимодействие n_s как между собой, так и с остальными МО.

В спектре ФЭ 1,3-дигтана [2, I2] первая полоса имеет два хорошо разделенных (на 0,41 эВ) максимума. Соответствующие им пики обладают практически одинаковыми контурами. Авторы работы [I4] считают, что для кресловидной конформации 1,3-дигтана (C_s) взаимодействия обеих комбинаций, n_s^- и n_s^+ , с σ -МО разрешены по симметрии, так что последовательность $\text{ЭИ}(n_s^-) < \text{ЭИ}(n_s^+)$ сохраняется.

Недавно опубликован ряд работ [I5-I7], в которых исследованы спектры ЭПР γ -облученного твердого раствора ДО в матрице фреона при 77 К или 83 К. Наблюдается сильное сверхтонкое взаимодействие (СТВ) 140,6 Гс [I5] для водородов фрагмента $-\text{SCH}_2\text{O}-$, которые по расчету [I8] несут равные спиновые плотности (0,208). Аксимальные и экваториальные водороды остальных двух соседних к кислородам метиленовых групп

Имеют различные плотности: 0,023 и 0,013 соответственно и константы СТВ 26,3 Гс и 12,4 Гс [15]. По механизму I,3- π -взаимодействия "через пространство" в нейтральном ДО можно ожидать, что ВЗМО является антисимметричной n_0^- -комбинацией a'' , узловая плоскость которой проходит между двумя кислородами. Метиленовые водороды, расположенные в этой плоскости, должны иметь СТВ близкое к нулю. Однако наблюдаемые константы СТВ имеют максимальное значение именно для водородов мостиковой метиленовой группы. Это показывает, что в матрице фреона ВЗМО положительного иона ДО, занятая одним электроном, является делокализованной трехцентровой $[\text{-O-CH}_2\text{-O}]$ π -орбиталью с симметрией a' . По-видимому, энергия стабилизации при делокализации заряда в положительном ионе оказывается больше энергии расщепления от перекрывания, и основным состоянием иона становится n_0^+ -комбинация. Стабилизация состояния иона приводит к понижению соответствующей ЭИ. Расчет по методу МПШ [18] положительного иона ДО также показывает, что ВЗМО имеет симметрию a' с наибольшими коэффициентами электронной плотности на $n_0(x)$. Интересно отметить, что при этом водороды $\text{-OCH}_2\text{O}$ -фрагмента имеют большой вклад, а атом углерода этого фрагмента - малый вклад.

В серусодержащих аналогах константа СТВ для водородов в $\text{-S-CH}_2\text{-S-}$ оказалась меньше 10 Гс [16]. Это свидетельствует о том, что в ВЗМО положительного иона трехцентровая π -структура не образуется, вопреки предположениям, сделанным в работе [11].

Для того, чтобы установить характер и последовательность следующих МО, используем фрагментный подход (рис. 2).

Если разделить молекулу ДО по плоскости симметрии пополам, получим фрагмент, к которому наиболее близка молекула $\text{CH}_3\text{OC}_2\text{H}_5$, спектр ФЭ которой опубликован в [19]. На самом деле эта молекула имеет относительно связи O-CH_2 транс-форму, а рассматриваемому фрагменту соответствует цис-форма. Разность в энергиях МО этих двух конформеров небольшая, что позволяет нам применять схему уровней транс-формы для объяснения строения ДО. Введение второго атома кислорода, как это имеет место в ДО, стабилизирует ВЗМО относительно $\text{CH}_3\text{OC}_2\text{H}_5$ в среднем на 0,36 эВ. Зато относительно метилала в ДО происходит дестабилизация ВЗМО на 0,2 эВ из-за электронодонорного влияния триметиленовой группы $\text{-(CH}_2\text{)}_3$. Последняя близка к молекуле пропана, спектр ФЭ которого известен [20].

Вторая и третья полосы в спектрах ДО и пропана хорошо совпадают как по энергии, так и по форме. Во второй полосе

спектра ДО можно выделить три максимума. Из них первые два соответствуют комбинациям $2p_0(a_1)$ -орбиталей. Энергетическое расщепление между этими $n^-(7a'')$ и $n^+(15a')$ -комбинациями равно 0,39 эВ. Относительно соответствующей орбитали в $CH_3OC_2H_5$ $13a'$ они стабилизировались в среднем на 0,24 эВ. В то же время наблюдается близость данных энергетических уровней с двумя первыми пропановыми - $4b_1$ и $6a_1$. В области 12-13 эВ спектра ДО происходит ионизация еще двух орбиталей $14a'$ и $13a'$, одна из которых представляет комбинацию $2p_0(b_2)$ -орбиталей, а другая соответствует пропановой $2b_1$. О порядке следования этих МО трудно сделать однозначное заключение. Можно предположить, что комбинация $2p_0(b_2)$ стабилизировалась относительно $12a'$ в $CH_3OC_2H_5$ на 0,13 эВ и соответствует наблюдаемому максимуму при 12,7 эВ. Пропановая $2b_1$ при 12,70 эВ под влиянием кислородных атомов в ДО дестабилизировалась и может быть скрыта за счет перекрывания полос в области энергий 12,2-12,4 эВ. Интересно отметить, что МО $7a''$, $15a'$ и $13a'$ хорошо вписываются в структуру "полосовых" орбиталей циклогексана [21].

Широкая и интенсивная полоса с максимумом около 14 эВ образуется при ионизации диоксановых орбиталей $6a''$ и $5a''$, которые являются антисимметричными и полностью соответствуют разрыхляющим комбинациям торцевых псевдо- π -орбиталей $1a_2$ и $3b_2$ в пропане. Первая из них, перпендикулярная к плоскости фрагмента, стабилизируется в ДО на 0,4 эВ, у второй энергия не меняется. Относительно сходных МО в $CH_3OC_2H_5$ $3a''$ и $11a'$ они также сдвинуты в сторону больших энергий.

Следующая полоса обусловлена ионизацией преимущественно псевдо- π -орбиталей метилового фрагмента в положении 2. Обе МО симметричны и имеют существенный вклад от пропанового фрагмента. Высшая из них $12a'$ при 15,13 эВ стабилизирована на 0,43 эВ относительно $2a''$ в $CH_3OC_2H_5$. Причина этого аналогична сдвигу пропановой $1a_2$ орбитали в предыдущей полосе и видимо обусловлена взаимодействием с $2p_0(b_1)$ соседних кислородов. Вторая орбиталь $11a'$ несколько дестабилизировалась, возможно, из-за существенного вклада от пропанового фрагмента.

Орбитали $10a'$ и $9a'$ при энергиях 16,5 эВ и 17,1 эВ составлены из МО пропанового фрагмента $5a_1$ и $1b_1$. Они являются симметричными и связывающими, относительно МО пропана стабилизированы на 1,3 эВ и 1,1 эВ соответственно. С другой стороны, эти орбитали отлично совпадают по энергиям с родствен-

ными орбиталями $9a'$ и $1a''$ в $\text{CH}_3\text{OC}_2\text{H}_5$.

Таков состав 12 валентных МО 1,3-диоксана. Они включают все атомные $2pO$, $2pC$ и $1sH$ орбитали. Для экспериментального исследования остальных 6 МО валентной оболочки, которые образованы $2sO$ и $2sC$ атомными орбиталями, необходимо расширить энергетический диапазон ионизации. Две МО, симметричная и антисимметричная комбинации из $2sO$, расположены около 35 эВ; остальные четыре МО являются комбинациями $2sC$ и расположены в области энергий 19–25 эВ. Эти МО играют существенную роль в связывании каркаса молекулы.

Л и т е р а т у р а

1. Hoffmann R. Interaction of orbitals through space and through bonds. - *Acc. Chem. Res.*, 1971, vol. 4, N 1, p. 1-9.
2. Sweigart D.A., Turner D.W. Equivalent orbitals in saturated oxygen and sulphur heterocycles. - *J. Am. Chem. Soc.*, 1972, vol. 94, N 16, p. 5599-5603.
3. Kobayashi T., Nagakura S. PES of tetrahydropyran, 1,3-dioxane and 1,4-dioxane. - *Bull. Chem. Soc. Japan*, 1973, vol. 46, N 5, p. 1558-1560.
4. Аюфанджаров Н.Л., Зыков Б.Г. ФЭС метилзамещенных 1,3-диоксанов. - *Изв. АН СССР. Сер. хим.*, 1983, № 10, с. 2293-2295.
5. Бреслер И.Г. и др. Строение ВЗМО замещенных 1,3-диоксанов. - *Докл. АН СССР*, 1984, т. 274, № 3, с. 622-625.
6. Пихляя К.Т., Виллем Я.Я. ФЭС некоторых гетероциклов. - *Учен. зап. Тарт. ун-та*, 1982, вып. 631, с. 40-47.
7. Astrup E.E. The molecular structure of dimethoxymethane. - *Acta Chem. Scand.*, 1973, vol. 27, N 9, p. 3271-3276.
8. Jørgensen F.S., Nørskov-Lauritsen L. Anti, anti acetals. - *Tetrahedron Lett.*, 1982, vol. 23, N 49, p. 5221-5224.
9. Schultz G., Hargittai J. On the molecular geometry of gaseous 1,3-dioxane as studied by electron diffraction. - *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.*, 1974(1975), vol. 83, N 3/4, p. 331-342.
10. Guimon G., Guimon M.-F., Pfister-Guillouzo G. Application of PES to conformational analysis of two 1,3-

- dithia compounds. - Tetrahedron Lett., 1975, vol. 16, N 17, p. 1413-1416.
11. Bernardi F. et al. Group IVB 1,3-dithiolanes and corresponding open-chain compounds. - J. Organometal. Chem., 1977, vol. 128, p. 331-338.
 12. Gleiter R. et al. Some aspects of the PES of organic sulphur compounds. - Top. Curr. Chem., 1979, vol. 86, p. 139-195.
 13. Kobayashi M. et al. Spiroconjugation in orthothiocarbonates. - Tetrahedron, 1977, vol. 33, N 4, p. 433-439.
 14. Bock H., Wagner G. "Einsame" Elektronenpaare in organischen Sulfiden und Disulfiden. - Angew. Chem., 1972, Jhg. 84, S. 119-120.
 15. Snow L.D. et al. Delocalised π -radical cations of acetals. - J. Am. Chem. Soc., 1982, vol. 104, N 7, p. 2062-2064.
 16. Rao D.N.R., Symons M.C.R., Wren B.W. Conversion from a π to a σ structure on replacing oxygen by sulphur: an ESR study. - Tetrahedron Lett., 1982, vol. 23, N 45, p. 4739-4740.
 17. Symons M.C.R., Wren B.W. ESR spectra of ether radical cations. - J. Chem. Soc. Perkin II, 1984, N 3, p. 511-522.
 18. Glidewell Ch. Semi-empirical SCF-MO study of the cation-radicals derived from simple ethers and acetals. - J. Chem. Soc. Perkin II, 1983, N 8, p. 1285-1288.
 19. Kimura K. et al. He I PES of organic compounds. - Monogr. Ser. Res. Inst. Appl. Elec., 1978, N 25, 120 p.
 20. Bieri G. et al. Valence ionisation energies of hydrocarbons. - Helv. Chim. Acta, 1977, vol. 60, Fasc. 7, N 223, p. 2213-2233.
 21. Hoffmann R. et al. Orbital noninteraction in bridged cyclohexanes. - J. Am. Chem. Soc., 1973, vol. 95, p. 4860-4862.

PHOTOELECTRON SPECTRA OF HETEROCYCLIC COMPOUNDS CONTAINING
ATOMS OF OXYGEN AND SULPHUR. III. 1,3-DIOXANE

N. Villem and J. Villem

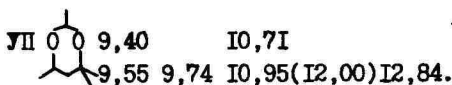
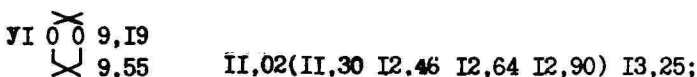
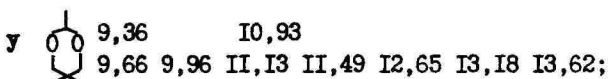
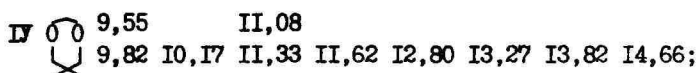
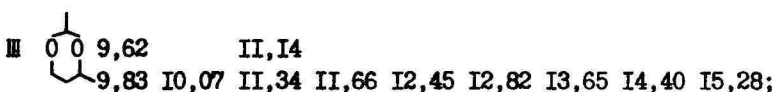
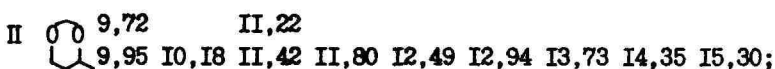
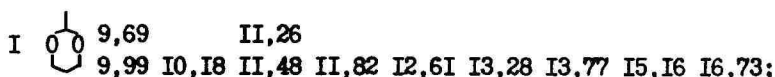
S u m m a r y

The electronic structure of 1,3-dioxane has been studied using He(1) photoelectron spectroscopy. The MO assignment was based on the comparison with the PE data of analogous sulphur-containing molecules and simple MO considerations (fragment-orbital model). The 12 valence MO levels can be assigned into a region of 10-18 eV. The chair conformation and molecular model of 1,3-dioxane suggests that direct overlap of oxygen lone pairs $2p_0(b_1)$ is likely with the formation of n_0^- and n_0^+ combinations. The data taken from the literature on 1,3-dioxane are discussed.

СПЕКТРЫ ФОТОЭЛЕКТРОНОВ ГЕТЕРОЦИКЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ
АТОМЫ КИСЛОРОДА И СЕРЫ. IУ. МЕТИЛЗАМЕЩЕННЫЕ
1,3-ДИОКСАНЫ

Н.В. Виллем

В предыдущем сообщении [I] рассматривалось орбитальное строение незамещенного 1,3-диоксана (ДО). В данной работе исследованы спектры ФЭ 7 метилзамещенных ДО. Определены следующие энергии ионизации (ЭИ) в эВ:



В верхних строках - значения адиабатических ЭИ. Погрешность, определяемая как воспроизводимость, составляет 0,02-0,04 эВ.

Насыщенные шестичленные кольца входят в состав многих важнейших природных соединений, таких как стероиды, углеводы и терпены. Это послужило стимулом для проведения обширных исследований их конформационного поведения методами термохимии, масс-спектрометрии, спектрометрии ПМР и ЯМР, рентгеновским анализом [2-4]. В частности, значительную роль в развитии конформационного анализа сыграла стереохимия ДО и его производных. Изучение влияния конформации молекулы на реакционную способность обычно ограничивалось реакциями присоединения, без разрушения кольцевой системы. Исследуя кислотный гидролиз 37 метилзамещенных ДО, Пикляя [5] показал, что реакцию открытия кольца можно применять для решения конформационных вопросов. Используя расчеты молекулярной механики, Буркертом [6] было найдено, что алкильные группы лишь незначительно влияют на геометрию ДО, а существенные химические сдвиги в ^1H и ^{13}C ЯМР-спектрах обусловлены внутримолекулярными взаимодействиями. Конформационный анализ является также важным инструментом для понимания взаимосвязи между структурой и энергией в молекулах. Однако данные об энергиях МО замещенных ДО практически отсутствуют.

1,3-диоксан также как циклогексан имеет форму кресла и содержит атомы водорода в двух различных положениях - четыре из них расположены почти точно в "средней" плоскости кольца (они называются экваториальными водородами) и четыре - вне этой плоскости, три - в одну сторону и один, в положении 5, - в другую сторону (их называют аксиальными водородами). Как показали многочисленные исследования, замена одного атома водорода метильной группой приводит предпочтительно к экваториальному положению последней [2-6].

Первая полоса в спектрах ФЭ 2-метил-ДО (I) и 4-метил-ДО (II) хорошо совпадает по контуру, то же самое наблюдается и для начала второй полосы в области II-12 эВ (рис. I). Отсутствие симметрии и неэквивалентность кислородов в II не проявляются на этих полосах, определяемых в основном кислородными орбиталями. Экваториально расположенные CH_3 -группы наиболее удалены от $2p_0(b_1)$ орбиталей атомов кислорода. Энергии последних уменьшаются на 0,14-0,20 эВ под влиянием полярного эффекта метильной группы. Существенное различие в спектрах наблюдается только в интервале энергий 12,5-14,5 эВ, где у I полоса имеет три максимума и более интенсивна, чем для II.

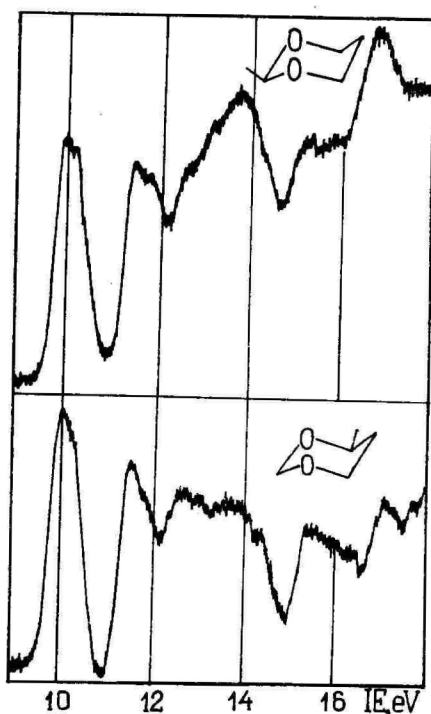


Рис. 1. Спектр ФЭ I и II.

Fig. 1. PE spectra of I and II

Это различие обусловлено орбитальной системой пропанового фрагмента цикла. Наличие CH_3 -группы в положении 4 требует рассмотрения бутанового фрагмента для соединения II. Поэтому на схеме образования МО (рис. 2) приведена орбитальная система бутана и сопоставлена с орбиталями II. Замена атома водорода метильной группой вносит в молекулу дополнительно 6 электронов. За счет двух $2\sigma\text{C}$ электронов образуется добавочная МО с энергией больше 20 эВ. В нашей области исследования с прибавлением в молекулу двух $2\sigma\text{C}$ и двух $1\sigma\text{H}$ электронов появляются две новые МО. Хотя эти МО делокализованы и вклады от электронов метильной группы входят в большинство орбиталей, дополнительные две МО, или по крайней мере одна из них, по энергии попадают в область третьей полосы спектра.

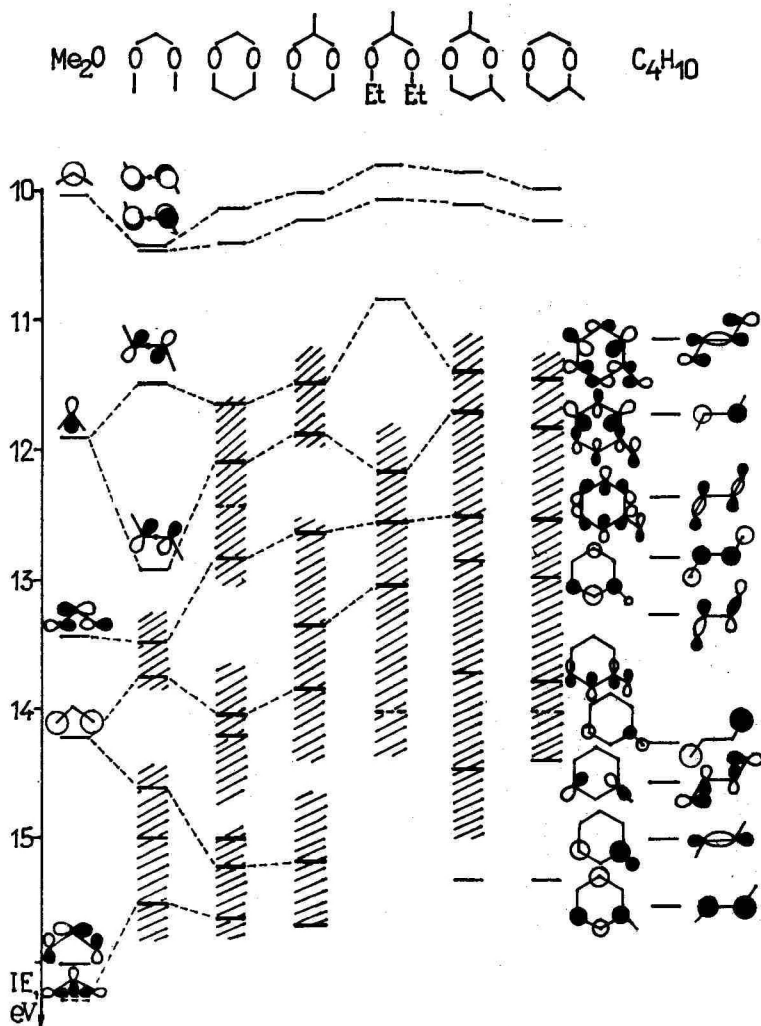


Рис. 2. Схема образования МО моно- и диметилзамещенных ДО.

Fig. 2. Diagram of MO formation in mono- and dimethyl-substituted 1,3-dioxanes.

Основной результат, который получен из спектров ФЭ соединений I и II, - это полное совпадение по энергии и форме

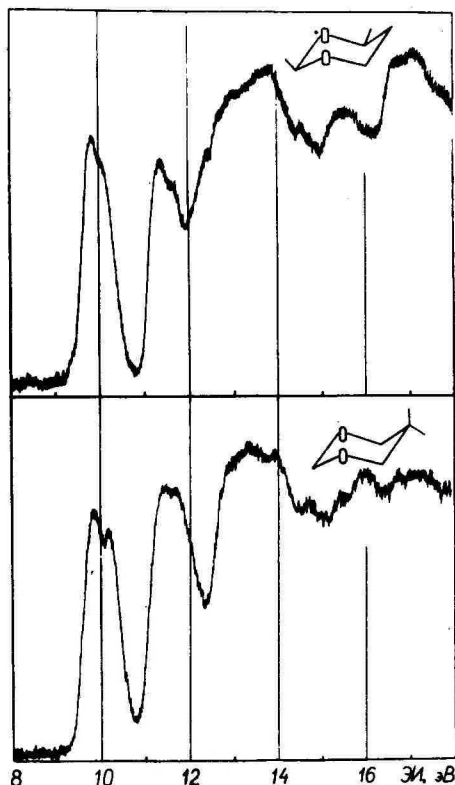


Рис. 3. Спектр ФЭ III и IV.

Fig. 3. PE spectra of III and IV.

двух первых полос, обусловленных ионизацией $2p_0$ -электронов, как локальной симметрии b_1 , так и a_1 , независимо от места замещения (2 или 4). Уменьшение симметрии II не сказывается на первых полосах, в области глубже 12 эВ наблюдаются вполне объяснимые изменения. Присоединение CH_3 -группы к метиленовому фрагменту должно привести к более существенным перестройкам орбиталей, чем присоединение к пропановому фрагменту, аналогично, как переход от метана к этану по сравнению с переходом от пропана к бутану.

Введение двух метильных групп, соединения 2,4-диметил-ДО (III) и 5,5-диметил-ДО (IV), уменьшает ЭИ первой полосы спектра III на 0,27 эВ относительно незамещенного ДО и на 0,12 эВ относительно монозамещенного II. Насколько это можно увидеть из спектров (рис. 3), первые две полосы при этих соединениях хорошо совпадают по контурам.

В 2,4-диметил-ДО (III) расположенные в положениях 2 и 4 экваториальные метильные группы стерически заторможены и влияют на кислородные орбитали только через полярное взаимодействие. 5,5-диметил-ДО (IV) является единственным из измеренных соединений, где второй максимум первой полосы хорошо выделяется. Увеличение расщепления первой полосы в IV на 0,11 эВ относительно III, где оно равно 0,24 эВ, может быть обусловлено взаимодействием аксиальной метильной группы с $ZrO(b_1)$ "через пространство". Известно, что относительно ДО в IV фрагмент ОСВ становится более плоским, а остальная часть цикла не меняется.

Образование МО для соединения III показано на рис. 2, а для IV - на рис. 4. На последнем проведено сравнение системы МО пропана и неопентана C_5H_{12} , т.к. при переходе к IV пропановый фрагмент заменяется неопентановым.

Как уже было сказано, замена водородного атома метильной группой вносит в интервал энергий наших исследований две дополнительные МО. Исходя из этого, вместо 7 орбиталей в пропане будет 11 МО в неопентане в рассматриваемом диапазоне энергий. Интересно, что при этом три

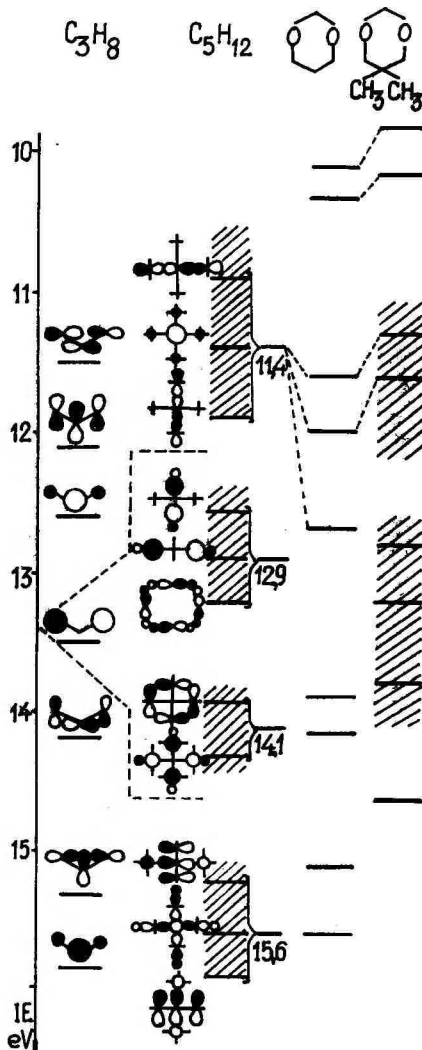


Рис. 4. Образование МО в 5,5-диметил-ДО.

Fig. 4. MO formation in 5,5-dimethyldioxane.

первые МО пропана $4b_2$, $6a_1$ и $2b_1$ входят в трижды вырожденную неопентановую БЭМО в интервале 10,9–11,9 эВ с максимумом при 11,4 эВ. Четвертая МО пропана $1a_2$ дает вклад во вторую трижды вырожденную (в интервале 12,55–13,2 эВ с максимумом 12,9 эВ) и третья дважды вырожденную (в области 13,93–14,3 эВ с максимумом при 14,1 эВ) МО неопентана. Остальные три пропановые МО $3b_2$, $5a_1$ и $1b_1$ при переходе к неопентану образуют трижды вырожденную МО с ЭИ в области 15,24–15,9 эВ и максимумом около 15,6 эВ. Дополнительные МО вливаются между пропановыми $2b_1$ и $3b_2$, образуя на месте $1a_2$ при энергии 13,53 эВ две вырожденные МО, тем самым заполняя энергетический интервал от 12 эВ до 14,5 эВ. Это создает впечатление, что 4 МО, вводимые экзоциклическими метильными группами, попадают в третью полосу спектра, смешиваясь с орбиталью $6a_1$ при 13,90 эВ в незамещенном ДО и стабилизируя следующие МО. По-видимому, в эту область попадают дополнительно МО и в соединении III. В обоих соединениях третья полоса, соответствующая ионизации углеводородного фрагмента, имеет сравнимую интенсивность; в спектре III она расположена в интервале от 12 эВ до 15 эВ. В IV эта полоса более узкая (от 12,5 эВ до 14,5 эВ), что хорошо иллюстрирует вывод работы [5] об увеличении жесткости кольца при диметильном замещении в положении 5. Жесткость молекулы IV проявляется в "сжатии" третьей полосы спектра, что обусловлено уменьшением числа возможных колебательных состояний.

Введение третьей и четвертой метильных групп в положение 2 обуславливает в 2,5,5-триметил-ДО (У) и в 2,2,5,5-тетраметил-ДО (УI) уменьшение ЭИ первой МО при переходе от IV к У и УI на 0,16 эВ и 0,11 эВ. Примерно так же изменяется и энергия третьей орбитали (0,20 эВ и 0,11 эВ соответственно). При сравнении начальные части спектров IV и У очень схожи, причем первая полоса имеет также два хорошо выраженных максимума. Третья полоса в интервале энергий 12,3–14 эВ сохранила свои четкие очертания как в IV, но увеличилась по интенсивности, по-видимому, благодаря добавлению МО.

В соединении УI первая полоса стала уже, и наблюдается один максимум (рис. 5). Изменился и профиль второй полосы. Можно предполагать, что аксиально расположенная метильная группа, присоединенная к метилену, разделяющему атомы кислорода, уменьшает перекрывание кислородных $2p_0(b_1)$ -орбиталей. Однако, как мы увидим ниже, рассматривая соединение УII с аксиальной метильной группой в 4-ом положении, последнее

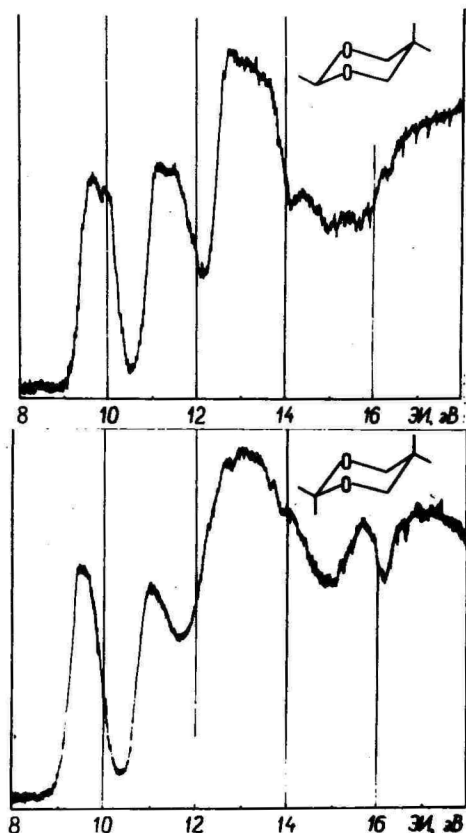


Рис. 5. Спектр ФЭ У и УІ.

Fig. 5. PE spectra of V and VI.

имеет полосу, совпадающую с УІ как по контуру, так и по энергии с точностью эксперимента ($\Delta ЭИ \approx 0,05$ эВ). Это показывает, что аксиальная метильная группа повлияет на кислородные МО одинаковым образом в обоих - 2-ом и 4-ом положениях.

Третья полоса в спектре УІ не имеет четкого контура, который наблюдается при У. Она стала более широкой и бесструктурной в области от 11,7 эВ до 15,0 эВ, с общим максимумом около 12,9 эВ. Это хорошо согласуется с тем фактом, что напряженность, наблюдаемая в 5,5-диметил-ДЮ, снимается при введении метильных групп в положение 2. При этом влияние в положении 2 более сильное, чем в положении 5. Сравнение барьеров инверсии показывает, что подвижность цикла у УІ лучше,

чем у ДО (для УІ 34,3 кДж/моль, а для ДО 37,6 кДж/моль [5]).

Нами был изучен также и ДО с четырьмя метильными группами, три из которых в 4,6-положениях, а одна - во 2-ом положении - УІІ (рис. 6). ЭИ₁ в УІІ относительно ДО уменьшилась

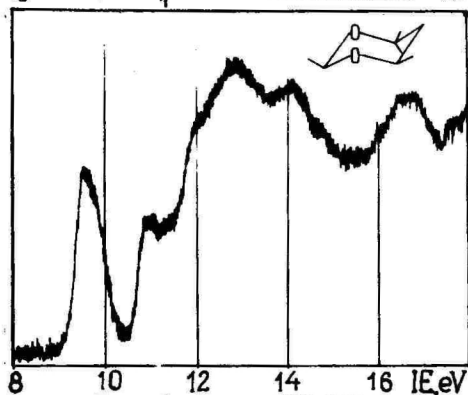


Рис. 6. Спектр ФЭ УІІ.

Fig. 6. PE spectrum of VII.

на 0,55 эВ, а вторая полоса сдвинулась на 0,7 эВ. Контур третьей полосы в спектре ФЭ УІІ имеет по крайней мере три максимума и большую интенсивность. Аксиальная метильная группа в положении 4 вступает в стерические взаимодействия, остальные метильные группы - экваториальные.

Л и т е р а т у р а

1. Виллем Н.В., Виллем Я.Я. Фотоэлектронные спектры гетероциклов, содержащих атомы кислорода и серы. III. 1,3-Диоксан. - См. наст. сб., с. 149-157.
2. Pihlaja K. et al. ¹³C NMR chemical shifts and the twist conformations of 1,3-dioxanes. - J. Org. Chem., 1982, vol. 47, N 24, p. 4688-4692.
3. Pihlaja K., Nurmi T. ¹³C NMR studies of saturated heterocycles. 4. Methyl-substituted 1,3-dioxanes. - Isr. J. Chem., 1980, vol. 20, N 1/2, p. 160-167.
4. Anteunis M.J.O. et al. A review on the conformational aspects in the 1,3-dioxane system. - Heterocycles, 1976, vol. 4, N 2, p. 293-371.

5. Pihlaja K. Kinetic conformational analysis of 1,3-dioxane and its methyl derivatives. - Ann. Univ. Turkuensis. Ser. A I, 1967, N 114, 109 p.
6. Burkert U. Effects of methyl groups on the geometry and conformational equilibrium of 1,3-dioxanes. - Tetrahedron, 1979, vol. 35, N 5, p. 691-695.
7. Kimura K. et al. Handbook of He I photoelectron spectra of fundamental organic molecules. - N.Y.: Halsted Press, 1981.

PHOTOELECTRON SPECTRA OF HETEROCYCLIC COMPOUNDS
CONTAINING ATOMS OF OXYGEN AND SULPHUR. IV.
METHYL-SUBSTITUTED 1,3-DIOXANES

N. Villem





S u m m a r y

The PE spectra of 2-Me-, 4-Me-, 2,4-diMe-, 5,5-diMe-, 2,5,5-triMe-, 2,2,5,5-tetraMe- and 2,4,4,6-tetraMe-1,3-dioxane have been obtained. The bands of spectra are assigned by the use of the fragment-orbital model. The spacing of two highest MO Δ IE, which may be characterized as combinations of the n_x (2p)-type oxygen lone pairs, has values of 0,19-0,35 eV. The maximum value of splitting is observed for 5,5-diMe-1,3-dioxane. Experimental results show that energies of n_0^- and n_0^+ -orbitals depend more on the number of methyl groups than their position. The main influence of methyl groups on the orbital structure and form of bands takes place in the range of 12-15 eV.

СПЕКТРЫ ФОТОЭЛЕКТРОНОВ ГЕТЕРОЦИКЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ АТОМЫ
КИСЛОРОДА И СЕРЫ. У. ХЛОРМЕТИЛЗАМЕЩЕННЫЕ 1,3-
ДИОКСАНЫ

Я.Я. Виллем, О.В. Сакс

В предыдущих работах изучалась электронная структура незамещенного 1,3-диоксана (ДО) [1] и метилзамещенных ДО [2]. Известно, что электронодонорные заместители в положении 2 увеличивают скорость гидролиза ДО за счет облегчения образования иона карбония. В то же время ДО с электроноакцепторными заместителями в положении 2 устойчивы к гидролизу, поскольку электроноакцепторные группы препятствуют образованию карбония. С целью исследования влияния электроотрицательных заместителей на орбитальное строение ДО были получены спектры ФЭ четырех хлорметилзамещенных ДО. Приведем энергии ионизации (ЭИ) в эВ, ($R = CH_2Cl$):

I		9,89 10,23	10,50	11,15	11,91	12,25	12,84	13,68	14,01
II		10,01 10,32	11,05	11,40	12,04	12,32	13,30	13,56	14,05
III		9,84 10,07	10,30	10,96	11,30	11,84	12,11	(13,11)	13,89
IV		9,61 9,80	10,08	10,74 10,97	11,20	12,67	13,15	13,83	14,60

Значения адиабатических ЭИ приведены в верхней строке. Погрешность измерений, определяемая как воспроизводимость при многократном измерении, составляет 0,02–0,06 эВ.

Спектр ФЭ 4-хлорметил-ДО (I) может быть легко объяснен путем сравнения его ЭИ с энергиями МО ДО [1], 4-метил-ДО [2] и CH_3Cl [3] на рис. 1. В спектре появляется интенсивная, ха-

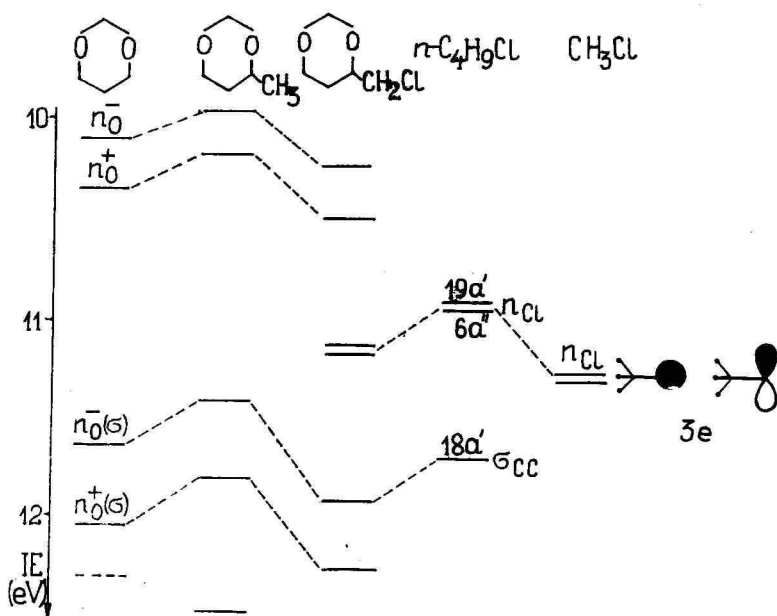
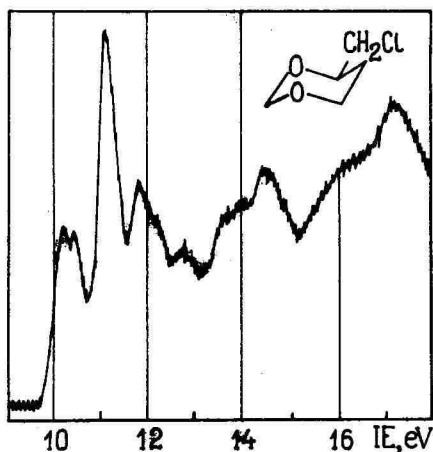


Рис. 1. Спектр $\Phi\Phi$ и схема образования МО для 4-хлор-метил-1,3-диоксана.

Fig. 1. PE spectrum and diagram of the formation of MO in 4-chloromethyl-1,3-dioxane.

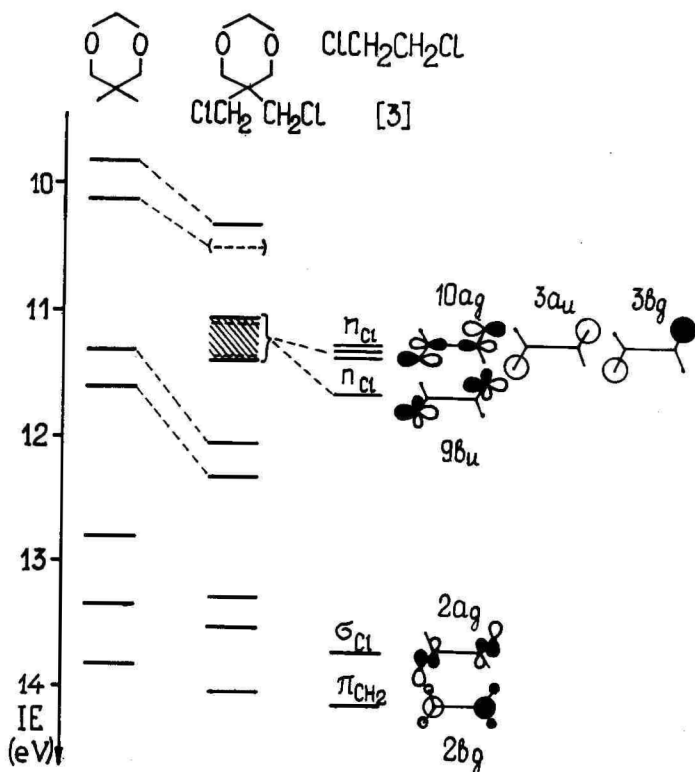


Рис. 2. Схема образования МО в 5,5-бис(хлорметил)-ДЮ.
 Fig. 2. Diagram of the formation of MO in 5,5-bis(chloromethyl)-1,3-dioxane.

ракетная для ионизации н.э.п. галогенов, полоса при II,15 эВ. Практически такую же энергию II,29 эВ имеют обе н.э.п. атома хлора в CH_2Cl . В I также не наблюдается расщепления по энергии π_{Cl} , т.е. они являются энергетически вырожденными. Оба эти факта указывают на отсутствие сопряжения между π_{Cl} и π_{O} , что обусловлено пространственной удаленностью через CH_2 -группу этих атомов. Наблюдаемая стабилизация первой полосы на 0,28 эВ относительно 4-метил-ДЮ вызвана действием атома хлора. При этом величина ее расщепления остается неизменной (0,27 эВ), и четко выделяются два максимума. Вид спектра I

практически идентичен спектру Д0, только в промежутке между первой и второй полосами вклинивается острый пик от n_{Cl} . При энергии 14,57 эВ появился более широкий максимум, соответствующий ионизации $\sigma(C-Cl)$ -орбитали, а дополнительные метиленовые псевдо- π уровни $ClCH_2$ группы из-за электроотрицательности атома хлора настолько стабилизировались, что слились в одну сплошную полосу ниже 15 эВ. В сравнении с 4-метил-Д0, полосы, связанные с метильным заместителем, попали в область энергий 12-14 эВ, тем самым "заполнив" интервал энергий. В спектре I наблюдается вторая полоса незамещенного Д0 в деталях. При этом влияние хлора смещает $n(\sigma)$ -уровни кислорода на 0,5 эВ в сторону больших энергий.

Для установления орбитального строения 5,5-бис(хлорметил)-Д0 (II) построена диаграмма образования МО (рис. 2) с привлечением данных для бесхлорного аналога 5,5-диметил-Д0 [2] и $ClCH_2CH_2Cl$ [3]. Первая полоса в спектре ФЭ соединения II (рис. 3) имеет такой же профиль как и в спектре 5,5-диметил-Д0, но максимум полосы круглый и не наблюдается расщепления, хотя в бесхлорном соединении имеется два хорошо разделенных (на 0,35 эВ) максимума. Стабилизация верхнего занятого уровня в II относительно 5,5-диметил-Д0 составляет 0,5 эВ. Вторая полоса в спектре очень интенсивная с хорошо разделенными максимумами при 11,05 эВ и 11,40 эВ. В 1,2-дихлорэтано н.э.п. хлора имеют энергии на 0,35 эВ больше, и первый пик является трехкратно вырожденным. В II пики н.э.п. хлоров одинаковые, соотношение интенсивностей 3:1 не наблюдается. Видимо, из-за неэквивалентного положения хлорметильных групп в молекуле, н.э.п. разных атомов хлора не образуют комбинации, а как и в I обе н.э.п. одного хлора остаются вырожденными. При этом наблюдаемые полосы при энергиях 11,05 эВ и 11,40 эВ принадлежат н.э.п. хлоров в разных хлорметильных группах. Предположим, что те взаимодействия, которые передаются по цепи, влияют на атомы хлора обеих групп одинаково. При переходе от II к III и далее к IV метильное замещение в положении 2 влияет на энергии хлорных пиков по-разному. Пик с большей энергией изменяется: 11,40 \rightarrow 11,30 \rightarrow 11,20 (эВ), т.е. при обоих замещениях на аддитивную величину 0,1 эВ. Зато пик с меньшей энергией изменяется: 11,05 \rightarrow 10,96 \rightarrow 10,97 (эВ). Введение аксиальной метильной группы во 2-ое положение нарушает аддитивность в изменении энергии этой орбитали. Хлорметильная группа в экваториальном положении труднодоступна стерическим взаимодействиям и подвергается аддитивным

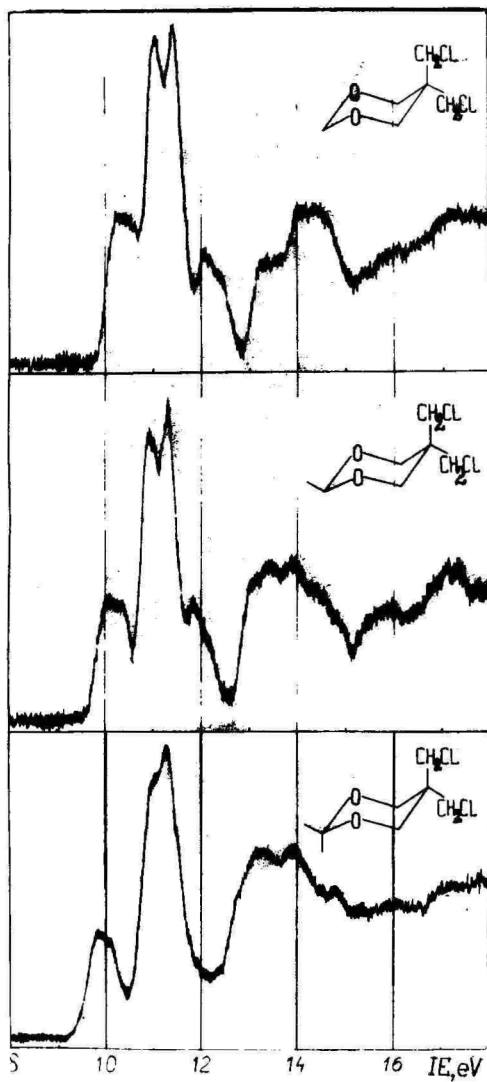


Рис. 3. Спектры ФЭ 5,5-бис(хлорметил)-замещенных ДЮ.

Fig. 3. He (I) PE spectra of 5,5-bis(chloromethyl)-substituted 1,3-dioxanes II, III and IV.

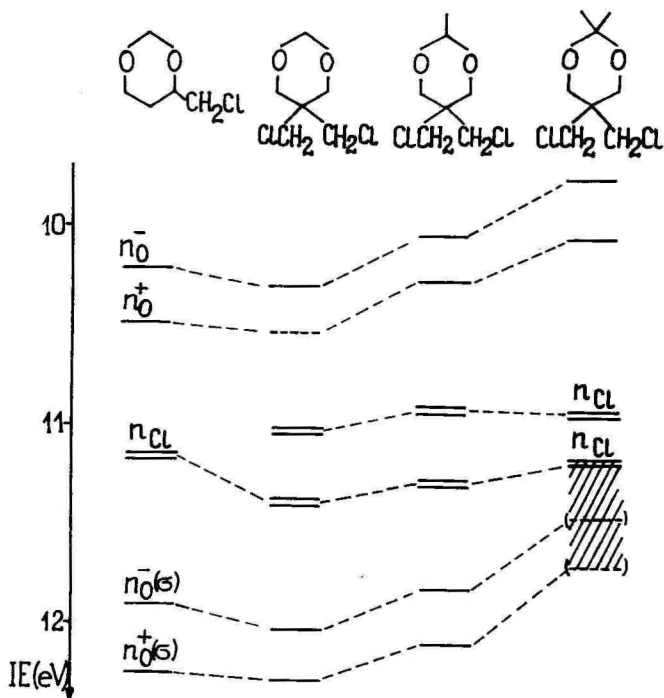


Рис. 4. Диаграмма соответствия МО хлорметилзамещенных 1,3-диоксанов.

Fig. 4. Diagram of accordance of MO energies in chloromethyl-substituted 1,3-dioxanes.

влиянием через цепь. В то же время аксиальная хлорметильная группа способна участвовать в стерических взаимодействиях. Возможно, что в результате этого, введение метильной группы во 2-ое аксиальное положение приводит к стабилизации хлорных н.э.п. аксиальной хлорметильной группы, и противоположное направление изменения энергии компенсирует эффект, передающийся через цепи. Малые изменения энергии не позволяют надежно установить правильность приведенных рассуждений, и вопрос может быть решен исследованием спектров ФЭ ряда родственных соединений с электроотрицательными группами в разных положениях. Профиль полосы хлорных н.э.п. изменяется от строгого контура при II и III к более расплывчатому при IV. Возможно, что это связано с большей подвижностью 2,2-диметилзамещенного соединения в процессах ионизации. С другой

стороны, при метильном замещении первая полоса спектра дестабилизируется: 10,32 эВ \rightarrow 10,07 эВ \rightarrow 9,80 эВ. Изменения энергии - равные (0,25 эВ и 0,27 эВ). Также смещается и третья полоса при переходе II \rightarrow III от 12,04 эВ \rightarrow 11,84 эВ. В IV эта полоса полностью смещается в область хлорных н.э.п. и сливается с последними в одну полосу. Это, по-видимому, также является причиной, почему контур хлорной полосы в этом соединении изменяет свою форму.

В соединении II при энергиях 14-15 эВ наблюдается полоса с широким максимумом, соответствующая σ_{C-Cl} -орбиталям. Можно представить, что энергии этих орбиталей смещены так же, как и n_{Cl} . Большая полоса в области 12,5-15 эВ в III и IV не позволяет точно судить о порядке МО в этой области.

Общее сравнение орбитальных энергий всех четырех исследованных нами диоксанов с хлорметильными заместителями приведено на диаграмме соответствия (рис. 4).

Л и т е р а т у р а

1. Виллем Н.В., Виллем Я.Я. Спектры фотоэлектронов гетероциклов, содержащих атомы кислорода и серы. III. 1,3-Диоксан. См. наст. сб., с.149-157.
2. Виллем Н.В. Спектры фотоэлектронов гетероциклов, содержащих атомы кислорода и серы. IV. Метилзамещенные 1,3-диоксаны. См. наст. сб., с.158-167.
3. Kimura K. et al. Handbook of He I photoelectron spectra of fundamental organic molecules. - N.Y.: Halsted Press, 1981.

PHOTOELECTRON SPECTRA OF HETEROCYCLIC COMPOUNDS
CONTAINING ATOMS OF OXYGEN AND SULPHUR. V.
CHLORMETHYL-SUBSTITUTED 1,3-DIOXANES

J. Villem and O. Saks

S u m m a r y

The PE spectra of 4-chlormethyl-; 5,5-bis(chlormethyl)-; 5,5-bis(chlormethyl)-2-methyl- and 5,5-bis(chlormethyl)-2,2-dimethyl-1,3-dioxane have been obtained. The assignment of the spectra is based on a fragment-orbital model. It has been determined that in compounds with chlormethyl substituents the degenerated character of lone pairs for any chlorine atom is preserved. The degenerated levels of lone pairs of both chlorine atoms in 5,5-bis(chlormethyl)-compounds have different energies, because of unequivalent placing of chlormethyl groups. The level with a smaller energy belongs to the axial chlorine atom.

Содержание

М.Х. Аянтс. Установление температур в канале ВЧ разряда	3
М.Р. Даая, Я.И. Суви. Измерение относительного поглощения перехода $0 \rightarrow 0$ $S^2P_{1/2} \rightarrow V^3P_g$ азота в развивающемся ВЧ разряде	II
С.И. Бесхлебный, А.А. Жуков, В.Н. Крушин, Я.И. Микущей, Н.К. Цыкун. Формирование объемного заряда в однородном электрическом поле в воздухе на частотах 0,12-1,0 МГц	18
Х.Ф. Таммет, Х.Р. Ихер, Ф.Г. Миллер. Спектр подвижностей односекундных легких аэроионов в природном воздухе. 26	26
Р.А. Матизен. Эксплуатационная надежность счетчика аэроионов УТ-8401	37
Т.П. Бернотас, Э.Э. Кольк, А.А. Мирме, А.Э. Рейнарт, Х.Ф. Таммет. Система сбора и обработки данных в спектрометрии аэрозолей и аэроионов	46
В.Э. Кикас, А.А. Мирме, И.А. Пейль, Э.И. Таам, Х.Ф. Таммет. Экспериментальная градуировка электрического спектрометра аэрозолей методом эталонных аэрозолей	54
И.А. Пейль, И.К. Холм. Определение распределения частиц аэрозоли по заряду электрическим сепаратором частиц	72
М.Г. Ноппель. О распределении аэрозольных частиц по зарядам при зарядке их в сильном электрическом поле	79
М.Г. Ноппель. Алгоритм быстрого приближенного вычисления распределения зарядов проводящих аэрозольных частиц при зарядке их в сильном электрическом поле. Резюме	84
Р.Э. Прийман, В.Э. Кикас. Об образовании субмикронных частиц при ультрафиолетовом облучении воздуха	94

Р.Э. Прийман. О влиянии УФ облучения на свойства не- загрязненного и загрязненного воздуха	102
Л.Д. Виснапуу. Об изменении параметров микроклимата закрытого помещения при работе генератора вод- ного электроаэрозоля	110
М.Н. Белов, Л.Д. Виснапуу, Э.Э. Царнасте. О результа- тах испытания генератора электроаэрозолей для дезинфекции помещений	115
Д.А. Исмаилов. Об эволюционном механизме возникно- вения $1/f$ - флуктуаций	123
Д.А. Исмаилов. О связи $1/f$ - флуктуаций с упорядоче- нием	132
О.В. Сакс, Е.И. Шуличенко. О применимости магнитоуп- равляемых и игольчатых контактов в электрометри- ческих устройствах	140
Н.В. Виллем, Я.Я. Виллем. Спектры фотоэлектронов гете- роциклов, содержащих атомы кислорода и серы. III. I,3-диоксан	149
Н.В. Виллем. Спектры фотоэлектронов гетероциклов, со- держащих атомы кислорода и серы. IV. Метилзаме- щенные I,3-диоксаны	158
Я.Я. Виллем, О.В. Сакс. Спектры фотоэлектронов гетеро- циклов, содержащих атомы кислорода и серы. V. Хлорметилзамещенные I,3-диоксаны	168

CONTENTS

M. Aints. Establishment of the temperature in the channel of HF discharge	3
M. Lean, J. Susi. Determination of $N_2 O^3 \Pi \rightarrow B^3 \Pi_g$ $O \rightarrow O$ band adsorption in the propagating high frequency discharge	II
S.I. Beskhlebny, A.A. Zhukov, V.N. Krupin, Y.I. Mikitsei, N.K. Tsykun. Formation of the space charge in a homogeneous electric field in the air within the frequency range of 0.12-1.0 MHz	18
H. Tammet, E. Iher, F. Miller. Mobility spectra of one-second-aged small air ions in natural air	26
R. Matisen. Reliability in service of the air-ion counter UT-8401	37
T. Bernotas, E. Kolk, A. Mirme, A. Reinart, H. Tammet. Data collection and processing system in the spectral measurements of aerosols and air ions	46
Ü. Kikas, A. Mirme, I. Peil, E. Tamm, H. Tammet. Experimental calibration of an electrical aerosol spectrometer by the method of test aerosols	54
I. Peil, I. Holm. Determination of the charge distribution of aerosol particles with an electrostatic separator	72
M. Noppel. On the distribution of charges of aerosol particles charged in a strong electric field	79
M. Noppel. Algorithm for rapid approximate calculation of the charge distribution of conductive aerosol particles charged in a strong electric field	84
R. Priiman, Ü. Kikas. On the formation of sub-micron particles accompanied by ultraviolet irradiation of air	94
R. Priiman. Influence of ultraviolet irradiation on the properties of unpolluted and polluted air	102
L. Visnapuu. On changing the parameters of microclimate in a closed room accompanied by the generation of electroaerosols	110

M. Belov, L. Visnapuu, E. Pärnaste. On the results of conducting tests with the electroaerosol generator for disinfection of rooms	115
J. Hämmalov. An evolutionary mechanism of the rise of $1/f$ -fluctuations	123
J. Hämmalov. On the connection of $1/f$ -fluctuations with ordering	132
O. Saks, E. Schulichenko. On the applicability of needle-switches and dry-reed switches in electric appliances	140
N. Villem, J. Villem. Photoelectron spectra of heterocyclic compounds containing atoms of oxygen and sulphur. III. 1,3-dioxane	149
N. Villem. Photoelectron spectra of heterocyclic compounds containing atoms of oxygen and sulphur. IV. Methyl-substituted 1,3-dioxanes	158
J. Villem, O. Saks. Photoelectron spectra of heterocyclic compounds containing atoms of oxygen and sulphur. V. Chloromethyl-substituted 1,3-dioxanes	168

УДК 537.525.2.

УСТАНОВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В КАНАЛЕ ВЧ РАЗРЯДА.
Айтс М.Х. - Учен. зап. Тарт. ун-та, вып. 707.
Тарту, 1985, с.3-10.

При помощи интерферометра были измерены распределения плотности газа и газовой температуры в канале высокочастотного разряда в разные моменты его развития. Разряд был возбужден в атмосферном воздухе подачей радиопульса с несущей частотой 20 МГц и амплитудой 4+7 кВ на острой электрод. Дополнительно к высокочастотному напряжению к электроду было подключено постоянное напряжение +20 кВ. В таких условиях разряд распространялся в виде одиночного канала с постоянной скоростью 60 м/с до расстояния 20 см. Было установлено, что температура в приосевых областях канала поднимается до 2000 К в течение 150 мкс. Затем рост температуры замедляется. К моменту времени 1,5 мс температура находится между 3000-4000 К. Отношение напряженности поля к плотности газа E/N имеет величину $75 \cdot 10^{21} \text{ В} \cdot \text{м}^{-2}$ на расстоянии ~ 10 мм от вершины канала. С увеличением этого расстояния до 9 см E/N падает до $20 \cdot 10^{21} \text{ В} \cdot \text{м}^{-2}$.

Илл. - 4. Библ. - 10. Рез. англ.

УДК 537.523.2:533.9.082.5

**ИЗМЕРЕНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ ПЕРЕХОДА $0 \rightarrow 0$
 $C^3\Pi_u \rightarrow B^3\Pi_g$ АЗОТА В РАЗВИВАЮЩЕМСЯ ВЫСОКЧАСТОТНОМ РАЗРЯДЕ.** Лаан М.Р., Сузи Я.А. - Учен. зап. Тарт. ун-та, вып.707.
Тарту, 1985, с. 11-17.

Измеряется поглощение перехода $0 \rightarrow 0$ второй положительной системы азота в канале развивающегося высокочастотного разряда. Определены значения оптической толщины разрядного канала во временном интервале 100 мкс до 600 мкс от начала развития разрядного канала. Результаты сравнены с измерениями относительных интенсивностей полос второй положительной системы азота с нулевым верхним колебательным уровнем. Показано, что поглощения можно оценивать, исходя из измерений относительных интенсивностей полос.

Илл. - 4. Библ. - 7. Рез. англ.

ФОРМИРОВАНИЕ ОБЪЕМНОГО ЗАРЯДА В ОДНОРОДНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ В ВОЗДУХЕ НА ЧАСТОТАХ 0,12-1,0 МГц. Бесхлебный С.И., Жуков А.А., Крушин В.Н. Млжицей Я.И., Цыкуи Н.К. - Учен. зап. Тарт. ун-та, вып. 707. Тарту, 1985, с. 18-25.

Впервые получены зависимости тока положительных и отрицательных ионов, выдуваемых из разрядного промежутка плоскость-плоскость, от амплитудного значения переменного напряжения между электродами в диапазоне частот 0,12-1,0 МГц для промежутков 1,0-3,5 мм. Все исследования проводились в воздухе при атмосферном давлении 760 мм рт.ст. и температуре 20 °С.

Характер проведения тока положительных ионов в области частот выше критической аналогичен полученным ранее зависимостям и удовлетворительно объясняется на основе механизма образования электронных лавин и процессов, приводящих к потере положительного объемного заряда. Отмечается, что для полного объяснения зависимостей тока ионов от величины приложенного к электродам напряжения необходимы дополнительные исследования.

Илл. - 3. Библ. - 8. Рез. англ.

СПЕКТР ПОДВИЖНОСТЕЙ ОДНОСЕКУНДНЫХ ЛЕГКИХ АЭРОИОНОВ В ПРИРОДНОМ ВОЗДУХЕ. Таммет Х.Ф., Икер Х.Р., Миллер Ф.Т. - Учен. зап. Тарт. ун-та, вып. 707. Тарту, 1985, с. 26-36.

С 27.06.84 по 29.08.84 в сельской местности измерялся IZI среднечасовой спектр односекундных легких аэроионов обеих полярностей. Спектры отрицательных аэроионов мало отличаются от измеренных в городе, а спектры положительных аэроионов существенно различны. Доминирует пик на подвижности 0,94 И, который никогда не наблюдался в воздухе города Тарту. Приведены параметры статистического распределения спектров в природном воздухе.

Илл. - 6. Табл. - 2. Библ. - 7. Рез. англ.

УДК 551.508.941-142 621.3.019.3

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ СЧЕТЧИКА АЭРОИОНОВ
УТ-8401. Матизен Р.Л. - Учен. зап. Тарт. ун-та,
вып. 707. Тарту, 1985, с. 37-45.

В статье рассмотрены результаты испытаний на надежность в полевых условиях опытной партии счетчиков аэроионов новой конструкции. Подтверждена эффективность предложенных мер по повышению надежности. Выявлены некоторые недостатки конструкции и предложены способы их устранения с целью дальнейшего повышения надежности приборов.

Табл. - 2. Библ. - 4. Рез. англ.

УДК 681.3:541.182.2/.3

СИСТЕМА СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В СПЕКТРОМЕТРИИ АЭРОЗОЛЕЙ И АЭРОИОНОВ. Бернотас Т.П., Кольк Э.Э., Мирме А.А., Рейнарт А.Э., Таммет Х.Ф. - Учен. зап. Тарт. ун-та, вып. 707. Тарту, 1985, с. 46-53.

Рассмотрены требования к системам спектрометрии аэрозолей и аэроионов по отношению внешних условий и обработки информации. Оказывается целесообразным использовать две разнотипные ЭЕМ. Создана система на базе "Электроника ДЗ-28" и "Искра 226". Программирование системы осуществляется на дополненном внешними программами языке BASIC. Приводится пример использования системы для измерения спектра аэрозоля.

Илл. - 2. Табл. - 1. Библ. - 9. Рез. англ.

УДК 541.128.2/3 551.508 621.319.7.001

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ГРАДУИРОВКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СПЕКТРОМЕТРА АЭРОЗОЛЕЙ МЕТОДОМ ЭТАЛОННЫХ АЭРОЗОЛЕЙ. Кикас Ю.Э., Мирме А.А., Пейль И.А., Тамм Э.И., Таммет Х.Ф. - Учен. зап. Тарт. ун-та, вып. 707. Тарту, 1985, с. 54-71.

Изложены общие принципы градуирования электрических спектрометров аэрозолей. Подробно описывается методика и результаты градуировки 26-канального широкополосного (от 5 нм до 5000 нм по радиусу частиц) спектрометра методом квазимонодисперсных эталонных аэрозолей, получаемых, в основном, методом электрического сепарирования частиц конденсационных аэрозолей. Полученная аппаратная матрица показывает, что для корректного измерения спектра частиц в диапазоне размеров 100 нм ... 5000 нм необходимо одновременное параллельное применение диффузионного и ударного механизмов зарядки частиц перед анализаторами их подвижности.

Илл. - 7. Библ. - 13. Рез. англ.

УДК 621. 319.7.001 551.508

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ АЭРОЗОЛЯ ПО ЗАРЯДУ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЕПАРАТОРОМ ЧАСТИЦ.

Пейль И.А., Холм И.К. - Учен. зап. Тарт. ун-та, вып. 707. Тарту, 1985, с. 72-78.

Описывается метод измерения распределения аэрозольных частиц с нешироким спектром размеров по заряду при помощи электростатического сепаратора. Добавляя к сепаратору электрометрический фильтр, можно определить зависимость тока, переносимого частицами, высасываемыми из сепаратора, от напряжения сепарирования. Предлагается алгоритм, который позволяет с помощью этих вольт-амперных характеристик с хорошей точностью определить распределение части по заряду для широкого предела кратности заряда.

Илл. - 2. Библ. - 5. Рез. англ.

УДК 551.594.12

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ ПО ЗАРЯДАМ ПРИ ЗАРЯДКЕ ИХ В СИЛЬНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ.
Ноппель М.Г. - Учен. зап. Тарт. ун-та, вып. 707 . Тарту, 1985, с. 79-83.

Приведен метод приближенного вычисления распределения аэрозольных частиц по зарядам. Описан ход вычисления распределения для проводящих аэрозольных частиц при зарядке их в сильном электрическом поле.

Табл. - I. Библ. - II. Рез. англ.

УДК 551.510.42 621.319.7.001

АЛГОРИТМ БЫСТРОГО ПРИБЛИЖЕННОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАРЯДОВ ПРОВОДЯЩИХ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ЗАРЯДКЕ ИХ В СИЛЬНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ. Ноппель М.Г. - Учен. зап. Тарт. ун-та, вып. 707 . Тарту, 1985, с. 84-93.

Приведен алгоритм быстрого приближенного вычисления распределения зарядов проводящих аэрозольных частиц при зарядке их в сильном электрическом поле.

Табл. - 3. Библ. - I. Рез. рус.

УДК 614.72: 613.165.6+54-138+546.171.1./4
+ 546.224-31

ОБ ОБРАЗОВАНИИ СУБМИКРОННЫХ ЧАСТИЦ ПРИ УЛЬТРА-
ФИОЛЕТОВОМ ОБЛУЧЕНИИ ВОЗДУХА. Приймав Р.Э.,
Кикас Ю.Э. - Учен. зап. Тарт. ун-та, вып. 707.
Тарту, 1985, с.94-101.

Исследован спектр распределения концентраций 12 фракций аэрозольных частиц от 5 нм до 5 мкм по радиусу в незагрязненном и загрязненном УФ облучаемом воздухе в аэрозольной камере. Источниками УФ облучения были бактерицидные и эритемные лампы, а загрязнителями воздуха - аммиак, двуокись серы в концентрациях ниже или на уровне ПДК, установленной для рабочей зоны. В загрязненном воздухе постоянно присутствовали пары смеси жидких углеводородов в следовых концентрациях. Измерена полярная плотность заряда аэроионов при предельной подвижности 10^{-3} см²/(В·с).

В работе приведен краткий анализ результатов измерений. В частности, из этого анализа следует, что в загрязненном указанными ингредиентами воздухе концентрация аэрозольных частиц радиусом 0,1 мкм и менее возрастает при УФ облучении примерно на порядок по сравнению с УФ облученным незагрязненным воздухом.

Илл. - 3. Табл. - 3. Библ. - 1. Рез. англ.

О ВЛИЯНИИ УФ ОБЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА НЕЗАГРЯЗНЕННОГО И ЗАГРЯЗНЕННОГО ВОЗДУХА. Приказан Р.Э. - Учен. зап. Тарт. ун-та, кн. 707 . Тарту, 1985, с. 102-109.

Бактерицидное ультрафиолетовое облучение (УФ), широко применяемое в медицине и ветеринарии, может в определенных условиях стать источником вторичного фотохимического загрязнения воздуха. В работе исследовано образование фотооксидантов в незагрязненном и загрязненном аммиаком УФ облучаемом воздухе в модельных условиях. Дана методика эксперимента и анализ результатов по динамике изменения концентраций озона и двуокиси азота в зависимости от времени облучения, относительной влажности и наличия аммиака в облучаемой камере. Измерены полярные концентрации аэрозольных частиц диаметром более 0,5 мкм.

Результаты работы показывают, что УФ облучение оказывает различное влияние на свойства воздуха с различной исходной степенью загрязнения. Сказанное следует учитывать при практическом применении УФ облучения.

Илл. - 3. Табл. - 2. Лит. - 5. Рез. англ.

ОБ ИЗМЕНЕНИИ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА ЗАКРЫТОГО ПОМЕЩЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ ГЕНЕРАТОРА ВОДНОГО ЭЛЕКТРОАЭРОЗОЛЯ. Виснапуу А.Ю. - Учен. зап. Тарт. ун-та, вып. 707. Тарту, 1985, с. 110-114.

Экспериментально исследованы условная полярная плотность заряда, температура и относительная влажность воздуха в закрытом помещении при различных режимах работы в нем пневматического генератора электроаэрозоля, диспергирующего воду. Приведены данные по изменению этих параметров после включения и выключения генератора.

Генератором электроаэрозоля служил пневматический распылитель с осесимметричными соплами, на которые подавали постоянное индуцирующее напряжение. Объемную плотность заряда измеряли аспирационным счетчиком аэроионов САИ-ТГУ, а влажность и температуру воздуха - аспирационным психрометром.

Показано, что при массовых расходах диспергируемой воды 1 и 4 г/с и диспергирующего воздуха 5 г/с и токе конвекции 3,5 мкА генератора электроаэрозоля, расположенного на середине пола помещения объемом 40 м³, стационарная условная плотность заряда при предельной подвижности 10⁻⁷ м²/(В·с) достигает вблизи стен 400 нКл/м³, относительная влажность - не более 0,95 и температура воздуха понижена на 2 ... 4 К. В закрытом помещении стационарные значения указанных величин устанавливаются через несколько минут после включения генератора, а их первоначальные (фонные) значения восстанавливаются через несколько десятков минут после выключения генератора.

Табл. - 1. Библ. - 4. Рез. англ.

УДК 621.319.7.001.6

541.18.053

О РЕЗУЛЬТАТАХ ИСПЫТАНИЯ ГЕНЕРАТОРА ЭЛЕКТРОАЭРО-
ЗОЛЕЙ ДЛЯ ДЕЗИНФЕКЦИИ ПОМЕЩЕНИЙ. Белов М.Н.,
Виснапуу Л.Ю., Пярнасте Э.Э. - Учен. зап. Тарт.
ун-та, вып. 707. Тарту, 1985, с. 115-122.

Описано устройство модернизированного генератора электроаэрозолей с пневматическими распылителями.

Экспериментально выяснено, что электроаэрозоли препарата "эстостерил" обладают выраженным бактерицидным и фунгицидным действием в отношении биологического аэрозоля - 89,3% и 97,2% соответственно. В то же время эффективность дезинфекции поверхностей оказалась ниже - 83,3% и 67,8%. Добавление к дезинфицирующему препарату 0,5 %-го поверхностно-активного вещества (сульфанола) повышает эффективность дезинфекционной обработки до 89,8% и 80,4% соответственно.

Илл. - 2. Бюлл. - 2. Рез. англ.

ОБ ЭВОЛЮЦИОННОМ МЕХАНИЗМЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
 $1/f$ -ФЛУКТУАЦИЙ. Хямяляев Д.А. - Учен.
зап. Тарт. ун-та, вып. 707. Тарту, 1985,
с. 123-131.

Для объяснения возникновения $1/f$ -флуктуаций огромное распространение получила концепция широкого набора постоянных времени (концепция Ван дер Зили-Дю Пре). Недостатком данной концепции является неубедительное обоснование равновероятности энергии в относительно широком интервале.

В данной работе для обоснования равновероятности энергии используется эволюционный механизм возникновения $1/f$ -флуктуаций. Рассматривается сложная система, подсистемы которой эволюционируют из начального состояния в конечное через стационарные промежуточные состояния. При этом предполагается, что постоянные времени следующих друг за другом промежуточных состояний возрастают. Показано, что в таких системах после относительно длительного времени эволюции имеется распределение плотности вероятности постоянных времени вида $1/\tau$, которое прямо ведет к возникновению $1/f$ -флуктуаций.

Приводится основной вывод работы: в сложных эволюционирующих системах возрастающая со временем упорядоченность сопровождается $1/f$ -флуктуациями.

Илл. - 1. Библ. - 7. Рез. англ.

УДК 536.75+621.391.822.3

О СВЯЗИ $1/f$ -ФЛУКТУАЦИЙ С УПОРЯДОЧЕНИЕМ.
Хяммалов Ю.А. - Учен зап. Тарт. ун-та,
вып. 707. Тарту, 1985, с. 132-139.

В общих чертах рассмотрены системы, в которых упорядочение сопровождается $1/f$ -флуктуациями. Найдено, что в природе такими системами являются консервативные системы. Приводится классификация упорядоченных систем. Согласно этой классификации, беспорядок характеризуется тепловыми флуктуациями, консервативные системы - $1/f$ -флуктуациями и диссипативные системы - дробными флуктуациями.

Приведено короткое изложение основных положений по исследованиям $1/f$ -флуктуаций, поддерживающих эволюционный механизм возникновения этих флуктуаций.

Илл. - 2. Библ. - 16. Рез. англ.

УДК 621.317.723

О ПРИМЕНИМОСТИ МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫХ И ИГОЛЬЧАТЫХ
КОНТАКТОВ В ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ.
Сакс О.В., Дуличенко Е.И. - Учен. зап. Тарт.
ун-та, вып. 707. Тарту, 1985, с. 140-148.

Приведены результаты исследования важнейших характеристик игольчатых и магнитоуправляемых контактов с точки зрения применимости в электрометрических устройствах. Магнитоуправляемые контакты типа МКА-10501 генерируют паразитный ток 10^{-17} А в нормальных условиях, а наброс заряда составляет несколько десятков фемтокулон. У игольчатых контактов значения паразитного тока и наброса заряда на порядок меньше. Надежность игольчатых контактов значительно ниже.

Илл. - 4. Библ. - 10. Рез. англ.

СПЕКТРЫ ФОТОЭЛЕКТРОНОВ ГЕТЕРОЦИКЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ АТОМЫ КИСЛОРОДА И СЕРЫ. III. 1,3-ДИОКСАН. Виллем Н.В., Виллем Я.Я. - Учен. зап. Тарту-ун-та, вып. 707. Тарту, 1985, с. 149-157.

Используя метод спектроскопии фотоэлектронов He(I), была изучена электронная структура молекулы 1,3-диоксана. Отнесение полос в спектре к МО было выполнено на основании сравнения с данными спектроскопии ФЭ для родственных молекул и фрагмент-орбитального подхода. Проведено сравнение с аналогичными серусодержащими соединениями. В области 10-18 эВ определено 12 валентных МО-уровней. Конформация молекулы (кресло) позволяет прямое перекрытие кислородных н.э.п. $2p_0(b_1)$ с образованием n_0^- и n_0^+ -комбинаций. Обсуждаются литературные ЭПР-данные для катвон-радикалов 1,3-диоксана.

Илл. - 2. Библ. - 21. Рез. анги.

СПЕКТРЫ ФОТОЭЛЕКТРОНОВ ГЕТЕРОЦИКЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ АТОМЫ КИСЛОРОДА И СЕРЫ. IV. МЕТИЛЗАМЕЩЕННЫЕ 1,3-ДИОКСАНЫ. Виллем Н.В. - Учен. зап. Тарту. ун-та, вып. 707. Тарту, 1985, с. 158-167.

Измерены спектры ФЭ 7 метилзамещенных 1,3-диоксана (ДО). Отнесение полос в спектрах выполнено на основании рассмотрения отдельных фрагментов молекул. Установлено, что влияние метильных групп на энергии ионизации (ЭИ) двух верхних занятых МО π_0^- , π_0^+ , являющихся комбинациями н.э.п. атомов кислорода, зависит от числа этих групп и практически не зависит от их положения. Величина расщепления π_0^- , π_0^+ -уровней изменяется в пределах 0,19-0,35 эВ. Влияние на первые полосы 4,4-диметильного замещения такое же, как и 2,2-замещения: наблюдается сужение первой и второй полос. В случае 5,5-диметильного замещения происходит максимальное расщепление двух верхних уровней. При этом спектр становится более структурным в области ионизации σ -орбиталей, а взаимодействие аксиальной CH_3 -группы с н.э.п. атомов кислорода приводит к более "жесткой" структуре молекулы. Введение дополнительно одной или двух CH_3 -групп в положение 2 в 5,5-диметил-ДО снижает "жесткость" цикла. Для всех исследованных молекул действие метильных групп максимально сказывается на форме полос спектров ФЭ, а следовательно и энергетической структуре МО в области энергий 12-15 эВ.

Илл. - 6. Библ. - 7. Рез. англ.

СПЕКТРЫ ФОТОЭЛЕКТРОНОВ ГЕТЕРОЦИКЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ АТОМЫ КИСЛОРОДА И СЕРЫ. У. ХЛОРМЕТИЛЗАМЕЩЕННЫЕ 1,3-ДИОКСАНЫ. Виллем Я.Я., Сакс О.В. - Учен. зап. Тарт. ун-та, вып. 707. Тарту, 1985, с. 168-175.

Измерены спектры ФЭ 4-хлорметил-; 5,5-бис(хлорметил)-; 5,5-бис(хлорметил)-2-метил- и 5,5-бис(хлорметил)-2,2-диметил-1,3-диоксанов. Анализ спектров выполнен на основании рассмотрения отдельных фрагментов молекул. Установлено, что в соединениях с хлорметильными заместителями сохраняется вырожденный характер н.э.п. каждого атома хлора. В 5,5-бис(хлорметил)-соединениях из-за неэквивалентного расположения хлорметильных групп вырожденные полосы н.э.п. для обоих атомов хлора имеют различную энергию. Введение одной или двух метильных групп во 2-ое положение в эти соединения имеет различное влияние на энергию н.э.п. хлора в зависимости от их положения. Аддитивность смещения при замещении наблюдается для полосы, соответствующей хлору в экваториальном положении. Полоса с меньшей энергией, для которой в 2,2-диметильном замещении теряется аддитивность, принадлежит аксиальному атому хлора.

Илл. - 4. Библи. - 3. Рез. англ.