

TARTU RIIKLIKU ÜLIKOOLI

TOIMETISED

УЧЕННЫЕ ЗАПИСКИ

ТАРТУСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

ACTA ET COMMENTATIONES UNIVERSITATIS TARTUENSIS

631

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВОПРОСАМ
ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ИОНОВ
И АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ

Ионизация, аэрозоли, электрометрия

TARTU RIIKLIKU ÜLIKOOLI TOIMETISED
УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ
ТАРТУСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
ACTA ET COMMENTATIONES UNIVERSITATIS TARTUENSIS
ALUSTATUD 1893.a. VIHK 631 ВЫПУСК ОСНОВАНЫ В 1893.г.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВОПРОСАМ
ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ИОНОВ
И АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ

Ионизация, аэрозоли, электрометрия



ТАРТУ 1982

Редакционная коллегия: К. Куду, [REDACTED] О. Сакс

Ответственный редактор: Н. Сальм

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКРОПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ РАЗРЯДНЫХ ВСПЫШЕК

М.Х. Айтс, К.Ф. Куду, А.Я. Хальясте

Если разрядному промежутку типа острие-плоскость в атмосферном воздухе, к которому подключено постоянное напряжение порядка 10 кВ, приложить импульс высокочастотного напряжения (U_{ω}) с несущей частотой около 20 МГц и амплитудой, превышающей пороговое напряжение возникновения высокочастотного разряда на 0,5–3 кВ (в зависимости от геометрии острия), то на острие возникает вспышка высокочастотного разряда, которая распространяется в промежуток прямолинейно и без разветвления преимущественно вдоль продолжения оси остриевого электрода. Если по мере распространения разрядного канала амплитуду радиоимпульса поддерживать нарастающей со скоростью 0,3–3 В/мкс, то можно обеспечить распространение разряда по прямолинейной траектории на значительные расстояния [1, 2]. Были получены разрядные каналы длиной 30–40 см при длительности радиоимпульса в несколько миллисекунд и максимальной амплитуде 5–7 кВ. Длина разрядных каналов была ограничена тем, что разряд перегружал генератор радиоимпульсов, вследствие чего высокочастотное напряжение падало.

В настоящей работе излагаются методика и результаты определения макропараметров (полного сопротивления разряда, а также поглощаемой разрядом мощности) в зависимости от времени развития вышеописанной формы разряда.

Аппаратура

В данной работе разрядный промежуток рассматривался как двухполюсник с неизвестными параметрами в цепи переменного тока. Параметры двухполюсника определялись методом моста переменного тока. Такой подход изучения нестационарного процесса оправдывается тем, что изучаемые характеристики разряда изменяются медленно по сравнению с высокочастотным напряжением ($f = 20$ МГц). Поэтому разряд можно рассматривать как квазистационарный. Схема установки и соответствующая ей

эквивалентная электрическая схема показаны на рис. 1.

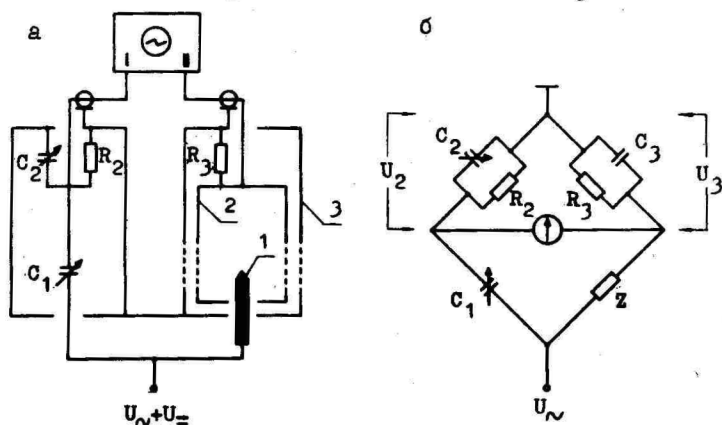


Рис. 1. Схема установки (а) и ее эквивалентная электрическая схема (б).

Разряд возбуждали на электроде I, который представлял собой вертикально расположенную вольфрамовую проволоку диаметром 2 мм с конически заточенной вершиной (угол заточки 60°). Другим электродом были стенки прямоугольной камеры 2 с размерами основания 40×40 см и высотой 70 см. Расстояние от вершины острия до верхнего основания камеры было 50 см. Камера располагалась в экранирующем кожухе 3 и заземлялась через сопротивление $R_3 = 5$ Ом, составленное из 15 параллельно включенных резисторов С2-10-0,5-75 Ом. Электрическая емкость между разрядной камерой 2 и экраном 3 $C_3 \approx 400$ пФ (рис. 1б). Для наблюдения за разрядом в обеих камерах были проделаны окна, закрытые густой медной сеткой, обозначенной на рисунке пунктиром. Полное сопротивление разрядного промежутка Z , резистор R_3 и емкость C_3 образовали одну ветвь моста. Другая ветвь состояла из регулируемых калиброванных емкостей C_1 и C_2 и сопротивления $R_2 = 55,3$ Ом, которые находились в отдельном экранирующем отсеке и конструктивно были выполнены более-менее симметрично первой ветви. Баланс моста регистрировали при помощи широкополосного двухканального осциллографа, который работал в режиме вычитания сигналов. Входное сопротивление (10 МОм) и входная емкость (14 пФ) каждого канала осциллографа при вычислениях учитывались в R_2 , R_3 , C_2 и C_3 , соответственно. Развертку

осциллографа запускали синхронно с радиоимпульсом на разрядном промежутке. Так как определяемые параметры разряда меняются во времени, то сбалансировать мост возможно только для определенного момента времени. Регулировкой C_1 и C_2 добивались нулевого показания осциллографа (баланса моста) в требуемые моменты времени, отсчитываемые от момента возникновения разряда. Высокочастотное напряжение на электроде регистрировали при помощи осциллографа и емкостного делителя.

Описанная схема позволяет определять следующие характеристики разряда:

1) полный ток разряда J . Для определения этой величины балансируют мост в отсутствие разряда (при пониженном $U_{\text{н}}$). Если в дальнейшем это положение регулируемых элементов C_1 и C_2 сохранить, то при возникновении разряда осциллограф в диагонали моста показывает напряжение, которое обусловлено протеканием тока разряда через плечо $R_3 - C_3$. Амплитуда тока

$$J = \frac{V \sqrt{1 + \omega^2 R_3^2 C_3^2}}{R_3}, \quad (I)$$

где $V = |\bar{U}_3 - \bar{U}_2|$ - амплитуда напряжения в диагонали моста и $\omega = 2\pi f$.

2) Полное сопротивление разряда Z . Для его определения надо добиваться баланса моста в нужный момент времени. Если замещать разряд цепью из параллельно включенных сопротивления R_p и емкости C_p (рис. 2), как это делается, например, в работах по определению макропараметров факельного разряда в воздухе [3, 4, 5], то из условия баланса моста получим выражение

$$R_p = \frac{R_3 (1 + \omega^2 R_2^2 C_2^2)}{\omega^2 R_2 C_1 (R_2 C_2 - R_3 C_3)}$$

$$C_4 = \frac{C_1 R_2 (1 + \omega^2 R_2 R_3 C_2 C_3)}{R_3 (1 + \omega^2 R_2^2 C_2^2)}$$

и

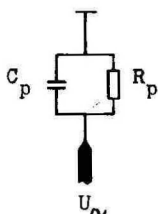


Рис. 2. Эквивалентная схема разряда.

Здесь C_4 равно сумме межэлектродной емкости C_{40} и эквивалентной емкости разряда C_p ; $C_4 = C_{40} + C_p$. Межэлектродная емкость определяется из условия баланса моста в отсутствии разряда (начальный баланс):

$$C_{40} = \frac{R_2}{R_3} C_{10}$$

где C_{10} - значение C_1 при начальном

балансе. Если ввести еще обозначения: C_{20} - значение C_2 в момент начального баланса, то получим

$$C_p = \frac{R_2}{R_3} \left(C_1 \frac{1 + \omega^2 R_2^2 C_2 C_{20}}{1 + \omega^2 R_2^2 C_2^2} - C_{10} \right) \approx \sqrt{\frac{U_m^2 J^2 - 4W^2}{\omega^2 U_m^2}} \quad (2)$$

и так как $R_2 C_{20} = R_3 C_3$ (из условия начального баланса), то

$$R_p = \frac{R_3 (1 + \omega^2 R_2^2 C_2^2)}{\omega^2 R_2^2 C_1 (C_2 - C_{20})} \approx \frac{U_m^2}{2W} \quad (3)$$

Фазовый угол φ между током с острия \vec{J} и высокочастотным напряжением на промежутке \vec{U}_m можно выразить так:

$$\varphi = \arccos \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 R_p^2 C_p^2}} \approx \arccos \frac{2W}{JU_m} \quad (4)$$

3) Мощность W , выделяющаяся в разрядном промежутке, -

$$W = \frac{U_m^2 \omega^2 R_2^2 C_1 (C_2 - C_{20})}{2R_3 [1 + \omega^2 R_2^2 (C_1 + C_2)^2]} = \frac{U_3^2 (C_2 - C_{20})}{2R_3 C_1} \quad (5)$$

где U_3 - амплитуда напряжения на R_3 в момент баланса.

Мост примененной схемы является частотнозависимым. Поэтому проверялось наличие высших гармоник в токе разряда. Максимальную амплитуду (менее 10% от основной) имела вторая гармоника. Погрешность определения мощности W составляет $\pm (0,3W + 30)$ Вт. Погрешность остальных параметров определена в основном погрешностью определения W .

Дополнительно к вышеназванным характеристикам определили также скорость распространения разряда в пространство.

Чтобы избежать влияния предыдущей вспышки на последующую и перегрева электрода, частоту повторения вспышек поддерживали ниже 2 Гц.

Результаты и обсуждение

На рис. 3 показаны фотографии разрядных вспышек, полученные при разных длительностях радиоимпульса τ . На рис. 4 представлены измеренные характеристики разряда J , R_p , C_p , φ , W в зависимости от времени, а также односторонняя огибающая радиоимпульса U_m и длина канала l . Отметки с цифрами на кривой U_m обозначают длительность радиоимпульса при снятии фотографии (цифры соответствуют порядковому номеру фотографии на рис. 3). Рост длины канала от I до IV см происходит со средней скоростью 64 м/с при средней скорости нарастания амплитуды ВЧ напряжения $\frac{dU_m}{dt} = 0,5$ В/мкс. С ростом длины канала R_p быстро уменьшается, а C_p растет. Выделяющаяся в разряде мощность W растет быстрее l и при $l = 16,5$ см

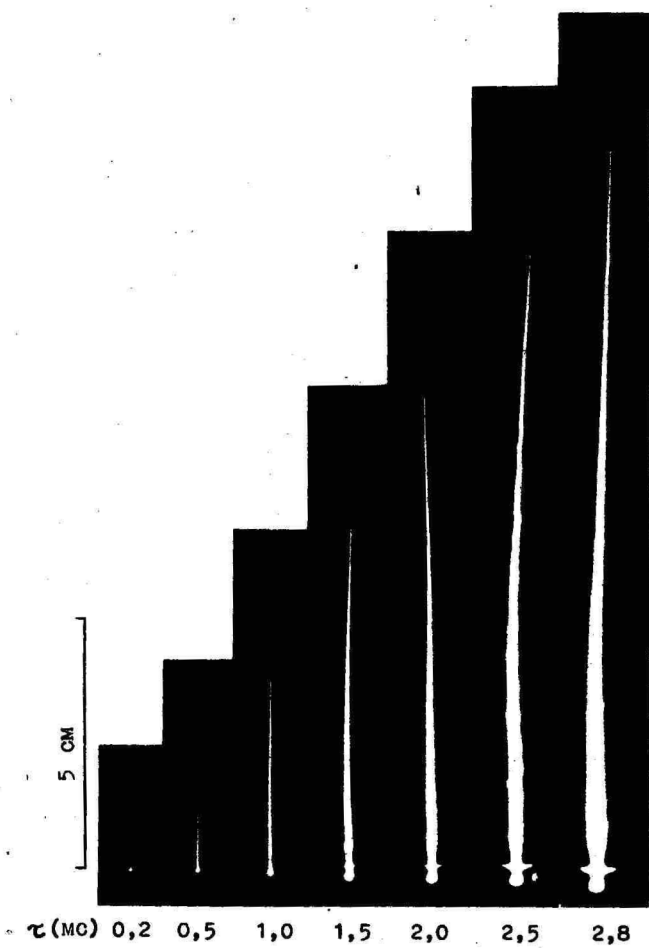


Рис. 3. Фотографии разрядных вспышек при разной длительности радиоимпульса τ .

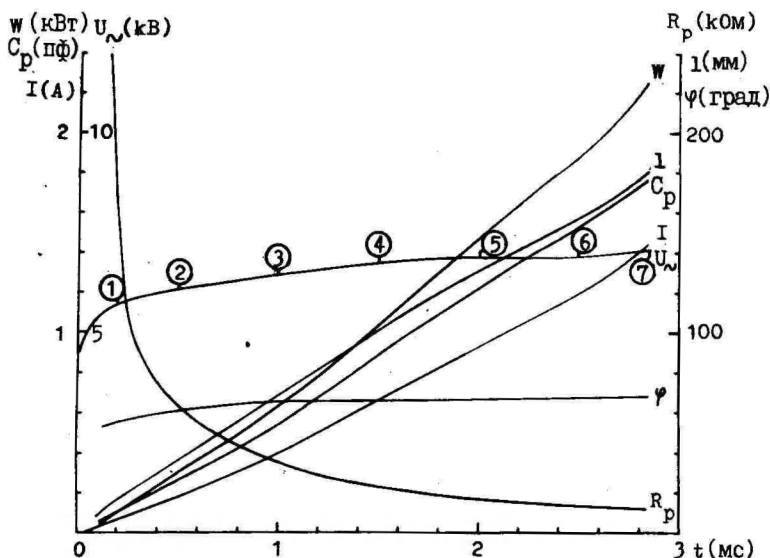
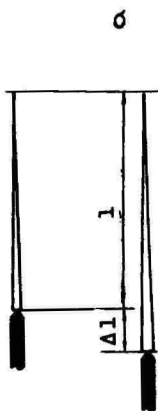
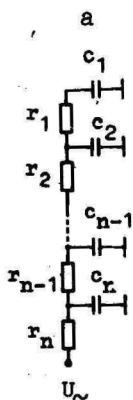


Рис. 4. Макропараметры разряда.

достигает величины 2 кВт. Значения W в изучаемом разряде получаются примерно в 1,5 раза больше, чем в стационарном факеле с такой же длиной канала (при l до 4 см; данные о стационарном факеле взяты из [6]). Угол фазы φ в пределах погрешностей сохраняется постоянным и имеет значение 65° .

Более полную физическую картину о самом разряде можно получить, если замещать разряд многоэлементной RC -цепью, как показано на рис. 5а, где каждому участку разрядного канала длиной Δl соответствуют элементы c и r с индексом, указывающим порядковый номер элемента. Применение такой эквивалентной схемы для стационарного факельного разряда в атмосферном воздухе обосновано в [6]. По кривой l на рис. 4 видно, что скорость распространения разряда меняется относительно мало. Постоянными сохраняются и поперечные размеры канала, измеренные в разные моменты времени на равных расстояниях от вершины канала (см. фотографии на рис. 3). Это свидетельствует о постоянстве условий (напряжений и токов) вблизи вершины канала, а также в канале разряда в системе координат, начало которых привязано к вершине канала и которая движется со скоростью распространения разряда в направлении оси канала. В таком случае можно полагать, что мощность, выделяемая на отрезке канала длиной l , отсчитанного от ее



вершины также сохраняется в течение времени Δt постоянной. Прирост мощности ΔW за промежуток времени Δt ; за который заряд продвинуется на отрезок Δl , $dW/dl \cdot \Delta l$, выделяется на отрезке Δl , (рис. 5б), т.е. на сопротивлении r_n . Тогда падение напряжения на r_n

$$u_{nn} = \frac{2\Delta W}{J} \quad (6)$$

где J - амплитуда полного тока разряда в момент достижения разрядом длины $l + \Delta l$ (кривые J на

Рис. 5. а) многоэлементная эквивалентная схема разряда; б) к вычислению r_n и c_n .

рис. 4 и 6). Фактически $\frac{u_{nn}}{\Delta l}$ есть усредненная на отрезке Δl напряженность поля в канале E . Далее сопротивление участка Δl

$$r_n = \frac{u_{nn}}{J} \quad (7)$$

и емкость его относительно земли

$$\left. \begin{aligned} c_n &\approx \frac{\Delta J}{\omega U_n |t-\Delta t| \sin \varphi} \\ c_1 &= \frac{J}{\omega U_n \sin \varphi} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Здесь предположено, что прирост тока за Δt

$$\left| \bar{J}_{|t} - \bar{J}_{|t-\Delta t} \right| \approx \frac{1}{\sin \varphi} (J_{|t} - J_{|t-\Delta t}) = \frac{\Delta J}{\sin \varphi}$$

уходит в землю через c_n , так что в остальном участке канала ток сохраняется прежним, а напряжение на c_n в момент времени t принято равным напряжению на острие в момент времени $t - \Delta t$.

Поступая таким образом для последующих моментов времени, получим картину изменения напряженности поля, а также сопротивления и емкости канала на участке Δl в зависимости от времени. Предположение о постоянстве параметров канала (погонного сопротивления и емкости) в движущейся системе координат можно реализовать подходящим выбором режима нарастания

U_{\sim} . В таком случае временные зависимости E , r_n и c_n можно трактовать как зависимости этих параметров от координаты.

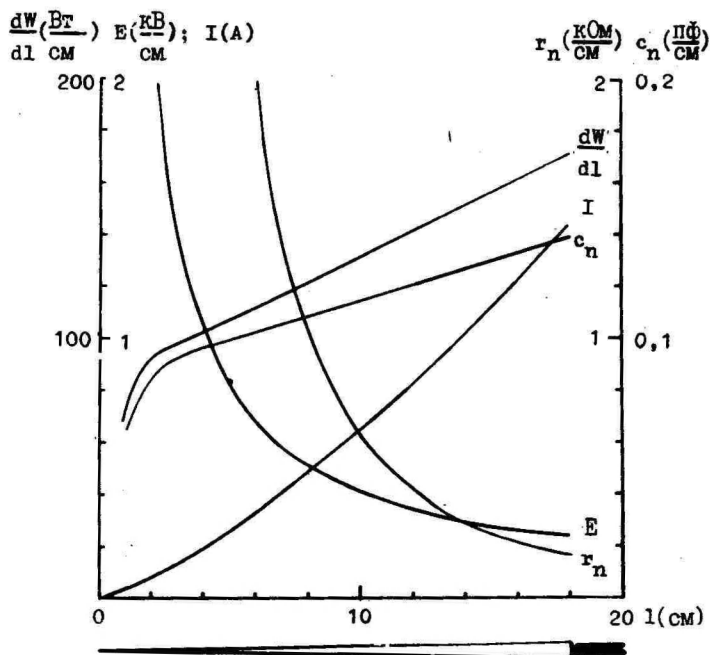


Рис. 6. Погонные параметры разрядного канала.

На рис. 6 представлены погонные параметры разряда, полученные при графическом дифференцировании кривых на рис. 4, с шагом $\Delta l = 1$ см по формулам (6, 7, 8). С графиков видно, что удельная мощность $\frac{dW}{dl}$ растет линейно начиная с $l > 4$ см. То же самое можно сказать о погонной емкости c_n . Напряженность поля падает монотонно и при $l = 18$ см достигает величины 250 В/см. Для сравнения приведем данные для стационарного факельного разряда длиной до 4 см: $E = 220$ В/см, $\frac{W}{l} = 60$ Вт/см [6]. Надо отметить, что электродные процессы, падение напряжения в приэлектродном слое и выделение здесь мощности при рассуждениях во внимание не принимались. В работах [7, 8] приведены экспериментальные данные о мощности, поглощаемой электродом при горении факельного разряда на частоте 27 МГц в воздухе, при полной мощности, потребляемой от ВЧ генератора $30 + 240$ Вт. По их данным в приэлектродном слое выделяется 50–30% от полной мощности. С увеличением полной мощности этот процент уменьшается. На основе этих

данных вычислено падение напряжения в приэлектродном слое. Эффективное значение его составляет 745 В [8]. Если вычислить поглощенную электродом мощность по приведенной в [8] формуле

$$W_{эл} = \frac{J_{эф} U_{эл}}{2},$$

где $J_{эф}$ - эффективное значение тока разряда и $U_{эл} = 745$ В, то получим для нашего случая, что при длине разряда l см отношение $\frac{W_{эл}}{W} = 50\%$ и уменьшается до значения ниже 20% при достижении разрядом длины 5 см. Отношение прироста мощности в приэлектродном слое к приросту полной мощности $\frac{\Delta W_{эл}}{\Delta W}$ тоже уменьшается примерно от 50% до 20% при росте длины разряда от l до 5 см. Таким образом, если $l > 5$ см, то учет электродных процессов снижало бы значения E и τ_n менее, чем на 20%. Погрешность, вызванная тем, что электродные процессы не учтены, должна уменьшаться с ростом l еще больше. Потому что с ростом мощности из-за нагрева газа и электроде приэлектродное падение напряжения должно снижаться.

Присутствие постоянной составляющей напряжения может внести свои осложнения, но из-за недостаточности максимальной чувствительности системы регистрации (0,2 мА/дел.) для регистрации постоянного тока, было сделано допущение, что разряд практически не потреблял мощности от источника постоянного напряжения.

Л и т е р а т у р а

1. Aints M.H., Kudu K.F. and Haljaste A.J. - Contr. Papers XV ICRIG, Minsk, 1981, p. 623.
2. Аинтс М.Х., Куду К.Ф., Хальясте А.А. - Учен. зап. Тартуж. гос. ун-та, вып. 588, Тарту, 1981, с. II.
3. Talsky A.- Czech. J. Phys., 1964, V. 14, No. 8, p. 594.
4. Farsky V.- Folia UJEP, Brno, IX, Physica 6, 1968, p. 15.
5. Talsky A.- Folia UJEP, Brno, IX, Physica 6, 1968, p. 49.
6. Качанов А.В. Теоретические и экспериментальные исследования высокочастотного факельного разряда в молекулярных газах при атмосферном давлении. - Диссертация на соискание уч. ст. к.ф.-м.н. Москва, 1969.
7. Tesař C. - Folia UJEP, Brno, IX, Physica 6, 1968, p. 63.
8. Tesař C. - Scripta Fac. Sci. nat. UJEP Brunensis, Physica 3, 2 : 1972, p. 151.

DETERMINATION OF THE MACROPARAMETERS OF HIGH-FREQUENCY
DISCHARGE BURSTS

M. Aints, K. Kudu and A. Haljaste

S u m m a r y

Single-channel high-frequency discharge bursts were produced in the point-to-plane discharge gap in the atmospheric air in superimposed DC and HF fields of 20 MHz. The discharge gap was considered as a two-terminal network of unknown impedance determined by the method of an impedance bridge. The values of the elements of the equivalent multi-section RC circuit of the discharge were calculated on the basis of the time-dependent resistance, capacitance and absorbed power of the discharge. The voltage drop on an element of the equivalent circuit was identified as a voltage drop on a definite part of the discharge channel. Graphs are presented describing the dependence of the field strength, of the linear resistance and of the capacitance on the length of the discharge channel. As the discharge develops, the field strength approaches the value typical of the torch discharge.

ИЗМЕНЕНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВО ВРЕМЯ ИМПУЛЬСНОГО ВЧ РАЗРЯДА

Я.А. Сузи, М.Р. Лаан

В литературе имеются довольно полные данные о вращательной температуре стационарного разряда в разных газах при разных частотах и давлениях [1, 2]. Вращательные спектры в разных фазах радиоимпульса для высокочастотного (ВЧ) разряда в воздухе были зарегистрированы в работе [3], но вращательные температуры не были определены.

Целью настоящей работы являлось измерение вращательной температуры в разных фазах развития импульсного ВЧ разряда. Исследовали униполярный разряд в воздухе от конического острия (латунь, угол заточки вершины $\sim 53^\circ$). Генератор ВЧ напряжения был собран на лампе ГУ-80 по трехточечной схеме. Радиоимпульсы были получены модулированием анодного напряжения с частотой 50 Гц. Несущая частота радиоимпульса 20 МГц. Напряжение на острие регулировали путем изменения индуктивной связи между выходным и анодным контурами. Для регистрации формы радиоимпульса использовали емкостной делитель напряжения. Разряд проектировался с уменьшением 1:9 на входную щель спектрографа ИСП-30 (ширина щели 0,01 мм). Для выделения нужной фазы развития разрядного канала был использован стробоскопический диск с шириной "временного окна" 1 мс. Временные моменты t_i (см. рис. 1) означают конец временных интервалов длиной 1 мс, в течение которых были сняты спектрограммы. Спектры были зарегистрированы на пластинках ZU -2I (ГДР) с временем экспозиции от 3 до 10 мин. Для калибровки на каждую пластинку был снят также спектр водородной лампы ДВС-25 через 9-ступенчатый ослабитель.

Развитие разряда во время одного радиоимпульса состоит из двух характерных этапов. В момент зажигания разряда (рис. 1 - пунктирная линия) возникают веерообразные разрядные каналы. Подобные формы разряда были подробно описаны в работе [4]. Время существования первого этапа около двух миллисекунд. В начале второго этапа (рис. 1 - сплошная ли-

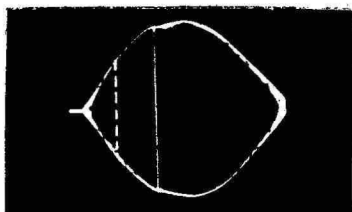


Рис. 1. Радиопульс.

Цена деления 1 мс.

t_i - моменты регистрации спектрограмм.

----- зажигание разряда

— начало развития канала

$t_1 t_2 t_3 t_4$

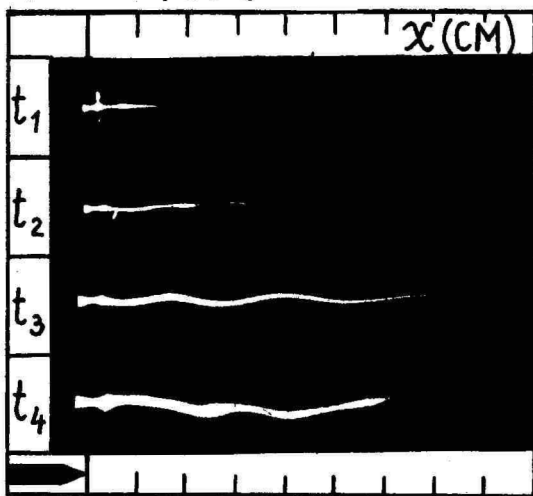


Рис. 2. Снимки

разряда в исследованных моментах t_i .
 x - расстояние от острия

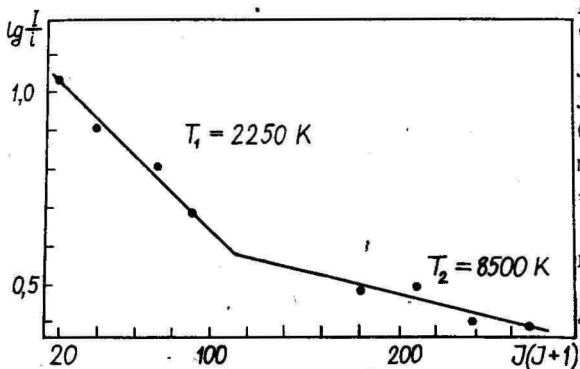


Рис. 3.

"Горячая" и "холодная" группа линий в спектре OH. Момент времени t_1 , $x = 1,5$ см.

I - интенсивность линий
 i - фактор интенсивности

ния) начинается развитие основного, прюсового разрядного канала. На рис. 2 представлены снимки разрядного канала в разные моменты развития, сделанные также через стробоскопический диск. Представленные снимки соответствуют моментам регистрации спектров.

Для определения вращательной температуры использовалась ветвь Q_1 вращательной структуры колебательного перехода $(0 \rightarrow 0)$ радикала OH (${}^2\Sigma \rightarrow {}^2\Pi$, $J = 4, 6, 8, 9, 13, 14, 15, 16$) и ветвь R вращательной структуры колебательного перехода $(0 \rightarrow 0)$ молекулы N_2 ($C^3\Pi \rightarrow V^3\Pi$; $J = 22 - 47$). Для каждого временного момента спектр был снят дважды. Фотометрирование линий N_2 оказалось возможным только для моментов t_1 и t_2 , для остальных моментов температура определена только по линиям OH .

Для определения температуры была применена обычная методика [5]; факторы интенсивности для OH взяты из работы [5], для N_2 - вычислены по формуле, приведенной в [6]. Пример зависимостей, по которым были определены температуры на разных расстояниях от острия в разные моменты времени, представлен на рис. 3. В случае OH распределение заселенностей в моменты t_1 и t_2 можно охарактеризовать двумя температурами - существует "холодная" и "горячая" группы линий. В остальные моменты времени, а также для N_2 существует лишь одна температура на определенном расстоянии от острия. Существование "холодной" и "горячей" групп молекул OH можно объяснить отсутствием термодинамического равновесия между нейтральным газом и высшими вращательными уровнями ($J > 11$). Оценки критического значения J , сделанные нами на основе [7], хорошо совпадают со значениями, полученными в эксперименте. Температура, определенная по $J < 11$, характеризует температуру нейтрального газа. Полученные зависимости T_1 , $T_2 = f(x)|_{t_i = const}$ представлены на рис. 4а, б.

Предположение, что температура "горячей" группы молекул OH совпадает с электронной температурой как в работе [8], требует дополнительных исследований. Если полагать, что температура "горячих" линий равняется электронной температуре, то полученные оценки напряженности поля в канале удовлетворительно совпадают с данными работы [9]. В настоящей работе точность определения "горячей" температуры T_2 невелика (особенно в конце канала). Для повышения точности требуется существенно уменьшить ширину "временного окна".

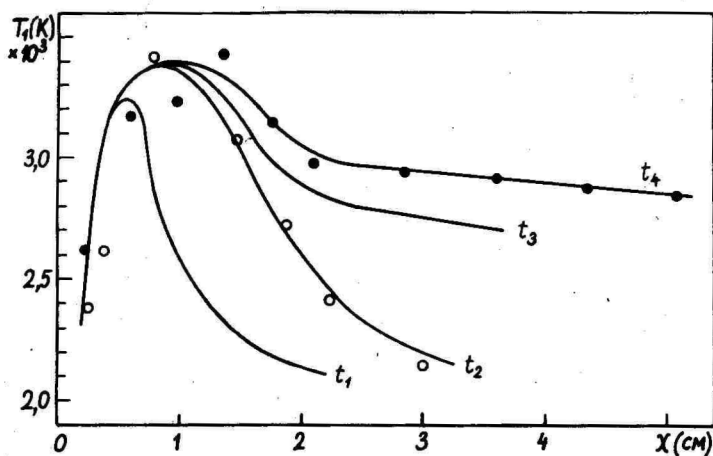


Рис. 4а. Зависимости вращательных температур от расстояния. Экспериментальные точки зависимостей T_1 и T_2 на график не занесены.

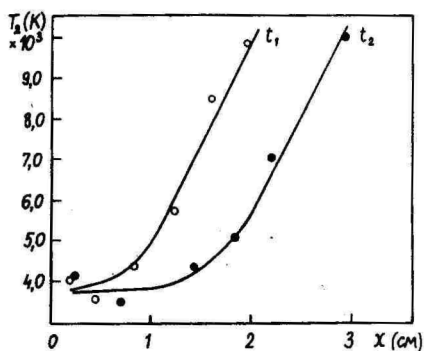


Рис. 4б. Зависимости вращательных температур "горячей" группы ОН от расстояния от острья.

Зависимости $T_I = f(x)$ для разных моментов времени хорошо совпадают с результатами, приведенными в [10] для стационарного разряда при разных мощностях.

Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить сотрудников кафедры физической электроники университета имени Пуркьяны (Брно, ЧССР), где во время стажировки одного из авторов были сделаны предварительные эксперименты, давшие начало настоящей работе.

Л и т е р а т у р а

1. Truněček V. Unipolar high frequency discharges in spectral analysis. - Folia Fac. Sci. Natur. Univ. Purkynianae Brunensis VIII, 1967, p. 1 - 35.
2. Janča J. Application of N_2 vibrational and rotational temperatures in plasma diagnostics of unipolar high frequency discharges. - Folia Fac. Sci. Natur. Univ. Purkynianae Brunensis XII, 1971, p. 41 - 55.
3. Janča J. Spectral diagnostic of the torch discharge. - Folia Fac. Sci. Natur. Univ. Purkynianae Brunensis VIII, 1967, p. 37 - 46.
4. Веймер В.А., Куду К.Ф. Изучение фаз развития униполярного ВЧ разряда в диапазоне 3 - 20 МГц. - Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 283, Тарту, 1971, с. 49-61.
5. Михалевский В.Д., Прокофьева В.В. Исследование температуры металлической дуги по молекулярному спектру гидроксидов. - ЖЭФ, М., 1950, Т 20, вып. 7, с. 584-593.
6. Phillips D.M. Determination of gas temperature from unresolved bands in the spectrum from a nitrogen discharge. - Appl. Phys., 1975, vol. 8, pp. 507 - 521.
7. Гордиец Б.Ф., Осипов А.И., Шелепин Л.А. Кинетические процессы в газах и молекулярные лазеры. М., 1980, гл. 2.
8. Janča J., Kapička V. Využití optických a spektrometrických metod při zkoumání elementárních a chemických procesů v plazmatu. - III. Sympóziu o elementárních procesoch a chemických reakciách v nízkoteplotnej plazme. Kpračovo, Nízke Tatry, 1980, p. 74 - 96.
9. Karcun K. Určení parametru plazmatu pochodňového výboje aplikací rozšířeného elektrodynamického modelu. Vliv vodních par. Sborník vědeckých prací vysoké školy baňské v Ostravě. XVIII, 2, 1972, p. 119 - 132.

Ю. Айтс М.Х., Куду К.Ф., Хальясте А.Я. Определение макро-
параметров высокочастотных разрядных вспышек. - Наст.
сборник.

ALTERATION OF ROTATIONAL TEMPERATURE DURING
A PULSE-EXCITED HF DISCHARGE

J. Susi and M. Laan

S u m m a r y

In this paper the measurement of rotational temperature in a HF discharge channel is carried out for different moments t_i during a HF pulse in the case of a unipolar discharge from the point electrode. The temperatures were determined at various distances from the point electrode from the rotational spectra of OH and N_2 . Two groups of rotation lines presenting different temperatures in the spectrum of OH were observed. When considering the temperature of "hot lines" equal to the temperature of electrons and calculating the field strength, the results agree with those in [9]. The temperature of the "cold lines" of OH and the temperature determined from the N_2 rotational structure represent the temperature of neutral gas and the results are in good agreement with those obtained for the torch discharge of different powers described in [10].

УСЛОВИЯ СТАЦИОНАРНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ В ГАЗЕ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

А.В. Дмитриев

Одна из наиболее интересных в научном и важных в прикладном плане проблем современности состоит в познании явления самоорганизации в открытых системах, когда совокупность мало связанных, казалось бы, процессов дает начало образованию высокоупорядоченной структуры [1]. Данная публикация посвящена оценке условий стационарности системы, образованной множеством электрических разрядов в воздухе, вольтамперные характеристики которых соответствуют неустойчивой (левой ветви) обобщенной характеристике Энгеля-Штеенбека [2]. Явление, наблюдаемое в ограниченной диэлектриком узкой газовой полости, известно как "барьерный разряд" [3]. Множество разрядов, возбуждаемых в воздушных промежутках 10-30 см при напряжениях 50-150 кВ, между электродами "игла-плоскость" [4, 5], или "провод-плоскость" [6], названо нами "каскадным разрядом".

1. Стационарное состояние открытой электродинамической системы

В модельном представлении формирование множества каналов разряда можно рассматривать как флуктуации поляризации газа в межэлектродном пространстве, порождающие импульсы тока во внешней цепи. Макроскопическая теория флуктуирующей электродинамической системы отсутствует, и пособием при рассмотрении ее эволюции остаются построения неравновесной термодинамики [7]. Выполним эти построения применительно к поставленной задаче. Пусть \vec{E} и \vec{P} - векторы напряженности электрического поля и поляризации, характеризующие состояние модели. Предположим, что с течением времени горения разряда среднестатистические значения вектора поляризации возрастают. Это может быть обусловлено, например, повышением эмиссионной активности электродов под воздействием самого разряда. Запишем уравнение Гиббса [7] применительно к некоторому состоянию

нашей системы:

$$T ds_v = dU - \vec{E} d\vec{P} - \sum_j \varphi d\varrho_j, \quad (1)$$

где $T = \text{const}$ - температура, s_v - локальная энтропия системы, U - ее внутренняя энергия, а φ и ϱ_j - потенциал и плотность j -ой компоненты связанных (поляризованных) зарядов ($j = 1, 2, \dots, n$). Плотность зарядов и вектор поляризации связаны известным уравнением:

$$\varrho_j = - \text{div } \vec{P}_j.$$

Предположим, что стационарное состояние открытой системы существует, и эволюция к этому состоянию может быть представлена приращением локальной энтропии [1]:

$$\delta s_v = - \frac{1}{T} \sum_j \varphi \delta \varrho_j.$$

Увеличение плотности зарядов сопровождается затратами энергии поля:

$$\delta W_j = - \varphi \delta \varrho_j = \varphi \text{div} (\delta \vec{P}_j) = \text{div} (\varphi \delta \vec{P}_j) - (\delta \vec{P}_j) \text{grad } \varphi,$$

следовательно:

$$\delta s_v = - \frac{1}{T} \sum_j \{ \text{div} (\varphi \delta \vec{P}_j) - (\delta \vec{P}_j) \text{grad } \varphi \}. \quad (2)$$

Будем считать, что когда $\delta t \rightarrow dt$ и $\delta s_v \rightarrow ds_v$, то существует предел $\lim_{\delta t} \frac{\delta s_v}{\delta t} = \frac{ds_v}{dt}$. Образует производную от левой и правой частей уравнения (2). Производная от вектора поляризации есть плотность тока смещения; обозначим ее через \vec{J} . Представим напряженность электрического поля суммой:

$$\vec{E} = \vec{E}^o + \vec{E}^p = - \text{grad } \varphi, \quad (3)$$

где \vec{E}^o и \vec{E}^p отображают поля сторонних источников и поляризации. Воспользуемся соотношениями (2), (3), а также теоремой о дивергенции векторного поля, и напишем уравнение баланса энтропии для системы, занимающей объем V и ограниченной поверхностью F :

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \int_V \frac{dV}{T} \sum_j [(\vec{E}^o + \vec{E}^p) \vec{J}_j] + \oint_F \frac{dF}{T} \sum_j \varphi(F) [\vec{J}_j(F) \vec{n}] = \frac{\partial_i S}{\partial t} + \frac{\partial_e S}{\partial t}, \quad (4)$$

где $\varphi(F)$ и $\vec{J}_j(F)$ - значения функции на F и \vec{n} - единичный вектор, ориентированный вдоль нормали к F .

Условие стационарности выполняется, когда приращение энтропии в системе за малый промежуток времени равно нулю [1]. Этому будут способствовать потоки энтропии за пределы системы ($\partial_e S / \partial t < 0$) и уменьшение ее производства в системе, которое всегда положительно ($\partial_i S / \partial t > 0$). Из (4) следует,

что производство энтропии уменьшается, когда сторонние эдс не участвуют в ионизационных токах ($\vec{E}^0 \vec{J}_i = 0$). Иными словами, в стационарном разряде ионизация должна протекать за счет внутренней ("свободной") энергии, т.е. поля поляризации. Однако для смежных участков системы запасы этой энергии будут играть роль "сторонних источников". Обоснованным представляется, поэтому, суждение, что формирование стационарного состояния сопровождается упорядочением структуры разряда. Область разряда в модельном представлении можно мыслить как множество ячеек, обмен энергией между которыми протекает только на уровне сигналов управления, называемых в неравновесной термодинамике "мягкой модой" [1].

Другим условием возникновения стационарного состояния служит равенство нулю избыточного производства энтропии в системе [1]. Эта функция представляет собой производную от первого слагаемого в (4); обозначим его через \mathcal{P} .

$$\frac{\partial \mathcal{P}}{\partial t} = \int_V \frac{dV}{T} \left\{ \sum_j \frac{\partial}{\partial t} [(\vec{E}^0 + \vec{E}^p) \vec{J}_j] \right\}, \quad (5)$$

Из (5) следует, что эволюция системы к стационарному состоянию более вероятна, когда поле сторонних эдс постоянно ($\partial \vec{E}^0 / \partial t = 0$) или, что практически то же самое, время заметного изменения поля источника должно быть много больше длительности ионизационных токов.

Выполненный анализ позволяет постулировать условия стационарности для системы, образованной множеством разрядов в газе, которые доступны опытной проверке.

2. Барьерный разряд

В ограниченной диэлектриком полости при достаточно высоком переменном напряжении возникает множество импульсов электрического тока наносекундной длительности. Амплитуды импульсов лежат в пределах от долей миллиампера до десятка ампер [3]. Особенности барьерного разряда обязаны своеобразному механизму вторичных процессов в полости [8]. Во время разряда на ее стенках адсорбируются газовые ионы так, что полость оказывается "поляризованной". Со сменой полярности напряжения источника отрицательные ионы на мгновенном катоде дают начало эмиссионным токам, которые усиливаются ионизационными процессами в газе. Полость перезаряжается. Поле адсорбированных ионов обладает запасом энергии, которую при конечной проводимости барьера можно считать "свободной"

энергией системы". В стационарном разряде она расходуется, в основном, на ионизацию газа, тогда как перенос ионов к стенкам полости, то есть "поляризация" ее, осуществляется полем источника.

Под влиянием разряда адсорбционная способность полимерных материалов, стекол и керамики возрастает, а поверхностная электропроводность падает. Тем самым создаются благоприятные условия для формирования упорядоченной пространственно-временной структуры разряда: равномерного распределения и автономности электронных токов в полости. Опыты показывают, что мерой приближения разряда к стационарному состоянию служит дисперсия в распределении амплитуд импульсов электронного тока. Это иллюстрируется динамикой вольтамперных характеристик разряда в ограниченной полиэтиленом воздушной полости в процессе формирования стационарного разряда (рис. 1). Возбуждение упорядоченного разряда объясняет более стабильную работу изоляции высоковольтных устройств при непрерывной эксплуатации ее под напряжением.

На рис. 2 приведена зависимость удельных затрат энергии на синтез озона из воздуха в отечественном озонаторе ОП-3 от дисперсии в значениях амплитуд импульсов электронного тока. В стационарном разряде энергия электронов затрачивается, в основном, на возбуждение газовых молекул и удельные затраты ее на образование O_3 минимальны. В то же время мощность упорядоченного разряда при неизменном напряжении на озонаторе оказывается максимальной. Можно заключить, что стационарный разряд обладает высоким "химическим кпд".

3. Каскадный разряд

Наблюдаемое в плохую погоду свечение вблизи заостренных предметов ("огни святого Эльма", [9]) является, по-видимому, естественной формой каскадного разряда, когда электрически связанные с землей предметы несут положительный потенциал. Исследованиями автора установлено, что зажигание каскадного разряда в системе электродов "игла-плоскость" (игла заряжена положительно) обусловлено накоплением и движением в межэлектродном пространстве газовых ионов [5]. Электромагнитное поле ионных токов образует резервуар "свободной" энергии в системе.

Развитие множества светящихся в ультрафиолетовой области каналов, перекрывающих межэлектродное пространство, при большом балластном сопротивлении в цепи источника не завер-



Рис. 1. Вольтамперные характеристики разряда в узкой газовой полости, ограниченной пленками полиэтилена: момент включения (а), через полчаса (б) и через два часа (в) после включения напряжения (50 Гц); i_c - емкостной ток и i_p - токи разряда.

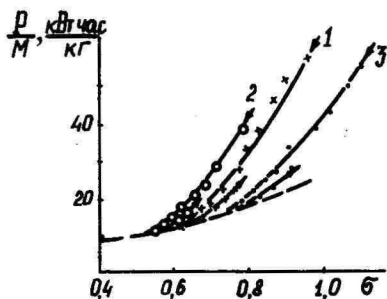


Рис. 2. Удельные затраты энергии на синтез озона из воздуха (P/M) в зависимости от дисперсии σ (отн. единицы) амплитуд импульсов электронного тока при прямоугольном токе питающего инвертора с частотой следования 50 (1), 150 (2) и 200 (3) Гц.

шается искровым пробоем. Можно полагать, что эти нитевидные свечения представляют собой треки катодных стримеров, протяженность которых (доли сантиметра) ограничена прилипанием электронов к молекулам кислорода (в азоте разряд не возникает). Стримеры распространяются в сравнительно слабом поле (5–6 кВ/см) со скоростью $10^6 - 10^7$ см/с. В стационарном разряде пространственно-временное распределение стримеров упорядочено (рис. 3). Допуская, что со стримером связан некоторый запас энергии [10], представляется реальным, в то же время, приток мощности к стримеру непосредственно из окружающего поля. Согласно теореме Пойнтинга [11], это возможно, когда поле является электромагнитным. Запаздывание в распространении электромагнитной энергии исключает возможность возбуждения магнитной составляющей поля током самого стримера. Эта составляющая возбуждается токами газовых ионов.

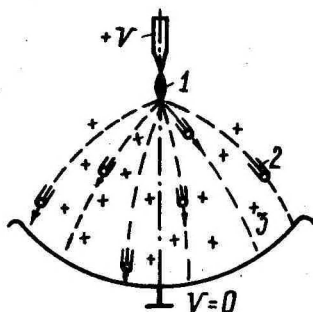


Рис. 3. Модель каскадного разряда: катодные стримеры в системе электродов "игола-сферический сектор" при стационарном разряде; плазменное образование (1), катодный стример (2), избыточный положительный объемный заряд (3).

Положительные ионы поступают в межэлектродное пространство из плазменного образования на острие иглы, а отрицательные — из острого стримеров. При ионном токе порядка миллиампера и поле ~ 5 кВ/см приток мощности к стримеру может достигать, нескольких ватт. Когда ионные заряды "выдуваются" потоками воздуха или сторонним полем из разрядного промежутка, каскадный разряд гаснет. Таким образом, эволюция каскадного разряда к стационарному состоянию связана с формированием "среды энергообмена", позволяющей отбирать мощность от статических полей.

4. Заключение

Возбуждение упорядоченных форм электрических разрядов в воздухе при атмосферных условиях подчиняется общим закономерностям, свойственным эволюции открытых систем к стационарному состоянию. Непременным условием подобной эволюции является образование резервуара свободной энергии в форме электромагнитного поля токов проводимости. Необходимость формирования среды энергообмена предопределяет наблюдаемую в опытах и в природе "стадийность" пробоя протяженных промежутков, включая и разряды молнии [12]. Сначала формируется тот или иной "лидер", с накоплением в среде "свободной энергии" происходит "главный разряд". Так же можно объяснить, по нашему мнению, формирование каналов типа "стример в стримере" [13].

Другим условием зажигания стационарного разряда при атмосферном давлении будет ограниченный энергообмен между смежными субмикроскопическими объемами газа, в которых развиваются каналы разряда.

Шаровая молния также является, по нашему мнению, квазистационарным состоянием системы газовых разрядов, порождаемой сильным электромагнитным возмущением. Мы полагаем, что это неустойчивое парамагнитное образование пополняет свои первоначальные запасы энергии из магнитного поля земли. Механизм этого своеобразного "параметрического генератора" нуждается в специальном обсуждении.

Л и т е р а т у р а

1. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М., Мир, 1979.
2. Энгель А., Штеенбек М. Физика и техника электрических разрядов в газах; т. 2. М.-Л., ОНТИ-НКТП, 1936.
3. Дмитриев А.В. Ионизированные токи в газоразрядном озонаторе. - ЖТФ, 1981, т. 51, в. 1, с. 224-226.
4. Дмитриев А.В., Преснецов Г.Н. Способ получения коронного разряда. Авт. св. СССР № 309478.
5. Дмитриев А.В. Электрическое поле начальной стадии каскадного разряда. - Электроника (межвузовский сборник научных трудов), Рязань, 1977, с. 82-87.
6. Богданова Н.Б., Певчев Б.Г. Электрические свойства факельного разряда при постоянном напряжении. - ЖТФ, 1975, т. 25, в.1, с. 97-103.

7. Де-Гроот С., Мазур П. Неравновесная термодинамика. М., Мир, 1964.
8. Дмитриев А.В. Эмиссионный механизм в газоразрядном реакторе средней частоты. - Тез. докл. на 9-ой Всесоюзн. научно-техн. конф. "Применение токов высокой частоты в электротермии", Л.: НТО МАШПРОМ, 1981, с. 88-89.
9. Огни святого Эльма. - Б.С.Э., изд. 3, т.30, М., 1978 с. 153.
10. Лозанский Э.Д., Фирсов О.Б. Теория искры. М., Атомиздат, 1975.
11. Тамм И.Е. Основы теории электричества. М., Наука, 1976.
12. Юман М. Молния. М., Мир, 1972.
13. Айтс М.Х., Куду К.Ф., Хальясте А.Я. Исследование последовательности первичный стример-вторичный стример в воздухе. - Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 443, 1977, с. 3-20.

CONDITIONS OF THE STABILITY OF ELECTRIC DISCHARGES
IN GAS UNDER ATMOSPHERIC PRESSURE

A. V. Dmitriyev

S u m m a r y

The paper discusses the conditions of the formation of the steady state of an electrodynamic system produced by a great number of ionizing currents in barrier and cascade discharges. It has been shown that the generation of a regular discharge is subject to the general regularities of the evolution of open thermodynamic systems into a steady state. The conditions for a similar development include the formation of a reservoir of free energy ensuring the development of ionization currents in gas and the build-up of a structure in which exchange of energy between adjacent channels proceeds only on the level of control signals.

ЗАВИСИМОСТЬ СПЕКТРА ПОДВИЖНОСТИ ЛЕГКИХ АЭРОИОНОВ ОТ ХИМИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В ВОЗДУХЕ

Х.Р.Ихер, Н.И.Сальм

Исследования влияния химических примесей в воздухе на спектр подвижности легких аэроионов проводятся с 1975 г. [1, 2]. В настоящей работе новизной по методике является применение спектрометра аэроионов повышенной разрешающей способности типа ИТ-7801 [3, 4] к испытанию относительно большого количества различных веществ в качестве примесей. В начальной стадии настоящей работы была уточнена калибровка расхода воздуха спектрометра.

Аэроионы создаются коронным ионизатором при напряжениях 2,06 кВ в случае положительных и 1,78 кВ в случае отрицательных аэроионов. Возраст аэроионов в момент измерения около 0,5 с. Измерения проведены в лабораторных условиях: температура $(20 \pm 6)^\circ\text{C}$, давление (1005 ± 25) гПа, относительная влажность $(60 \pm 20)\%$.

Всего было исследовано влияние более ста веществ или смесей химических соединений в качестве примесей в воздухе. Примеси подводились обычно в следовых количествах: испарением жидкости, химическими реакциями и испусканием из емкостей газа. Из-за высокой чувствительности прибора к некоторым примесям необходимы меры предосторожности к чистоте средств подвода. Например, оказалось, что кислородная подушка сама выделяет какие-то нами не определенные вещества, влияющие на спектр. Также было замечено, что стеклянная посуда, на глаз чистая, может выделять активные примеси при слабом нагревании на водяной бане.

Ниже будут перечислены исследованные вещества согласно химической классификации. В общем исследованные вещества подразделены на неорганические, органические и на смеси. Внутри классов вещества расположены по алфавиту (приставные буквы не учитываются). Соблюдены названия веществ по Краткой химической энциклопедии [5]. Справа от названия вещества отмечен символ "+" и/или "-", если это вещество сильно или умеренно воздействовало на спектр соответственно положитель-

ных и/или отрицательных аэроионов. Если воздействие слабое, то соответствующий символ находится в скобках. Подразделение силы этого воздействия в большой мере качественное, условное. В случае сильного воздействия спектр значительно изменяется при концентрации примеси порядка 1 мкг/м³.

Также указаны номер рисунка для наиболее характерных спектров и способ получения данного вещества, если это не простое испарение. На рисунках прерывистой линией указан спектр в чистом воздухе (т.е. без прибавления примесей), сплошной линией – спектр при прибавлении данной примеси. На рисунках k – подвижность, $\lambda(k)$ – в небольшой мере сглаженная спектральная функция проводимости.

I. Неорганические примеси.

I.1. Вещества, постоянно присутствующие в атмосфере:

азот, испарением жидкого азота;
 водяной пар, (-), испарением нагретой дистиллированной воды;
 диоксид азота, -, из газовой пипетки;
 диоксид углерода, из баллончиков;
 закись азота, из баллона;
 кислород, из баллона;
 озон, -, искровым разрядом или из реакции

$$3 \text{BaO}_2 + 3 \text{H}_2\text{SO}_4 = 3 \text{BaSO}_4 \downarrow + 3 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_3 \uparrow$$

 окись углерода, из баллона и из реакции

$$(\text{COOH})_2 \xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4} \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow + \text{CO} \uparrow$$

I.2. Галогены:

бром, -, из реакции $2\text{KBr} + \text{MnO}_2 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{MnSO}_4 + 2\text{KHSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Br}_2 \uparrow$ или испарением бромной воды;
 йод, -, испарением спиртового раствора йода или испарением кристаллов йода.

I.3. Кислоты:

азотная кислота, -, рис. 1, испарением концентрированного раствора;
 серная кислота, испарением 98%-ного раствора;
 водород хлористый, -, испарением 30%-ной соляной кислоты

I.4. Щелочи:

аммиак, (-), испарением 10%-ного раствора при температуре около 90°C (на горячей водяной бане);
 калия гидроксид, прибавлением дистиллированной воды к твердой КОН.

I.5. Прочие соединения:

водорода перекись, -, рис. 2, испарением пергидроля (30%);
 сероводород, из реакции



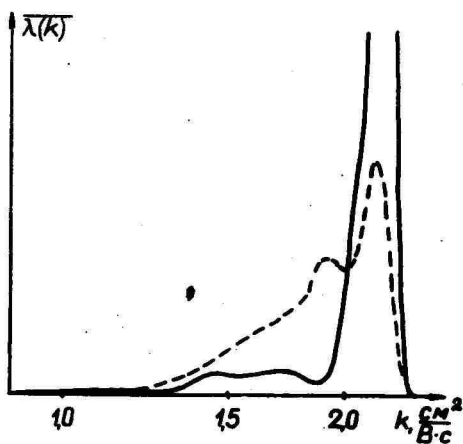


Рис.1. Спектр "-" ионов. Примесь: азотная кислота.

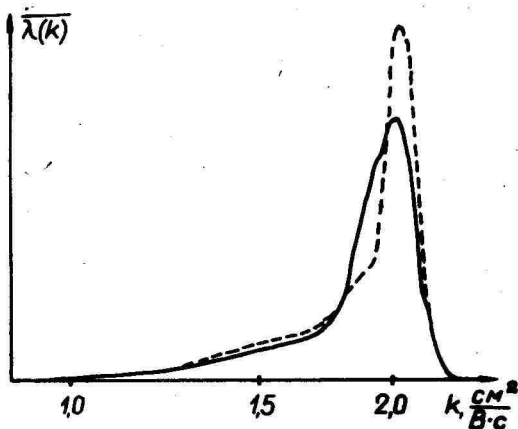


Рис.2. Спектр "-" ионов. Примесь: водорода перекись.

2. Органические примеси.

Все органические примеси получены испарением жидкости при комнатных условиях. (только фреоны - из баллона).

2.1. Алканы:

н-гептан;	изооктан;
н-декан;	н-октан.
н-нонан;	

2.2. Ароматические углеводороды:

антрацен;	α -нафтол;
бензол, - ;	нитробензол, (-);
О-ксилол, (-);	этилбензол.

2.3. Галогенсодержащие соединения:

α -бромнафталин;	фреон-12;
н-бутил бромистый, (-);	фреон-22, - ;
н-бутил хлористый, (+), (-);	хлороформ, - ;
дибромэтан;	эпихлоргидрин;
дихлорэтан;	этил бромистый, (-);
изобутил бромистый;	этилен хлористый.
трихлорэтилен, +, (-), рис. 3;	

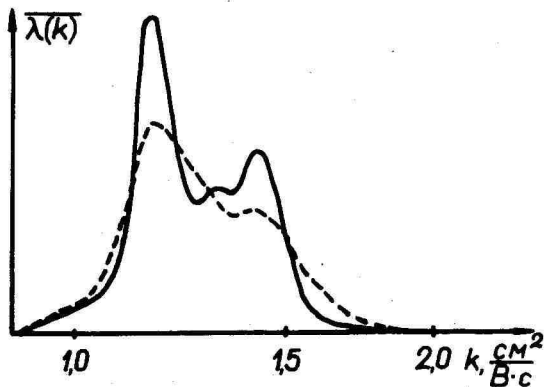


Рис. 3. Спектр "+" ионов. Примесь: трихлорэтилен

2.4. Спирты и фенолы:

н-бутиловый спирт;	метиловый спирт;
глицерин;	н-пропиловый спирт;
изобутиловый спирт;	фенол, (-);
О-крезол, (+);	этиловый спирт, (+), (-).

2.5. Эфиры и перекисные соединения:

диэтиловый эфир;	тетрагидрофуран, (-);
изоамилацетат;	этилацетат;
изобутилацетат;	этилформиат, (-).
метилацетат;	

2.6. Амины и аминокислоты:

анилин;	диэтиланилин, +;
диметиламин;	метиламин;
диметилформамид, +;	нитробензол;
дибензилкарбазид;	этилендиамин, +.

2.7. Альдегиды и кетоны:

ацетальдегид, (+);	метилэтилкетон;
ацетилацетон, (-);	формальдегид, (+), (-).
ацетон, +, (-);	

2.8. Органические кислоты:

коричная кислота;	трихлоруксусная кислота, -, рис. 4;
молочная кислота;	уксусная кислота;
муравьиная кислота, -;	хлоруксусная кислота, -, рис. 5.

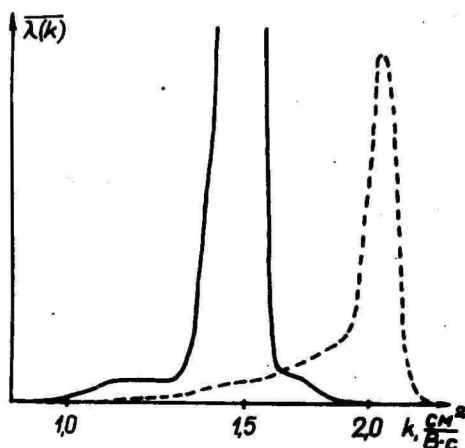


Рис. 4. Спектр "-" ионов. Примесь: трихлоруксусная кислота.

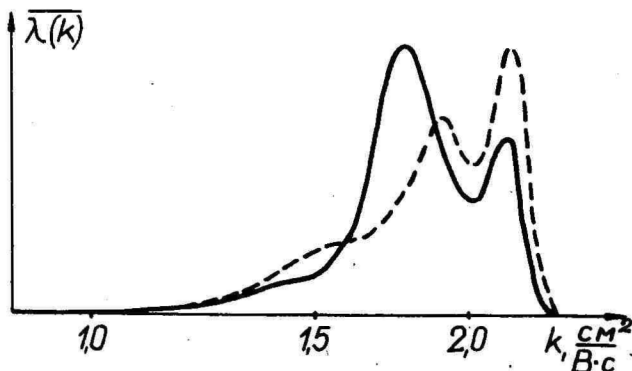


Рис. 5. Спектр "-" ионов. Примесь: хлоруксусная кислота.

2.9. Органические соединения различных классов:

анилин солянокислый, -;	камфара;
гидроксиламин солянокислый;	пиридин гидрохлорид, -;
н,н-диметилпарафенилен-	стирол;
-диаминдигидрохлорид;	этилбензоат.
диметилсульфоксид, +, рис.6;	

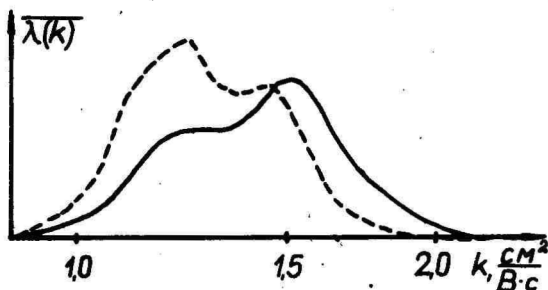


Рис. 6. Спектр "+" ионов. Примесь: диметилсульфоксид.

3. Различные смеси и составы.

Неактивные смеси не указаны.

Бензин Б70, (-);	лак для паркета с отвердителем
воздух, выдохнутый в	(Новомосковский з-д бытовой химии,
резиновый матрац, +, -;	ТУ 6-15-50-75), (+), (-);
дезодорант "Fa" (ФРГ), +;	резиновый клей, (-);
дихлофос, +, -;	скипидар смоляной, -;
неактивные газы из	этилцеллюлольв, -.
кислородной подушки, +;	

Из неорганических веществ сильное одинаковое влияние на спектр отрицательных аэроионов оказывают галогиды (хлор, бром, йод), хлористый водород, азотная кислота и двуокись азота - все они усиливают линию спектра с наибольшей подвижностью, около $2,0 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, подавляя другие линии (рис. 1). Таким же образом действует и муравьиная кислота. Влияние перекиси водорода аналогично влиянию водяного пара - аэроионы немного "тяжелее" (рис. 2). Влияние неорганических примесей на спектр положительных аэроионов не наблюдалось.

Сильное специфическое влияние на спектр отрицательных аэроионов оказывает трихлоруксусная кислота - значительно усиливая линию при подвижности $1,45 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, подавляя другие линии (рис. 4). Хлоруксусная кислота усиливает линию спектра при подвижности $1,75 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ (рис. 5).

Обнаружено сильное влияние многих органических примесей на спектр положительных легких аэроионов. Например, под действием трихлорэтилена значительно возрастает линия при под-

вижности $1,2 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ (рис. 3). Аналогично влияет диэтиламин. Диметилформамид усиливает линию при подвижности $1,55 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, аналогично диметилсульфоксиду (рис. 6).

Эксперименты со смесями из двух чистых веществ показали, что специфическое влияние одного или другого вещества не искажается наличием другого вещества.

Найденные закономерности могут способствовать выяснению природы легких аэроионов в естественных и искусственных условиях. В принципе также возможна разработка методов и приборов анализа некоторых микропримесей в газах на основе спектрометрии легких аэроионов.

Авторы выражают благодарность Р.Э. Прийман и Ф.Г.Миллеру за помощь в работе.

Л и т е р а т у р а

1. Таммет Х.Ф. Зависимость спектра подвижностей легких аэроионов от микропримесей воздуха.-Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 348, Тарту, 1975, с. 3-15.
2. Сальм Я.И., Матизен Р.Л. Некоторые результаты исследования влияния примесей воздуха на спектр подвижностей легких отрицательных аэроионов.-Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 443, Тарту, 1977, с. 40-43.
3. Сальм Я.И. О повышении разрешающей способности спектрометра легких аэроионов.-Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 479, Тарту, 1979, с. 10-14.
4. Ихер Х.Р., Сальм Я.И. Зависимость спектра подвижности легких аэроионов от их возраста.-Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 588, Тарту, 1981, с. 33-39.
5. Краткая химическая энциклопедия, т. I-5, "Советская энциклопедия", М., 1961, 1963, 1964, 1965, 1967.

DEPENDENCE OF THE SMALL ION MOBILITY SPECTRUM ON CHEMICAL AIR IMPURITIES

H. Iher and J. Salm

S u m m a r y

The action of over 100 air impurities on the mobility spectrum of positive and negative small air ions was studied, using a special air-ion spectrometer of increased resolving power. Over 20% of these substances are strongly active, changing the shape of the spectrum at concentrations

below 1 mg/m^3 . The presence of the effect of impurities on the positive air-ion spectrum is denoted by the sign + , that on the negative air-ion spectrum is marked by the sign - , respectively. The most characteristic shapes of the spectra are represented in the figures, where a dashed line denotes the spectrum of natural air in the laboratory, a continuous line signifies the spectrum with a given impurity in the air.

ЭЛЕКТРОННОЕ СТРОЕНИЕ ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ ДИХЛОРИДОВ

Н.В. Виллем, О.В. Сакс

Техника фотоэлектронной спектроскопии (ФЭС) дает возможность непосредственно измерить энергии ионизации (ЭИ) всех орбиталей валентной оболочки и в виде ФЭ-спектра представить энергетическую картину электронных уровней в молекуле.

Применяемый нами двухэлектродный цилиндрический анализатор с тормозящим полем (энергия фотонов 21, 22 эВ) позволяет записать ФЭ-спектр, если образец создает давление 10^{-3} Па при комнатной температуре. С целью изучения эффектов замещения и внутримолекулярных взаимодействий было измерено более 70 ФЭ-спектров фосфорорганических соединений.

Фосфор — элемент пятой группы третьего периода. На его наружной электронной оболочке находится пять электронов, из них два спаренных на $3s$ — орбитали и три одиночных на $3p$ — орбиталях, поэтому в основном состоянии фосфор трехвалентен. Трехвалентные производные фосфора обладают при комнатной температуре устойчивой пирамидальной конфигурацией. Валентные углы мало превышают 90° (у PH_3 — $93,5^\circ$, у $(\text{CH}_3)_3\text{P}$ — 99°), что указывает на почти полное отсутствие гибридизации. Фосфины легко окисляются на воздухе до фосфиноксидов. Чрезвычайно неприятный запах и ярко выраженная токсичность последних затрудняют их исследование.

Характерной особенностью спектров является присутствие полосы, соответствующей ионизации т.н. несвязывающей электронной пары (н.э.п.) фосфора n_p . Она является комбинацией $3p$ — орбиталей фосфора, которые образуют σ — связи с заместителями. На участие в связи указывает и широкий профиль полосы, обусловленный различными валентными колебаниями при ионизации. Вклад от $3s$ — электронов в данную орбиталь по расчетным данным меньше 20% [1], основной вклад эти электроны дают в полосы, лежащие глубже 19 эВ.

На рис. 1 приведены ФЭ-спектры EtPCl_2 (I), MeSPCl_2 (II), $\text{MeCN}=\text{CHCH}_2\text{PCl}_2$ (III) и их аналогов с четырехкоординированным фосфором — (IV, V, VI).

В дихлорфосфинах два атома хлора вносят четыре н.э.п.,

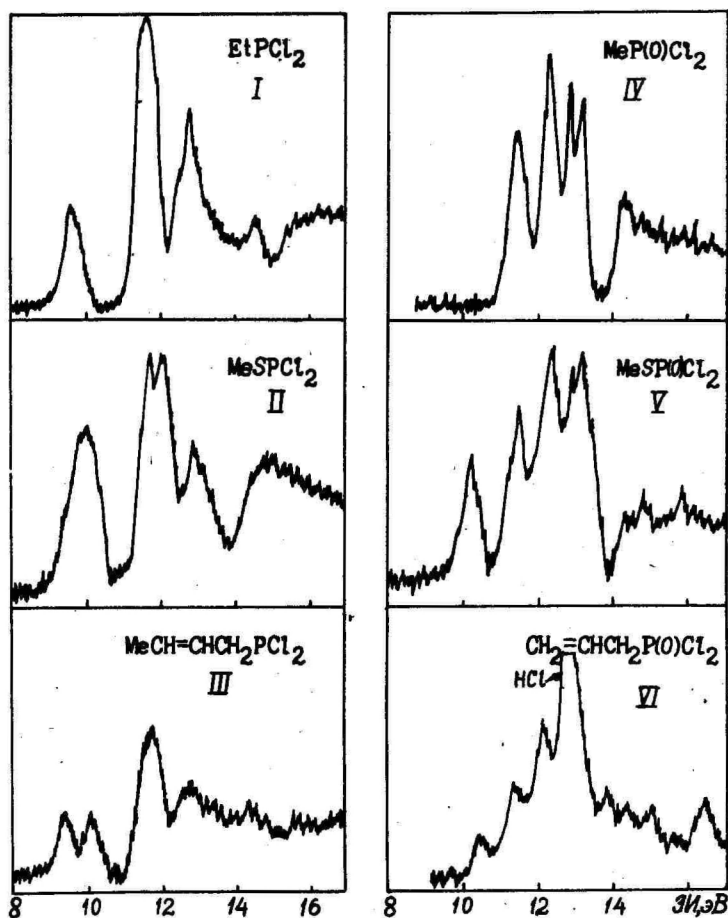


Рис. I. Фотоэлектронные спектры дихлорфосфинов (I, II, III) и дихлорфосфиноксидов (IV, V, VI)

две из которых симметрии a' и две $-a''$ для молекул, имеющих симметрию C_{2v} . Исследование соединений типа R_nPCl_{3-n} ($R = Me, t-Bu$; $n = 1+3$) было проведено в работе Лапперта [2], а также Элбел ($R = Me$) [3]. Во всех случаях первая полоса в спектрах отнесена к ионизации n_p , а четырем н.э.п. хлора (для $RPCl_2$) соответствует два пика с соотношением интенсивностей 3:1.

Идентификация четырех первых орбиталей в $EtPCl_2$ показана на рис. 2. Это подтверждается формой и интенсивностями полос.

при этом ЭИ_I совпадает со значением для $\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_3$, равным 9,37 эВ [4], поскольку слабое взаимодействие n_p с $\pi_{\text{C}=\text{C}}$ компенсируется противоположными по направлению индуктивными влияниями $-\text{PCl}_2$ группы. Орбиталь n_p имеет ЭИ 10,06 эВ, это только на 0,2 эВ больше, чем в MePCl_2 . Три хлорных н.э.п. образуют полосу при 11,72 эВ, четвертая из них - при 12,78 эВ.

Для соединений I - III были исследованы аналоги четырехкоординированного фосфора $\text{MeP}(\text{O})\text{Cl}_2$ (IV), $\text{MeSP}(\text{O})\text{Cl}_2$ (V) и $\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{P}(\text{O})\text{Cl}_2$ (VI), в которых к атому фосфора присоединен т.н. фосфорильный кислород, образуя $\text{P}=\text{O}$ связь. Основное отличие ФЭ-спектров четырехкоординированного фосфора - это отсутствие полосы n_p в области малых энергий. Появляется новая полоса, соответствующая ионизации н.э.п. атома, присоединенного к фосфору (в нашем случае кислорода). Кроме того, в области энергий (13-15) эВ добавляется полоса $\text{P}-\text{O}$ σ -связи. Четыре $2p$ -электрона фосфорильного кислорода сохраняют несвязывающий характер и, не расщепляясь по энергии, дают в спектре интенсивную полосу, которая во многих случаях является первой.

Молекула окиси дихлорметилфосфита $\text{MeP}(\text{O})\text{Cl}_2$ (IV) имеет симметрию C_2 , поэтому для нее можно было ожидать большую разность энергий между орбиталями a' и a'' , основной вклад в которые дают p -электроны кислорода. Однако, в ФЭ-спектре им соответствует одна полоса (первая), интенсивность которой указывает на принадлежность к двум орбиталям.

Три следующие интенсивные узкие полосы обусловлены ионизацией н.э.п. атомов Cl, причем, первая из них при 12,35 эВ - удвоенной интенсивности (по сравнению с другими) - связана с двумя орбиталями симметрии a'' . Сравнение ЭИ в IV с MePCl_2 и EtPCl_2 указывает на существенное увеличение этих энергий. Разность между ЭИ_I в $\text{MeP}(\text{O})\text{Cl}_2$ (n_0) и MePCl_2 (n_p) равна 1,59 эВ. Повысились также ЭИ н.э.п. Cl на 0,3 - 0,4 эВ.

При переходе к соединению V следует ожидать появление дополнительной полосы от ионизации н.э.п. атома S. Действительно, в начальной части спектра при $\text{ЭИ}_I = 10,20$ эВ появляется пик, который следует отнести к n_s , а следующий при 11,46 эВ - к n_0 . Это заключение сделано на основании того, что n_s имеет меньшую ЭИ, чем n_0 , при этом вторая полоса более интенсивная, что указывает на ее принадлежность к a' и a'' орбиталям фосфорильного кислорода. Два следующих острых пика соответствуют удалению электронов из четырех н.э.п.

атомов хлора. По сравнению с MeSPCl_2 ЭИ n_3 увеличивалась на 0,45 эВ, а n_{Cl} - на 0,7 эВ.

В спектре $\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{P}(\text{O})\text{Cl}_2$ VI последовательность полос такая же как и в трехкоординированном аналоге: $\pi_{\text{C}=\text{C}}$, $n_0(e)$, n_{Cl} , n_{Cl} . Относительно пропена $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3$ ЭИ $\pi_{\text{C}=\text{C}}$ 10,03 эВ [4] увеличилась на 0,48 эВ, т.е. влияние $-\text{P}(\text{O})\text{Cl}_2$ группы на $\pi_{\text{C}=\text{C}}$ гораздо сильнее, чем PCl_2 . Величина ЭИ n_0 орбитали, равная для VI, II, 5 эВ, в пределах ошибки одинаковая во всех трех соединениях IV, V и VI. Ионизация n_{Cl} происходит в интервале энергий 12-13 эВ.

Л и т е р а т у р а

1. Hillier I.H., Saunders V.R. Ab initio calculations of the bonding in phosphorus trichloride, phosphorus oxide trichloride, and phosphorus sulphide trifluoride. - J. Chem. Soc. Dalton. Trans., 1972, No. 1, p. 21-24.
2. Lappert M.F. et al. Bonding studies of compounds of boron and the group 3-5 elements. Part XIII. - J. Chem. Soc. Dalton Trans., 1975, No. 12, p. 1207-1214.
3. Elbel S., Dieck H.T. Photoelektronenspektren von Verbindungen der V Hauptgruppe. III. Methylhalogenverbindungen MeEHal_2 und Me_2EHal . - Z. Naturforsch., 1976, 31b, Nr. 2, S. 178-189.
4. Kimura K. et al. He (I) photoelectron spectra of organic compounds. - Monogr. Ser. Res. Inst. Appl. Elec., 1978, No. 25, p. 1-108.

ELECTRON STRUCTURE OF PHOSPHORUS CONTAINING DICHLORIDES

N. Villem and O. Saks

S u m m a r y

He (I) photoelectron spectra EtPCl_2 , MeSPCl_2 , $\text{MeCH}=\text{CHCH}_2\text{PCl}_2$ and $\text{MeP}(\text{O})\text{Cl}_2$, $\text{MeSP}(\text{O})\text{Cl}_2$, $\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{P}(\text{O})\text{Cl}_2$ are reported. The peaks are assigned on the basis of systematic comparisons throughout the investigated series and with the parent MePCl_2 compound. In dichlorophosphines four chlorine lone-pairs transform as $2a' + 2a''$ and have two bands with an approximate intensity ratio of 3:1. Ionization energies of the phosphorus lone-pair of phosphines have the values 9.70 eV, 9.96 eV and 10.06 eV.

In dichlorophosphine oxides the orbital P=O bond is mainly based on lone-pair O and has the value of IE = 11,5 eV.

ФОТОЭЛЕКТРОННЫЕ СПЕКТРЫ НЕКОТОРЫХ ГЕТЕРОЦИКЛОВ,
СОДЕРЖАЩИХ АТОМЫ КИСЛОРОДА И СЕРЫ

К.Т. Пихлая, Я.Я. Виллем

Активная роль гетероатомов в циклической системе определяется прежде всего наличием в них неподеленных электронных пар (н.э.п.). Особенности химического поведения гетероциклических (ГЦ) соединений зависит от природы взаимодействия н.э.п. гетероатомов и электронов циклической системы. Метод ФЭ-спектроскопии является удобным способом получения непосредственной информации о механизмах внутримолекулярных взаимодействий.

Простейшим насыщенным ГЦ является трехчленная молекула окиси этилена - оксиран C_2H_4O , ФЭ-спектр которой был измерен Тенером [1]. Исследован и серусодержащий аналог - тиран C_2H_4S [2]. Первые полосы в ФЭ-спектрах оксирана и тирана имеют колебательную структуру и отнесены к ионизации $n-\sigma_p$ -орбиталей с симметрией $2b_1$. В работе [1] дана для верхних МО оксирана последовательность: $2b_1 < 6a_1 < 3b_2 < 1a_2$ (рис.1). На основании исследования замещенных тиранов Макалдафф и Хоук [4] предлагают второй и третьей МО обратный порядок. Это подтверждается изменениями в интенсивностях полос He II спектра [2]. Более позднее изучение оксирана К.Фрих [5] методом электронных потерь показывает для третьей и четвертой МО обратный порядок относительно работы [1].

ФЭ-спектры предельных пятичленных ГЦ, содержащие один атом VI группы ($X = O, S, Se, Te$) были изучены Пигнатаро и Дистефано [6]. На основе локальной симметрии C_{2v} фрагмента CH_2-X-CH_2 рассматривается взаимодействие n_r -электронов гетероатома с подходящими по симметрии псевдо- π -орбиталями CH_2 -групп. При переходе от Te- к O-производным размер n_r -орбитали ($n = 5, 4, 3$ и 2 , где n - главное квантовое число), расстояние и разность энергий между n_r -электронами и орбиталями CH_2 -групп уменьшается. При этом увеличивается взаимодействие этих МО, что проявляется в уширении n_r -полосы. Показано, что даже относительно малые изменения в геометрии молекулы могут изменить порядок уровней, относящихся ко вто-

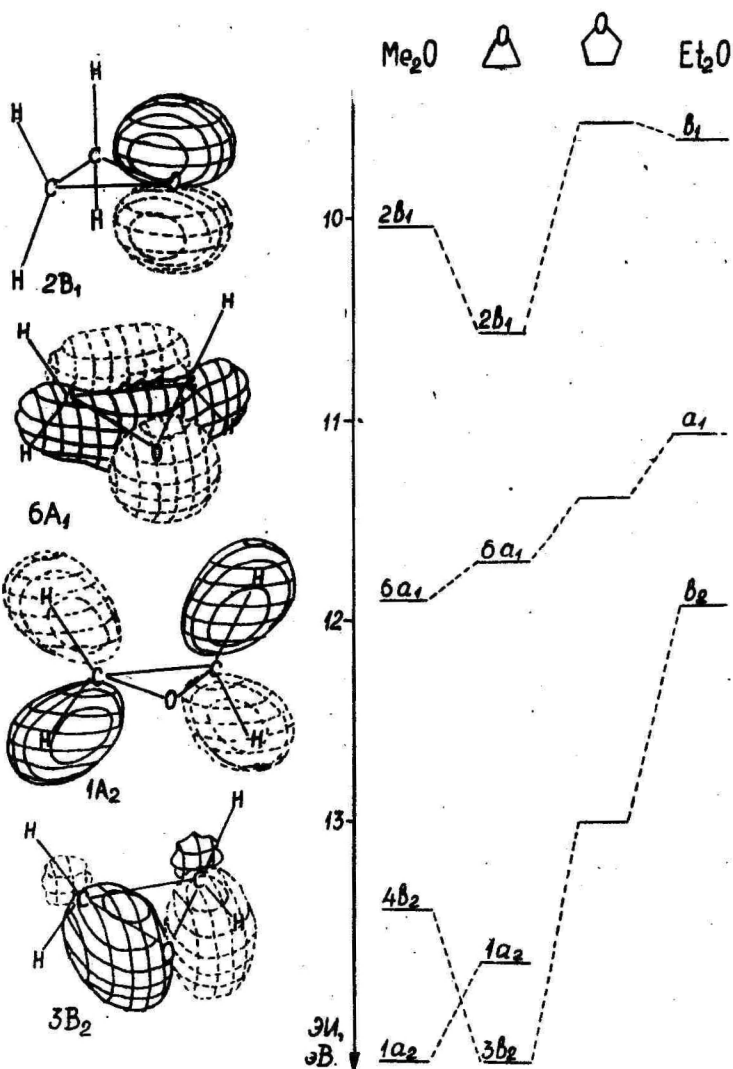


Рис. 1. Контуры четырех верхних МО в оксиране [3] и диаграмма изменения ЭИ при замыкании в цикл.

рой и третьей полосам.

Пятичленные предельные ГЦ, содержащие два одинаковых атома O или S, изучались Свайгартом и Тенером [7]. Основное внимание уделялось взаимодействиям эквивалентных орбита-

лей н.э.п. "через связь" и "через пространство". Приведены ФЭ-спектры 1,3-диоксолана и его 2,2-диметилпроизводного.

1,3-дитиолан исследовался Кобаяси и др. [8], а его 2,2-диметилпроизводный Бернарди и др. [9].

Нами измерены ФЭ-спектры 1,3-оксатиолана и его двух метилпроизводных (рис. 2). При этих соединениях МО н.э.п.

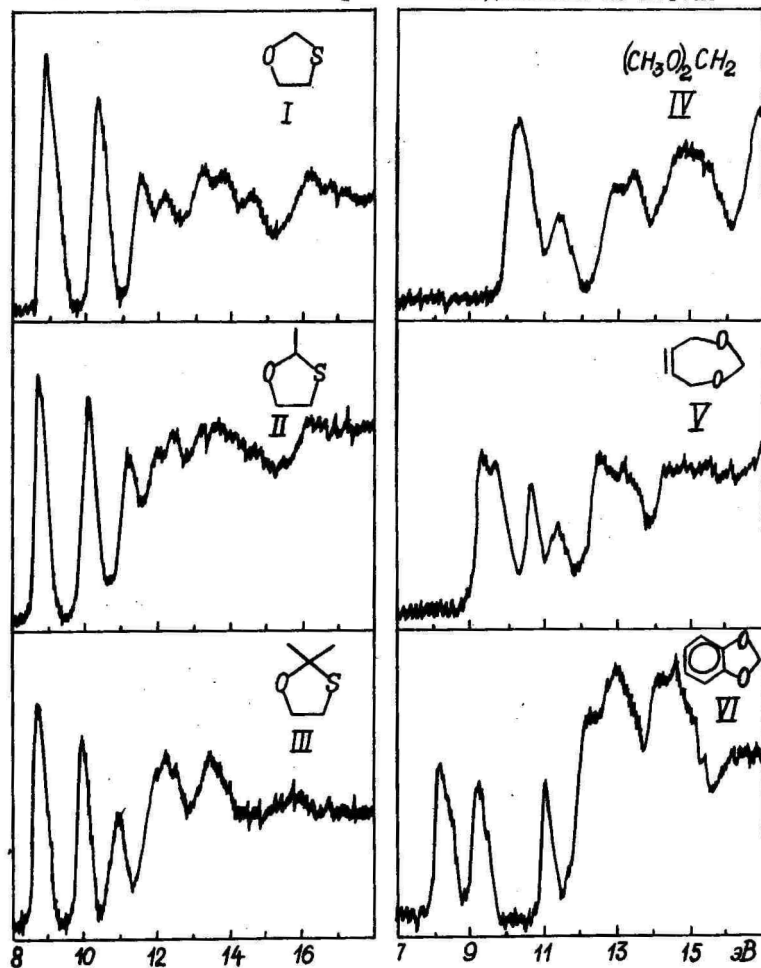


Рис. 2. ФЭ-спектры оксатиоланов и 1,3-диоксосоединений.

гетероатомов уже неэквивалентные, а геометрия молекул из-за различия межатомных расстояний существенно отклоняется от симметричной. 1,3-оксатиоланы неплоские и могут принимать

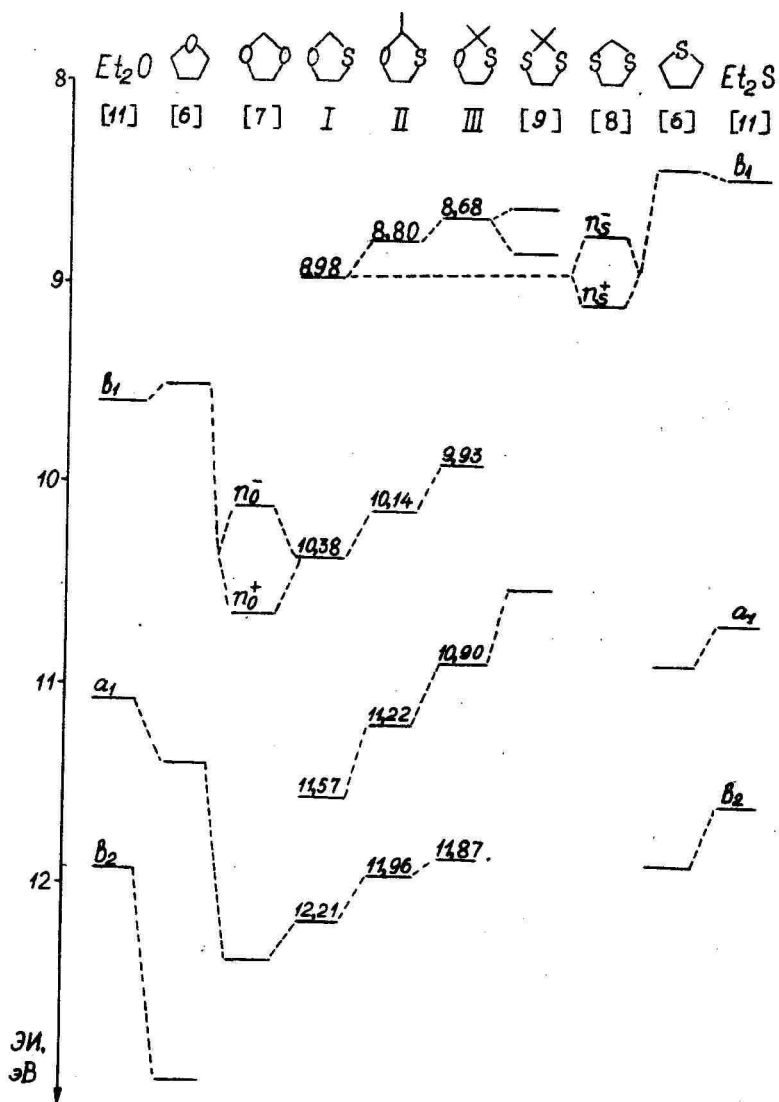


Рис. 3. Диаграмма МО оксатиолоанов.

различные конформации [10]. Для рассмотрения системы MO используем данные из ФЭ-спектров родственных соединений (рис. 3). При замыкании диветлового эфира и сульфида в пятичленный цикл ЭИ₁, соответствующая н.э.п. атома кислорода или серы практически не меняется, в то же время сильно стабилизируются MO симметрии a_1 и b_2 . Только включение второго гетероатома в 1,3-диоксолане и 1,3-дитиолане увеличивает ЭИ₁, при этом происходит расщепление на "-" и "+" комбинации. При переходе к 1,3-оксатиолану выясняется, что орбитали соответствующие н.э.п. серы и кислорода не образуют "-" и "+" комбинаций. Первая и третья полосы в спектре обусловлены ионизацией электронов из орбиталей, локализованных на атоме серы, вторая и четвертая - на кислороде. Энергии этих орбиталей близки центрам тяжести расщепленных MO в дитиолане и диоксолане. Присоединение метильных групп в II и III уменьшает ЭИ всех четырех гетероатомных MO, при этом смещение существеннее для более глубоких уровней. При замене первого атома водорода метильной группой изменения соответственно 0,19; 0,25; 0,37; 0,24 эВ. Сравнительно большое смещение третьей полосы может указать на ее принадлежность MO симметрии b_2 , как это имеет место в молекуле тирана [4]. Относительные изменения ЭИ₂ и ЭИ₃ при введении второй метильной группы приблизительно равны изменениям при введении первой группы. Вероятные механизмы влияния алкильного замещения на гетероатомные MO оксирана и тирана подробно обсуждались в работе [4].

Рассмотрим взаимодействие н.э.п. атома кислорода симметрии b_1 в 1,3-положениях по данным ФЭ-спектров метилаля IV, 1,3-диоксациклопентена-5 У и бензо-1,3-диоксила VI (рис.4). Первая полоса в IV широкая и симметричная, с полушириной 0,7 эВ, т.к. включает обе н.э.п. атомов кислорода. Расщепление полосы у нас не наблюдается. Однако, в недавно опубликованной работе Йоргенсена [12] дается величина расщепления 0,24 эВ. В аналогичной молекуле 2,4-дитиапентана расщепление имеет величину 0,25 эВ [13]. Энергия расщепления сильно зависит от угла O - C - O. Замыканием метилаля в цикл получим молекулу 1,3-диоксолана, где первая b_1 орбиталь распадается на две компоненты с разностью 0,54 эВ, а следующая a_1 орбиталь стабилизируется на 1 эВ. В У наблюдается дополнительное увеличение расстояния между π_0^- и π_0^+ компонентами до 0,86 эВ. В спектре появляются полосы, соответствующие двойной связи и

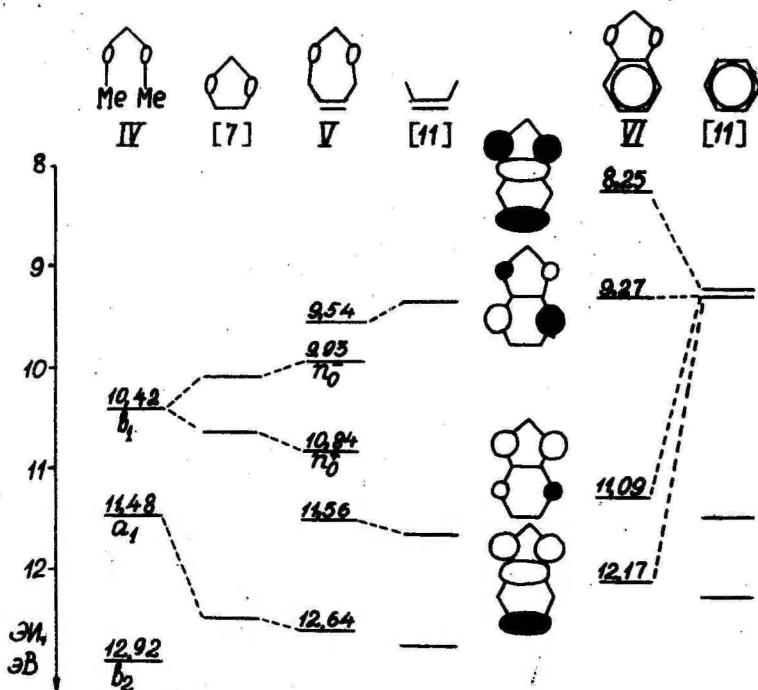


Рис. 4. Энергетическое взаимодействие атомов кислорода в 1,3-положениях.

CH_2 -группам, которые хорошо коррелируют со спектром цис-2-бутена [13]. Молекула У неплоская, кислороды разделены от двойной связи CH_2 -группами, и взаимодействие происходит в основном "через пространство". В VI атомы кислорода присоединены непосредственно к бензольному кольцу и находятся с ним в одной плоскости. Соединение кислородов через CH_2 -группу создает конформационное напряжение. Н.э.п. атомов кислорода сопрягаются с π -системой бензольного фрагмента. Для b_1 компоненты бензольной e_{1g} -орбитали взаимодействие мало и не приводит к энергетическому смещению, зато a_2 компонента дает две полосы с энергетическим расстоянием 3 эВ.

Л и т е р а т у р а

1. Basch H. et al. Optical and photoelectron spectra of small rings. III. The saturated three-membered rings. - J. Chem. Phys., 1969, vol. 51, No. 1, p. 52-66.

2. Schweig A., Thiel W. Photoionization cross sections: He I and He II photoelectron spectra of saturated three-membered rings. - Chem. Phys. Lett., 1973, vol. 21, No.3, p. 541-543.
3. Jorgensen W.L., Salem L. The organic chemist's book of orbitals. Academic Press, N.Y., 1973.
4. McAlduff E.J., Houk K.N. Photoelectron spectra of substituted oxiranes and thiranes. Substituent effects of ionization potentials involving orbitals. - Can. J. Chem., 1977, vol. 55, p. 318-332.
5. Fridh C. Interpretation of electronic spectra. P. 4. - Spectra of cyclopropane, ethylenimine and ethylene oxide, studied with HAM/3. - J. Chem. Soc. Faraday Trans. P. 2, 1979, vol. 75, No. 7, p. 993-1000.
6. Pignataro S., Distefano G. n - mixing in pentatomic heterocyclic compounds of sixth group by photoelectron spectroscopy. - Chem. Phys. Lett., 1974, vol. 26, No. 3, p. 356-360.
7. Sweigart D.A., Turner D.W. Lone pair orbitals and their interactions studied by photoelectron spectroscopy. II. Equivalent orbitals in saturated oxygen and sulfur heterocycles. - J. Am. Chem. Soc., 1972, vol. 94, No. 16, p. 5599-5603.
8. Kobayashi M. et al. Spiroconjugation in orthothiocarbonates. - Tetrahedron, 1977, vol. 33, No. 4, p. 433-439.
9. Bernardi F. et al. Group IVB 1,3-dithiolanes and corresponding open-chain compounds: UV PES and theoretical study of the electronic and conformational properties. - J. Organometal. Chem., 1977, vol. 128, p. 331-338.
10. Pihlaja K., Pasanen P. Oxathiacyclanes: preparation, structure and reactions. - The chemistry of functional groups. Suppl. E, Patai S. Ed., Wiley, 1981, ch. 18, p. 821-858.
11. Kimura K. et al. He I photoelectron spectra of organic compounds. - Monogr. Ser. Res. Inst. Appl. Elec., 1978, No. 25, 120 pp.
12. Jorgensen F.S. Photoelectron spectrum and molecular orbital (MNDO and PEDDO) study of dimethoxymethane. - J. Chem. Res. Synop., 1981, No. 7, p. 212-213.
13. Guimon C. et al. Application of photoelectron spectroscopy to conformational analysis of two 1,3-dithiacompounds. - Tetrahedron Lett., 1975, No. 17, p. 1413-1416.

PHOTOELECTRON SPECTRA OF SOME HETEROCYCLIC COMPOUNDS
WHICH CONTAIN ATOMS O AND S

K. Pihlaja and J. Villem

S u m m a r y

The He I photoelectron spectra of 1,3-oxathiolane, 2-methyl- and 2,2-dimethyl-1,3-oxathiolane, methylale, 1,3-dioxacycloheptene-5 and benzo-1,3-dioxole have been investigated. Bands in the lone-pair regions of the spectra are assigned to the corresponding MO's and the trends in the ionization potentials are discussed.

ГЕНЕРАТОР ЛЕГКИХ ИОНОВ

Е.П. Борунова, С.В. Колерский

Цель настоящей работы заключалась в создании переносного генератора легких ионов, который удовлетворял бы следующим требованиям: 1) обеспечивал стабильность объемной плотности заряда ионизированного воздуха на выходе генератора в течение длительного времени; 2) регулировал в широких пределах объемную плотность заряда и показатель полярности ионов; 3) генерировал легкие ионы с распределением по подвижностям близким к стационарному. Такой генератор нужен для градуировки и аттестации аспирационных счетчиков ионов.

Внешний вид генератора показан на рис. 1.

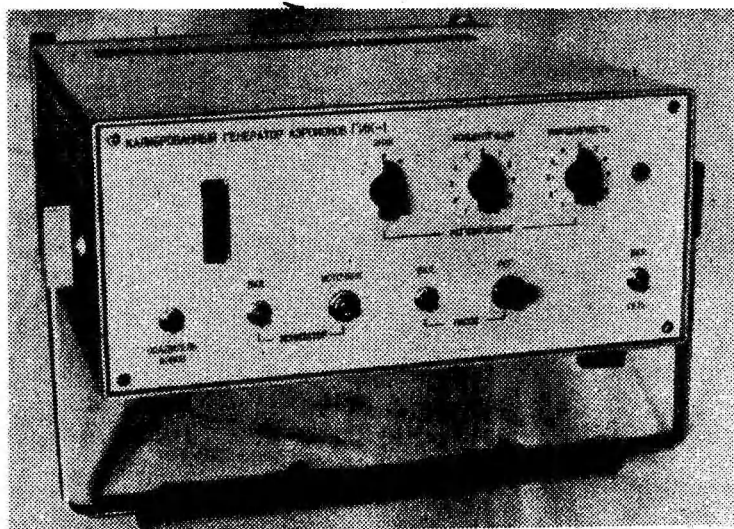


Рис. 1. Внешний вид генератора легких ионов.

Основные технические данные генератора следующие:

1. Диапазон регулирования объемной плотности положительного и отрицательного электрического заряда легких ионов $1,7 \cdot 10^{-11} - 3,3 \cdot 10^{-8}$ Кл.м⁻³ ($10^2 - 2 \cdot 10^5$ эл.зар.см⁻³).

2. Диапазон регулирования показателя полярности легких ионов от -1 до $+1$ [1]. Показатель полярности Π - это отно-

шение разности объемных плотностей заряда положительных ϱ^+ и отрицательных ионов ϱ^- к их сумме,

$$\Pi = (\varrho^+ - \varrho^-) : (\varrho^+ + \varrho^-).$$

3. Объемная скорость аспирации воздуха 250–330 см³·с⁻¹ (от внешней воздуходувки до 5000 см³·с⁻¹).

4. Нестабильность воспроизведения объемной плотности электрического заряда легких ионов определенного знака не превышает 20% в течение 8 часов непрерывной работы генератора.

5. Питание от сети 220 В, 50 Гц.

6. Потребляемая мощность не более 40 ВА.

7. Габаритные размеры 360 x 180 x 360 мм.

8. Масса не более 8 кг.

Принцип работы генератора состоит в следующем (см.рис.2).

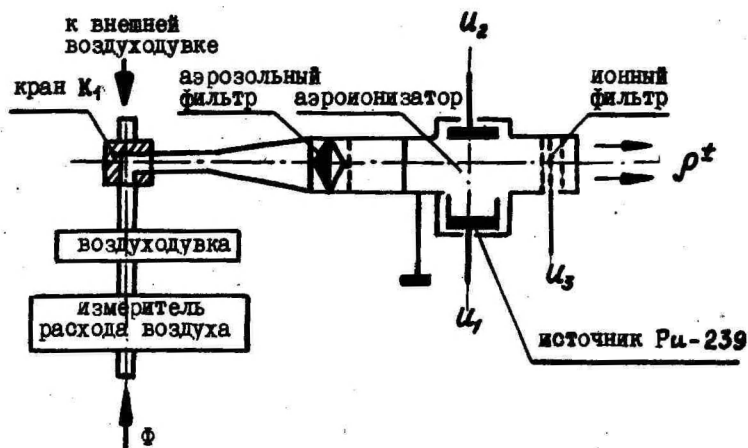


Рис.2. Функциональная блок-схема генератора легких ионов.

Воздух, очищенный с помощью аэрозольного фильтра типа АФА-РСИ, пропускается с объемной скоростью аспирации Φ через радиоактивный аэроионизатор, в котором он обогащается ионами, и проходит далее через камеру выдержки в течение времени ($\geq 0,5$ с), для установления стационарного распределения ионов по подвижностям [2]. Затем ионизированный воздух проходит через трехсеточный ионный фильтр, у которого две крайние сетки заземлены, а средняя сетка находится под потенциалом U_3 . Установка определенного расхода Φ осуществляется с помощью встроенных в прибор воздуходувки типа

ПРВ-1М и измерителя объемной скорости аспирации воздуха (ротаметра). Для получения расходов выше $330 \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ используется внешняя воздуходувка. Переключение осуществляется краном K_1 .

Объемная плотность заряда и показатель полярности легких ионов регулируются путем изменения потенциалов U_1 и U_2 электродов аэроионизатора и потенциала U_3 средней сетки ионного фильтра с помощью блока регулирования режима ионизации воздуха. Этот блок состоит из источников стабилизированного напряжения, делителей напряжений и переключателей.

Аэроионизатор представляет собой заземленный металлический корпус, внутри которого имеются два взаимноперпендикулярных и сообщающихся между собой цилиндрических канала [3]. Через один из каналов продувается воздух. В другом установлены электроды аэроионизатора. Одним из электродов является источник с радионуклидом $\text{Pu}-239$. Источник и коллиматор, в котором установлен этот источник, находятся под потенциалом U_1 . Второй электрод аэроионизатора, выполненный в виде тонкого металлического диска, находится под потенциалом U_2 .

Источник с радионуклидом $\text{Pu}-239$ расположен от поверхности канала, через который пропускается воздух, на расстоянии примерно равном длине пробега альфа-частиц в воздухе.

Такое несимметричное расположение электродов аэроионизатора и применение коллиматора, находящегося под тем же потенциалом, что источник $\text{Pu}-239$, позволяют регулировать показатель полярности легких ионов во всем диапазоне (от $-I$ до $+I$) изменением потенциалов U_1 и U_2 .

В генераторе реализованы режимы работы аэроионизатора, когда регулируется U_1 , а $U_2 = 0$ и, когда $U_1 = 0$, а U_2 — изменяется. В первом случае преобладают ионы того знака, что и полярность U_1 , и можно получить униполярные ионы ($\Pi = \pm I$). Во втором режиме ($U_1 = 0$) получаются небольшие значения показателя полярности ($\Pi = 0 - \pm 0,3$). В этом случае можно подобрать и такое значение U_2 , при котором достигается равенство объемной плотности заряда положительных и отрицательных ионов ($\Pi = 0$).

Исследование характеристик аэроионизатора с радионуклидом $\text{Pu}-239$ (с внешним излучением $2 \cdot 10^5$ альфа-частиц в секунду на 2 К) и при расходах от 250 до $5000 \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$, показало, что в условиях обеспыленного воздуха изменением U_1 и U_2 можно регулировать показатель полярности от $-I$ до $+I$ и объемную

плотность заряда легких ионов на выходе аэроионизатора в широких пределах. Измерения проводились с помощью счетчика ионов типа УТ-7003 и специально изготовленного нами аспирационного конденсатора, подключаемого к электрометру типа ВК-2-16.

Для отдельного регулирования объемной плотности заряда и показателя полярности легких ионов дополнительно применяется ионный фильтр. Он позволяет также расширить диапазон регулирования объемной плотности заряда. Объемная плотность заряда легких ионов уменьшается в K раз при прохождении их через ионный фильтр. Этот коэффициент проскока через фильтр положительных и, соответственно, отрицательных ионов в первом приближении можно представить в виде

$$K^{\pm} = \begin{cases} 1 - a^{\pm} u_3 & \text{при } 0 \leq u_3 \leq 1; a^{\pm} \\ 0 & \text{при } u_3 \geq 1; a^{\pm}, \end{cases}$$

где

$$a^{\pm} = \frac{k^{\pm} S}{\Phi h},$$

S - площадь поперечного сечения канала в ионном фильтре, через который пропускается воздух; k^{\pm} - электрическая подвижность положительных и, соответственно, отрицательных ионов; h - расстояние между первой и второй (второй и третьей) сетками ионного фильтра, если знаки ионов и потенциала U_3 разные (и, соответственно, совпадают) [2].

Экспериментальное исследование показало, что выражение для коэффициента K^{\pm} можно применять при значениях K^{\pm} , находящихся в интервале $0,1 - 0,9$. Вне этого интервала зависимость $K(U_3)$ отклоняется от линейной.

Изменением U_1 , U_2 и U_3 от 0 до ± 600 В объемная плотность заряда легких ионов на выходе генератора регулируется от фоновых значений до $3,3 \cdot 10^{-8}$ Кл.м⁻³, а показатель полярности от -1 до $+1$.

Генератор проградуирован для расхода $300 \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$. Сопротивления делителей блока регулирования режимов ионизации подобраны так, чтобы в двух соседних положениях переключателя "Концентрация" отношение объемных плотностей заряда преобладающих ионов равнялось $\sim 3,2$. Объемная плотность заряда ионов противоположного знака регулируется поворотом переключателя "Униполярность". Полярность преобладающих ионов устанавливается переключателем "Знак", причем положение "0" соответствует случаю биполярно-ионизированного воздуха ($\Pi = 0$).

Генератор эксплуатируется с 1977 г. и применялся для аттестации ряда аспирационных счетчиков ионов. Он может быть использован также для перезарядки аэрозольных частиц и для поддержания заданных уровней ионизации воздуха на рабочих местах в различных помещениях.

Л и т е р а т у р а

1. Санитарно-гигиенические нормы допустимых уровней ионизации воздуха производственных и общественных помещений. Минздрав СССР, М., 1980.
2. Таммет Х.Ф. Аспирационный метод измерения спектра аэроионов. Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 195, Тарту, 1967, с. 98.
3. Колерский С.В. Аппаратура для генерирования и исследования аэроионов и электроаэрозолей. Изм. техника, 1974, № 7.

A GENERATOR OF SMALL IONS

E.P. Borunova and S.V. Kolersky

S u m m a r y

The paper describes a portable generator of small ions intended for the calibration of aspiration ion counters. The generator operates on the principle of an air ionizer provided with a radionuclide Pu-239. The generator ensures the regulation of the space density of a positive and of a negative electric charge of small ions within the limits of $1,7 \cdot 10^{-11} \dots 3,3 \cdot 10^{-8}$ coul. \cdot m⁻³ and that of an index of polarity within the range of $-1 \dots +1$. The instability of the reproduction of the space charge density of a definite sign does not exceed 20% in the course of 8 hours of continuous operation of the generator. The generator was used for the attestation of a number of aspiration ion counters.

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОИОНИЗАТОРОВ

Я.Ю. Рейнет, Л.Э. Лангус, Я.Х. Маасеп

1. Введение

В настоящее время начато производство различных аэроионизаторов, но до сих пор с достаточной основательностью не исследованы их ионизирующая способность и распределение аэроионов в помещении. Считается, что высоковольтные коронные аэроионизаторы, снабженные антеннами (излучателями) создаст в помещении только легкие ионы, и что концентрация ионов в помещении более-менее одинакова.

Это ошибочное мнение вызвано тем, что даже выдающиеся специалисты в области аэроионизации используют в своей работе неправильную методику, измеряя концентрацию аэроионов только в некоторых отдельных точках помещения и не указывают объемный расход воздуха через измерительный конденсатор и предельную подвижность [1].

Ранее проведенные авторами исследования [2, 3] подтвердили, что снабженные антеннами коронные аэроионизаторы являются причиной возникновения в помещении высоких концентраций тяжелых аэроионов. Это вызывается очевидно осаждением легких ионов в очень сильном электрическом поле на взвешенные в воздухе ядра.

Кроме того, концентрация аэроионов в помещении распределена очень неоднородно, быстро убывая с удалением от антенн (излучателей) ионизаторов.

2. Объекты исследования и организация экспериментов

В настоящей работе приводятся результаты сравнения радиоактивных аэроионизаторов с тритиевым источником (ИВА-1 и ИВА-2^X), Рижского настольного коронного ионизатора (Рига-

^X) Аэроионизаторы ИВА-1 и ИВА-2 разработаны и изготовлены в Опытном производстве Института ядерных исследований АН УССР. ИВА-1 представляет собой плоскопараллельный конденсатор, на одной обкладке которого помещено 9 тритиевых радиоактивных пластин (тритиевый источник). На металлическое основание радиоактивных пластин подается от источника питания отрицательный потенциал (напряжение 150 В), а на противоположную находящуюся на расстоянии 10 мм от первой, положительный. Отрицательные аэроионы движутся от радиоактивной пластины на про-

- 1976) и аэроионизатора "Рязань-101" с антенным излучателем в отношении генерирования ими аэроионов и выделения ядовитых газов (озон и соединения азота).

Для определения концентрации ионов в помещениях, где имеются ионизаторы (источники ионов) измерения концентраций ионов необходимо производить при одном и том же объемном расходе воздуха. Исследуя спектр ионов при различных предельных подвижностях можно изменять только напряжение между обкладками конденсатора.

Для измерения концентрации аэроионов использовались счетчики аэроионов типа САИ-ТГУ-66.

Если в помещении отсутствует источник ионов (ионизатор), т.е. в помещении равномерная естественная ионизация, то при исследованиях спектра для получения различных предельных подвижностей можно изменять, как напряжение между обкладками конденсатора, так и объемный расход воздуха.

При работе по методу заряжения [4, 272-275] интегральными счетчиками, когда имеется влияние краевого эффекта, нельзя определить спектр аэроионов начиная с молионов до тяжелых аэроионов.

При использовании метода заряжения для исследования спектра ионов необходимо применять дифференциальные счетчики, в которых имеется несколько последовательно расположенных измерительных конденсаторов [5]. Если теперь один и тот же поток воздуха проходит через последовательно расположенные конденсаторы, то, например I конденсатор захватывает все ионы, предельная подвижность которых $k_0 = 1,0 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{В}^{-1}$ (ток насыщения), II конденсатор - все ионы с предельной подвижностью $k_0 = 0,1 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{В}^{-1}$, захватывая, таким образом, ионы с подвижностью в пределах $1,0 > k \geq 0,1 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{В}^{-1}$ и т.д., в У конденсаторе осаждаются ионы с подвижностью $0,001 > k \geq 0,0001 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{В}^{-1}$. При этом предполагается, что поток воздуха между обкладками спектрометра в дифференциальном счетчике должен быть ламинарным.

тивоположную; чтобы направить их в помещение, необходимо создать между пластинами вентилятором (к сожалению он очень слаб) ток воздуха.

ИВА-2 состоит из 6 радиоактивных пластин, расстояние между пластинами конденсатора 20 мм и напряжение на пластинах 400 В. Для направления ионов в помещение используется мощный вентилятор.

Если пользоваться методом разряда [4, с. 272-273], то можно применять для измерения спектра ионов и интегральный счетчик с одним конденсатором, т.к. в этом случае кривая концентрации ионов n в координатах $(n, I/k)$ поднимается или идет параллельно оси (I/k) и не имеет участков спада (рис. 1).

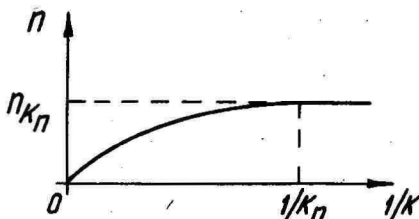


Рис. 1. График концентрации ионов.

Из рис. 1 видно, что аэроионов с подвижностью меньше $k_{п}$ не существует.

Униполярность ионов характеризуют коэффициенты униполярности $q = n_{+}/n_{-}$ или $Q = N_{+}/N_{-}$, если отрицательных ионов нет, то коэффициент униполярности равен бесконечности. Таким образом, пределы q или Q от 0 до ∞ .

В качестве коэффициента униполярности лучше использовать $\Pi = (n_{+} - n_{-}) / (n_{+} + n_{-})$, тогда пределы Π будут от -1 до $+1$. В случае биполярной ионизации $\Pi = 0$.

3. Исследование радиоактивных и коронных ионизаторов

В помещении (см. рис. 2) ионизаторы ИВА-1 и ИВА-2 сначала были выключены и находились у двери на шкафу, высота которого составляла 123 см. Три счетчика (L_1, L_2, L_3) находились на лабораторном столе рядом друг с другом (рис. 2). В опытах аэроионизаторы устанавливались перед счетчиками на уровне входных отверстий конденсаторов на высоте 108 см от пола на расстояниях 0,5; 1,0; 1,5 и 2,0 м.

Поместив И4.Ю.81 в Ю.00 аэроионизатор ИВА-1 на расстоянии 0,5 м от счетчика (рис. 2) выяснилось, что концентрация ионов в помещении распределяется неравномерно (табл. 1). Погрешность измерения концентрации аэроионов не более 10%. Показание среднего счетчика (L_2) было приблизительно на порядок больше, чем соседних, причем положительных ионов было так мало, что их не удалось зарегистрировать.

И4.Ю.81 в II.00 было начато изучение ИВА-2. Выяснилось, что, хотя у ИВА-2 меньше радиоактивных пластин, ионизирующая способность у него выше, чем у ИВА-1. Это обусловлено,

Таблица I - 3

Номера таблиц	Время (начало, конец)	Полярность (+) (-)	Объемный расход воздуха см ³ с ⁻¹	Напряжение на конденсаторе, В	Предельная подвижность см ² с ⁻¹ В ⁻¹	Концентрация ионов, измеренная разными счетчиками			Примечания
						L ₁	L ₂	L ₃	
1	14.10.81 10.00	+	450	800	0,001	-	-	-	ИВА-1 9 источников l ₁ = 0,5 м
		-	450	800	0,001	3 · 10 ⁴	2 · 10 ⁵	8 · 10 ⁴	
		-	450	80	0,01	2 · 10 ⁴	1,7 · 10 ⁵	6,5 · 10 ⁴	
		-	450	8	0,1	10 ⁴	1,6 · 10 ⁵	6,2 · 10 ⁴	
		-	450	1	0,8	8 · 10 ³	1,5 · 10 ⁵	6 · 10 ⁴	
2	14.10.81 11.00	+	450	800	0,001	-	-	-	ИВА-2 6 источников l ₁ = 0,5
		-	450	800	0,001	3 · 10 ⁵	6,5 · 10 ⁵	8,5 · 10 ⁴	
		-	450	80	0,01	2,8 · 10 ⁵	6 · 10 ⁵	6,9 · 10 ⁴	
		-	450	8	0,1	2,5 · 10 ⁵	5,5 · 10 ⁵	6,7 · 10 ⁴	
		-	450	1	0,8	2,3 · 10 ⁵	5 · 10 ⁵	6,4 · 10 ⁴	
3	14.10.81 14.00	-	45	800	10 ⁻⁴	3000	3000	3000	Фон ионизации в лаборатории
		-	450		10 ⁻³	1500	1500	2000	
		-	4500		10 ⁻²	540	780	520	
		+	4500		10 ⁻²	1000	850	900	
		+	450		10 ⁻³	4400	3800	3600	
		+	45		10 ⁻⁴	7000	5000	4500	

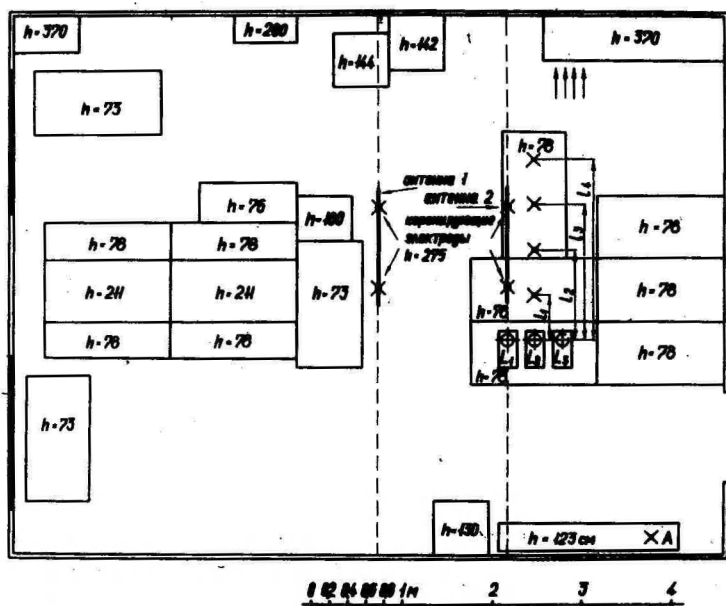


Рис. 2. План помещения лаборатории 7,9x6,0x3,7м), где были проведены измерения концентрации аэроионов.

Расположение больших предметов (столов, шкафов), находящихся в помещении, отмечено на плане. Их высота от пола указана в сантиметрах. Высота антенн (Рязань-101) от пола была 275 см и расстояние от потолка 95 см. Радиоактивные аэроионизаторы и аэроионизаторы Рига-1976 находились перед счетчиками на столе на высоте 108 см от пола. Высота входных отверстий счетчиков была на той же высоте. Аэроионизаторы находились на расстояниях $l_1 = 0,5$ м, $l_2 = 1,0$ м, $l_3 = 1,5$ м и $l_4 = 2,0$ м от входных отверстий счетчиков.

вероятно, большей мощностью вентилятора; при этом большее количество ионов выбрасывается в помещение. Отмечено, что положительные ионы совершенно отсутствуют (табл. 2). Поток воздуха от вентилятора был направлен в большей степени в сторону счетчиков L_1 и L_2 . Счетчик L_3 показал на порядок меньше, чем L_1 и L_2 .

Исследование ионизатора ИВА-2 было закончено в 12.00 и в тот же день в 14.00 работа была продолжена, причем сначала был измерен фон ионизации в лаборатории (табл. 3). Выяснилось, что в помещении в значительной мере преобладают положительные аэроионы. Это явление следует в дальнейшем тща-

Таблицы 4 - 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	14.10.81 15.30	+	45	800	10^{-4}	-	-	-	ИВА-2 $l_3 = 1,5 \text{ м}$
		-	45	800	10^{-4}	$2,3 \cdot 10^5$	$2,6 \cdot 10^5$	10^5	
		-	45	80	10^{-3}	$2 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^5$	$9 \cdot 10^4$	
		-	45	8	10^{-2}	$1,6 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^4$	
5	15.10.81 9.30	+	45	800	10^{-4}	-	-	-	ИВА-1 $l_3 = 1,5 \text{ м}$
		-	45	800	10^{-4}	$8,5 \cdot 10^4$	$8,6 \cdot 10^4$	$3,6 \cdot 10^4$	
		-	45	80	10^{-3}	$4 \cdot 10^4$	$5,5 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^4$	
		-	45	8	10^{-2}	$2,5 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	$7 \cdot 10^3$	
6	29.10.81 14.00	-	45	800	10^{-4}	4000	4500	4000	Фон ионизации в лаборатории
		-	450	800	10^{-3}	2500	3000	2600	
		-	4500	800	0,01	700	1000	700	
		-	4500	80	0,1	220	300	250	
		-	4500	8	1,0	160	190	170	
		+	4500	8	1,0	280	300	240	
		+	4500	80	0,1	400	430	300	
		+	4500	800	0,01	800	900	700	
		+	450	800	10^{-3}	3000	3400	2800	
		+	45	800	10^{-4}	6000	6000	6000	

тельно исследовать. По-видимому вследствие отрицательного объемного заряда, возникающего вокруг ионизатора положительные ионы, имеющиеся в помещении, движутся в электрическом поле к облакам отрицательных ионов в сторону аэроионизатора. В результате этого происходит рекомбинация, число отрицательных ионов уменьшается - возникают нейтральные ядра. В воздухе, который попадает в конденсатор счетчика, оказывается больше положительных ионов.

В 15.30 было вновь начато исследование ионизатора ИВА-2, причем в счетчике использовался объемный расход воздуха $\Phi = 45 \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$. Таким образом, в конденсаторе счетчика захватывались все ионы в соответствии с предельными подвижностями (k_0) 10^{-2} , 10^{-3} , $10^{-4} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{В}^{-1}$ (табл. 4).

15.10.81 с 9.30 измерялась концентрация ионов, создаваемых ИВА-1 на расстоянии $l_3 = 1,5 \text{ м}$, при этом использовался тот же объемный расход воздуха в $45 \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$, что и накануне при исследовании ионизации от ИВА-2.

Из табл. 4 и 5 видно, что ионизирующая способность ИВА-1 значительно меньше ИВА-2.

29 окт. 1981 г. и 14.00 было начато изучение рижского аэроионизатора. На излучателе ионов напряжение составляло 4,1 кВ. Используя расход воздуха $\Phi_1 = 45 \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$, достигалось осаждение в счетчике всех ионов с предельной подвижностью k_0 составляющей $10^{-4} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{В}^{-1}$. Таким образом в конденсаторе счетчика осаждаются ионы с подвижностью $k \gg 10^{-4} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{В}^{-1}$.

Используя объемный расход воздуха $\Phi_2 = 4500 \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ в конденсаторе осаждаются все ионы с подвижностью $k \gg 0,01 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{В}^{-1}$.

В таблицах 6 и 7 приведены данные, которые подтверждают, что ионизатор "Рига" создает только отрицательные ионы, вокруг которых в воздухе нет положительных ионов, причем, изменение направления выходного отверстия ионизатора на 180° мало влияет на концентрацию ионов в воздухе.

30 ноября 1981 г. были проведены аналогичные измерения. Ионизатор находился на расстоянии 1,5 м от счетчика. Было замечено значительное уменьшение концентраций аэроионов (табл. 8), однако, положительных легких ионов вокруг счетчика в воздухе не было.

Следует помнить, что для различных объемных расходов (табл. 7 и 8) воздуха и одной и той же предельной подвижностью $k_0 = 0,01 \text{ см}^2 \cdot \text{см}^{-1} \cdot \text{В}^{-1}$ измеренные концентрации ионов

Таблица 7 - 9

7	29.10.81 15.15	+	45	800	10^{-4}	-	-	-	"Рига-1976" $l_2 = 1,0$ м
		-	45	800	10^{-4}	$1,3 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^5$	$9 \cdot 10^4$	
		-	45	80	10^{-3}	$1,1 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^5$	$8,5 \cdot 10^4$	
		-	45	8	0,01	$8 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^4$	
		-	4500	800	0,01	$6 \cdot 10^4$	$9,5 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	
		-	4500	80	0,1	$4,5 \cdot 10^4$	$7,7 \cdot 10^4$	$4,4 \cdot 10^4$	
		-	4500	8	1,0	$4,2 \cdot 10^4$	$7,5 \cdot 10^4$	$4,2 \cdot 10^4$	
8	30.10.81 12.00	+	45	800	10^{-4}	-	-	-	"Рига-1976" $l_3 = 1,5$ м
		-	45	800	10^{-4}	$7,5 \cdot 10^4$	$8,0 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^4$	
		-	45	80	10^{-3}	$4,0 \cdot 10^4$	$3,0 \cdot 10^4$	$3,0 \cdot 10^4$	
		-	45	8	0,01	$1,2 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	$8,0 \cdot 10^3$	
		-	4500	800	0,01	$1,0 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^4$	$7,0 \cdot 10^3$	
		-	4500	80	0,1	$5,0 \cdot 10^3$	$6,0 \cdot 10^3$	$3,5 \cdot 10^3$	
		-	4500	8	1,0	$4,5 \cdot 10^3$	$5,0 \cdot 10^3$	$2,7 \cdot 10^3$	
9	14.11.81 15.00	-	45	800	10^{-4}	$2,5 \cdot 10^4$	$2,3 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^4$	"Рязань-101"
		-	45	80	10^{-3}	$2,2 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^4$	
		-	45	8	10^{-2}	$1,2 \cdot 10^4$	$9,0 \cdot 10^3$	$3,0 \cdot 10^3$	
		-	4500	800	0,01	$9,0 \cdot 10^3$	$6,5 \cdot 10^3$	$4,0 \cdot 10^3$	
		-	4500	80	0,1	$4,5 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$5,0 \cdot 10^2$	
		-	4500	8	1,0	$3,0 \cdot 10^3$	$5,0 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	

различны и их сравнивать нельзя!

14.II.81 г. в 15.00 было начато исследование рязанского аэроионизатора, причем, измерялась только плотность отрицательных аэроионов, при объемных расходах воздуха $\Phi_1 = 45 \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ и $\Phi_2 = 4500 \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$. Выяснилось, что при включении ионизатора, концентрация ионов в помещении очень быстро падает с удалением от антенны (излучателя). Счетчик L_1 , который на 20 см ближе к антенне, чем счетчик L_2 , показывает значительно большую концентрацию аэроионов, чем счетчик L_2 , а L_2 в свою очередь больше, чем L_3 (табл. 9).

Количество озона, образовавшегося в воздухе при работе радиоактивных ионизаторов, определяли при аспирации воздуха через поглотительные приборы с пористой перегородкой, наполненными нейтральным раствором 1%-го йодистого калия. Выделяемый озон определяли спектрофотометрически на спектрофотометре фирмы Hitachi (модель 340 UV-VIS-NIR).

Отбор проб производили с расстояния 0,5 м от радиоактивной пластины и в непосредственной близости от радиоактивной пластины, а также от батарей из девяти радиоактивных пластин. При одном режиме к пластинам подавали напряжение 2 кВ, при другом режиме напряжения не подавали. Во всех случаях количество образовавшегося озона было на границе предела определяемости, его концентрация изменялась от 1 до $0,5 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$. Отметим, что ЦДК озона в рабочих помещениях составляет $100 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$.

Непосредственно у ионизатора "Рига" после 15-ти минутной работы ионизатора концентрация оксидантов в пересчете на озон составляет $100-120 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$, а на расстоянии 0,5 м от ионизатора концентрация оксидантов составляет $30-50 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$.

Непосредственно у ионизатора "Рязань-101" концентрация оксидантов после 15-минутной работы ионизатора в пересчете на озон составляет $30-70 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$, а на расстоянии 0,5 м от него концентрация оксидантов не выше $10 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$. Определение оксидантов проводили аналогично их определению при исследовании радиоактивных ионизаторов.

4. Заключение

1. Концентрация ионов в помещении, создаваемая ИВА-1 и ИВА-2 в большой степени зависит от ионизатора, а также от направления потока воздуха, создаваемого вентилятором, будучи значительно больше в конусе потока воздуха, чем на периферии.

2. Ионизирующая способность ионизаторов не зависит от числа радиоактивных пластин в ионизаторе, а от конструктивных особенностей (от расстояния между пластинами конденсатора, от скорости потока воздуха вентилятора и от напряжения, приложенного к пластинам конденсатора).
3. Можно получить мощные ионизаторы воздуха только с одной радиоактивной пластиной, выбирая оптимальное напряжение между пластинами конденсатора, оптимальное расстояние между пластинами и оптимальную скорость воздуха.
4. Концентрации ионов (n) измеренные при одной и той же предельной подвижности, например, при $k_0 = 0,01 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1} \text{В}^{-1}$ но при различных объемных расходах воздуха ($\Phi_1 = 45 \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ и $\Phi_2 = 4500 \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$) при исследовании аэроионизаторов сравнивать нельзя.
5. Вокруг рижского аэроионизатора в воздухе образуется более или менее равномерная концентрация ионов, причем, она того же порядка, что и для ИВА-1 и ИВА-2.
6. В случае коронных ионизаторов, которые снабжены антеннами (излучателями), концентрация ионов в помещении заметно снижается с удалением от антенны.

Л и т е р а т у р а

1. Таммет Х.Ф., Сальм Я.И. Ионизирование воздуха больших помещений посредством проволочных антенн, питаемых аппаратом для франклинизации. В кн.: Аэроионизация в гигиене труда. Л., 1966, с. 237-240.
2. Рейнет Я.Ю. Об ионизировании воздуха в закрытых помещениях при помощи коронных ионизаторов I.-Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 479, Тарту, 1979, с. 26-37.
3. Лангус Л.Э., Рейнет Я.Ю. Об ионизировании воздуха в закрытых помещениях при помощи коронных ионизаторов II.-Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 479, Тарту, 1979, с. 38-56.
4. Имянитов И.М. Приборы и методы для изучения электричества атмосферы. М., 1957.
5. Таммет Х.Ф., Якобсон А.Ф., Сальм Я.И. Многоканальный автоматический спектрометр аэроионов.-Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 320, Тарту, 1973, с. 48-75.

A COMPARATIVE STUDY OF AIR IONS

J. Reinet, L. Langus and J. Maasepp

S u m m a r y

1. The concentration of ions in the air of a closed room produced by the ion generators of the types MBA-1 and MBA -2 depends greatly on the design of the ionizer as well as on the direction of the air flow produced by the ventilator. The ion concentration is higher in the cone of the air than on the periphery.

2. The ionizing power of ionizers does not depend on the number of radioactive plates inside the ionizer, but on the design features, such as the distance between the plates of the condenser, the airflow from the ventilator and the voltage applied to the plates of the condenser.

3. It is possible to construct powerful ionizers with a single radioactive plate, selecting an optimum voltage between the plates of the condenser, an optimum distance between the plates and an optimum air velocity.

4. When investigating air ionizers, one must not compare the ion concentrations (n) measured at one and the same limiting mobility (e.g., at $k_0 = 0.01 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} \text{ V}^{-1}$), but at different rates of air consumption ($\phi_1 = 45 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$ and $\phi_2 = 4500 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$).

5. A more or less uniform ion concentration is formed in the air round about the ionizer of the type "Riga"; the range of the ionization is similar to the ranges of the ionization of the ionizers MBA-1 and MBA-2 .

6. In the case of the corona ionizers provided with antennae (radiators) the ion concentration in a closed room decreases noticeably according to the increase in the distance from the antennae.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНДЕНСАТОРА СЧЕТЧИКА АЭРОИОНОВ

Р.Л. Матизен

Известным недостатком аппаратуры для измерения электрических параметров воздуха является низкая надежность, что существенно затрудняет проведение длительных наблюдений, особенно в полевых условиях.

Звеном с наименьшей надежностью является измерительный конденсатор. Подавляющее большинство отказов измерительного конденсатора относятся к двум типам — отказы изоляторов и отказы самого измерительного конденсатора из-за зацепления между обкладками волосков и ворсинок. Об условиях возникновения отказов первого типа можно получить некоторую информацию из результатов исследования надежности других электронных устройств [1]. В отличие от этого отказы второго типа характерны только для аэроионных приборов. В настоящей статье рассматриваются именно отказы второго типа и изучается надежность измерительного конденсатора только относительно таких отказов.

Расчет надежности измерительного конденсатора наталкивается на ряд неразрешенных и малоизученных проблем [2]. Одной из них является проблема максимальной допустимой напряженности электрического поля в измерительном конденсаторе. По данным Герасимовой [3] при напряженности свыше 1000 В/см наблюдалось уменьшение надежности из-за частого зацепления в конденсаторе микроскопических волосков и ворсинок, приводивших к появлению местных разрядов и утечек. Для расчета измерительного конденсатора необходимо знать зависимость допустимой напряженности электрического поля от параметров измерительного конденсатора. Однако, количественные данные об этой зависимости в литературе полностью отсутствуют.

Целью настоящей работы было исследование надежности измерительных конденсаторов в зависимости от напряженности электрического поля в них, расхода воздуха через измерительный конденсатор и основных размеров. Для получения количественных данных была построена специальная установка и прове-

дены необходимые наблюдения.

Электрическая блок-схема установки для исследования статистики отказов измерительных конденсаторов изображена на рис. 1. Установка представляет собой горизонтальный воздушный канал, соединенный с воздуходувкой, работающей на всасывание. На верхней крышке канала установлены двадцать измерительных конденсаторов, закрытые сверху общим экраном.

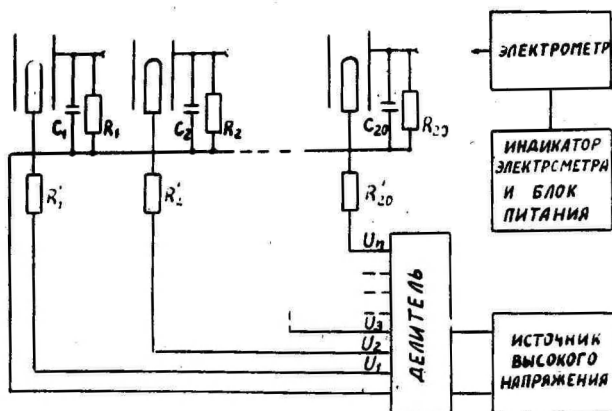


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки.

Расход воздуха через каждый конденсатор устанавливается выбором диаметра отверстия под конденсатором в верхней крышке горизонтального канала. Измерение расходов воздуха осуществлялось компенсационным методом с использованием микроманометра и расходомера РГ-40.

Измерительные конденсаторы имеют различные диаметры внешних и внутренних обкладок. Напряжения подаются на внутренние обкладки от высокостабильного источника через делитель и ограничительные сопротивления $R'_1 - R'_{20}$ и выбираются таким образом, чтобы напряженность поля во всех конденсаторах была одинаковой. Диапазон регулировки напряжения 0 - 14 кВ. Внешние обкладки являются собирающими. Токи внешних обкладок заряжают накопительные дозиметрические конденсаторы $C_1 - C_{20}$, емкость по 1000 пФ, параллельно которым подключены сопротивления $R_1 - R_{20}$ каждое по 10^{11} Ом. Напряжение на накопительных конденсаторах измеряется подключением электрометра с большим входным сопротивлением поочередно ко всем накопительным конденсаторам.

В таблице I приведены основные параметры измерительных конденсаторов в первой серии измерений.

Таблица I

Основные параметры измерительных конденсаторов

№	r_1 мм	d мм	u см/с	Φ см ³ /с	№	r_1 мм	d мм	u см/с	Φ см ³ /с
I	I	2	IO	2,5	II	4	8	IOO	400
2	I	2	IOOO	250	I2	4	8	300	I200
3	I	8	IOO	250	I3	4	8	IOOO	4000
4	I	I6	IO	9I	I4	4	8	2250	9000
5	I	I6	IOOO	9IOO	I5	4	I6	IOO	I2IO
6	4	2	IOO	63	I6	8	2	IO	II
7	4	8	3	I2	I7	8	2	IOOO	IOO
8	4	8	IO	40	I8	8	8	IOO	600
9	4	8	30	I20	I9	8	I6	IO	I6I
IO	4	8	IOO	400	20	8	I6	IOOO	I6IOO

r_1 - радиус внутренней обкладки, d - расстояние между обкладками, u - скорость воздуха, Φ - расход воздуха.

Во второй серии измерений параметры пяти конденсаторов были изменены согласно табл. 2. Параметры остальных конденсаторов остались теми же, что и в первой серии.

Таблица 2

Параметры измерительных конденсаторов во второй серии

№	r_1 мм	d мм	u см/с	Φ см ³ /с
4	I5	2	30	60
5	I5	2	300	600
I5	I8	2	IOO	240
I9	22	2	IOO	29
20	22	2	IOOOO	2900

Напряженность электрического поля в измерительных конденсаторах изменялась от 500 В/см до 6000 В/см. Отказы проверялись через каждый час.

Нормальное показание электрометра исправного измерительного конденсатора зависило от расхода и не превышало 0,1 мВ. Показания индикатора в интервале 0,1-10 мВ наблюдались исключительно редко. Отказом считалось показание индикатора электрометра 10 мВ и выше. Показания индикатора при отказах распределялись следующим образом: менее 20 мВ - 7% случаев,

от 20 мВ до 40 мВ - 11%, показания индикатора в остальных 82% случаев составляли более 40 мВ, поэтому небольшие изменения границы отсчета отказов не оказывают существенного влияния на результаты измерений. Продолжительность измерений в первой серии была 425 часов, во второй - 443 часа.

Причиной отказов были ворсинки и волоски, взвешенные в воздухе, которые задерживались в конденсаторах на обкладках и вызвали утечку путем проводимости или коронного разряда.

Для первоначального анализа полученных результатов данные о числе отказов были сгруппированы в 3 группы по напряженности электрического поля и в 3 группы по скорости протяжки воздуха $E_1 = 500 - 2000$ В/см; $E_2 = 2500 - 4000$ В/см; $E_3 = 4500 - 6000$ В/см; $u_1 = 3 - 10$ см/с; $u_2 = 30 - 100$ см/с; $u_3 = 300 - 2250$ см/с и число отказов в каждой группе просуммировано. Суммарные результаты всех измерений приведены в таблице 3.

Таблица 3

Число отказов на 100 часов работы

	u_1	u_2	u_3
E_1	3	5	3
E_2	5	14	5
E_3	6	10	4
	u_1	u_2	u_3
d_1	5	11	5
d_2	4	8	2
d_3	6	9	4

	d_1	d_2	d_3
E_1	5	3	2
E_2	9	7	8
E_3	8	6	5

Из таблицы видно, что наибольшее число отказов наблюдается при скорости воздуха u_2 и напряженности электрического поля E_2 .

С помощью двухфакторного дисперсионного анализа было попарно проверено влияние каждого из факторов u и E , d и E , u и d на частоту отказов. При этом использовались негруппированные данные. Анализ показал, что основные зависимости представлены статистически значимо.

Зависимость частоты отказов от скорости прососа воздуха изображена на рис. 2. Три кривые E_1 , E_2 и E_3 соответствуют группам напряженности электрического поля, а четвертая кривая ΣE объединяет все данные. Экспериментальные точки на рисунке указаны совместно с доверительным интервалом.

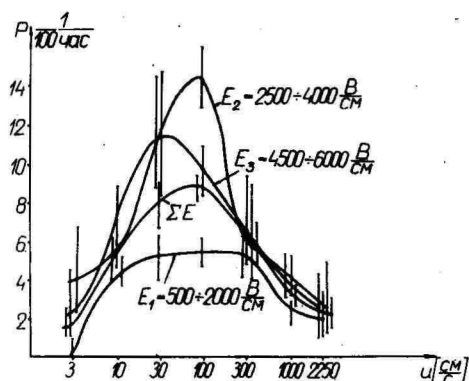


Рис. 2. Зависимость вероятности отказов измерительных конденсаторов от скорости протяжки воздуха для различных напряженностей электрического поля. ^{х)}

При всех кривых максимум частоты отказов располагается в промежутке скоростей протяжки воздуха от 30 до 300 см/с. До скоростей протяжки порядка 10 см/с наблюдается линейное возрастание числа отказов. Частота отказов p аппроксимируется прямой $p \approx 0,5v$. В промежутке от 10 до 200 см/с частота отказов растет медленнее и имеет максимум. Начиная от 200 см/с и до скорости 2250 см/с, при которой еще проводились измерения, частота отказов уменьшается по закону $p \approx \frac{100}{v}$.

Такую зависимость частоты отказов от скорости протяжки воздуха можно объяснить тем, что при малых скоростях с увеличением расхода воздуха увеличивается и число ворсинок, попадающих в конденсатор и зацепляющихся на его обкладках, и наблюдается прямая пропорциональность. При некоторой скорости протяжки, очевидно, начинает действовать другой механизм. С увеличением скорости протяжки воздуха все большее число ворсинок проносится потоком воздуха мимо обкладок, не задерживаясь ими, и кроме того, ворсинки, задержавшиеся на обкладках, прижимаются потоком воздуха к ним и не могут коронировать.

Зависимость частоты отказов от d слабая. При $d_1 = 2$ мм число отказов составляет 39% общего числа отказов, при $d_2 = 4$ мм - 26% и при $d_3 = 8$ мм - 35%. На рис. 3 приведены

^{х)} Вертикальными линиями обозначены доверительные интервалы на доверительном уровне 90%.

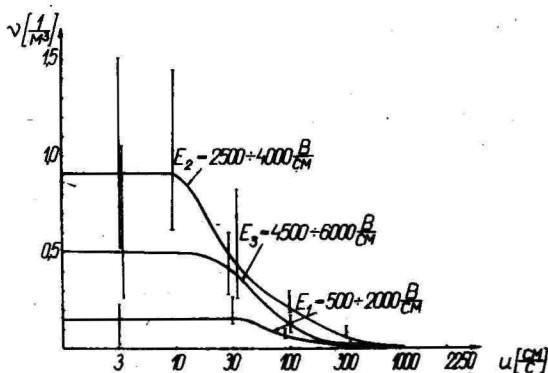


Рис. 3. Зависимость частоты отказов в расчете на единицу объема прошедшего через измерительный конденсатор воздуха. *)

графики зависимости числа отказов на единицу объема воздуха, прошедшего через измерительный конденсатор, от скорости его протяжки для трех групп данных, полученных при разных напряженностях поля. До скорости протяжки воздуха 10 см/с число отказов на единицу объема для напряженности поля E_2 не зависит от скорости. Для напряженностей поля E_1 и E_3 при малых скоростях воздуха наблюдается очень большой разброс точек из-за малого числа испытаний и возможно из-за нарушения коаксиальности обкладок одного из конденсаторов с расстоянием между обкладками 2 мм и с диаметром внутренней обкладки 2 мм. С увеличением скорости протяжки воздуха число отказов для всех напряженностей поля плавно уменьшается. Такой характер графиков подтверждает ранее сделанные выводы. При небольших скоростях потока, число отказов в расчете на единицу объема зависит от числа ворсинок в воздухе, при больших скоростях ворсинки проносятся потоком воздуха мимо обкладок.

На рис. 4 приведена зависимость частоты отказов от напряженности электрического поля. Экспериментальные точки на рисунке указаны совместно с доверительным интервалом. Наименьшее число отказов наблюдается при напряженностях электрического поля менее 2000 В/см. Число отказов максимально при напряженности поля $E = 3500+4000$ В/см. При дальнейшем повышении напряженности электрического поля частота отказов уменьшается. Для выяснения причин этого явления было изготовлено специальное приспособление для визуального наблюдения за ворсинками, попавшими между обкладками конденсатора.

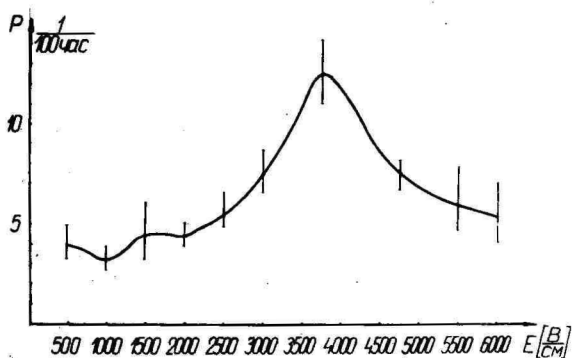


Рис. 4. Зависимость вероятности отказов измерительных конденсаторов от напряженности электрического поля. ^{*)}

Промежуток между обкладками освещался сильным источником света. Наблюдение велось с помощью зеркала. Оказалось, что при напряженностях поля выше 4000 В/см ворсинки, задержавшиеся на обкладках, перезаряжаются в сильном электрическом поле и, отталкиваясь от одноименно заряженной обкладки, притягиваются к другой. В потоке воздуха траектории ворсинок становятся зигзагообразными и они в конце концов выносятся из промежутка между обкладками. Следует отметить, что в данном случае мы имеем дело с самоустраняющимися отказами, из которых могут быть зарегистрированы только некоторые, т.к. измерения проводились с интервалом в один час. Время восстановления конденсатора после отказа изменяется в зависимости от напряжения на внутренней обкладке и составляет часто менее 5 минут. Число отказов, измеряемых через каждый час, при этом уменьшается.

Выводы и рекомендации

1. Частота отказов измерительного конденсатора в условиях постоянной линейной скорости протяжки воздуха достигает максимума при напряженности электрического поля 2000 – 4000 В/см.

2. Повышение надежности при увеличении напряженности электрического поля свыше 4000 В/см объясняется явлением самоустраняющихся отказов.

3. Число отказов в расчете на единицу времени в условиях постоянной напряженности электрического поля достигает максимума при линейной скорости прососа воздуха 30–300 см/с.

4. Число отказов в расчете на единицу объема воздуха, протянутого через конденсатор, снижается с увеличением скорости протяжки воздуха, причем, снижение после превышения скорости 100 см/с ускоряется.

5. Влияние расстояния между обкладками конденсатора при условии постоянной напряженности электрического поля и постоянной линейной скорости протяжки воздуха на число отказов незначительно.

6. В интересах надежности рекомендуется не использовать режим измерительного конденсатора с напряженностью 2000 - 4000 В/см, наилучшая надежность обеспечивается при напряженности ниже 1000 В/см.

7. При разработке измерительного конденсатора необходимо обеспечить максимальную линейную скорость протяжки воздуха, что допускается при учете других требований к измерительному конденсатору.

Автор выражает искреннюю благодарность Х.Ф. Таммету за оказанную помощь.

Л и т е р а т у р а

1. Силламаа У.В. Исследование влияния повышенной влажности на физические свойства входных цепей электронных вольтметров. - Отчет по хозяйственной работе. № гос. рег. 78067687, Таллин, 1979.
2. Таммет Х.Ф. Аспирационный метод измерения спектра аэроионов. - Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 195, Тарту, 1967.
3. Герасимова М.Н. К методике измерения содержания ионов в атмосфере и о новом счетчике ионов. - Тр. Гл. геофиз. обсерв., вып. 30, Л., 1939, с. 86-112.

AN EXPERIMENTAL STUDY OF THE RELIABILITY OF THE MEASURING CAPACITOR OF AN AEROSOL COUNTER

R. Matisen

S u m m a r y

Questions of the reliability of measuring capacitors have been studied experimentally depending on the electric field strengths in the capacitors, on the consumption of air passing through the measuring capacitor and on its chief sizes. Recommendations are given on how to improve the reliability of measuring capacitors.

**АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ СБОРА И ЗАПИСИ
ДАННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В ЭКСПЕДИЦИЯХ
ПРОБЛЕМНОЙ ЛАБОРАТОРИИ АЭРОИОНИЗАЦИИ И ЭЛЕКТРОАЭРОЗОЛЕЙ**

Ф.Г. Миллер, М.А. Рейнарт, Я.Р. Эзвель

В связи с записью большого объема информации, встречающегося при длительных измерениях; необходимо использовать автоматическую систему регистрации данных. Информация должна записываться в виде, пригодном для непосредственной обработки на электронно-вычислительной машине. Ниже приводится краткое описание системы для сбора данных, применявшейся в геофизических экспедициях Проблемной лаборатории аэроионизации и электроаэрозолей (ПЛАЭ).

За основу автоматической системы была взята промышленная информационно-измерительная система К200/І. С одной стороны такой выбор был обусловлен наличием системы К200/І, способной одновременно регистрировать показания многих приборов. С другой - переделка данной системы позволяет достичь требуемых параметров с наименьшими затратами.

В оригинальном виде система К200/І [І] состояла из блока сигналов времени Ф260, цифрового вольтметра Ф203, блока управления Ф253 с перфатором ПІ-150, аналогового коммутатора Ф240 на 40 входных каналов и дискриминатора П215. Система К200/І позволяла измерять и записывать на перфоленту до 40 входных аналоговых сигналов, но ее использование в таком виде было затруднено по следующим причинам.

1. В системе К200/І не предусмотрена возможность ввода информации в дискретном виде.

2. Недостатки блока времени Ф260, заключались: а) в использовании для синхронизации частоты 50 Гц сети питания; б) в ограниченном объеме счетчика регистрации времени; в) в нарушении счета времени даже при кратковременном прерывании сети питания. Такая возможность - нередкое явление в экспедиционных условиях; г) в общей низкой надежности в работе, связанной в основном с большой чувствительностью к внешним импульсным помехам.

3. Невозможность работы блока управления Ф253 с перфоратором ПЛ-80, имеющимся в наличии.

4. Система К200/Г в оригинальном виде не позволяет выдавать сигналы для управления другими приборами, например, для периодического закрытия воздушных каналов счетчиков аэроионов и др.

С целью устранения вышеуказанных недостатков блок Ф260, содержащий схемы на дискретных элементах (транзисторах, диодах и т.д.), заменили новым блоком сигналов времени, спроектированным на базе микросхем серии I55.

Для гарантирования требуемой точности в качестве источника тактовых импульсов вместо частоты промышленной сети 50 Гц использовали кварцевый генератор с основной частотой 24 кГц. Полученная точность (10^{-6} без термостатирования кварцевого генератора) гарантирует достаточно малую ошибку регистрации времени даже при измерениях, продолжающихся несколько месяцев. С целью регистрации дискретной информации в новый блок сигналов времени был встроены дополнительный коммутатор кодов. Для этого резервированы четыре из 40 входных каналов, при этом сохранена возможность использования этих каналов для регистрации аналоговых входных сигналов.

Новый блок сигналов времени предусматривает 8-ми разрядную индикацию дней, часов, минут, секунд, причем, на перфоленду регистрируются текущие дни, часы и минуты.

Для предотвращения нарушения регистрации текущего времени при кратковременном прерывании сети питания кварцевый генератор и счетные декады блока сигналов времени питаются от буферного 10-ти вольтового железо-никелевого аккумулятора, подключенного параллельно блоку питания.

Для обеспечения совместной работы системы с перфоратором ПЛ-80 понадобилось изменить принципиальную схему блока управления Ф253. Были увеличены максимально допустимые выходные токи усилителей (3,5 А в импульсе, при напряжении питания 27 В), управляющих электромагнитами перфоратора ПЛ-80. В связи с большим потреблением тока перфоратором ПЛ-80 применили дополнительный блок питания БН-101-Г.

Полная блок-схема усовершенствованной автоматической системы приведена на рис. Г. Приборы с аналоговыми выходными сигналами (Г...Ю) подключаются к входам аналогового коммутатора Ф240, приборы с дискретными выходными сигналами (К...Л) подключаются непосредственно к коммутатору кодов. При

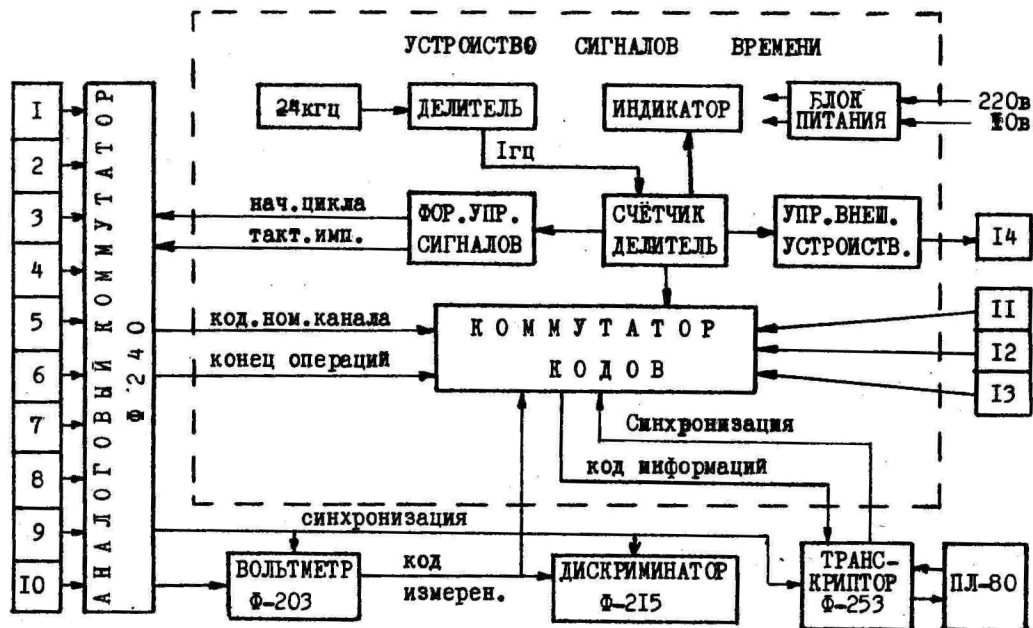


Рис. 1. Блок-схема усовершенствованной автоматической системы.

помощи клавиатуры (условно не показана), состоящей из 16 переключателей с фиксированными положениями, можно подать в один из дискретных измерительных каналов добавочную информацию по условному коду, содержащую данные о рабочих режимах приборов и т.д.

Совместная работа отдельных блоков системы обеспечивается синхросигналами. Данные измерений фиксируются на перфоленту циклами через каждые 3 или 5 минут. В начале каждого измерительного цикла перфорируется код текущего времени (24 двоичных разряда). Далее последовательно записываются данные (на 24 двоичных разряда) со всех входных каналов. Причем непосредственно на каждый результат измерения отводится 16 двоичных разрядов, остальные разряды — для порядкового номера измерительного канала. Номер канала перфорируется перед результатом измерения. Частота коммутирования каналов и записи результатов измерений составляет 0,5, 1 и 10 Гц. Обычно применялась частота 1 Гц.

В зависимости от наличия метеорологических приборов, счетчиков аэроионов, измерителей электропроводности воздуха и др. из 40 возможных входных каналов системы в экспедициях использовали до 15 каналов.

Описанную выше систему применяли в летних геофизических экспедициях ШЛАЭ на острове Вилсанди в 1978–80 гг.

Несмотря на сложные полевые условия система работала устойчиво. Некоторые сбои в работе системы происходили из-за недостаточной механической надежности перфаторов.

Л и т е р а т у р а

1. Система информационная измерительная К200. Паспорт 3.489.006 ИС.

AN AUTOMATIC SYSTEM FOR RECORDING DATA ON GEOPHYSICAL MEASUREMENTS AT EXPEDITIONS

F. Miller, M. Reinart and J. Öövel

S u m m a r y

The article describes the automatic system of collecting and storing information, which was used at the geophysical expeditions carried out by the Research Laboratory for Air Ionization and Electroaerosols of Tartu State University on Vilsandi Island in the years 1978–1980.

К ТЕОРИИ МЕТОДА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО СЕПАРИРОВАНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ

Д.Э. Кикас, Сузи Р.Э., Тамм Э.И.

Электростатическая сепарация (электросепарация) как метод получения монодисперсных калибровочных аэрозолей применяется в широком диапазоне размеров частиц ориентировочно от 5 нм до 1...2 мкм по радиусу. Для мелких частиц (радиус $r \lesssim 50$ нм) это практически единственный метод получения калибровочных аэрозолей. Принцип метода состоит в том, что из ансамбля частиц, имеющих строго одинаковый заряд ($q = \text{const}$), но довольно большой разброс по радиусу r и, следовательно, по электрической подвижности k , выделяются (сепарируются) частицы в каком-либо узком интервале подвижности. При $q = \text{const}$, k и r частицы связаны однозначно $k = k(r)$ и эти частицы оказываются в узком интервале и по размеру.

Требование $q = \text{const}$ для всех частиц сепарируемого аэрозоля нереализуемо. Но из-за дискретного характера электрического заряда в аэрозоле, выдержанном в биполярной ионной атмосфере, возникает равновесное дискретное распределение концентрации частиц по заряду, близкое к Больцмановскому [3]. Функция вероятности этого распределения выражается [1]:

$$p(i) = p(0) \left(\frac{\lambda_+}{\lambda_-} \right)^i \exp \left(- \frac{i^2 e^2}{8\pi \epsilon_0 r k T} \right), \quad (1)$$

где $ie = q$ - заряд частицы, выраженный в элементарных зарядах e , λ_+ и λ_- - полярные проводимости газовой среды, $p(0)$ - вероятность нулевого заряда на частице, K - постоянная Больцмана, T - температура, ϵ_0 - электрическая постоянная. Аэрозоль состоит из фракций, внутри которых все частицы носят точно одинаковое число i элементарных зарядов.

Электросепарацию, как метод получения калибровочных аэрозолей, первыми применили Лиу и Цуй [7]. Они же [8] отмечают, что в случае более крупных частиц ($r > 0,1$ мкм) на выходе сепаратора получается хорошо монодисперсный аэрозоль только из входного аэрозоля с достаточно узким распределением частиц по размерам. Они считают, что при $r \lesssim 0,5$ мкм аэрозоль, получаемый в конденсационных генераторах, удовлетворяет этому требованию. Количественные оценки требований, предъявляемых сепарируемому аэрозолю и режиму электросепа-

ратора, в литературе отсутствуют.

Функция плотности распределения численной концентрации частиц по подвижности $f(k)$ аэрозоля, приведенного к равновесному распределению по заряду, образуется суперпозицией функций плотности условных распределений при различных значениях i :

$$f(k) = C \sum_{\substack{i=-\infty \\ i \neq 0}}^{+\infty} f^i(k), \quad (2)$$

где C - нормирующий множитель. Здесь и в дальнейшем все функции плотности рассматриваются нормированными до концентрации частиц. Функции $f^i(k)$ частично перекрываются (рис. I); отсепарированные в узком интервале $[k, k + \Delta k]$ подвижностей частицы (при любой k) не относятся все к соответствующему узкому интервалу радиусов $[r, r + \Delta r]$. Степень перекрывания функций $f^i(k)$ растет с ростом i ; функции соседних фракций при $i = I$ и $i = -I$ не перекрываются вообще. Отсюда видно, что степень монодисперсности (качество) отсепарированного аэрозоля будет максимальна, если интервал подвижностей для сепарирования выбрать между k^1 и $-k^1$. Концентрация отсепарированных частиц будет максимальна, когда этот интервал выбран вокруг k^1 (или $-k^1$), как это штриховкой показано на рис. I.

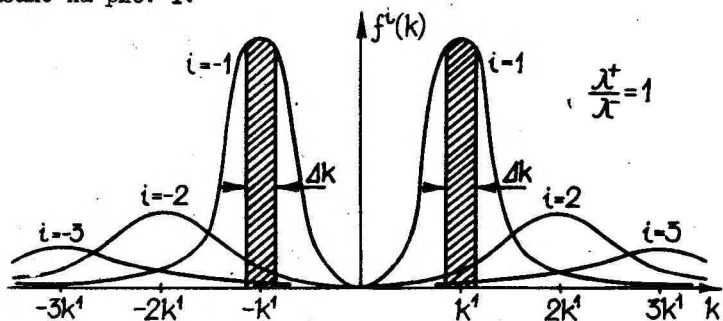


Рис. I. Функции плотности условных распределений $f^i(k)$. k^1 - мода функции $f^1(k)$.

Степень перекрывания функций $f^i(k)$ растет с увеличением среднего радиуса и ширины спектра размеров сепарируемого аэрозоля. Кроме того, свойства распределения сепарируемого аэрозоля всегда могут быть известны только с некоторой конечной точностью. Значит, оптимальный выбор интервала сепарирования реализуется с некоторой погрешностью.

Цель данного исследования - создать методiku оценки качества и концентрации частиц отсепарированного аэрозоля в за-

зависимости от свойств сепарируемого аэрозоля и положения интервала сепарирования на шкале подвижностей, а также оценить погрешность этих оценок через погрешность определения параметров сепарируемого аэрозоля.

Процесс электросепарирования аэрозольных частиц реализуется во второго рода дифференциальном аспирационном конденсаторе с вытяжкой (рис. 2), называемом электросепаратором частиц. Сепарируемый аэрозоль (расход Φ_2) входит у одной из обкладок конденсатора, он омывается чистым воздухом (расход Φ_1). В электрическом поле конденсатора частицы разделяются пространственно соответственно их подвижностям; некоторая узкая фракция высасывается (расход Φ_3) через щель в электроде, противоположном тому, у которого входит аэрозоль в конденсатор. Идея такого конденсатора исходит от Хьюита [5], теория была создана Хопшелем [6] на базе общей теории аспирационного метода измерения, разработанной Тамметом [2]. На рис. 2 изображены четыре предельные поверхности тока частиц.

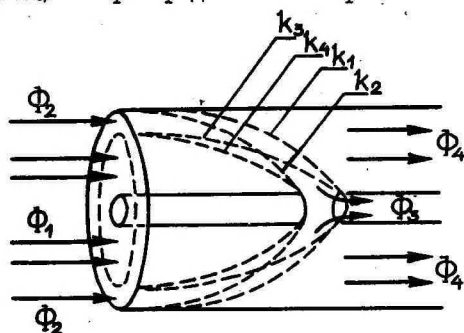


Рис. 2. Второго рода дифференциальный аспирационный конденсатор с вытяжкой

Частицы, движущиеся по этим поверхностям, имеют подвижности k_1, k_2, k_3, k_4 , называемые предельными подвижностями. Они выражаются через режимные (Φ_1, Φ_2, Φ_3 и напряжение на конденсаторе) и конструктивные (действующая емкость конденсатора) параметры сепаратора и однозначно связаны между собой. Плотность распределения $\varphi(k)$ концентрации частиц по подвижности на выходе оказывается пропорциональной соответствующей плотности распределения $f(k)$ на входе:

$$\varphi(k) = H f(k). \quad (3)$$

Множитель H — аппаратная функция сепаратора — зависит от режимных параметров сепаратора и оказывается кусочно-линейной функцией подвижности частиц k :

$$H = \begin{cases} 0 & \text{для } k < k_3, \\ \frac{1}{\Phi_3} \left[\left(\frac{k}{k_4} - 1 \right) \Phi_1 + \Phi_3 \right] & \text{для } k_3 < k < k_4, \\ \frac{\Phi_2}{\Phi_3} & \text{для } k_1 < k < k_4, \\ \frac{1}{\Phi_3} \left[\left(1 - \frac{k}{k_4} \right) \Phi_1 + \Phi_2 \right] & \text{для } k_4 < k < k_2, \\ 0 & \text{для } k_2 < k. \end{cases} \quad (4)$$

На рис. 3 приведен график функции H . Для сужения функции

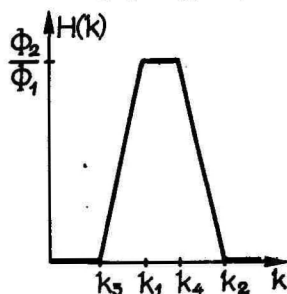


Рис. 3. Аппаратная функция электросепаратора аэрозольных частиц.

полезно выбирать $\Phi_2 \approx \Phi_3$ (тогда $k_1 = k_4$) и $\Phi_1 \gg \Phi_2$ (тогда разности $k_2 - k_1$ и $k_1 - k_3$ уменьшаются).

Полная концентрация частиц n на выходе сепаратора вычисляется интегрированием:

$$n = \int_{k_3}^{k_2} H(k) f(k) dk. \quad (5)$$

Концентрация частиц, заряженных i элементарными зарядами, на выходе получается аналогично:

$$n(i) = \int_{k_3}^{k_2} H(k) f^i(k) dk. \quad (6)$$

Показателем качества калибровочного аэрозоля выберем отношение:

$$\xi = \frac{1}{n(1)} \sum_{i=2}^{\infty} n(i). \quad (7)$$

Для вычисления ξ и $n(1)$ необходимо знать функции $f^i(k)$. Считаем распределение частиц сепарируемого аэрозоля по радиусу лог-нормальным, тогда функция плотности этого распределения выражается:

$$f(r) = \frac{N}{\sqrt{2\pi} r \ln \sigma_g} \exp \left[-\frac{(\ln r - \ln r_g)^2}{2(\ln \sigma_g)^2} \right], \quad (8)$$

где r_g и σ_g — геометрические средний радиус и стандартное отклонение, N — полная концентрация частиц. Плотность распределения i -кратно заряженных частиц по размеру выражается формулой (I). Для определения вероятности $p(0)$ вычислим:

$$f(r) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} p(i, r) = p(0) g(r), \quad (9)$$

где

$$g(r) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \left(\frac{\lambda_+}{\lambda_-}\right)^i \exp\left(-\frac{e^2 i^2}{8\pi\epsilon_0 r KT}\right),$$

откуда

$$p(i, r) \equiv f^i(r) = \frac{f(r)}{g(r)} \left(\frac{\lambda_+}{\lambda_-}\right)^i \exp\left(-\frac{e^2 i^2}{8\pi\epsilon_0 r KT}\right). \quad (10)$$

Функция $f^i(k)$ вычисляется из соотношения:

$$f^i(k) dk = f^i(r) dr. \quad (11)$$

Получается:

$$f^i(k) = f^i[r(k)] \left| \frac{dr}{dk} \right|. \quad (12)$$

Зависимость $r = r(k)$ получается из формулы Милликена:

$$k = k(r) = \frac{ie}{6\pi\eta r} \left[1 + \frac{L}{r} (A + B e^{-\frac{Cr}{L}}) \right], \quad (13)$$

где A , B и C — эмпирически определяемые постоянные, L — средняя длина свободного пробега молекул. Обратная функция аналитически не определяется, ее придется вычислить численными методами.

Для конкретных вычислений было выбрано $\Phi_2 = \Phi_3$ и $\Phi_I = 10 \Phi_2$. Аппаратная функция (4) примет при этом треугольную форму, полная ширина на нулевом уровне составляет 0,2 от средней подвижности, полуширина на уровне 0,5 от максимума составляет 0,05 от средней подвижности, $k_2 = 1,1 k_1$, $k_3 = 0,9 k_1$. Под интеграл в (6) вместо $f^i(k) dk$ и $H[k(r)]$ подставлялись выражения из (10), (11) и (4); интегрирование производилось по r , причем, пределы $r(k_3/i)$, $r(k_1/i)$ и $r(k_2/i)$ определялись из (13) методом итерации. При вычислениях было принято: $\lambda_+/\lambda_- = 1$; $T = 293$ К; $A = 0,866$; $B = 0,29$; $C = 1,25$; $L = 0,093$ мкм [4]. Интегралы вычислялись методом Симпсона. Вычисления были проведены на микро-ЭВМ "Электроника ДЭ-28".

Результаты вычислений для частиц с радиусами 33 нм и 375 нм представлены на рис. 4 и 5. По осям абсцисс на этих рисунках отложен сдвиг максимума аппаратной функции (предельной подвижности $k_1 = k_2$) по отношению к моде k^I функции $f^i(k)$ в долях k^I (верхняя шкала) и в единицах полной ширины аппаратной функции (нижняя шкала). На оси ординат на рис. 4 отложена относительная концентрация однократно заряженных

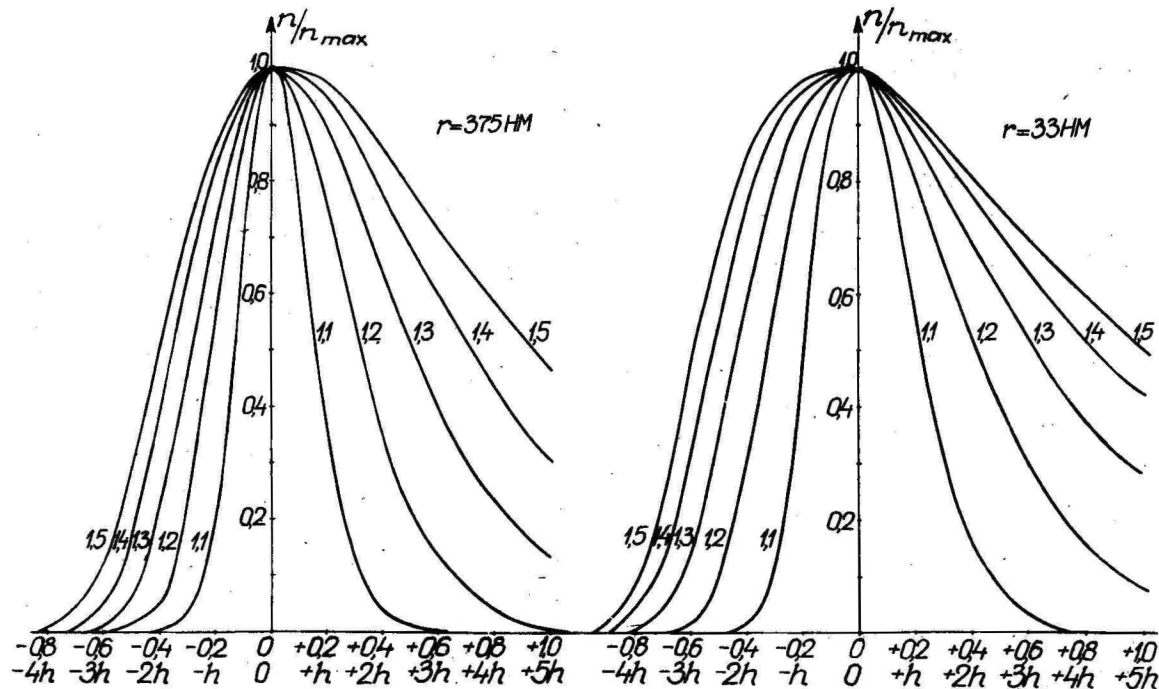


Рис. 4. Зависимость относительной концентрации однократно заряженных частиц на выходе сепаратора от сдвига максимума аппаратной функции по отношению к моде функции $f^*(k)$ и от геометрического стандартного отклонения сепарируемого аэрозоля.

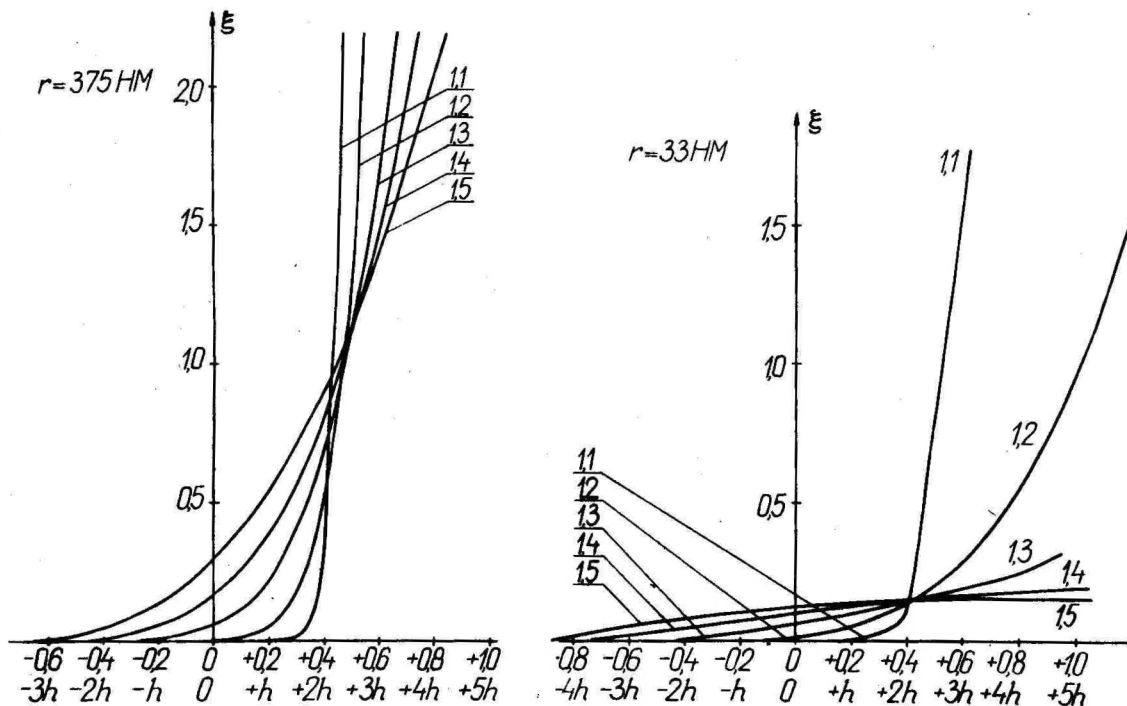


Рис. 5. Зависимость показателя качества ξ аэрозоля от сдвига максимума аппаратной функции по отношению к моде функции $f^4(k)$ и от геометрического стандартного отклонения сепарируемого аэрозоля.

частиц, на рис. 5 — показатель качества. При этом в числителе (7) в сумме ограничивались тремя первыми членами, ошибка от этого не превышает 0,5%. Параметром у кривых указано значение σ_g функции $f(r)$ сепарируемого аэрозоля.

Из графиков на рис. 4, 5 видно, что при сепарировании частиц с радиусом до 0,4 мкм наиболее подходящими для сепарирования оказываются аэрозоли с $\sigma_g \approx 1,2 \dots 1,3$. Именно такие аэрозоли легко генерировать конденсационными методами. При $\sigma_g > 1,3$ резко ухудшается качество отсепарированного аэрозоля, особенно в случае крупных частиц. Сдвигом аппаратной функции в сторону меньших подвижностей от k^1 (моды $f^1(k)$) компенсируется ухудшение качества, но при этом заметно уменьшается концентрация частиц на выходе сепаратора. При $\sigma_g < 1,2$ точность определения среднего радиуса r_g частиц сепарируемого аэрозоля должна быть не менее 5%, чтобы предотвратить резкое уменьшение концентрации частиц на выходе сепаратора. При повышении σ_g требования к точности определения r_g опять растут, чтобы не допустить ухудшения качества выходного аэрозоля из-за случайного сдвига аппаратной функции в сторону больших подвижностей от k^1 .

Существует возможность увеличения концентрации на выходе сепаратора выбором отношения λ_+/ λ таким, чтобы максимум распределения Больцмана (I) передвинулся на $i = \pm 1$. Расчеты показателя качества для этого случая, а также функции плотности выходного аэрозоля и результаты экспериментальной проверки результатов расчетов будут опубликованы в будущем в Ученых записках Тартуского гос. университета.

Л и т е р а т у р а

1. Сальм Я.И. О стационарной зарядке аэрозолей в несимметрично-дипольной ионной атмосфере. — Изв. АН СССР. Физ. атм. и океана, 1971, т. VII, № 4, с. 468—469.
2. Таммет Х.Ф. Аспириационный метод измерения спектра аэроионов. — Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 195, Тарту, 1967, 234 с.
3. Фукс Н.А. О величине зарядов на частицах атмосферных аэрозолей. — Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., 1947, № 4, с. 341—348.
4. Flanagan V.P.V., Taylor P. Tables of aerosol physics functions: mobility and falling speed of spheres. — Atmosph. Environ., 1967, vol. 1, No. 3, p. 327—340.

5. Hewitt G.W. The charging of small particles for electrostatic precipitation. - AIEE Trans., 1957, vol. 76, No. 31, p. 300-306.
6. Hoppel W.A. Determination of the aerosol size distribution from the mobility distribution of charged fraction of aerosols. - J. Aerosol Sci., 1978, vol. 9, No. 1, p. 41-54.
7. Liu B.Y.H., Pui D.Y.H. A submicron aerosol standard and the primary, absolute calibration of the condensation nuclei counter. - J. Coll. Interf. Sci., 1974, vol. 47, No. 1, p. 155-171.
8. Liu B.Y.H., Pui D.Y.H. Electrical aerosol analyser: calibration and performance. - In: Aerosol measurement. A University of Florida Book, University Presses of Florida, Gainesville, 1979, p. 384-399.

ON THE THEORY OF THE ELECTROSTATIC SEPARATION
OF AEROSOLS

U. Kikas, R. Susi and E. Tamm

S u m m a r y

The paper discusses the process of the electrical separation of aerosol particles as a method for obtaining monodisperse calibration aerosols. The methods of evaluating the quality and the concentration of electrically separated aerosols are presented depending on the properties of the aerosols to be separated as well as on the structural and operating parameters of the separator.

The separator separates out a narrow fraction of mobility of particles having an equilibrium charge distribution, so separated particles are mainly singly charged and form a narrow fraction according to their size. The ratio of the concentration of multiply charged larger particles to the concentration of singly charged ones has been chosen to serve as a criterion for the quality of calibration aerosols.

The results of the calculations show that aerosols with a geometrical standard deviation $\sigma_g = 1.2 \dots 1.3$. turn out to be most suitable for separation. To choose the correct operating conditions for the separator, it is necessary to know the average size of the particles to be separated with an accuracy of at least 20 per cent.

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ЗАРЯДОВ НА АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦАХ ПРИ ЗАРЯДКЕ ИХ ЛЕГКИМИ АЭРОИОНАМИ

М.Г. Ношпель

В связи с градуировкой электрического анализатора аэрозолей [1, 2] возникает необходимость более детального знания распределения электрических зарядов на аэрозольных частицах. Стационарное распределение зарядов при биполярной зарядке рассмотрен довольно подробно [3, 4, 5, 6]. В работе Такакаши [6], где вычислен временный ход распределения зарядов, приведена таблица результатов без объяснений. Содержание таблицы не ясно. Распределение зарядов на сферической частице при диффузионной зарядке униполярными ионами рассмотрено в работе Мирзабекяна [7]. Для нахождения распределения, в работе использована теория марковского процесса. Получена зависимость среднеквадратичного отклонения распределения зарядов на частицах от радиуса частиц.

В работе [8] приведены уравнения кинетики зарядки первоначально нейтрального аэрозоля и дано общее решение этих уравнений. Сальм [9] обобщил указанные уравнения для описания кинетики зарядки первоначально заряженных частиц:

$$\left\{ \begin{array}{l} dN_{q_{min}}/dt = -\Phi_{q_{min}} N_{q_{min}}, \\ dN_{q_{min}+1}/dt = \Phi_{q_{min}} - \Phi_{q_{min}+1} N_{q_{min}+1}, \\ dN_{q_{min}+2}/dt = \Phi_{q_{min}+1} N_{q_{min}+1} - \Phi_{q_{min}+2} N_{q_{min}+2}, \\ \dots \\ dN_q/dt = \Phi_{q-1} N_{q-1} - \Phi_q N_q. \end{array} \right. \quad (I)$$

Начальные условия:

$$N_q(t=0) = a_q, \quad q_{min} \leq q \leq q_{max}; \quad (2)$$

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

Здесь N_q - частная концентрация аэрозольных частиц данного радиуса с зарядным числом q (число элементарных зарядов на частице), Φ_q - поток аэроионов на частицу данного радиуса с данным зарядным числом.

Решение этой системы выражается в виде:

$$N_q(t) = \sum_{i=q_{\min}}^q a_i \left(\prod_{n=i}^{q-1} \Phi_n \right) \sum_{j=i}^q \exp(-\Phi_j t) / \prod_{\ell=i}^q (\Phi_\ell - \Phi_j), \quad (3)$$

где 1) \prod^* означает произведение, в котором сомножитель с равными индексами равен единице; 2) произведение $\prod_{k=i}^{q-1} \Phi_k = 1$, если $q = q_{\min}$.

Для вычисления распределения зарядов частиц по формуле (3), необходимо знать потоки ионов на частицы. В работах [3, 10] на основании экспериментов указано, что в непрерывном режиме, т.е. когда длина свободного пробега иона во много раз меньше радиуса частицы, можно пользоваться теорией Фукса [4]. Так как учитывание зеркальных сил ухудшало совпадение с опытом [10], то для определения потоков ионов на частицу использовалась формула Фукса [4], без учитывания зеркальных сил:

$$\Phi_q = \frac{ekq n_0}{\epsilon_0} \frac{1}{\exp(qe^2/4\pi\epsilon_0 qKT) - 1}, \quad (4)$$

где k - подвижность аэроионов, ϵ_0 - электрическая постоянная, q - радиус частицы, n_0 - концентрация ионов, K - постоянная Больцмана, T - температура, e - элементарный заряд.

Сумма (3) состоит из членов с переменными знаками. Поэтому, при увеличении абсолютных значений членов суммы (3), вычисления надо осуществлять с возрастающей точностью. Вычисления на ЭВМ "Электроника ДЗ-28" (точность изображения числа одной ячейкой - 12 значащих цифр в десятичной системе счисления) показали, что при радиусе частицы $q = 0,666$ мкм среднеквадратичного отклонения определить нельзя. При помощи команды "ОСТАТОК" были составлены специальные подпрограммы, а в дальнейшем вычисления правой суммы в формуле (3) проводились с точностью 22-23 значащих цифр. Вычисления с двойной точностью показали, что при $q = 1,185$ мкм, среднеквадратичное отклонение можно определить только с двумя значащими цифрами. Таким образом, при увеличении радиуса частицы, требования на точность вычисления резко повышаются.

Широко распространено, при зарядке аэрозоля, считать аэрозоль первоначально незаряженным. Но обычно аэрозоль не явля-

ется первоначально нейтральным, а имеет какое-то распределение зарядов на частицах. Если аэрозоль перед униполярной зарядкой достаточно долго ($n_0 t \approx 9 \cdot 10^{11} \frac{c}{\text{м}^3}$ [6]) пребывал в атмосфере биполярных аэроионов, то можно считать начальным распределением при униполярной зарядке - распределение Больцмана [3, 4] :

$$N_q = N_0 \exp\left(-\frac{q^2 e^2}{8\pi \epsilon_0 q K T}\right). \quad (5)$$

Практически в зарядниках контролируется и стабилизируется $kn_0 t$ и T . Ниже использовано $n_0 t$, которое обычно встречается в работах о зарядке частиц. В проведенных вычислениях принято $k = 1,6 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^2}{\text{в} \cdot \text{с}}$, $T = 293^\circ \text{К}$. В формуле (5) принято $N_0 = 1/\sqrt{2\pi} \sigma$, где

$$\sigma = \sqrt{4\pi \epsilon_0 q K T / e^2}. \quad (6)$$

При начальном распределении Больцмана, результаты вычислений можно представить следующим образом: 1) с точностью 0,2% среднее значение зарядного числа

$$\bar{q}_{\text{НБ}} = \left(1 + \frac{ab}{100}\right) \bar{q}_{\text{Ф}}; \quad (7)$$

где $q_{\text{Ф}}$ определяют из уравнения (8) (получено интегрированием (4)) :

$$\sum_{i=1}^{\infty} \frac{(e^2 \bar{q}_{\text{Ф}} / 4\pi \epsilon_0 q K T)^i}{i \cdot i!} = \frac{ekn_0 t}{\epsilon_0}, \quad (8)$$

значения a и b приведены в таблицах 1 и 2, индекс НБ указывает на начальное распределение Больцмана; 2) среднеквадратичное отклонение зарядного числа (при $n_0 t < 10^{12} \frac{c}{\text{м}^3}$ с точностью 0,3%, при $n_0 t \geq 10^{12} \frac{c}{\text{м}^3}$ с точностью 0,2%)

$$\sigma_{\text{НБ}} = (m - n) \sigma, \quad (9)$$

где значения m и n приведены в таблицах 1 и 2. Промежуточные значения в таблицах определяют линейной интерполяцией.

На рис. 1 на оси абсцисс отложен $(q - \bar{q}_{\text{НБ}}) / \sigma_{\text{НБ}}$. На оси ординат отложено отношение $N_q^{\text{НБ}}$ на N_q^n , где

$$N_q^n = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_{\text{НБ}}} \exp\left[-\frac{(q - \bar{q}_{\text{НБ}})^2}{2 \sigma_{\text{НБ}}^2}\right] \quad (10)$$

и выполняется условие

$$\sum_{q=-\infty}^{\infty} N_q^{\text{НБ}} = 1.$$

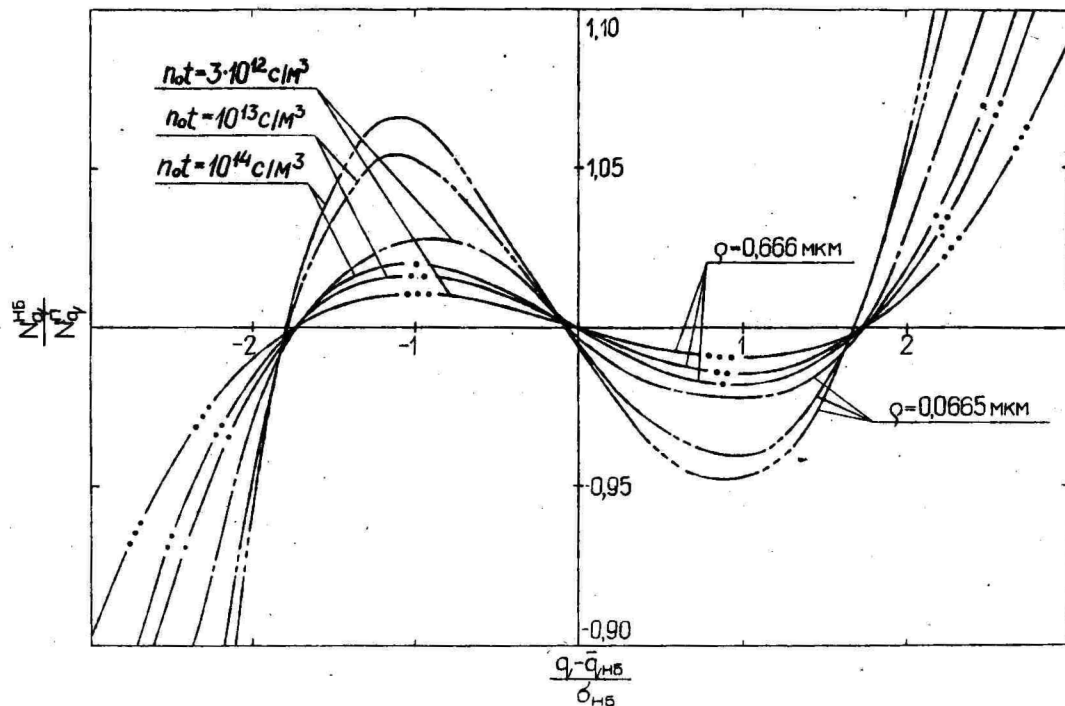


Рис. I. Сравнение распределения зарядов при начальном распределении Больцмана с формулой (10).

Таблица 1

Зависимость параметров a и m в формулах (7) и (9) от $n_0 t$

$n_0 t \times 10^{-12}$ (с/м ³)	a	m
0,1	2,46	
0,3	2,45	
0,5	2,35	0,9877
1	2,28	0,9548
1,4	2,20	0,9338
1,6	2,15	0,9252
2	2,08	0,9107
2,5	2,00	0,8967
3	1,93	0,8858
4	1,82	0,8700
5	1,74	0,8591
6	1,67	0,8509
8	1,58	0,8395
10	1,50	0,8318
15	1,39	0,8200
20	1,31	0,8129
30	1,22	0,8047
40	1,16	0,7997
60	1,08	0,7938
100	1	0,7877

Таблица 2

Зависимость параметров b и n в формулах (7) и (9) от q .

q мкм	b	n
0,0665	2,86	0
0,09	2,10	0,006
0,1185	1,59	0,0102
0,16	1,18	0,0135
0,211	0,888	0,0160
0,28	0,669	0,0176
0,375	0,499	0,0190
0,52	0,333	0,0204
0,666	0,280	0,0210

В промежутке $-2 \leq \frac{q - \bar{q}_{HE}}{\sigma_{HE}} \leq 2$ в котором оказываются не менее, чем 97% частиц аэрозоля, для определения вероятности данного зарядного числа, т.е. частной концентрации N_q^{HE} ($\sum_{q=-\infty}^{\infty} N_q^{HE} = 1$) с точностью 3%, можно пользоваться формулой (10), если при $q = 0,0665$ мкм $n_0 t \leq 3 \cdot 10^{12} \frac{с}{м^3}$, при $q = 0,1185$ мкм $n_0 t \leq 4,5 \cdot 10^{12} \frac{с}{м^3}$, при $q = 0,211$ мкм $n_0 t \leq 10^{13} \frac{с}{м^3}$. При $q = 0,375$ мкм погрешность меньше 3%, а при $q = 0,666$ мкм меньше 2% при всех использованных значениях $n_0 t$ ($10^{11} + 10^{14} \frac{с}{м^3}$).

Чтобы следить за влиянием первоначального распределения на распределение заряда при данном $n_0 t$, вычисления распределения проводились при двух начальных распределениях:

1) $N_{q=0}(n_0 t = 0) = 1$, $N_{q \neq 0}(n_0 t) = 0$,

2) распределение Больцмана (5).

Результаты вычисления приведены в таблице 3 и на рис. 2.

Таблица 3

Влияние первоначального распределения зарядов на \bar{q} и σ_q при различных значениях φ и $n_0 t$.

$n_0 t \cdot 10^{-12}$ (с/м ²)	φ (МкМ)	$100 (\bar{q}_{нБ} - \bar{q}_1) / \bar{q}_{нБ}$					$100 (\sigma_{нБ} - \sigma_1) / \sigma_{нБ}$				
		0.0665	0.1185	0.211	0.375	0.666	0.0665	0.1185	0.211	0.375	0.666
0.1	5.61	3.29	1.89	1.08	0.61	51.1	51.2	51.2	51.3	51.3	
0.3	4.35	2.55	1.47	0.84	0.47	27.4	27.9	27.9	28.0	28.1	
0.5	3.48	2.04	1.17	0.67	0.38	17.1	17.7	17.9	18.1	18.2	
1	2.17	1.28	0.74	0.42	0.24	7.08	7.65	7.96	8.14	8.24	
2	1.11	0.66	0.38	0.22	0.13	2.18	2.54	2.75	2.87	2.94	
3	0.70	0.42	0.25	0.14	0.08	0.98	1.21	1.34	1.42	1.46	
4	0.49	0.30	0.18	0.10	0.06	0.54	0.69	0.78	0.84	0.87	
5	0.38	0.23	0.13	0.08	0.04	0.34	0.44	0.51	0.55	0.57	
6	0.30	0.18	0.11	0.06	0.04	0.23	0.31	0.35	0.38	0.40	
8	0.21	0.13	0.08	0.04	0.02	0.12	0.17	0.20	0.22	0.23	
10	0.16	0.10	0.06	0.03	0.02	0.07	0.10	0.13	0.14	0.14	
20	0.07	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	

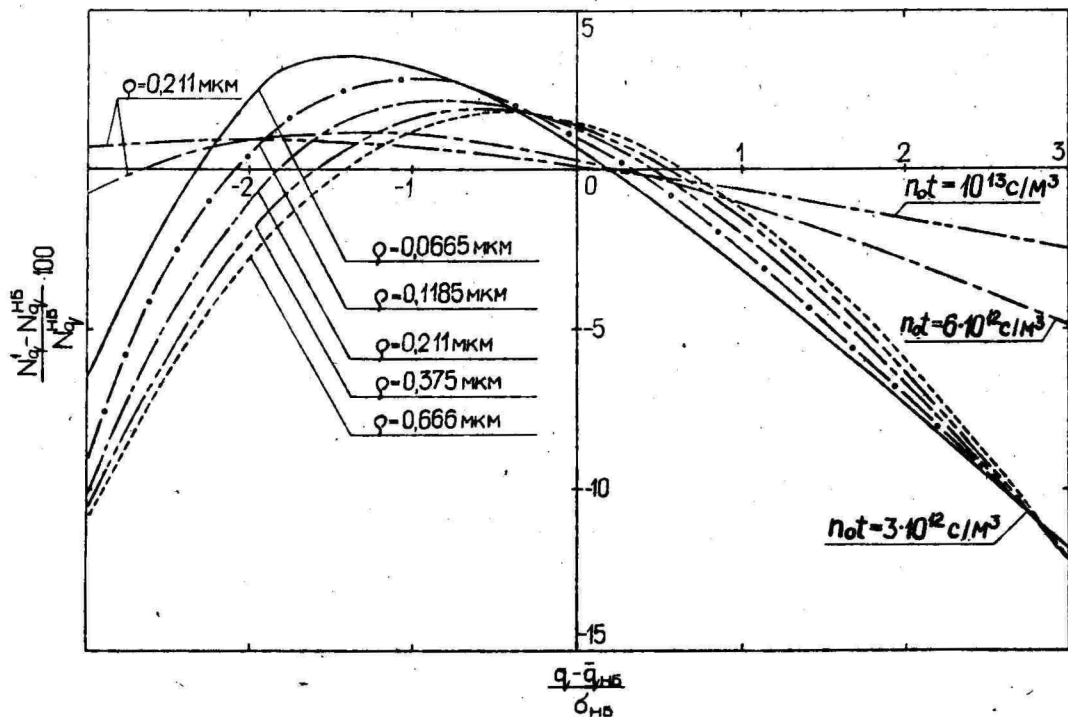


Рис. 2. Влияние первоначального распределения зарядов при униполярной зарядке.

Индекс I указывает на первоначальную незаряженность аэроионов. На рис. 2 на оси абсцисс отложено $(q - \bar{q}_{нз})/\sigma_{нз}$ на оси ординат отложен $[(N_q^1 - N_q^{нз})/N_q^{нз}] \cdot 100$.

Из таблицы видно, что при $n_0 t = 3 \cdot 10^{12} \frac{с}{м^3}$, разность средних значений зарядного числа меньше 1% и уменьшается с возрастанием радиуса частицы, разность среднеквадратичного отклонения меньше 1,5% и отклонение увеличивается с возрастанием радиуса. Разность вероятностей зарядного числа (частных концентраций) можно оценить по рис. 2.

Если удовлетвориться с 3%-ой точностью, то судя по среднему значению \bar{q} , начиная с $n_0 t = 7 \cdot 10^{11} \frac{с}{м^3}$ можно пренебрегать влиянием первоначального распределения. Судя по среднеквадратичному отклонению, влиянием первоначального распределения можно пренебрегать, если $n_0 t > 2 \cdot 10^{12} \frac{с}{м^3}$. В пределах $-2 \leq (q - \bar{q}_{нз})/\sigma_{нз} \leq 2$ (где остается не менее чем 97% частиц аэрозоля) с точностью примерно 3% (для $\varphi = 0,0665$ мкм - 3,5%; для $\varphi = 0,1185$ мкм - 3,2%; при больших значениях φ - меньше чем 3%) можно пренебрегать первоначальным распределением, если $n_0 t \geq 6 \cdot 10^{12} \frac{с}{м^3}$. При $n_0 t = 6 \cdot 10^{12} \frac{с}{м^3}$, максимальная разность частных концентраций (вероятностей) $|N_q^1 - N_q^{нз}|$ достигает 0,005 для $\varphi = 0,0665$ мкм; 0,003 для $\varphi = 0,1185$ мкм, 0,002 для $\varphi = 0,211$ мкм, 0,0012 для 0,375 мкм, 0,0008 для 0,666 мкм.

Дискретная сущность зарядки аэрозольных частиц проявляется в большем среднем значении зарядного числа, вычисленного посредством формулы (3) (первоначальная незаряженность частиц), по сравнению с значением вычисленным по (8). Эта разница достигает при $n_0 t = 3 \cdot 10^{12} \frac{с}{м^3}$ 4,8% для $\varphi = 0,0665$ мкм, 2,6% для $\varphi = 0,1185$ мкм; 1,5% для 0,211 мкм; 0,8% для 0,375 мкм, 0,5% для 0,666 мкм.

Л и т е р а т у р а

1. Таммет Х.Ф. Об электрической гранулометрии аэрозолей. - Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 348, Тарту, 1975, с. 30-40.
2. Таммет Х.Ф. Кусочно-линейная модель спектра в аэрозольных измерениях. - Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 534, Тарту, 1980, с. 45-53.
3. Liu В.У.Н., Pui D.У.Н. Equilibrium bipolar charge distribution of aerosols. - J. Colloid Interface Sci., 1974, vol. 49, No. 2, p. 305-312.

4. Фукс К.А. О величине зарядов на частицах атмосферных аэроколлоидов. - Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., 1947, II, № 4, с. 341-348.
5. Gunn R. The statistical electrification of aerosols by ionic diffusion. - J. Colloid Sci., 1955, vol. 10,
6. Takahashi K. Numerical Verification of Boltzmann's distribution for electrical charge of aerosol particles. - J. Colloid Interface Sci., 1971, vol. 35, No. 3, p. 508-510.
7. Мирзасеян Г.З. Зарядка проводящих сверхмалых частиц с радиусом порядка длины свободного пробега ионов в воздухе. - М. Техническая физика, 1966, 36, № 7, с. 1259-1268.
8. Voisdron T., Brock J.R. On the stochastic nature of the acquisition of electric charge and radioactivity by aerosol particles. - Atmos. Environ., 1970, vol. 4, p. 35-50.
9. Сальм Я.И. Об униполярной зарядке первоначально заряженного аэрозоля. - Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып.443, Тарту, 1977, с. 57-61.
10. Pui D.Y.H. Experimental study of diffusion charging of aerosols. - Progress report. Particle Tech.Lab., University of Minnesota, 1973, publ. No. 289.

ON THE DISTRIBUTION OF CHARGES ON AEROSOL PARTICLES
WHEN CHARGING THEM WITH SMALL AIR IONS

M. Noppel

S u m m a r y

The paper deals with the distribution of charges on aerosol particles in diffusion charging in the continuum regime. The calculations of the distribution of charges are based on formulae (3) and (4).

For aerosol particles with the initial Boltzmann distribution of charges and with the ranges of the radius within $0.0665 \dots 0.666 \mu\text{m}$, the dependence of the average charge and of the standard deviation of charges on the product $n_0 t$ of the ion concentration and of the charging time has been given. For smaller values of $n_0 t$ the approximation function to the distribution of charges has been proposed. The influence of the initial charge distribution on the final one depending on $n_0 t$ has been discussed.

К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ АЭРОЗОЛЕЙ

М.Н. Белов

Пневматические генераторы аэрозолей широко используются во многих отраслях производства. В настоящее время вопрос об их эффективности приобретает все большее народнохозяйственное значение.

В настоящей статье дано обзорное исследование работы пневматических генераторов аэрозолей, позволяющее выявлять наиболее эффективные конструкции.

В пневматических генераторах аэрозолей (назовем их для краткости в дальнейшем распылителями) поток жидкости диспергируется за счет соприкосновения с высокоскоростным потоком газа или пара. Энергия, необходимая для образования аэрозоля, передается диспергируемой жидкости через распыляющее вещество, т.е. через газ или пар. Количество этой энергии, передаваемой за единицу времени, есть потребляемая распылителем мощность, а количество вещества, затрачиваемое на диспергирование жидкости за единицу времени, — расход распыляющего вещества.

Если в качестве распыляющего вещества используется сжатый газ, вытекающий через сопло, то при допущении идеального адиабатического процесса уравнение технической работы [1], совершаемой единицей массы распыляющего газа, можно записать в следующем виде:

$$W = \frac{\kappa}{\kappa - 1} RT_1 \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} \right], \quad (1)$$

где κ — показатель адиабаты; R — универсальная газовая постоянная; T_1 — начальная абсолютная температура газа; P_1 и P_2 — полное абсолютное давление газа соответственно во входном сечении сопла и среды, в которую происходит истечение.

Потребляемая мощность, соответствующая этой технической работе, выражается формулой:

$$N = \frac{\kappa RT_1 M_2}{(\kappa - 1)\mu} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} \right], \quad (2)$$

где M_2 - массовый расход газа; μ - молекулярная масса газа.

Рассмотрим вкратце физическую картину процесса диспергирования жидкости. В пневматических распылителях диспергирование жидкости протекает в две различные стадии [2]. В первой стадии струя при выходе жидкости из сопла деформируется и приобретает колебательное движение под влиянием сил поверхностного натяжения, формы выходного сечения сопла, его шероховатостей и турбулентного течения жидкости. Колебания струи жидкости могут, накладываясь друг на друга, затухать или возрастать. С ростом амплитуды колебаний струи жидкости устойчивость ее движения нарушается и она распадается на отдельные части. Вторая стадия процесса распыления начинается с момента распада струи жидкости на части. Оторвавшиеся нити сначала делятся в местах узлов на крупные капли, которые при дальнейшем своем движении дробятся на более мелкие. Процесс дробления крупных капель происходит под действием внешних сил, возникающих благодаря относительной скорости движения капель и распыляющего газа.

При распылении жидкости энергия, поступающая в реальные распылители, расходуется следующим образом [3]: 1) на образование межфазной поверхности; 2) на совершение работы против сил вязкости; 3) на сообщение каплям кинетической энергии; 4) на компенсацию гидродинамических потерь.

Энергия образования межфазной поверхности (энергия распыления) равна:

$$W_p = \sigma S_k, \quad (3)$$

где S_k - суммарная поверхность образовавшихся капель, σ - коэффициент поверхностного натяжения жидкости.

Энергию для совершения работы против сил вязкости можно определить, предполагая [4], что жидкость вытягивается в тонкую нить или пленку, которая распадается затем под действием сил поверхностного натяжения, образуя капли со средним диаметром, равным толщине нити. Жидкость входит в широкий конец конической переходной части, равномерно ускоряется в ней и покидает ее в виде нити. Минимальная энергия деформации, рассеиваемая в единице объема жидкости, равна:

$$W_g = \frac{8\eta d_1^2 v_{05}}{3\pi d_2^2 \ell}, \quad (4)$$

где d_1 и d_2 - диаметры начала и конца конической переходной части; ℓ - ее длина; v_{05} - объемная скорость течения жид-

кости; η - вязкость жидкости.

Энергия, необходимая для сообщения жидкости поступательного движения (гидравлическая энергия) равна:

$$W_2 = m_{ж} \frac{v_{ж}^2}{2}, \quad (5)$$

где $m_{ж}$ - масса диспергированной жидкости; $v_{ж}$ - скорость струи образующегося аэрозоля.

Для определения потери энергии, вызванной гидродинамическим сопротивлением распылителя, допустим [5], что в проточную часть распылителя входят конфузор, цилиндрический участок суженного сечения и диффузор. В этом случае общая потеря давления Δp может быть найдена как сумма потерь на отдельных участках распылителя. Гидродинамические потери энергии в распылителе в расчете на единицу массы распыляемого газа равны:

$$W_n = \frac{\alpha}{\alpha-1} RT_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1 - \Delta p} \right)^{\frac{\alpha-1}{\alpha}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\alpha-1}{\alpha}} \right]. \quad (6)$$

Для снижения этих потерь энергии необходимо учитывать, что грубо обработанные поверхности проточной части распылителя создают значительное сопротивление, особенно у распылителя с большими цилиндрическими участками. Обработка поверхности диффузора должна быть достаточно чистой при малых углах расширения. Конфузорный участок распылителя должен иметь плавный вход.

Иногда эффективность оценивают по величине энергозатрат на распыление единицы массы жидкости. При этом не учитывается качество распыления, иными словами, степень диспергирования жидкости.

Для оценки эффективности работы распылителей можно использовать коэффициент полезного действия (к.п.д.) [6]. Здесь необходимо уточнить, какой параметр работы является определяющим.

Так, гидравлический к.п.д., равный

$$\eta_2 = W_2/W, \quad (7)$$

учитывает лишь скоростной напор струи. Гидравлический к.п.д. не позволяет оценить дисперсность распыла, поэтому рассмотрим более подробно к.п.д. распыления, равный

$$\eta_p = W_p/W. \quad (8)$$

Здесь определяющим параметром является дисперсность - удельная поверхность частиц дисперсной фазы в дисперсных системах [7], т.е. общая поверхность, отнесенная к единице объема

$$D = S/V. \quad (9)$$

В случае монодисперсного аэрозоля с шаровыми частицами диаметра d

$$D = \frac{\pi d^2}{\frac{\pi}{6} d^3} = \frac{6}{d}. \quad (10)$$

Если аэрозоль полидисперсный, то дисперсность можно выразить через средний объемно-поверхностный диаметр - d_{32} :

$$D = 6 \frac{\sum d_i^2 n_i}{\sum d_i^3 n_i} = \frac{6}{d_{32}}. \quad (11)$$

Учитывая сказанное и, что $V_{жк} = \Phi_{жк} t$, к.п.д. распыления определим так:

$$\eta_p = \frac{\sigma S_k}{W} = \frac{6\sigma W_{жк}}{Wd} = \frac{6\sigma\Phi_{жк}}{Nd}, \quad (12)$$

где $V_{жк}$ и $\Phi_{жк}$ - объем и расход диспергированной жидкости; t - время диспергирования; W и N - энергия и мощность, затраченные на диспергирование жидкости с образованием поверхности капель, равной S_k . Для ряда ингаляторов и аэрозольных генераторов по формуле (12) был вычислен к.п.д. распыления. Результаты вычислений представлены в табл. I. Диаметры капель, приводимые в литературных источниках, получены различными методами усреднения. Однако, эти данные вполне пригодны для сравнительных оценок эффективности работы распылителей.

Как видно из табл. I, к.п.д. распыления ингаляторов в основном лежит в пределах $(10-60) \cdot 10^{-6}$.

Самый низкий к.п.д. распыления у ингаляторов ИП2 - $0,25 \cdot 10^{-6}$. Это объясняется тем, что основная часть энергии затрачивается не на диспергирование жидкости, а на парообразование и подогрев образующегося аэрозоля. Наиболее эффективным среди ингаляторов является ингалятор со встречными струями. Его к.п.д. распыления выше, чем у других ингаляторов в 2,5 - 5 раз.

У большинства генераторов аэрозоля к.п.д. распыления находится в пределах $(70-150) \cdot 10^{-6}$. Наиболее высокий к.п.д. распыления у генератора САГ-I - $300 \cdot 10^{-6}$. Он превышает к.п.д. других генераторов аэрозолей в 2-4 раза. Повышенная эффективность ингалятора со встречными струями и генератора САГ-I обусловлена использованием механизма вторичного дробления капель при соударении встречных струй аэрозоля.

Таблица I

Технические характеристики и к.п.д. распыления пневматических распылителей

Название	Потребляемая мощность, кВт	Давление газа, кПа	Расход газа, 10^{-3} кг/с	Расход жидкости, 10^{-3} кг/с	Диаметр капле-распыла, 10^{-6} м	к.п.д. $\cdot 10^6$	Источник данных
Ингаляторы	0,22						
ИП2				$5 \cdot 10^{-3}$	40	0,25	8
Электрозоль-1		30	0,3	$3,3 \cdot 10^{-3}$	20	10,5	9
ГЭГ-1		200	2,4	$5 \cdot 10^{-2}$	5	21,5	10
Ингалятор со встречными струями		100	0,1	$5,8 \cdot 10^{-3}$	8,8	56,3	17
Генераторы аэрозолей							
У В Ж		200	1,5	0,1	4	86,3	11
Распылитель Бергсона		150	1,65	1,0	24	152	12
Генератор электроаэрозолей по авт. св. СССР № 387744							
вариант 1 - $d_0 = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м		200	4	1,6	18	114	ОПЫТ
вариант 2 - $d_0 = 2,5 \cdot 10^{-3}$ м		200	10,5	3,3	18	90	"
ПВАН		400	10,2	6,7	20	124	13
САГ-1		400	3,3	1,3	5	300	14
ПЭГА-2		400	1,4	0,13	15	23,4	15
Fontan R11	2,9			35	210	25	16
Стэйнс	10,3			17	10	71,6	16

Примечание: d_0 - диаметр жидкостного сопла распылителя.

Из данных табл. I следует, что увеличение кратности воздействия газовой струи на диспергируемую жидкость повышает к.п.д. распыления распылителей.

Выводы

Рассмотрена работа реальных пневматических генераторов аэрозолей с точки зрения их энергетических затрат по распылению жидкости. Предложено для оценки эффективности работы распылителей использовать к.п.д. распыления, для чего необходимо определить расход диспергируемой жидкости, коэффициент ее поверхностного натяжения, затрачиваемую мощность и диаметр образующихся капель.

Для ряда ингаляторов и генераторов аэрозолей вычислен к.п.д. распыления. К.п.д. распыления ингалятора со встречными струями выше, чем у остальных ингаляторов в 2,5-5 раз. Среди аэрозольных генераторов наиболее эффективен САГ-I - его к.п.д. распыления выше, чем у остальных генераторов аэрозолей в 2-4 раза. Повышенный к.п.д. распыления ингалятора со встречными струями и САГ-I обусловлен применением в них механизма вторичного дробления капель жидкости встречными струями аэрозоля.

Очевидно, что увеличение кратности воздействия газовой струи на диспергируемую жидкость повышает к.п.д. распыления распылителей.

Л и т е р а т у р а

1. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М., Наука, 1969.
2. Мясников П.А. Аэродинамические испытания пневматических форсунок высокого давления. - В кн.: Сборник научных трудов ВНИИ металлургической теплотехники. Свердловск, 1962, № 7.
3. Лыков М.В., Леончик Б.И. Распылительные сушилки. М., Машиностроение, 1966.
4. Грин Х., Лейн В. Аэрозоли - пыли, дымы и туманы. Л., Химия, 1969.
5. Воздушное распыливание жидкостей. Дальневосточный политехнический институт им. В.В. Куйбышева, Владивосток, - 1967.
6. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Распылители жидкостей. М., Химия, 1979.

7. Коузов П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. Л., Химия, 1974.
8. Ингалятор паровой с электроподогревом ИП2. Паспорт. Харьков, Облполиграфиздат, 1975.
9. Генератор электроаэрозолей ручной "Электрозоль-1". Техническое описание с инструкцией по эксплуатации.
10. Портнов Ф.Г. Электроаэрозольтерапия. Рига, Зинатне, 1976.
11. Рейнет Я.Ю., Виснапуу Л.Ю., Сула Э.В. Аэрозольное устройство для групповой вакцинации. - Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 348, Тарту, 1975.
12. Виснапуу Л.Ю. Распылитель с соплами Бергсона, снабженный стержневым индицирующим электродом. - Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 348, Тарту, 1975.
13. Цетлин В.М. и др. К некоторым вопросам оценки аэрозольных генераторов по степени дисперсности аэрозолей. - Труды ВНИИВС, т. 24, М., 1964.
14. Описание и временная инструкция по эксплуатации струйного аэрозольного генератора САГ-1. Покров, 1973.
15. Бондаренко И.М. Профилактика болезней животных аэрозолями вакцин. М., Колос, 1975.
16. Применение аэрозолей для борьбы с вредными насекомыми. Под ред. Куценого К.П. Новосибирск, Наука СО, 1978.
17. Тамме В.Б., Саммелсельг В.А. Система для генерирования латексных аэрозолей. - Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 588, Тарту, 1981, с. 102-107.

CONCERNING THE EFFICIENCY OF PNEUMATIC AEROSOL GENERATORS

M. Belov

S u m m a r y

The present paper deals with the operation of real pneumatic aerosol generators from the standpoint of their consumption of energy in the spraying of liquids.

To assess the efficiency of the operation of sprayers, it is proposed to use the coefficient of efficiency of spraying, which has been calculated for a number of aerosol generators.

It has been shown that if we multiply the action of the gas jet on the liquid to be dispersed, the efficiency of sprayers increases 2 - 5 times.

ВОЗДЕЙСТВИЕ АЭРОЗОЛИ ВОДЫ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ ОКСИДАНТОВ В ВОЗДУХЕ

Р.Э. Прийман, Л.Ю. Виснапу

Фотооксидантами (оксидантами) называют образующуюся в воздухе сумму химических соединений-окислителей, обуславливающих в частности образование фотохимического смога. Типичными представителями этих соединений являются озон, окислы азота, пероксиацилнитраты, различные перекисные соединения и свободные радикалы. В основном фотооксиданты образуются при воздействии ультрафиолетового (УФ) излучения на воздух. Некоторое количество оксидантов образуется при ионизирующих излучениях и электрических разрядах как в свободной атмосфере, так и в закрытых помещениях.

В медицинских кабинетах, в производственных и сельскохозяйственных помещениях, в которых пользуются УФ излучением в лечебных, технологических или бактерицидных целях, фотооксиданты образуются в качестве побочных продуктов. Их химическая разнообразность зависит от состава и количества примесей в воздухе. Основным фотооксидантом является озон. Большинство американских авторов считает, что среди других оксидантов концентрация озона варьирует в пределах 75...100% [1].

При наличии в воздухе примесей углеводородов или других органических, а также азот- и серосодержащих и прочих соединений, номенклатура возможных фотооксидантов расширяется как за счет прямого УФ воздействия, так и за счет воздействия озона на эти примеси. Как правило, фотооксиданты обладают более токсичными свойствами, чем исходные загрязнители воздуха. При наличии в воздухе ядер конденсации фотооксиданты частично адсорбируются на ядрах, участвуя в образовании токсичного аэрозоля - фотохимического смога.

Так как для образования фотооксидантов применяли, кроме УФ излучения, и коронный разряд, то в данном случае назовем образующиеся окислители просто оксидантами.

Целью настоящей работы было изучить воздействие искусственно заряженного и незаряженного аэрозоля дистиллированной

воды на оксиданты в проветренном закрытом лабораторном помещении с концентрацией пыли $0,10 \dots 0,12 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$.

Определенные количества оксидантов в воздухе создавали УФ облучателем и коронным ионизатором в отдельности и вместе при варьировании времени их работы.

В перерывах между экспериментами лабораторное помещение проветривали. Перед началом экспериментов в воздухе проверяли фоновое содержание оксидантов, что во всех случаях оказалось ниже чувствительности метода их анализа.

Суммарную концентрацию оксидантов определяли нейтральным иодидным методом, используемым в качестве стандартного метода анализа фотооксидантов в США [2]. Аналитическая последовательность метода описана в работе [3]. Окончательно концентрацию оксидантов определяли спектрофотометрически. Чувствительность метода составляла $20 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ в пересчете на озон.

При облучении незагрязненного воздуха в основном образуется озон. Доля концентрации других оксидантов ((органических кислот, перекиси водорода и др.) на один-три порядка меньше. Исходя из этого, суммарная концентрация оксидантов дана в пересчете на озон.

Одновременно с определением концентрации оксидантов измеряли полярную плотность заряда ионов, создаваемых облучателем и ионизатором, а также генераторами аэрозоля. Эти измерения проводили двумя счётчиками ионов типа САМ-ТТУ, имеющими точность измерений не менее 20%. Все пробы брали с расстояния 1 м от ионизатора и облучателя, установленных рядом друг с другом. После определённого времени работы облучателя, ионизатора и генератора аэрозоля определяли концентрацию оксидантов в воздухе. Аэрозоль воды, создаваемый тремя различными генераторами, направляли в зону измерения со стороны счётчиков ионов с расстояния 1 м от источников оксидантов (вариант I) и сзади источников оксидантов с расстояния 2 м от счётчиков ионов (вариант II). В экспериментах было предусмотрено, чтобы частицы аэрозоля воды не попадали в абсорбер для сбора оксидантов. Генераторами аэрозоля служили при варианте I распылитель со встречными струями [4] без сепаратора и с сепаратором крупных частиц и распылитель Бергсона с индуцирующим электродом [5], а при варианте II — пневматический распылитель с индуцирующим электродом [6]. Массовый расход диспергируемой этими

Таблица I

Уровни концентрации оксидантов и плотность заряда ионов в воздухе при различных условиях

Источники оксидантов, ионов и аэрозолей	Время работы источника, мин	Концентрация оксидантов, мкг.м ⁻³	Полярная плотность заряда ионов, 10 ⁹ э.з.м. ⁻³ , при предельных поляриностях k_0			
			$k_0 = 10^{-5} \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$		$k_0 = 10^{-2} \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$	
			+	-	+	-
Фон лабораторного помещения	-	-	0,3	0,2	1,4	1,1
Облучатель + ионизатор	10	120	0,6	73	2,5	85
	30	360	0,6	72	2,5	85
Облучатель	10	80	2,1	3,9	3,3	5,2
	30	280	2,1	3,9	3,3	5,2
Ионизатор	10	40	0,4	70	1,1	82
	30	100	0,4	70	1,1	82
	120	140	0,4	70	1,1	82
Распылитель со встречными струями без сепаратора крупных частиц	3	-	0,4	2,9	0,9	8,5
Тот же распылитель с сепаратором	3	-	20,0	115	20,0	135
Распылитель Бергсона с индуцирующим электродом	3	-	-	250	-	270
Пневматический распылитель с индуцирующим электродом	3	-	-	265	-	330

распылителями воды составляли соответственно 2,0; 0,3; 0,5 и 3,5 г·с⁻¹. Исходное давление скатого воздуха при этом равнялось 0,2 МПа. Создаваемые концентрации оксидантов были выбраны в несколько раз выше, ниже и на уровне ПДК. Исходная концентрация оксидантов при исследовании воздействия аэрозоля на оксиданты создавалась так же, как в предыдущих экспериментах по определению их исходной концентрации.

Воздействие конвекционных потоков воздуха, создаваемых генераторами аэрозоля, на концентрацию оксидантов проверяли т.н. холостым опытом при исходной концентрации оксидантов 455 мкг·м⁻³. Результаты показали, что поток воздуха без распыла воды на концентрацию оксидантов в исследуемой зоне практически не сказывался. Концентрации оксидантов и плотности заряда ионов в воздухе при различных условиях работы их источников даны в табл. I. Значения концентрации оксидантов, определённые при 10-минутной аспирации исследуемого воздуха непосредственно после выключения источников оксидантов, ионов и аэрозоля при различных начальных концентрациях оксидантов, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Концентрации оксидантов при взаимодействии с аэрозолем дистиллированной воды

Начальная концентрация оксидантов, мкг·м ⁻³	Доля концентрации оксидантов			
	Распылитель со встречными струями		Распылитель Бергсона с индуцирующим электродом	Пневматический распылитель с индуцирующим электродом
	без сепаратора крупных частиц	с сепаратором крупных частиц		
360	0,39	0,11	0,34	0,22
280	0,43	0,14	0,36	0,23
140	0,57	0,14	0,43	0,28
120	0,67	0,17	0,50	0,33
100	0,80	0,20	0,60	0,40
80	0,80	0,25	0,75	0,50
40	1,00	0,50	1,00	1,00

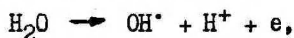
Результаты экспериментов показывают, что аэрозоль воды,

полученный генератором аэрозоля со встречными струями с сепаратором крупных частиц, наиболее эффективно уменьшает концентрацию оксидантов. Это уменьшение составляет около 90% при начальной концентрации оксидантов свыше $300 \text{ мкг}\cdot\text{м}^{-3}$ и 80...90% при $100\text{...}300 \text{ мкг}\cdot\text{м}^{-3}$. При концентрации оксидантов ниже $100 \text{ мкг}\cdot\text{м}^{-3}$ воздействие аэрозоля уменьшается, составляя, например, только 50% при начальной концентрации оксидантов $40 \text{ мкг}\cdot\text{м}^{-3}$. При применении генератора аэрозоля без сепаратора крупных частиц эффективность воздействия меньше в среднем в 2-4 раза. При концентрациях оксидантов ниже уровня ПДК эффективность воздействия заметно падает и отсутствует вообще при исходной концентрации менее $40 \text{ мкг}\cdot\text{м}^{-3}$.

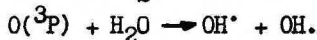
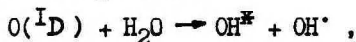
Исходя из теории физико-химических превращений в воздушной среде при воздействии ионизирующих излучений [7], воздействие аэрозоля воды на оксиданты, в частности на озон, можно объяснить следующим образом.

В созданных экспериментами условиях в воздухе образуются возбужденные молекулы кислорода O_2^* , ионы кислорода O_2^- , атомы кислорода O в возбужденном $O(^1D)$ и в основном $O(^3P)$ состояниях, которые при взаимодействии как между собой, так и с нейтральными молекулами и атомами приводят к образованию озона.

При подаче аэрозоля воды в зону облучения капли испаряются. Молекулы водяного пара могут либо сами возбуждаться H_2O^* или диссоциативно ионизироваться:

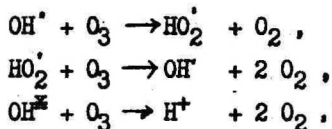


либо, что наиболее вероятно, реагировать с атомами кислорода, образуя радикалы гидроксила:



Образующиеся радикалы OH в возбужденном и основном состояниях приводят к уничтожению озона:

* Звездочкой отмечено возбужденное состояние молекулы, атома или радикала.



При подаче предварительно сепарированного от крупных частиц аэрозоля воды эффективность воздействия на озон большая, чем при подаче несепарированного аэрозоля, т.к. в первом случае образуется большее количество молекул водяного пара. Во втором случае, кроме некоторого взаимодействия паров воды с атомами кислорода, уменьшение концентрации оксидантов может быть обусловлено растворением озона в относительно крупных каплях воды.

В свете приведенных выше реакций в принципе такой же эффект воздействия на озон должен иметь водяной пар, подаваемый в зоны УФ излучения и источников оксидантов.

По данным экспериментов можно заключить, что существуют оптимальные значения заряженности и дисперсности аэрозольных частиц, при которых эффективность воздействия на оксиданты максимальная.

Полученные результаты являются одними из первых. Они представляют интерес для дальнейших исследований, позволяющих установить механизм воздействия частиц аэрозоля в системах с водородной связью на оксиданты, а также на другие токсичные примеси в воздухе.

Л и т е р а т у р а

1. Попов В.А., Печеникова Е.В. Определение озона и перекисных соединений.—В сб.: "Проблемы аналитической химии", том VI: Методы определения газообразных загрязнений в атмосфере. М., "Наука", 1979, с. 39-61.
2. Methods of air sampling and analysis. Intersociety Committee, Washington, D.C.: Amer. Public Health Assoc., 1973, p. 480.
3. Перегуд Е.А., Гернет Е.В. Химический анализ воздуха промышленных предприятий. Л., "Химия", 1973, 439 с.
4. Виснапуу Л.Ю., Талалай М.Л., Бердичевский Д.М. Аэрозольный генератор. Авт. св. СССР № 735257, Бюл. изобр., 1980, № 19, с. 16.

5. Виснапуу Л.Ю. Распылитель с соплами Бергсона и индуцирующим электродом для создания ингаляционных электроаэрозолей.- Учен. зап. Тартуск.гос. ун-та, вып. 409, Тарту, 1977, с. 140-146.
6. Виснапуу Л.Ю. Пневматический распылитель с индуцирующим электродом.- Учен. зап. Тартуск.гос. ун-та, вып. 320, Тарту, 1973, с. 209-216.
7. Пшежацкий С.Я., Дмитриев М.Т. Радиационные физико-химические процессы в воздушной среде. М., "Атомиздат", 1978. 181 с.

INFLUENCE OF AQUEOUS AEROSOLS ON THE CONCENTRATION
OF OXIDANT ADMIXTURES IN THE AIR

R. Priiman and L. Visnapuu

S u m m a r y

The authors investigated the influence of charged aqueous aerosols with various initial characteristics on the oxidants formed in a closed room as a result of ultraviolet radiation and artificial ionization of the air at concentrations ranging from 40...360 $\mu\text{g.m}^{-3}$. The methods of designing and carrying out of the experiments and the analyses have been described. It has been shown that the efficiency of reducing the oxidants concentration is highest when the charged spray of distilled water is used; the latter is produced by a fogger with meeting jets provided by a separator of large droplets. In this case within the limits of the initial concentration of oxidants 200...360 $\mu\text{g.m}^{-3}$ the average efficiency is 90%. When the initial concentration of oxidants is equal to or lower than 40 $\mu\text{g.m}^{-3}$, the efficiency of this influence either decreases sharply or is lacking altogether.

О ДИФФУЗИОННОМ ОСАЖДЕНИИ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ
НА ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТЕНКАХ

Э.В. Сула

При исследовании эволюции спектра аэрозольных частиц в камерах возникает вопрос о потере частиц на вертикальных стенках камеры. Скорость диффузионного осаждения частиц на вертикальные стены камеры пропорциональна концентрации и описывается следующим уравнением:

$$\frac{dn}{dt} = -\frac{SD}{V\delta} n,$$

где n - счетная концентрация частиц,

S, V - соответственно площадь боковых стен и объем камеры,

D - коэффициент молекулярной диффузии частиц [1],

δ - толщина пристенного слоя, где действует лишь молекулярная диффузия.

Величина δ введена в теорию в связи с трудностями, возникшими при описании конвективной диффузии около стенки. Экспериментальные исследования разных авторов дали величину δ от 0,5 до 20 мкм [2, 4].

В настоящей работе делается попытка определения границ величины δ при измерении эволюции спектра частиц хлористого натрия в постоянно укрупняющем аэрозоле. Измерения проводились в цилиндрической камере объемом $V = 141000 \text{ см}^3$, высотой $h = 70,5 \text{ см}$ и площадью стен $S = 11200 \text{ см}^2$. Аэрозоль генерировался с постоянной объемной скоростью $\omega = 46,7 \text{ см}^3/\text{с}$ (массовая концентрация частиц в аэрозоле $3,4 \cdot 10^{-7} \text{ г/см}^3$) методом барботажа. Спектр частиц на выходе генератора лог-нормальный. Спектральные измерения частиц аэрозоля проводились сцинтилляционным спектральным анализатором фирмы "Сарториус".

Эволюцию спектра характеризует следующее интегро-дифференциальное уравнение [3]:

$$\frac{\partial n(r, t)}{\partial t} = \frac{1}{2} \sum_{\substack{R, R' \\ r^2 = R'^2 + R^2}} \varphi(R, R') n(R, t) n(R', t) - n(r, t) \sum_R \varphi(r, R) n(R, t) - \left(\frac{\omega}{V} + \frac{v(r)}{h} + \frac{SD}{\delta V} \right) n(r, t) + S(r), \quad (1)$$

где первые два члена характеризуют коагуляцию, третий член - выход аэрозоля из камеры, гравитационное осаждение и диффузионное осаждение на стенках, четвертый - источник аэрозоля. Функцией коагуляции φ использовалась функция Фукса [4]. Уравнение (I) решалось численным методом при разных величинах δ , из работ [2, 4], на ЭВМ НАИРИ-3/2. Методика решения описана в [3, 5].

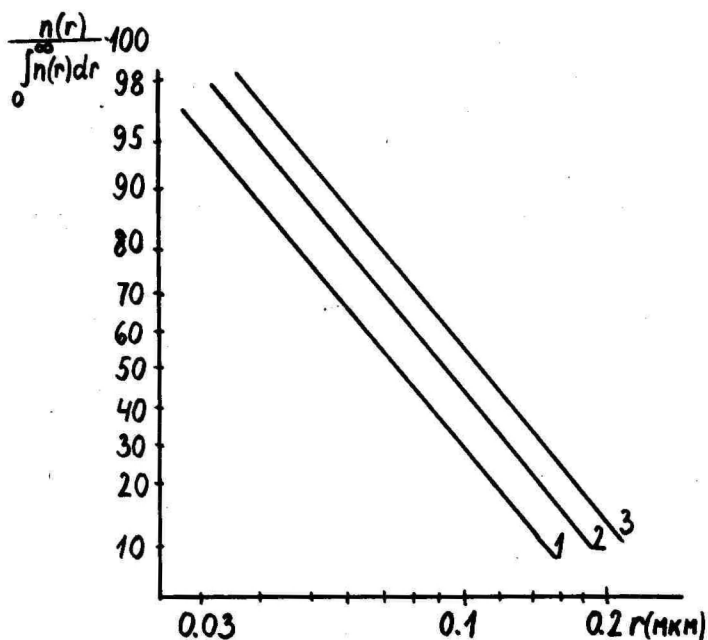


Рис. I. Интегральные распределения частиц аэрозоля.

- 1 - распределение частиц генератора аэрозоля;
- 2 - стационарное распределение частиц в тест-камере ($\delta \geq 10$ мкм);
- 3 - стационарное распределение частиц в тест-камере ($\delta = 1$ мкм).

На рис. I приведены кумулятивные кривые распределения частиц аэрозоля. Кривая I соответствует спектру генератора аэрозоля ($r_g = 0,14$ мкм, $\sigma_g = 1,71$). Кривая 2, полученная сглаживанием экспериментального квазистационарного распределения методом наименьших квадратов, с большой точностью совпадает с решением уравнения (I) при $\delta > 10$ мкм. С уменьшением δ увеличивается средний размер частиц. Кривая 3, полученная из уравнения (I), соответствует квазистационарному спектру частиц при $\delta = 1$ мкм. Сопоставляя теоретическое

решение уравнения (I) и результаты измерений можно сделать вывод, что $\delta > 10$ мкм.

Из вышесказанного следует, что в рассматриваемом интервале размеров твердых частиц аэрозоля хлористого натрия диффузионное осаждение не влияет на спектр частиц в камере.

Л и т е р а т у р а

1. Walter H., Coagulation and size distribution of condensation aerosols, J. Aerosol Sci., 1973, vol. 4, p. 1-15.
2. Mulholland G.W., Lee, T.G., Baum H.K. The Coagulation of Aerosols with Broad Initial Size Distribution. J. Coll. Int. Sci., 1977, vol. 62, No. 3, p. 406-420.
4. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. М., изд. АН СССР, 1955.
5. Сула Э.В. Кинетика коагуляции в аэрозольной системе при постоянном притоке и стоке частиц.-Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 409, Тарту, 1977, с. 125-131.

ON THE DIFFUSIVE DEPOSITION OF AEROSOL PARTICLES ON VERTICAL WALLS

E. Sula

S u m m a r y

Experimental measurements of the quasi-stationary spectrum of reinforced aerosols have shown that the thickness of the layer close to a vertical wall (where only molecular diffusion takes place) is over 10 μ m.

ГРАНУЛОМЕТР АЭРОЗОЛЯ НА ЛИНИИ С МИНИ-ЭВМ "ЭЛЕКТРОНИКА ДЗ-28"

А.А. Мирме

Определение распределения частиц аэрозоля по размерам электрогранулометром [1] разделено на два этапа. На первом этапе проводится измерение и запись данных на перфоленту. На втором - осуществляется математическая обработка этих данных и вычисление спектра на ЭВМ. Одно измерение включает в себя ряд циклов накопления сигналов (режим М) попеременно с циклами определения нулевого уровня (режим О). Запись на перфоленту проводится в конце каждого цикла. Длительность цикла составляет обычно 20 + 30 с. Всего на одно измерение требуется не менее 8 + 10 циклов.

Порядок работы гранулометра определен его электрической схемой. Вручную устанавливается только предел измерения АЦП (I или IO В) и длительность цикла (в пределах от 10 до 60 с) и только перед измерением. Во время измерения этого делать нельзя.

Такой способ измерения обеспечивает экономную запись информации, но занимает много времени, т.к. половина времени расходуется неэффективно. Кроме того, некоторое время требуется на определение оптимального режима измерения.

При работе в стационарных условиях, когда спектр аэрозоля стабилен, большая продолжительность измерения не существенна, но она не позволяет использовать гранулометр для измерения в нестационарных условиях. В этом случае необходимо применить более быстрый способ измерения и обязательно ввести автоматический выбор режима работы и его коррекцию по ходу измерения.

Наиболее универсальным решением является непосредственное подключение гранулометра к ЭВМ.

В лаборатории аэроионизации и электроаэрозолей ТГУ такая система реализована на базе мини-ЭВМ ДЗ-28. При этом исходили из следующих принципов.

1. Передать под управление ЭВМ максимально возможное количество операций гранулометра.

2. Исключить все вспомогательные устройства гранулометра, они имеются в составе периферийных устройств ЭВМ.

3. Максимально использовать уже разработанные узлы гранулометра.

Для связи с внешними устройствами ЭВМ типа ДЗ-28 имеет три шины по восемь линий. То есть, по одной шине одновременно передается 1 байт информации. Шины УПР и Выв предназначены для вывода команд, а шина Ввод для ввода информации. Кроме того, имеются линии для передачи и приема синхроимпульсов и других служебных сигналов. Здесь горизонтальная черточка над обозначением означает, что указанные обозначением сигналы по данной шине (линии) передаются в инвертированном виде, т.е. всем нулевым сигналам соответствуют высокие уровни потенциалов, а всем единичным - низкие.

Команды, которые используются для управления гранулометром, приведены в табл. I

Таблица I

Команды управления гранулометром

Выв	УПР		Тип команды
	г0	г1	
xxx 0	подключить	1 канал к АЦП	I
xxx 1	"	2 "	I
...
xxx 25	подключить	26 канал к АЦП	I
xxx 26	резерв	резерв	
xxx 27	"	"	
		режим	
xxx 28	0	М	2
		вентилятор	
xxx 29	выкл.	вкл.	2
		зарядка	
xxx 30	выкл.	вкл.	2
		электрометры	
xxx 31	выкл.	вкл.	2, I
		измерение	
-	Ю В	I В	-

Гранулометр принимает команды только тогда, когда код на шине УПР совпадает с одним из двух номеров (г0 или г1), присвоенных гранулометру как внешнему устройству ЭВМ. Номера отличаются друг от друга только по младшему разряду. В первом случае этот разряд равен нулю, во втором - единице. В зависимости от этого, гранулометр может реагировать на одну и ту же команду по-разному.

Сами команды, кроме команды измерения, определяются младшими пятью разрядами шины Выв. В таблице они обозначены

десятичными числами. Состояния остальных трех разрядов безразличны и обозначены крестиками. Время действия команды в гранулометре зависит от ее типа. Команда I-го типа действует до поступления любой другой команды, кроме команды измерения, которая не влияет на действие остальных команд. Команда 2-го типа сохраняет свое действие до поступления той же команды, но с другим значением кода на шине УПР. Пример: действует команда xxx 0 при п.0 или п.1, безразлично - подключение I-го канала, она действует до следующей команды. Допустим, что следующей поступает команда xxx 28 при п.0 - режим 0. После этого снимается команда xxx 0 и включается режим 0, если до этого был режим М. А если уже был режим 0, то он сохраняется.

Команда xxx 31 при п.0 - 2-го типа, а при п.1 - первого. Команда измерения запускается сигналом ввода информации в ЭМ по синхронизирующим линиям, и не использует шину Выв. По этой команде устанавливается предел измерения АЦП и измеряется аналоговый сигнал, поданный на вход АЦП (какому это соответствует каналу - определяется действующей в это время командой по шине Выв.). И производится ввод информации в ЭМ по шине Ввод в виде двух последовательных байтов.

Восьмой (старший) бит первого байта занимает знаковый разряд АЦП. 7-ой, 6-ой и 5-ый биты занимают признаки режима (0 или М), состояния электрометра данного канала (рабочее или заблокированное) и предела измерения АЦП соответственно. 4-ый и 3-ий биты в резерве, 2-ой, 1-ый биты и весь второй байт занимают разряды АЦП.

При делении команд на типы учитывается, что во время действия команды типа "включение канала" подается только команда "измерение". Подавать в это время другие команды нет необходимости. Поэтому команда "измерение" реализована так, чтобы она не влияла на действие остальных команд, а команды каналов отнесены к первому типу. Ко второму типу относятся команды, подача и снятие которых должны быть независимы от всех остальных команд.

Команды включения и выключения электрометров имеют особенность. Включение одного не означает автоматического снятия другого. Выключение следует естественно отнести ко второму типу. По другому обстоит дело с включением. Схемы защиты включают электрометры только по переднему фронту команды включения. Тем самым обеспечивается возможность выключе-

ния любого электрометра в любое время по собственной инициативе (перегрузка). Отнесение команды включения электрометров к первому типу позволяет осуществить повторное включение таких электрометров без предварительного принудительного выключения всех других.

Такая система команд позволяет реализовать все функции "старого" гранулометра, но уже без вмешательства человека под управлением ЭВМ. Кроме того, путем добавления новых команд можно легко расширить возможности гранулометра, например, в смысле самоконтроля.

В состав "старого" гранулометра входили следующие узлы: измерительный блок, блок управления, перфоратор, часы и аналоговый дисплей (АЦД отнесен в состав блока управления). В измерительном блоке имелись Д- и Е-зарядники, два анализатора подвижностей с 26-ю выходами, система протяжки воздуха и аэрозоля, система электропитания анализаторов и зарядников и коммутатор зарядки. К каждому выходу анализаторов был подключен свой электрометр. Совокупность выходных напряжений электрометров и образовали представление о спектре аэрозоля.

Блок управления осуществлял общее управление всем гранулометром (схема управления) и регистрацию информации на перфоленту (схема записи). То есть, он выполнял приведенные в табл. I команды, но в жестко заданной последовательности. Коммутатор каналов обеспечивал подключение выхода очередного электрометра к входу АЦД, который преобразовал напряжение на нем в удобную для записи цифровую форму. Включение-выключение электрометров осуществляется схемой защиты. Ее основная обязанность - выключить электрометр, если напряжение на его выходе превысило допустимую величину. Часы служили для привязки работы гранулометра к реальному времени. В принципе аналоговый дисплей мог бы обеспечить удобный визуальный контроль за спектром аэрозоля, но отсутствие достаточно точных, но простых и дешевых индикаторов не позволили пока выполнить его на должном уровне.

С учетом приведенных выше принципов в состав "нового" гранулометра были включены только измерительный блок и блок управления. При этом оказалось возможным оставить измерительный блок без всяких изменений. Без изменений остались и схемы защиты (УЗ) и коммутатор каналов (КК) и АЦД. Схемы управления и записи были заменены на схему связи с ЭВМ в составе двух схемных плат - платы управления гранулометром (УГ) и

платы сопряжения с АЦП (СП). На рис. 1 приведена поплата функциональная схема блока управления.

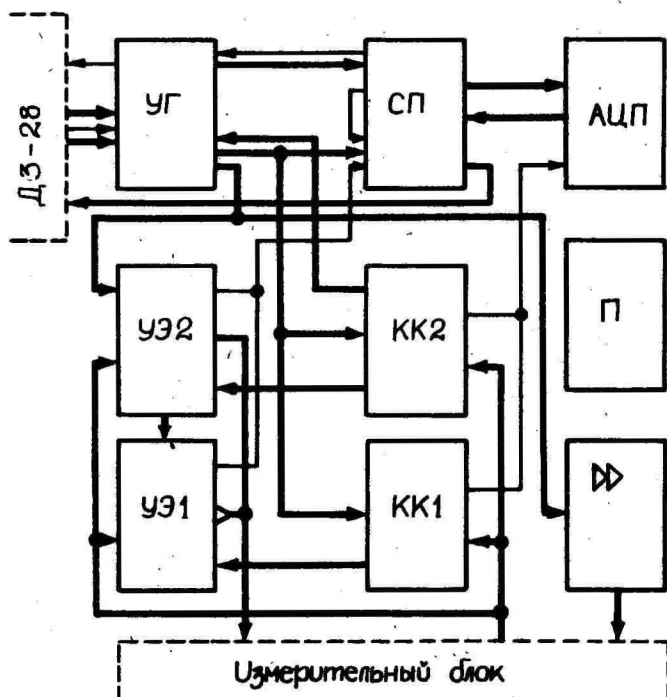


Рис. 1. Функциональная схема блока управления.

Новый блок содержит всего 7 плат. В старом их было 12, не говоря уже о упрощении логической структуры и о заметном уменьшении помех вследствие исключения сильноточных цепей управления перфоратором.

Плата УГ (рис. 2) принимает команды ЭМ, запоминает их и выдает на остальные узлы гранулометра. Дешифратор 1 определяет соответствие кода на шине УИР с номерами гранулометра. Он вырабатывает сигнал "разрешение", если совпадение имеется. Дешифратор 2 по сигналам СИМ (синхроимпульс машины) и БВ определяет момент приема команд, вырабатывая сигнал записи состояния шины БВБ в регистр 3. Одновременно через схему задержки 5 выдается сигнал СИП на ЭМ, подтверждающий прием. Если ЭМ подает команду "Измерение", то дешифратор 2 вырабатывает сигнал "ввод". Дешифратор пол-

ностью блокирован, если "разрешение" отсутствует. В качестве дешифраторов кода команды используются коммутаторы каналов. Команды I-го типа получают непосредственно на соответствующих выходах коммутаторов, и если они являются командами включения каналов, то и исполняются самими коммутаторами. Во избежание прохождения ложных команд, производится блокировка коммутаторов на время смены кода команды сигналом "запрет". Команды второго типа формируются путем запоминания состояния младшего бита шины УПГ в соответствующем данной команде триггере запоминающего устройства 4.

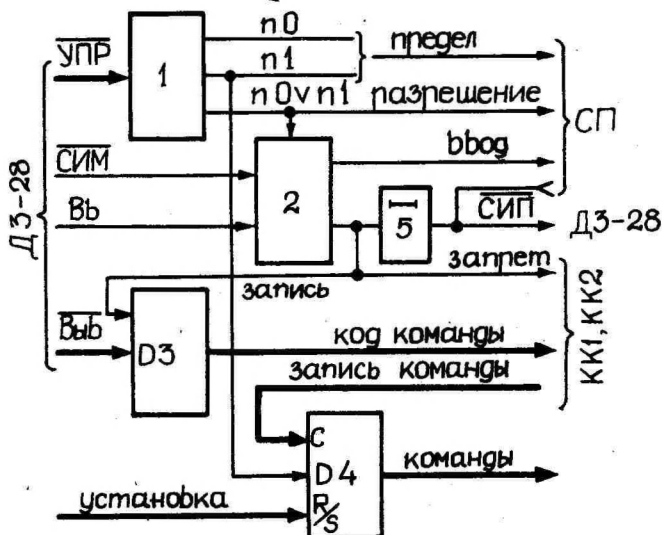


Рис. 2. Плата управления гранулометром.

Сигналом запоминания служит фронт соответствующей команды I-го типа.

Имеется возможность ручной подачи команд (шина "установка"). Для ввода информации в ЭВМ служит плата СП (рис.3). С платы УГ она получает сигнал "разрешение", команду ввода и признак предела измерения. Для выдачи всей информации необходимы подряд две команды ввода. По первой — дешифратором I устанавливается переключатель 2 предела измерения АЦП и через схему задержки 3 запускается АЦП. Устройство 4 по сигналу "конец измерения" с АЦП подает через выходные ключи 5 на шину Ввод первый байт информации. Одновременно подается

синхросигнал $\overline{CII\Pi}$ схемой 6. По второй команде ввода выдается второй байт и подается второй $\overline{CII\Pi}$.

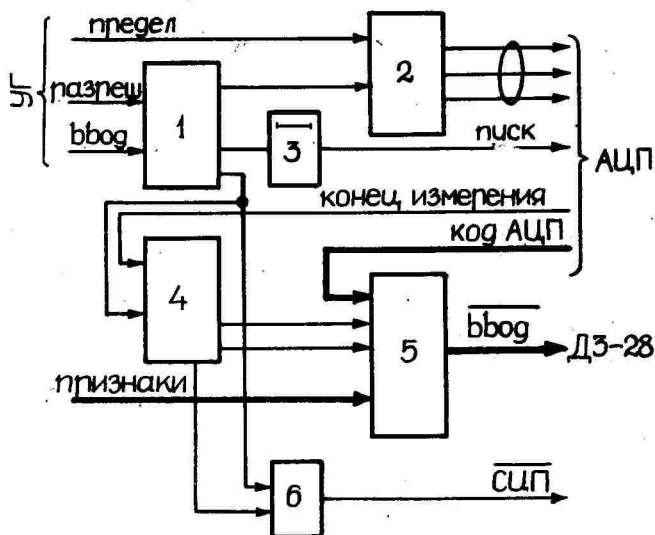


Рис. 3. Плата сопряжения с АЦП.

Конструктивно платы выполнены так же, как и прежняя схема. Используются интегральные схемы I55-ой серии с соответствующими уровнями сигналов.

Л и т е р а т у р а

1. Мирме А.А., Тамм Э.И., Таммет Х.Ф. Электрогранулометр аэрозольных частиц с широким пределом измерения. - Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 588, Тарту, 1981, с. 84 - 91.

AN ELECTRICAL AEROSOL ANALYZER COMBINED WITH
A MINICOMPUTER OF THE TYPE "ELECTRONICS D3-28"

A. A. Mirme

S u m m a r y

By combining an electrical aerosol analyzer directly with a computer it is possible to considerably reduce the length of the time consumed for measuring and for the processing of experimental data. In this way it is possible to organize an automatically adaptable measuring process, self-

supervision, etc. The paper gives a short description of the commands required for the control of the analyzer.

A minicomputer of the type "Electronics D3-28" has been used. The control module has been modified according to the requirements of the computer. Block diagrams and descriptions of the operation of the necessary elements have been presented.

РЕЗИСТИВНЫЙ ИСТОЧНИК МАЛОГО ИМПУЛЬСНОГО ТОКА

М.Х. Ансо

Исторически электрометрия возникла и развивалась в первую очередь как часть электрических измерений, занимающаяся измерениями постоянных и медленно меняющихся сигналов от высокоомных цепей. По-видимому, ограничение статическими измерениями было вызвано, с одной стороны, специфическими потребностями научных исследований, а с другой стороны, техническими возможностями создания электрометров. Из теоретических соображений жестких требований к ширине спектра малого тока электрометрического диапазона (токи ниже 10^{-9} А [1]) не предъявляют. Важно лишь, чтобы шумы электрометра с полосой пропускания, равной ширине спектра исследуемого сигнала, не превышали заданной величины. При этом нижняя граничная частота этой полосы не обязательно должна быть нулевой или даже "низкой".

В настоящее время во многих областях науки и техники (газовая хроматография, биофизика и химия, физика полупроводников, автоматическое управление) можно отметить возрастающий интерес к измерению малых переменных токов или токов импульсной формы. Совершенствуется также соответствующая измерительная аппаратура — верхняя граничная частота полосы пропускания измерителей малых токов (ИМТ) достигает нескольких килогерц [2].

Одновременно создается потребность в генераторах малых переменных или импульсных токов, могущих служить в качестве источников испытательных (возбуждающих исследуемые процессы) сигналов или для поверки самих ИМТ.

Весьма удобным с практической точки зрения является резистивный источник малого импульсного тока (РИИТ), выходной ток которого создается генератором напряжения, подключенным к нагрузке через высокоомный резистор. Однако, из-за емкостной составляющей резистора на высоких частотах происходит искажение формы выходного тока РИИТ по сравнению с формой управляемого напряжения.

На рис. 4а изображена реакция быстродействующего электрометра на ток генерируемый через высокоомный резистор ($R = 1000 \text{ ГОм}$) при подаче на него ступенчатого напряжения ($U_0 = 1 \text{ В}$). В начальной стадии импульса наблюдается выброс, на несколько порядков превышающий установившееся значение тока.

Если представить высокоомный резистор с импедансом z_0 как параллельное включение омической составляющей R_1 и емкостной составляющей z :

$$z_0 = R_1 z / (R_1 + z), \quad (1)$$

то подключением между генератором напряжения U и резистором делителя с коэффициентом передачи $\gamma(p)$:

$$\gamma(p) = z / (R_1 + z) \quad (2)$$

можно скорректировать частную погрешность РИИТ (рис. 1)

$$J(p) = U(p) \cdot \gamma(p) / z_0 = U(p) / R_1. \quad (3)$$

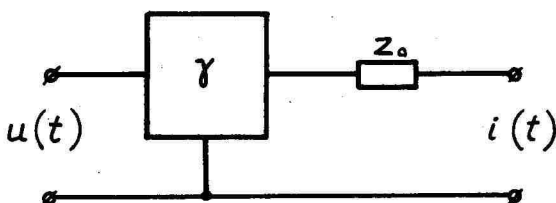


Рис. 1. РИИТ с коррекционным делителем напряжения.

Импеданс z_0 можно представить в следующем виде [3]:

$$z_0 = R_1 \frac{T_2 p + 1}{(T_1 p + 1)(T_3 p + 1)}, \quad (4)$$

чему соответствует эквивалентная схема резистора по рис. 2. Согласно эквивалентной схеме

$$z_0 = R_1 \frac{R_2 C_2 p + 1}{R_1 C_1 R_2 C_2 p^2 + (R_1 C_1 + R_1 C_2 + R_2 C_2) p + 1} \quad (5)$$

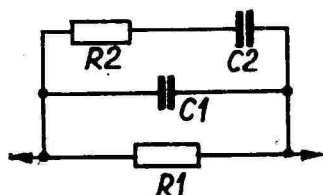


Рис. 2. Эквивалентная схема высокоомного измерительного резистора.

На основе сравнения выражений (4) и (5) можно показать, что в (4) постоянные времени связаны соотношением:

$$T_1 > T_2 > T_3 \quad (6)$$

Величины элементов R_1 ; R_2 ; C_1 ; C_2 варьируются для каждого экземпляра резистора и заранее неизвестны. Для их экспериментального определения и, тем самым, для создания делителя по (2) целесообразно собрать на базе этого резистора ИМТ [4] по схеме, приведенной на рис. 3. Здесь коэффициенты передачи делителей обратной связи выражаются в следующем виде:

$$\alpha(p) = \frac{R_4 C_3 p + 1}{(R_3 + R_4) C_3 p + 1} = \frac{T_5 p + 1}{T_4 p + 1}, \quad (7)$$

$$\beta(p) = \frac{1}{R_5 C_4 p + 1} = \frac{1}{T_6 p + 1} \quad (8)$$

и коэффициент передачи всего устройства:

$$w(p) = \frac{z_0}{\alpha(p) \cdot \beta(p)}. \quad (9)$$

Для определения z_0 по (I) и, тем самым, элементов делителя по (2) надо настроить схему по рис. 3 так, чтобы ступенчатый скачок входного тока передавался на ее выход в виде ступенчатого скачка напряжения. Это происходит, если постоянные времени в (7) и (8) соответственно равны постоянным времени в (4).

Методика настройки делителей $\alpha(p)$ и $\beta(p)$ следующая: в цепи обратной связи электрометрического усилителя ЗУ соответствующим подбором T_6 следует компенсировать наименьшую из постоянных времени в формуле (6), т.е. T_3 . Если все-таки $T_6 \neq T_3$, передаточная функция ЗУ будет иметь вид:

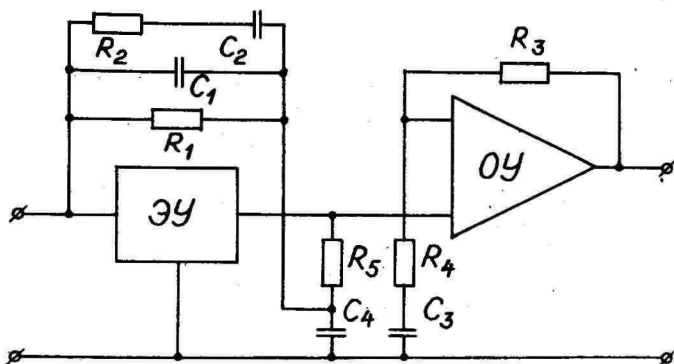


Рис. 3. Схема электрометрического измерителя малых токов для экспериментального определения величин элементов эквивалентной схемы высокоомного резистора.

$$w_1(p) = R_1 \frac{(T_2 p + 1)(T_6 p + 1)}{(T_1 p + 1)(T_3 p + 1)}, \quad (10)$$

а переходная характеристика:

$$g_1(t) = R_1 (1 + a e^{-t/T_1} - b e^{-t/T_3}), \quad (11)$$

где

$$a = \frac{T_1 T_2 + T_1 T_6 - T_1^2 - T_2 T_6}{T_1 (T_1 - T_3)}, \quad (12)$$

и

$$b = \frac{T_2 T_3 + T_3 T_6 - T_3^2 - T_2 T_6}{T_3 (T_1 - T_3)}. \quad (13)$$

Разложив в формуле (11) экспоненты в ряд и ограничившись двумя первыми членами разложения:

$$e^{-t/T_1} \approx 1 - \frac{t}{T_1} \quad \text{и} \quad e^{-t/T_3} \approx 1 - \frac{t}{T_3}, \quad (14)$$

после несложных вычислений можно показать, что как только $T_3 < T_6 \cdot d$, где

$$d = \frac{T_3^2 (T_1 - T_2) + T_1^2 (T_2 - T_3)}{T_1 T_3 (T_1 - T_3)}, \quad (15)$$

первая производная от $g_1(t)$ в области времен $0 \leq t < T_3$ будет отрицательной. Это означает, что выходное напряжение ЭУ $U_1(t)$ при реакции на ступенчатое изменение входного тока будет иметь выброс. С точностью, с которой можем считать d равным единице $d = 1$ критерием равенства $T_6 = T_3$ будет

момент исчезновения этого выброса при уменьшении T_6 .

После установления $T_6 = T_3$ функции $w_1(p)$ и $g_1(t)$ принимают следующий вид:

$$w_1(p) = R_1(T_2 p + 1) / (T_1 p + 1), \quad (16)$$

$$g_1(t) = R_1 \left(1 + \frac{T_2 - T_1}{T_1} e^{-t/T_1} \right). \quad (17)$$

Согласно (17) при $t = 0$ выходное напряжение $U_1(t)$ испытывает скачок с относительной высотой T_2/T_1 к установившемуся значению. Так как для полной коррекции $w(p)$ должно быть $T_4 = T_1$, $T_5 = T_2$, то сравнивая формулы (7) и (16) можем определить

$$\frac{R_4}{R_3 + R_4} = \frac{T_2}{T_1}. \quad (18)$$

Равенство (18) определяет значения R_3 и R_4 в относительных единицах, причем их абсолютные значения можно выбрать произвольно. Равенства $T_4 = T_1$, $T_5 = T_2$ достигаются подбором соответствующей емкости конденсатора C_3 . После этого система считается настроенной, и входной скачкообразный сигнал передается на выход устройства без искажений. Теперь подстановкой полученных значений T_1 , T_2 , T_3 в (4) и решением (4) совместно с (5) можно определить величины элементов эквивалентной схемы резистора в относительных величинах и, тем самым, величины элементов делителя $\gamma(p)$.

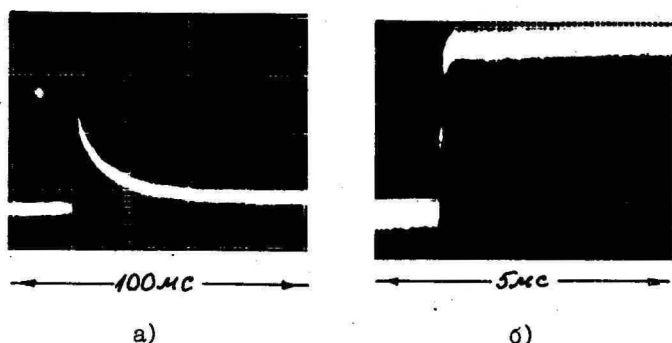


Рис. 4. Осциллограммы реакций быстродействующего ($\tau < 0,1$ мс) электрометра на ток генерируемый нескорректированным (а) и скорректированным (б) РИИТ при воздействии на них ступенчатого напряжения $U_0 = 1$ В и $U_0 = 30$ В соответственно.

На рис. 4б изображена реакция быстродействующего электрометра на ток, генерируемый скорректированным РИИТ ($R_1 = 1000 \text{ Ом}$) при подаче на него ступенчатого напряжения ($U_0 = 30 \text{ В}$). Время переходного процесса соответствует быстродействию самого электрометра ($\tau < 0,1 \text{ мс}$). Следовательно, в полосе пропускания электрометра выходной сигнал РИИТ с делителем можно считать неискаженным и совпадающим по форме с выходным напряжением генератора напряжения.

Л и т е р а т у р а

1. Средства измерений электрометрические (общие технические требования). ГОСТ 23913-79.
2. Ансо М.Х. Широкополосный усилитель малого тока УТ 8105, ПТЭ, 1982, 4, с. 257.
3. Ансо М.Х. Методы повышения быстродействия электрометрических измерителей малых токов. - Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 534, Тарту, 1980, с. 3-20.
4. Ансо М.Х. Быстродействующий измеритель малых токов. Авт. св. СССР № 813259.

A RESISTIVE MICROCURRENT PULSE GENERATOR

M. Anso

S u m m a r y

The resistive microcurrent pulse generator discussed in this paper consists of a voltage pulse generator, of a resistor and a correcting circuit. The structure of this correcting circuit and the method of its tuning are described. This resistive microcurrent pulse generator produces a current waveform which is essentially identical with the waveform of the voltage pulse generator.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ ТОКОВЫХ ПОМЕХ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ В ДИНАМИЧЕСКОМ ЭЛЕКТРОМЕТРЕ

Ю. А. Хяммалов

Увеличение реальной чувствительности по току электрометрических усилителей с динамическим конденсатором ограничено так называемыми токовыми помехами, которые представляют собой самопроизвольно изменяющиеся паразитные токи [1]. Причины возникновения токовых помех разные, но в основном они связаны с явлениями в изоляторе и с действием ионизирующих излучений в газе [1, 2, 3].

Кроме того, токовые помехи могут быть вызваны адсорбцией-десорбцией газов на поверхностях входных элементов электрометрического усилителя. Известно, что адсорбционные процессы на поверхностях металлов очень сильно влияют на работу выхода электронов [4], изменение которой при электрометрических измерениях тока может быть зафиксировано в виде возникающих токовых помех.

Идея о действии адсорбционных процессов на токовые помехи была выдвинута в 1976 г. при исследовании вакуумированного входного устройства динамического электрометра [5], где наблюдалось сильное влияние случайных колебаний температуры на уровень токовых помех.

В данной работе ставилась цель обосновать экспериментальными данными выдвинутую идею о влиянии адсорбции газов на уровень токовых помех. С этой целью была сконструирована измерительная установка, с помощью которой проводились наблюдения за изменением уровня токовых помех, возникающих вследствие изменения температуры входных элементов.

Измерительная установка

Измерительная установка представляет собой электрометр с динамическим конденсатором для измерения заряда и тока методом интегрирования с пределами измерения 2,5-7,5-25-...-2500 фКл и имеет структурную схему, аналогичную приведенной в работе [5]. Интегрирующим конденсатором служит входная емкость установки.

При конструировании измерительной установки особое вни-

манье было уделено уменьшению общего объема так называемых активных зон. Под ними понимают те участки входного устройства электрометра, в которых образуется паразитный ионизационный (фонный) ток.

На рис. I показан схематический разрез входного устройства установки с измерительной камерой. Измерительная камера образуется между внешней и внутренней трубками I и 2, которые выполнены из нержавеющей стали и имеют длину 60 мм. Внутренний диаметр трубки I равен 5 мм, а внешний диаметр трубки 2 равен 3 мм. Предусмотрена возможность подачи разных напряжений на внешнюю трубку I относительно корпуса с целью создания электростатического поля внутри измерительной камеры.

С целью изменения температурного режима трубок I и 2 на внешнюю трубку I надета медная спираль I6, через которую протекает термостатированная вода заданной температуры.

При измерении паразитного тока, создаваемого самой измерительной установкой, вместо измерительной камеры на входной штырь I7 надевается колпачок из нержавеющей стали (на рис. I не показан). Тогда объем активной зоны между колпачком и изолятором 9 составляет около $0,6 \text{ см}^3$.

Емкость между трубками I и 2 составляет 6,9 пФ, а расчетный объем активной зоны — около $0,8 \text{ см}^3$. Емкость измерительной части динамического конденсатора между электродом 25 и мембраной I3 равна 3I пФ, емкость разделительного конденсатора (между электродами I0 и II) — 22 пФ.

Благодаря минимизации объемов активных зон и выбору материалов для изготовления входного устройства удалось устранить влияние действия α -частиц на токовые помехи, о чем свидетельствует отсутствие характерных скачков на диаграмме записи шумов. При данных исследованиях пользовались полосой пропускания от 0 до 0,1 Гц, при этом двойная амплитуда флуктуации не более 1,8 мкВ.

Результаты измерения

После сборки входного устройства был исследован паразитный ток самой установки (без измерительной камеры). Оказалось, что примерно через 10 суток после сборки паразитный ток установился на уровне $-1,4 \cdot 10^{-17} \text{ А}$ и в дальнейшем изменился незначительно.

После устанавливания измерительной камеры паразитный ток увеличился до уровня $-(3+6) \cdot 10^{-17} \text{ А}$ и хорошо коррелиро-

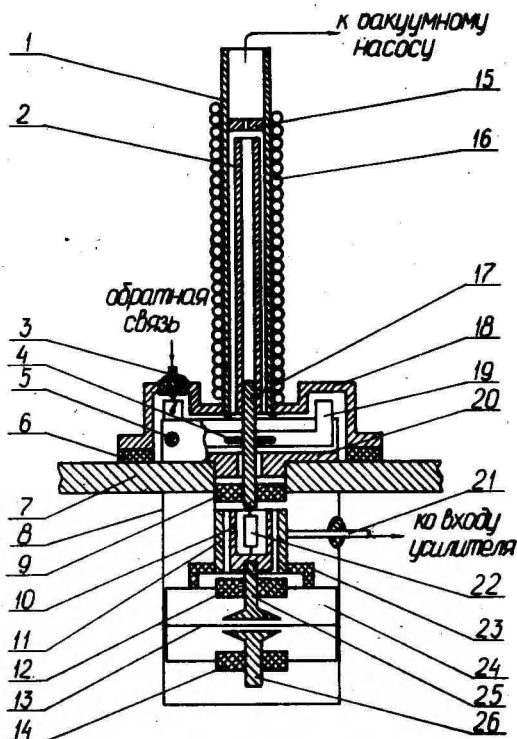


Рис. I. Схематический разрез входного устройства измерительной установки с измерительной камерой.

1 - внешняя трубка измерительной камеры; 2 - внутренняя трубка измерительной камеры; 3 - ввод обратной связи; 4 - контактная проволочка; 5 - винт для установки контактной пружины замыкания входа; 6 - резиновая прокладка; 7 - вакуумный столик; 8 - кожух; 9 - входной изолятор установки (сапфир); 10 - внутренний электрод конденсатора связи; 11 - внешний электрод конденсатора связи; 12 - изолятор динамического конденсатора (сапфир); 13 - натянутая мембрана динамического конденсатора; 14 - изолятор возбуждающего электрода динамического конденсатора; 15 - шайба; 16 - медная спираль; 17 - входной штырь измерительной установки; 18 - крышка; 19 - контактная пружина замыкания входа; 20 - втулка для закрепления контактной пружины; 21 - вывод; 22 - разделительный резистор; 23 - изолятор для закрепления внешнего электрода конденсатора связи; 24 - динамический конденсатор ДК-79 [6]; 25 - измерительный электрод динамического конденсатора; 26 - возбуждающий электрод динамического конденсатора.

вался с относительной влажностью и температурой окружающего воздуха. Когда измерительную камеру подключили к вакуумному насосу, паразитный ток снизился до прежнего уровня, т.е. до $-(1,2+1,5) \cdot 10^{-17}$ А. Это хорошо видно на диаграмме рис. 2, которая снята на самописце ЕЗ-4 при условии, что между внешней трубкой измерительной камеры и корпусом установки напряжение равно нулю, т.е. $U_{\text{нк}} = 0$ В, при температурах, приведенных рядом с кривой.

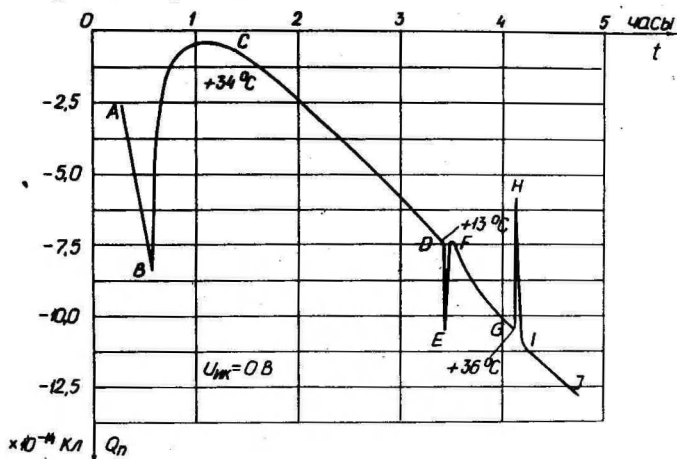


Рис. 2. Зависимость накапливаемого паразитного заряда Q_n от времени t .

Отрезок АВ кривой характеризует накопленный паразитный заряд при невакуумированной измерительной камере, чему соответствует паразитный ток $-5 \cdot 10^{-17}$ А. Точке В соответствует включение вакуумного насоса, и в период времени от В до С происходит переходной процесс, объясняемый десорбцией газов главным образом с поверхностей трубок 1 и 2. Области CD соответствует уже паразитный ток $-1,2 \cdot 10^{-17}$ А. До сих пор через спираль протекала вода с температурой $+34^\circ\text{C}$. Точка D соответствует переключению на охлаждение водой в $+13^\circ\text{C}$. Это изменение температуры сопровождается острым скачком кривой DEF паразитного заряда в сторону увеличения: происходит адсорбция газов на поверхностях трубок 1 и 2. После точки F продолжается плавное накопление паразитного заряда, чему на отрезке FG соответствует паразитный ток $-1,25 \cdot 10^{-17}$ А. В точке G опять происходит переключение на нагревание до $+36^\circ\text{C}$, что вызывает резкое изменение заряда GH, но теперь уже в сторону уменьшения: происходит десорбция газов.

В точке I процесс стабилизируется, и ток на отрезке Ю имеет значение $-1,2 \cdot 10^{-17}$ А.

Для объяснения временной зависимости скачков паразитного заряда, обусловленных изменениями температуры, обратимся к рис. 3. Видно, что в течение 22 секунд после изменения

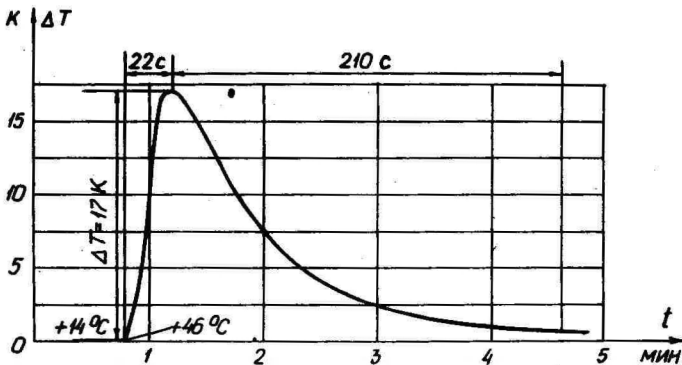


Рис. 3. Зависимость разности температур ΔT между внешней и внутренней трубками измерительной камеры от времени при изменении температуры внешней трубки от $+14^\circ\text{C}$ до $+46^\circ\text{C}$.

теплового режима спирали разность температур ΔT увеличивается, чему соответствуют участки DE и GH кривой на рис. 2. В течение следующих примерно 210 секунд происходит уравнивание температуры между трубками за счет теплового излучения, чему соответствуют участки EF и HI на кривой рис. 2.

На рис. 4 показан характер изменения паразитного заряда при разных напряжениях $U_{\text{ик}}$ в вакуумированной измерительной камере. На кривой I между точками P и R $U_{\text{ик}} = 0$ В и паразитный ток составляет $-1,4 \cdot 10^{-17}$ А. В точке R между внешней трубкой и корпусом подключен сухой элемент напряжением $U_{\text{ик}} = +1,6$ В, в результате паразитный ток на участке RS несколько увеличивается и составляет $-3,3 \cdot 10^{-17}$ А. Далее на кривой I отображены скачки от изменения температуры, известное уже из рис. 2.

Кривая II на рис. 4 приводится при $U_{\text{ик}} = -1,6$ В. Видно, что средний паразитный ток здесь меньше, чем на кривой I, и находится в пределах от $-1,1 \cdot 10^{-17}$ А до $-1,6 \cdot 10^{-17}$ А. Следует отметить, что дальнейшее увеличение напряжения $U_{\text{ик}}$ как в положительную, так и в отрицательную сторону не приводит к дальнейшему уменьшению уровня паразитного тока.

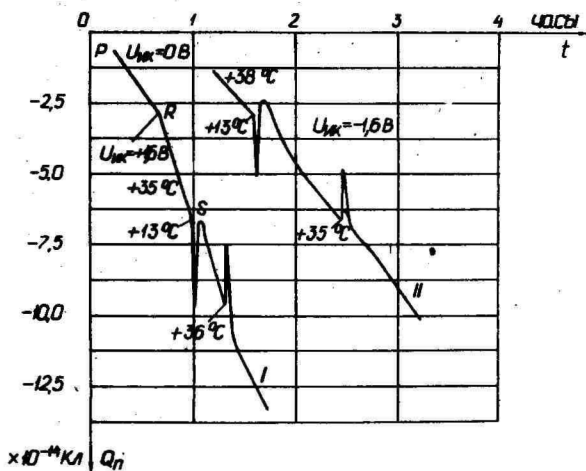


Рис. 4. Записи паразитного заряда Q_n при разных напряжениях $U_{МК}$ в вакуумированной измерительной камере.

На рис. 5 отражен характер накопления паразитного заряда в невакуумированной измерительной камере. На прямых

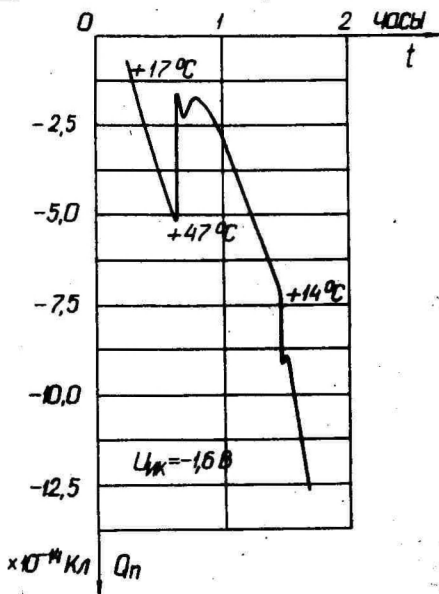


Рис. 5. Запись паразитного заряда Q_n в невакуумированной измерительной камере.

участках кривой паразитный ток находится в пределах от $-2,7 \cdot 10^{-17}$ А до $-5,8 \cdot 10^{-17}$ А. Однако, на тех участках, которые соответствуют изменению температуры внешней трубки, кривая на рис. 5 имеет более сложную форму, чем кривые, которые были сняты в вакуумированной измерительной камере (рис. 2 и 4). Видно, что сразу после изменения температуры происходит либо адсорбция, либо десорбция газов, но затем эти процессы принимают более сложную форму, по сравнению с

измерениями в вакуумированной измерительной камере.

Полярность скачков паразитного заряда всегда постоянна при изменении температуры в данном направлении, но величина их колеблется, в среднем составляя $4 \cdot 10^{-15}$ Кл/К, чему соответствует ток $1,6 \cdot 10^{-16}$ А/К. Это объясняется тем, что при нагревании происходят десорбционные, а при охлаждении - адсорбционные процессы, но величина скачков зависит, главным образом, от заполнения поверхности молекулами газов. Тот факт, что прикладываемое напряжение $U_{ик}$ не влияет на величину и характер скачков паразитного заряда, указывает на то, что причина этих скачков не связана с автоэлектронной эмиссией.

Л и т е р а т у р а

1. Сакс О.В. Собственные помехи преобразователя с динамическим конденсатором. Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 443, Тарту, 1977, с. 99-138.
2. Прокуров А.В. Факторы, ограничивающие чувствительность и точность измерителей малых токов с динамическим конденсатором. Измерит. техника, 1966, № II, с. 50-52.
3. Илюкович А.М. Анализ погрешностей интегрирующего электрометрического усилителя. Тр. метрологических ин-тов СССР. ВНИИФТРИ, вып. 109(169), 1973, с. 129-142.
4. Culver R.V., Tompkins F.C. Surface potentials and adsorption process on metals. - Advances in Catalysis, 1959, No. 11, p. 67-131.
5. Разработка и исследование вакуумированного входного устройства динамического электрометра. Депонированный отчет Тартуского гос. ун-та, Тарту, 1976.
6. Сакс О.В., Хяммалов Ю.А., Шор В.Г. Динамический конденсатор с электростатическим возбуждением ДК-79. Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 534, Тарту, 1980, с. 37-44.

PRELIMINARY RESULTS OF RESEARCH INTO THE DEPENDENCE OF THE PARASITIC CURRENT ON THE TEMPERATURE OF THE DYNAMIC CAPACITOR ELECTROMETER

J. Hämmalov

S u m m a r y

The paper describes a measuring arrangement for research into various components of the parasitic current of

electrometrical amplifiers having a vibrating capacitor. In the present case the aim of the arrangement was to study the influence of adsorption-desorption processes on the parasitic current. For this purpose a measuring chamber was connected to the input of the device.

The diagrams characterizing the accumulation of the parasitic charge on the input capacitance of the arrangement have been given. By creating a temperature gradient in the measuring chamber the parasitic charge rises sharply. It has been shown that those leaps of charges can be explained as adsorption-desorption of gases on the active surfaces of the measuring chamber.

СРАВНЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕКОТОРЫХ
СИНХРОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ В УСИЛИТЕЛЕ
С ДИНАМИЧЕСКИМ КОНДЕНСАТОРОМ

М.Э. Роос

Усилители с двукратным преобразованием (МДМ-усилители) находят применение при необходимости получения особо высокой стабильности и чувствительности измерений. В качестве модулятора в высокочувствительных динамических электрометрах (функциональная схема на рис. 1) применяют динамический конденсатор (ДК).

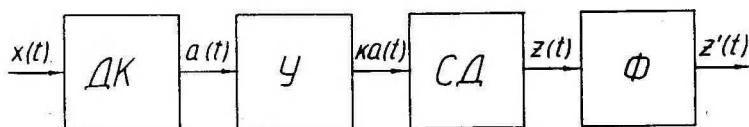


Рис. 1. Функциональная схема электрометрического усилителя с ДК.

Преобразованный в ДК сигнал $x(t)$ усиливается в усилителе $У$ и подается на синхронный детектор (СД). Сигнал на выходе СД содержит в своем спектре, кроме информации о входном сигнале, компоненты с комбинационными частотами, которые возникают при преобразовании входного сигнала в ДК и СД.

Точность восстановления переменного входного сигнала на выходе МДМ-усилителя зависит от его спектра, а также от параметров преобразователей (ДК и СД). Частотно зависимую часть погрешности можно оценивать с помощью трех характеристик: линейных искажений, фазовой погрешности и коэффициента комбинационных нелинейных искажений (ККИ). Линейные искажения определены амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ), фазовая погрешность — фазо-частотной характеристикой (ФЧХ), а ККИ — спектром комбинационных частот (пульсациями) МДМ-усилителя.

Полоса пропускания МДМ-усилителя определяется его АЧХ и ФЧХ. Но из-за наличия большой пульсации на выходе СД в реальных усилителях часто невозможно воспользоваться всей

его полосой пропускания. Для уменьшения пульсации на выход СД обычно подключается сглаживающий фильтр (Φ на рис. 1). Пульсация, которая попадает через цепь обратной связи на вход электрометрического усилителя (ЭМУ), преобразуется в ДК, усиливается усилителем $У$ (рис. 1) и использует часть его динамического диапазона. При уменьшении постоянной времени фильтра (с целью расширения полосы пропускания) наступает момент, когда пульсация заполняет весь динамический диапазон усилителя $У$, и ЭМУ перестает работать. Большая пульсация усложняет также восстановление входного сигнала на выходе ЭМУ.

АЧХ, ФЧХ и ККИ МДМ-усилителя с ДК зависят от параметров СД и Φ . В литературе не встречаются статьи по определению этих характеристик ЭМУ с ДК. Целью настоящей работы является исследование названных характеристик при применении следующих шести типов СД (рис. 2): 1) однополупериодный СД релейного действия (ОП); 2) двухполупериодный СД релейного действия (ДП); 3) балансный СД (Б); 4) СД с фиксирующим звеном (ФЗ); 5) двухфазный СД (ДФ); 6) трехфазный СД (ТФ).

Первые три типа СД (1, 2, 3) общеизвестны [1], и ими пользуются чаще всего. Принцип работы многофазных СД (рис. 2д) состоит в том, что модулированный сигнал сдвигается по фазе и направляется на демодуляторы, фазы которых соответствуют фазам сигналов. На выходе демодулированные сигналы суммируются [2, 3]. В результате применения ДФ значительно уменьшаются комбинационные частоты 2-го порядка ($2\omega \pm \Omega$), а для ТФ — частоты 2-го и 4-го порядка.

Принцип работы детектора с фиксирующим звеном (рис. 2г, е) состоит в том, что один или два раза за каждый период несущего колебания (в данном случае за период колебания ДК) уровень выходного сигнала фиксируется и поддерживается постоянным до следующей фиксации [4]. При постоянном входном сигнале у такого СД пульсация на выходе отсутствует. Существует несколько вариантов реализации такого типа детектора.

Ниже покажем пути нахождения аналитических выражений спектра сигнала на выходе СД (рис. 1) при подаче на вход усилителя гармонического сигнала

$$x(t) = X \sin \Omega t, \quad (1)$$

где Ω — его угловая частота, X — амплитуда. На основании (1) находим АЧХ, ФЧХ и ККИ.

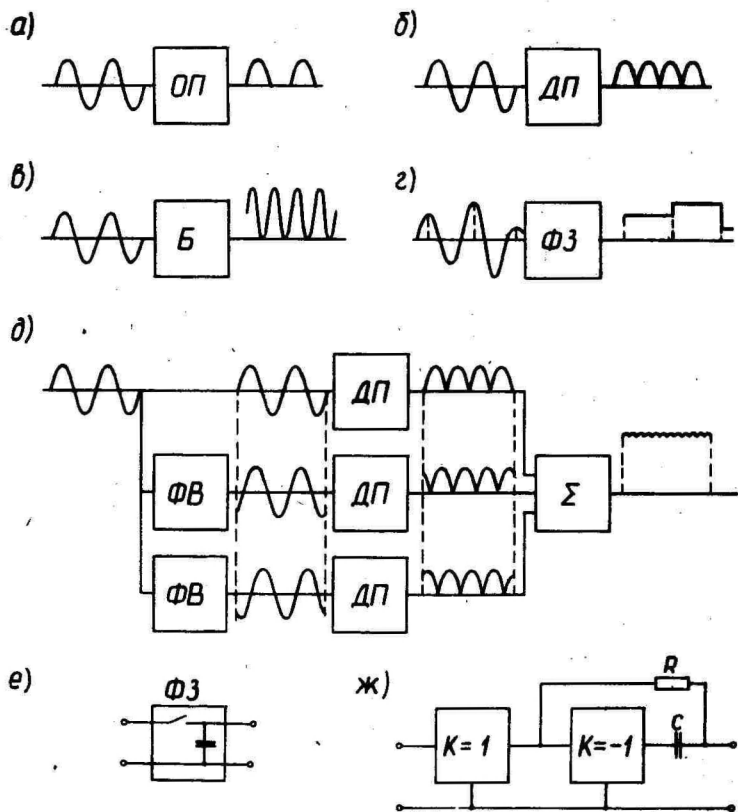


Рис. 2. Некоторые исследованные типы СД и их узлы: а) однополупериодный СД, б) двухполупериодный СД, в) балансный СД, г) СД с фиксирующим звеном, д) трехфазный СД, е) функциональная схема СД с фиксирующим звеном, ж) функциональная схема фазовращателя.

ДК, как модулятор, характеризуется коммутационным вектором (КВ)

$$y(t) = Y \sin \omega t, \quad (2)$$

где ω - угловая частота колебаний ДК. Согласно (1) и (2), на выходе ДК мы получаем модулированный сигнал

$$a(t) = x(t) \cdot y(t) = A [\cos(\omega - \Omega)t - \cos(\omega + \Omega)t],$$

где A - постоянная, определяемая амплитудой входного сигнала (1) и параметрами ДК.

При линейном режиме работы усилителя $У$ на вход СД поступает сигнал, усиленный в K раз:

$$a'(t) = K \cdot a(t). \quad (3)$$

Выходной сигнал СД $z(t)$ получим, умножив (3) на КВ соответствующего СД. КВ для СД типов ОП, ДП и Б приведены в работе [1]. Полученные таким путем АЧХ, ФЧХ и ККИ для этих вариантов усилителей представлены на рис. 3, 4а.

В СД типа ФЗ фиксацию уровня можно производить один раз за период колебания ДК, как показано на рис. 2г, а можно и два раза, если на вход фиксирующего устройства подать синхронно выпрямленный сигнал, полученный на выходе ДП. Видно, что сигнал на выходе СД типа ФЗ при бесконечно малом времени фиксации схож с сигналом при амплитудно-импульсной модуляции второго рода [5], если длительность импульса равна периоду повторения импульсов. Благодаря этому мы можем использовать для определения АЧХ и ККИ усилителя с ФЗ данные работы [5]. При оценке фазовой погрешности такого усилителя допустим, что $\Omega = \omega$ и фиксация производится два раза за период колебаний ДК. В таком случае компонента выходного сигнала $z(t)$ с частотой Ω запаздывает на время $t = T/4$, где $T = 2\pi/\omega$. Так как время запаздывания определено частотой фиксации и не зависит от частоты входного сигнала, то фазовую погрешность на выходе ФЗ можно определить следующим образом:

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{t}{T_c} = \frac{\pi}{2} \frac{\Omega}{\omega},$$

где $T_c = 2\pi/\omega$. Полученные динамические характеристики усилителя с СД типа ФЗ представлены также на рис. 3.

Как сказано выше, во многофазных СД применяют фазовращатели (ФВ) (рис. 2д). Допустим, что использованы ФВ, функциональная схема которых приведена на рис. 2ж. Можно доказать, что сдвиг фазы в таком ФВ определяется формулой

$$\Delta\psi = \arctan \frac{2\tau\omega}{\tau^2\omega^2 - 1},$$

где $\tau = RC$, ω - угловая частота исследуемого гармонического сигнала. В СД типа ДФ с помощью ФВ формируются два сигнала с разностью фаз 90° , а в ТФ - три сигнала с разностью фаз 60° или 120° . С ФВ сигналы поступают на входы СД типа ДП, которые работают в фазах, соответствующих фазам подаваемых на их входы сигналов. Выпрямленные сигналы суммируются. АЧХ, ФЧХ и ККИ усилителей с СД типов ДФ и ТФ приведены на рис. 3, 4а.

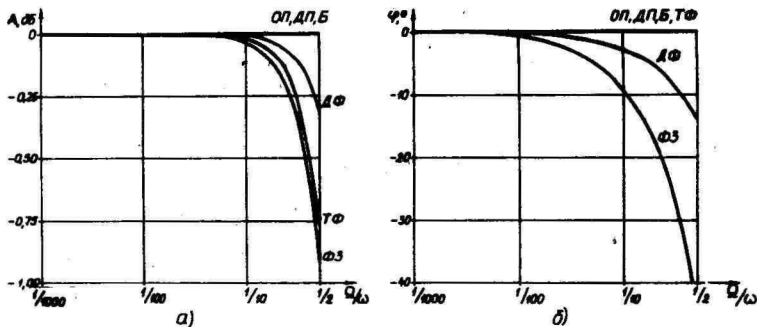


Рис. 3. АЧХ(а) и ФЧХ(б) усилителя при применении разных типов СС.

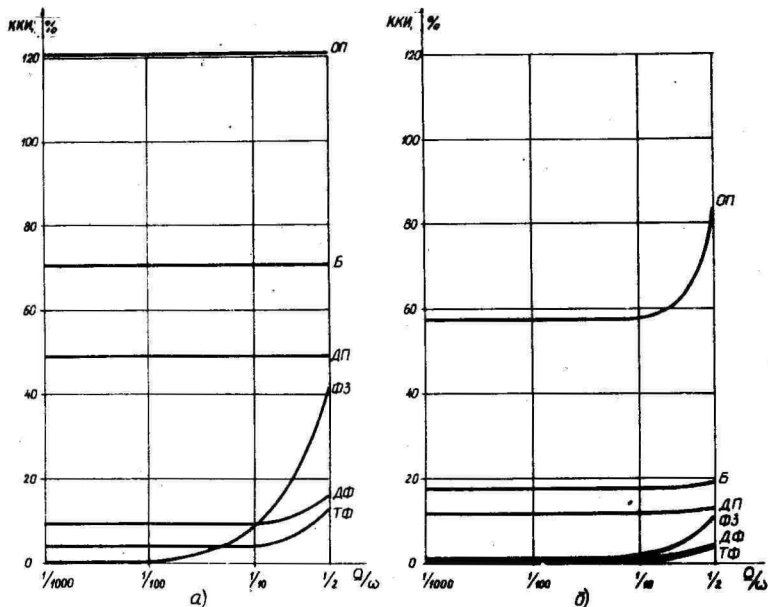


Рис. 4. Коэффициент комбинационных искажений (пульсации) при применении разных типов СС: а) на выходе СС, б) на выходе фильтра I-го порядка с частотой среза $\omega_{\text{Ф}} = \omega / 2$.

Вычислен также ККИ на выходе сглаживающего фильтра I-го порядка (частота среза $\omega_{\text{Ф}} = \omega / 2$) для всех рассмотренных типов СС (рис. 4б). При вычислении ККИ учтены только составляющие спектра до частоты $(6\omega + \Omega)$, т.к. вклад составляющих с более высокими частотами мал.

Результаты вычислений показывают, что применение в ЭМУ с ДК синхронных детекторов типа ОП, ДП и Б обеспечивает идеальные АЧХ и ФЧХ (рис. 3), но сопровождается большими комбинационными нелинейными искажениями (рис. 4).

Применение СД с малой пульсацией (ДФ, ТФ и ФЭ) позволяет уменьшить постоянную времени сглаживающего фильтра на выходе СД и расширить полосу пропускания усилителя.

Л и т е р а т у р а

1. Дехтяренко П.И. Синхронное детектирование в измерительной технике и автоматике. Киев, "ТехНка", 1965.
2. Карлашук В.И. Электрометрический усилитель с динамическим конденсатором. - ПТЭ, 1975, № 4.
3. Роос М.Э., Сакс О.В. Применение параллельных синхронных детекторов для расширения полосы пропускания МДМ-усилителя. Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара, Ульяновск, 1978.
4. Баглай Р.Д. Усилитель постоянного тока с преобразованием на широкий диапазон частот. - Автоматика и телемеханика, 1963, № 10.
5. Кончаловский В.Ю., Купершmidt Я.А., Сыропятова Р.Я., Харченко Р.Р. Электрические измерительные преобразователи, М.-Л., "Энергия", 1967.

A COMPARISON OF THE DYNAMICAL QUALITIES OF A DYNAMIC CAPACITOR AMPLIFIER HAVING VARIOUS TYPES OF SYNCHRONOUS DETECTORS

M. Roos

S u m m a r y

The paper presents analytical expressions describing the output signals of a synchronous detector of an electrometrical amplifier in the case of an arbitrary frequency input signal. These expressions have been derived for six various types of the synchronous detector. Amplitude-frequency and phase-shift characteristics as well as pulsation in the detector output have been determined for amplifiers having these six types of synchronous detectors.

The results of calculations can be used by choosing a suitable type of a synchronous detector for the dynamic capacitor amplifier.

К МАТЕМАТИКО-СТАТИСТИЧЕСКОЙ МЕТОДИКЕ ПРОВЕРКИ
БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ И ПРАКТИЧЕСКОЙ
ПОЛЕЗНОСТИ АЭРОИОНИЗАЦИИ

Х.ф. Таммет

Введение

Нет единого мнения относительно биологического действия и практической полезности аэроионизации. Один из основоположников учения о применении аэроионов А.Л. Чижевский [1] пропагандировал всеобщую аэроионификацию. Он и его последователи утверждают, что искусственная аэроионизация существенно повышает физическую и умственную работоспособность людей, а ее полезное действие на животных и растения может обеспечить в сельском хозяйстве повышение производительности на 10 и более процентов. Другие исследователи придерживаются скромной позиции и критикуют предложение всеобщей аэроионификации как малообоснованное. Наиболее признанный авторитет в области применения аэроионов в медицине Л.Л. Васильев и его последователи рекомендуют осторожное применение аэроионов для лечения ограниченного числа болезней. Наконец, многие медики, не связанные с исследованиями по аэроионизации, вообще скептически относятся к полезности аэроионов в лечебной практике.

Если последователи А.Л. Чижевского правы, то налицо большой эффект в здравоохранении и огромная материальная прибыль за счет незначительных расходов на производство и установку аэроионизаторов. Проблема столь большого практического значения заслуживает серьезного внимания.

Наши знания об эффективности аэроионизации нельзя признать удовлетворительными. Механизм действия аэроионов на организм неясен. Гипотетические механизмы, которые обсуждаются в работах [2, 3, 4], не доходят до уровня физического процесса действия аэроионов и не позволяют объяснить все описываемые эффекты, например, действие аэроионизации на растения [5]. Однако, не это самое уязвимое место гипотезы о практической полезности аэроионизации, поскольку нельзя возразить высказыванию Л.Л. Васильева [2]: "Недостаточность теоретических представлений об интимной природе воздействия какого-либо лечебного фактора не должна быть, однако, препятствием к практическому его применению, если оно дает ощутимые терапевтические результаты". Для автора настоящей статьи наиболее уязвимым представляется отсутствие бесспорных доказательств, которые могли бы окончательно убедить всю научную общественность в биологической эффективности и практической полезности аэроионизации. Трудно согласиться с точкой зрения Л.Л. Васильева, высказанной им в книге, посвященной другой спорной проблеме [6]. Поскольку многие исследователи медико-биологических применений аэроионов придерживаются схожей точки зрения, приведем упомянутое высказывание: "Мне неоднократно приходилось слышать следующее заявление критиков: "Дайте сперва окончательное, обязательное для всех и каждого, доказательство реальности мысленного внушения, а потом уже изучайте и описывайте его свойства, его физическую природу и проч.". Можно предвидеть, что такое же возражение будет сделано и по поводу этой книжки. С таким возражением автор согласиться не может: это не ускорит, а задержит исследование вопроса.

Пусть любая серия опытов из приведенных мною, взятая в отдельности, недостаточна для установления факта мысленного внушения, но все серии опытов в своей совокупности, особенно современные количественные опыты, делают существование мысленного внушения в высокой степени вероятным. Этого достаточно, чтобы не дожидаясь признания всех и каждого, ставить дальнейшие исследования этого явления так, как будто бы его реальное существование уже было окончательно установлено."

Для достоверности доказательства существования эффекта исключительно важна методика эксперимента или наблюдений, в особенности, используемая математико-статистическая модель. В настоящей статье предлагается конкретная математико-статистическая методика эксперимента, обеспечивающая повыше-

ную чувствительность по сравнению с обычными двухгрупповыми экспериментами. Эта методика допускает модифицирование и усовершенствование, она не претендует на универсальность и подходит только к ограниченному классу экспериментов. Однако, автор надеется, что именно здесь можно ставить наиболее понятные и убедительные эксперименты.

Методика эксперимента

Предположим, что у нас имеется некоторое количество биологических индивидов, которые могут быть подвергнуты или не подвергнуты действию аэроионов, и мы можем измерить у каждого индивида некоторый количественный показатель x , предположительно зависящий от воздействия аэроионов.

Как известно, аэроионы не дают какой-то специфической реакции организма, которая не могла бы быть вызвана другими факторами. Поскольку изолирование подопытных организмов от иных воздействий невозможно, то компенсация их эффекта является основной проблемой. Для компенсации сторонних эффектов рассматриваются две группы подопытных А и В. Эти группы должны быть по возможности одинаковы и должны подвергаться одинаковым внешним воздействиям, за исключением действия аэроионов.

В классической схеме двухгруппового эксперимента действию аэроионов подвергается лишь одна группа, а другая рассматривается как контрольная. Эффект аэроионов оценивается по разности арифметических средних измеряемого показателя между группами. Эта разность сравнивается со стандартным отклонением (критерий Стьюдента). Недостатком классической схемы является низкая чувствительность к эффекту. Чтобы убедиться в изложенном, представим следующее. Пусть действие аэроионов у каждого индивида вызывает одинаковый весьма малый рост измеряемого показателя Δx . Если такой рост систематически наблюдается у каждого индивида, то мы можем быть уверенными в существовании эффекта. Однако, если рассеивание уровней показателя x между индивидами достаточно велико, то эксперимент по классической двухгрупповой схеме эффекта не обнаруживает — сдвиг арифметических средних уступает стандартному отклонению. Систематические индивидуальные сдвиги здесь неопределимы.

Для повышения чувствительности эксперимент необходимо разделить на две части, меняя роли экспериментальной и контрольной групп, что дает возможность наблюдать индивидуальные

сдвиги. Однако, на результаты эксперимента могут воздействовать посторонние факторы, зависящие от времени. Такие факторы нередко имеют периодический недельный ход, что позволяет компенсировать их действие, распределив эксперимент на две недели и производя его в разные недели "в противофазе". Можно предложить, например, следующую схему (см. табл. I).

Схема эксперимента

Таблица I

Номер опыта	Неделя	День недели	Действие аэроионов	
			группа А	группа В
1	1	а	есть	нет
2	1	б	нет	есть
3	1	в	есть	нет
4	2	а	нет	есть
5	2	б	есть	нет
6	2	в	нет	есть

При работе с людьми особую роль имеет психологический фактор, не компенсируемый ни при какой схеме эксперимента. Поэтому конкретная схема эксперимента должна быть неизвестна как для испытуемых, так и для персонала, непосредственно с ними общающегося.

Перейдем к математической модели эксперимента по предложенной схеме.

Представим генеральную совокупность индивидов, участвующих во всевозможных повторных экспериментах, проводимых в таких же условиях, и рассмотрим конкретный контингент индивидов, как случайную выборку из этой совокупности.

Обозначим результат k -того измерения для i -того индивида генеральной совокупности через x_i^k . Если индивид подвержен действию искусственной аэроионизации, то x_i^k можно разложить на четыре слагаемые:

c_i - постоянная для каждого индивида слагаемая, которая отражает индивидуальность конкретного индивида,

δ_i - гипотетический стимулирующий эффект аэроионов,

φ_i^k - эффект, зависящий от дня недели,

ψ_i^k - случайный эффект всех остальных факторов.

Если искусственная аэроионизация выключена, то второе слагаемое отпадает и остается три слагаемых.

Вычислим величину

$$X_i = x_i^1 - x_i^2 + x_i^3 - x_i^4 + x_i^5 - x_i^6 .$$

При этом слагаемые c_i взаимно уничтожаются. В случае схемы табл. I компенсируются также эффекты ψ_i^k , а эффекты δ_i слагаются в сумму $3\delta_i$ для группы А или в сумму $-3\delta_i$ для группы В. В результате

$$X_i = \psi_i^z \pm 3\delta_i ,$$

где

$$\psi_i^z = \psi_i^1 - \psi_i^2 + \psi_i^3 - \psi_i^4 + \psi_i^5 - \psi_i^6 .$$

Обозначим средние значения величин X_i , δ_i и ψ_i^z по генеральной совокупности через \bar{X} , $\bar{\delta}$ и $\bar{\psi}$. Тогда $\bar{X} = \bar{\psi} \pm 3\bar{\delta}$.

По причине знакопеременности суммы ψ_i^z среднее значение $\bar{\psi}$ весьма мало.

Теперь рассмотрим отдельно группы с режимом аэроионизации по схеме группы А и по схеме группы В и обозначим средние значения \bar{X} и $\bar{\psi}$ для этих групп через \bar{X}_A , \bar{X}_B и $\bar{\psi}_A$, $\bar{\psi}_B$.

Тогда $\bar{X}_A = \bar{\psi}_A + 3\bar{\delta}$

$$\bar{X}_B = \bar{\psi}_B - 3\bar{\delta}$$

откуда $\bar{X}_A - \bar{X}_B = 6\bar{\delta} + (\bar{\psi}_A - \bar{\psi}_B)$.

Поскольку условия в группах А и В, исключая действие аэроионов, примерно одинаковы, то можно предположить, что

$$\bar{\psi}_A \approx \bar{\psi}_B .$$

Если допустить $\bar{\psi}_A - \bar{\psi}_B = 0$, (I)

то

$$\bar{\delta} = (\bar{X}_A - \bar{X}_B)/6 . \quad (2)$$

Наше отношение к допущению (I) зависит от того, обнаруживается существенная разница между значениями \bar{X}_A и \bar{X}_B или нет. Если таковая обнаруживается, то допущение (I) требует дополнительного исследования, разница $\bar{X}_A - \bar{X}_B$ может быть обусловлена либо эффектом $\bar{\delta}$, либо эффектом $\bar{\psi}_B - \bar{\psi}_A$. В противном случае можно принять одновременно $\bar{\delta} = 0$ и $\bar{\psi}_B = \bar{\psi}_A$, пренебрегая маловероятную возможность взаимной компенсации эффектов.

Компенсация сторонних влияний, математически выражаемая допущением (I), при настоящей схеме эксперимента представлена более полно по сравнению с классическим двухгрупповым экспериментом.

При обработке наблюдений сначала вычисляются значения X_i для всех испытуемых, а затем оценки средних значений \bar{X}_A , \bar{X}_B

и стандартных отклонений σ_A, σ_B по рядам X_i для обеих групп, что дает возможность проверки нулевой гипотезы

$$\bar{X}_A = \bar{X}_B$$

с помощью критерия Стьюдента. Если нулевая гипотеза отвергается, то за оценку стимулирующего действия аэроионов принимается величина $\bar{\delta} = (\bar{X}_A - \bar{X}_B)/6$,

где \bar{X}_A и \bar{X}_B оценки средних значений X_A и X_B (арифметические средние). Сдвиг $\bar{\delta}$ можно сравнить со стандартным отклонением рассеивания между испытуемыми.

Если нулевая гипотеза по причине малости сдвига не отвергается, то критерий Стьюдента позволяет определить гипотетический сдвиг, который находился бы на грани, допускающей отвержение нулевой гипотезы. Такой критический сдвиг описывает чувствительность конкретного эксперимента и позволяет изложить количественный результат также в случае неудачи обнаружения эффекта.

Проверка методики

Реальная действительность сложна и все ее особенности нельзя учесть ни в одной математической модели. В отдельных случаях это может свести на нет практическую ценность также теоретически хорошо обоснованной модели. Математическая схема эксперимента может быть окончательно принята или отвергнута только после ее проверки в реальных условиях.

Для практической проверки описанной выше методики эксперимента в реальных условиях были проведены наблюдения утомленности учеников в зависимости от режима аэроионизации в двух параллельных четвертых классах 42-ой средней школы города Таллина. Оба класса занимались по единой специальной программе с углубленным изучением иностранного языка. Время эксперимента — конец апреля. Рассматриваемые классы занимались во вторую смену, уроки начинались в 14 часов и измерения проводились во второй половине школьного дня. Повышенная учебная нагрузка, время года, режим учебной работы и время измерений соответствуют условиям максимального утомления школьников.

При выборе измеряемого показателя M , учитывались соображения А.А. Минха [7], который, при описании действия отрицательных аэроионов на здоровый организм, подчеркивает повышение физической и умственной работоспособности и профилактику утомления. Показателем работоспособности и подавления

утомления был выбран результат корректурного теста, который зависит от внимательности и скорости чтения последовательности случайно упорядоченных букв. Такая мера работоспособности соответствует специфике подопытного контингента. Испытуемый получает лист бумаги, на котором каждая из 15 использованных букв повторяется в общей случайной последовательности 100 раз. Листы распределяются обратной стороной. После сообщения выбранной буквы теста и сигнала начала испытуемый переворачивает лист и вычеркивает буквы теста по порядку в течение 3-х минут. Для определения баллов показателя α из количества правильно вычеркнутых букв вычитается количество пропусков и количество ошибочно вычеркнутых букв.

Корректурный тест известен в психологических исследованиях. Однако, настоящая работа не ставит никаких психологических задач, и здесь результат теста следует рассматривать только как некоторую комплексную меру специфической работоспособности школьников. Следует также отметить, что описываемый конкретный эксперимент не ставит перед собой никаких общих медико-биологических задач и должен быть рассмотрен только как практическая проверка предложенной математической схемы эксперимента.

Метод создания аэроионов описан в работе [8]. Классы занимались в одинаковых помещениях, расположенных на третьем этаже, окна помещений выходят на одну сторону. Приблизительные размеры каждого помещения: длина 8,25 м, ширина 6 м и высота 3,5 м. Вдоль обоих помещений были натянуты по две антенны из проволоки диаметром 0,2 мм. К антеннам прикреплены свисающие проволоки диаметром 0,1 мм и длиной около 10 см, обеспечивающие стабильную аэроионизацию в условиях относительно низкого напряжения питания антенн. Расстояние от остриев проволочек до потолка около 50 см.

Имелась возможность оставлять антенны изолированными от источника питания или подавать на них отрицательное напряжение около 10 кВ. В первом случае в помещении — естественный фон аэроионов. Во втором случае создается униполярная отрицательная аэроионизация. Теоретическая оценка по методу [9] концентрации аэроионов на высоте головы сидящего ученика дает при допущении отсутствия аэрозольных частиц результат немного выше 50000 см^{-3} . Измерение проводилось только при отсутствии в помещении людей и дало результат около 50000 см^{-3} . При наличии в помещении людей концентрация легких аэроионов,

предполагаемо, должна быть несколько меньше, по причине повышения концентрации аэрозольных частиц и образования тяжелых аэрозонов [8]. При проведении описываемого эксперимента не было поставлено цели определения точных значений концентрации легких аэрозонов, поскольку проверялось не биологическое действие легких аэрозонов, а практическая полезность реального способа аэроионизации.

Концентрация озона и других химических продуктов коронного разряда, по полуэмпирической оценке [8], приблизительно в 10 раз ниже порога ощущения по запаху и является допустимой. Концентрация аэрозонов не превышает рекомендуемой авторитетными специалистами концентрации для гигиенических и профилактических целей и поэтому настоящий эксперимент с точки зрения медицины может быть квалифицирован как наблюдения в условиях использования рекомендованной профилактической меры. Дозы аэрозонов в эксперименте меньше тех доз, которые обычно признаются эффективными в аэроионотерапии, но выше тех доз, которые обычно признаются эффективными в курортологии.

Эксперимент был проведен строго по табл. 1. Дополнительные данные приведены в табл. 2.

Таблица 2

Конкретные данные к схеме эксперимента

Номер опыта	Дата	День в недели	Время теста	Буква теста	Аэроионизация в классе
1	18.04.77	Пн.	17.45	Е	А
2	19.04.77	Вт.	17.25	В	В
3	20.04.77	Ср.	18.35	Н	А
4	25.04.77	Пн.	17.45	Е	В
5	26.04.77	Вт.	17.25	В	А
6	27.04.77	Ср.	18.35	Н	В

Искусственная аэроионизация, согласно схеме, включалась каждый день примерно в 13.45, то есть перед первым уроком, и отключалась после последнего урока.

До конца эксперимента схему включения аэроионизации знал лишь автор настоящей статьи, который лично выполнял все переключения режима аэроионизации. Тесты проводила по заранее определенному плану сотрудница кафедры физики ТПедИ В.Рйсмандель, не имея при этом никаких сведений о режиме аэроионизации. Тесты предлагались испытуемым как соревнование на внимательность, и быстроту с индивидуальным и межклассовым

учетом и выполнялись очень старательно. Для уменьшения фактора привыкания проволочные антенны, едва заметные под толчком, были установлены за неделю до начала эксперимента. 12.04.77 и 13.04.77 были проведены также предварительные тесты, оставшиеся непроверенными.

Математическая обработка полученных данных дала следующие результаты:

1. Гипотеза о нормальном распределении оценок тестов не отвергается.

2. Оценка среднего результата всех 6 тестов как в классе А, так и в классе В ≈ 50 баллов из 100 возможных, что свидетельствует об удачной посильности теста и о равенстве контингентов параллельных классов.

3. Стандартное отклонение результатов между испытуемыми $\sigma_0 \approx 16$.

4. Количество учеников, оценки средних значений и стандартных отклонений следующие:

$$\begin{array}{lll} n_A = 16 & \bar{X}_A = -6,31 & \lambda_A = 12,9 \\ n_B = 25 & \bar{X}_B = -4,12 & \lambda_B = 15,9 \end{array}$$

и соответствующая оценка стимулирующего эффекта аэроионов $\bar{\delta} = -0,36 \approx -\sigma_0/45$.

5. Абсолютное значение критерия Стьюдента по вышеприведенным данным $t = 0,46$, что не позволяет отвергнуть нулевую гипотезу, отрицающую действие аэроионов, даже при 50% уровне значимости.

6. На 90% уровне доверительности можно заключить, что стимулирующее действие аэроионов в описанных наблюдениях не превышает 0,66 баллов или $\sigma_0/25$.

7. На 99% уровне доверительности то же самое можно заключить относительно границы 1,55 баллов или $\sigma_0/10$.

Полученные результаты согласуются с известным результатом Б.Б. Койранского и др. [10]. Преимущество предлагаемой математико-статистической методики выражается здесь еще в том, что настоящая методика дает количественный результат также в случае, если эффект аэроионизации не обнаруживается, и позволяет избегать необоснованное полное отрицание эффективности аэроионизации.

Выводы

1. Убедительность экспериментов по доказательству гипотезы, согласно которой аэроионы оказывают существенное действие на живые организмы и искусственная аэроионизация может

дать большую практическую пользу, зависит от математико-статистической методики эксперимента.

2. Для повышения чувствительности эксперимента и подавления сторонних влияний желательно попеременно менять роли контрольной и экспериментальной групп, а математико-статистический анализ основать на вычислении индивидуальных эффектов. Пример конкретной схемы такого эксперимента представлен в табл. I.

3. Наблюдения, в которых проверялось гипотетическое повышение работоспособности и противодействие утомлению школьников относительно слабой униполярной отрицательной аэроионизации, показали с 90% достоверностью, что такой эффект, если он вообще существует, в условиях конкретного эксперимента не превышал 4% стандартного отклонения, описывающего расхождения между школьниками одного и того же класса. Этот результат не может служить основой каких-нибудь общих медико-биологических выводов и рассматривается только как пример реальной чувствительности предлагаемой методики.

4. Малость сдвига в проведенном эксперименте убеждает в том, что предлагаемая методика действительно нечувствительна к сторонним влияниям.

Автор выражает благодарность В. Рийсмандель за проведение и проверку тестов.

Л и т е р а т у р а

1. Чижевский А.Л. Аэроионизация в народном хозяйстве. М., 1960, 758 с.
2. Васильев Л.Л. Теория и практика лечения ионизированным воздухом. Л., 1953, 191 с.
3. Krueger A.P., Reed E.J. Biological impact of small air ions. - Science, 1976, v. 193, p. 1209-1213.
4. Минх А.А., Шандала М.Г., Думанский Ю.Д. Механизмы биологического действия ионизированного воздуха. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электро-магнитных полей и ионизации воздуха. Т. 2. М., 1975, с. 176-186.
5. Сийрде Э.К., Йентс А.В., Рейнет Я.Ю. Изменение некоторых показателей роста растений под влиянием чрезмерной ионизации. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. Т. 2, М., 1975, с. 203-204.

6. Васильев Л.Л. Экспериментальные исследования мысленного внушения. Л., 1962, 198 с.
7. Минх А.А. Ионизация воздуха и ее гигиеническое значение. М., 1963, 352 с.
8. Таммет Х.Ф., Сальм Я.И. Ионизирование воздуха больших помещений посредством проволочных антенн, питаемых аппаратом для франклинизации. - В кн.: Аэроионизация в гигиене труда. Л., 1966, с. 237-240.
9. Таммет Х.Ф. Вольтамперные характеристики идеальной униполярной квазикоронны. - Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 239, Тарту, 1969, с. 3-40.
10. Койранский Б.Б., Уквольберг Л.Я., Дмитриев М.В. Влияние аэроионизации на работающий организм. - В кн.: Аэроионизация в гигиене труда. Л., 1966, с. 82-87.

ON THE TECHNIQUE OF TESTING STATISTICAL HYPOTHESES
OF BIOLOGICAL IMPACT AND UTILITY OF AIR IONIZATION

H. Tammet

S u m m a r y

The hypothesis according to which air ions exercise a significant influence on living organisms cannot be regarded as adequately proved. The present report describes an advanced technique for testing the statistical hypothesis of the utility of air ionization in classrooms. In the check experiment the effect of air ions (having a concentration of about 50000 ions/cm³) was studied on the tiring of pupils during a school day. Despite the fact that the experimental design ensured maximum sensitivity of subjects, the experimenter did not succeed in proving the existence of any significant effect. On the basis of a 90-percent significance level it can be stated that the hypothetic effect did not exceed 0.04 part of the standard deviation among the pupils within one and the same form. To clarify the problem, similar investigations have to be carried out with various subjects under various conditions.

СОДЕРЖАНИЕ

М.Х. АЙНТС, К.Ф. КУДУ, А.Я. ХАЛЬЯСТЕ. Определение макропараметров высокочастотных разрядных вспышек	3
Я.А. СУЗИ, М.Р. ЛААН. Изменение вращательной температуры во время импульсного ВЧ разряда ...	13
А.В. ДМИТРИЕВ. Условия стационарности электрических разрядов в газе при атмосферном давлении	19
Х.Р. ИХЕР, Я.Й. САЛЪМ. Зависимость спектра подвижности легких аэроионов от химических примесей в воздухе	27
Н.В. ВИЛЛЕМ, О.В. САКС. Электронное строение фосфорсодержащих дихлоридов	35
К.Т. ПИХЛАЯ, Я.Я. ВИЛЛЕМ. Фотоэлектронные спектры некоторых гетероциклов, содержащих атомы кислорода и серы	40
Е.П. БОРУНОВА, С.В. КОЛЕРСКИЙ. Генератор легких ионов	48
Я.Ю. РЕЙНЕТ, Л.Э. ЛАНГУС, Я.Х. МААСЕНШ. Сравнительное исследование аэроионизаторов	53
Р.Л. МАТИЗЕН. Экспериментальное исследование надежности измерительного конденсатора счетчика аэроионов	64
Ф.Г. МИЛЛЕР, М.А. РЕЙНАРТ, Я.Р. ЭЗВЕЛЬ. Автоматическая система для сбора и записи данных геофизических измерений в экспедициях Проблемной лаборатории аэроионизации и электроаэрозольей	72
Ю.Э. КИКАС, Р.Э. СУЗИ, Э.И. ТАММ. К теории метода электростатического сепарирования аэрозольных частиц	76
М.Г. НОШПЕЛЬ. О распределении зарядов на аэрозольных частицах при зарядке их легкими аэроионами	85
М.Н. БЕЛОВ. К вопросу об эффективности пневматических генераторов аэрозольей	94
Р.Э. ПРИЙМАН, Л.Ю. ВИСНАПУУ. Воздействие аэрозоля воды на концентрацию оксидантов в воздухе	101

Э.В. СУЛА. О диффузионном осаждении аэрозольных частиц на вертикальных стенках	108
А.А. МИРМЕ. Гранулометр аэрозоля на линии с мини-ЭЕМ "Электроника ДЗ-28"	111
М.Х. АНСО. Резистивный источник малого импульсного тока	119
Ю.А. ХЯММАЛОВ. Некоторые результаты исследования зависимости токовых помех от температуры в динамическом электрометре	125
М.Э. РООС. Сравнение динамических свойств некоторых синхронных детекторов в усилителе с динамическим конденсатором	133
Х.Ф. ТАММЕТ. К математико-статистической методике проверки биологического действия и практической полезности аэроионизации	139

CONTENTS

M. AINTS, K. KUDU, A. HALJASTE. Determination of the macroparameters of high-frequency discharge bursts	3
J. SUSI, M. LAAN. Alteration of rotational temperature during a pulse-excited HF discharge..	13
A.V. DMITRIYEV. Conditions of the stability of electric discharges in gas under atmospheric pressure	19
H. IHER, J. SALM. Dependence of the small ion mobility spectrum on chemical air impurities....	27
N. VILLEM, O. SAKS. Electron structure of phosphorus containing dichlorides.....	35
K. PIHLAJA, J. VILLEM. Photoelectron spectra of some heterocyclic compounds which contain atoms O and S	40
E.P. BORUNOVA, S.V. KOLERSKY. A generator of small ions.....	48
J. REINET, L. LANGUS, J. MAASEPP. A comparative study of air ions	53
R. MATISEN. An experimental study of the reliability of the measuring capacitor of an aerosol counter	64
F. MILLER, M. REINART, J. ÖÜVEL. An automatic system for recording data on geophysical measurements at expeditions.....	72
Ü. KIKAS, R. SUSI, E. TAMM. On the theory of the electrostatic separation of aerosols....	76
M. NOPPEL. On the distribution of charges on aerosol particles when charging them with small air ions.....	85
M. BELOV. Concerning the efficiency of pneumatic aerosol generators.....	94

R. PRIIMAN, L. VIENAPUU. Influence of aqueous aerosols on the concentration of oxidant admixtures in the air.....	101
E. SULA. On the diffusive deposition of aerosol particles on vertical walls.....	108
A. MIRME. An electrical aerosol analyzer combined with a minicomputer of the type "Electronics D3-28".....	111
M. ANSO. A resistive microcurrent pulse generator....	119
J. HÄMMÄLÖV. Preliminary results of research into the dependence of the parasitic current on the temperature of the dynamic capacitor electrometer	125
M. ROOS. A comparison of the dynamical qualities of a dynamic capacitor amplifier having various types of synchronous detectors...	133
H. TAMMET. On the technique of testing statistical hypotheses of biological impact and utility of air ionization.....	139

Ученые записки Тартуского государственного университета.
Выпуск 631.
ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВОПРОСАМ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ИОНОВ И АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ.
Ионизация, аэрозоль, электрометрия.
На русском языке.
Резюме на английском языке.
Тартуский государственный университет.
ЭССР, 202400, г.Тарту, ул.Вяиксола, 18.
Ответственный редактор Н. Салы.
Корректоры Г. Березанкова, Л. Кивиниги.
Подписано к печати 15.12.1982.
МВ 12929.
Формат 60x90/16.
Бумага писчая.
Машинпись. Ротапринт.
Учетно-издательских листов 9,74.
Печатных листов 10,75.
Тираж 450.
Заказ № 1321.
Цена 1 руб. 50 коп.
Типография ТГУ, ЭССР, 202400, г.Тарту, ул.Пялсона, 14.

УДК 537.525.2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКРОПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ РАЗРЯДНЫХ
ВСПЫШЕК. Айтс М.Х., Куду К.Ф., Хальясте А.Я. Учен. зап.
Тартуск. гос. ун-та, вып. 631, Тарту, 1982, с. 3 - 12.

Разряд возбуждался в атмосферном воздухе в промежутке
острие-плоскость, питаемом одновременно постоянным и импульс-
ным высокочастотным напряжением частотой 20 МГц. Разрядный
промежуток рассматривался как двухполюсник с неизвестным
полным сопротивлением, величина которого была определена
методом моста переменного тока. На основе полученных зави-
симостей омической и емкостной проводимостей и поглощаемой
разрядом мощности от времени его развития были вычислены
значения элементов многозвенной RC-цепи - схемы замещения
разрядного канала. Падения напряжения на элементах эквива-
лентной схемы были отождествлены падениями напряжения на
соответствующих участках канала разряда. Представлены гра-
фики зависимости напряженности поля, погонного сопротивле-
ния и емкости разрядного канала от длины канала. При разви-
тии разряда значение напряженности поля приближалось к вели-
чине, характерной для факельного разряда.

Илл. 6. Библ. 8. Рез. англ.

УДК 537.523.2:533.9.082.5

ИЗМЕНЕНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВО ВРЕМЯ ИМПУЛЬСНОГО
ВЧ РАЗРЯДА. Сузи Я.А., Лаан М.Р. Учен. зап. Тартуск. гос.
ун-та, вып. 631, Тарту, 1982, с.13 - 18.

Изучено распределение вращательной температуры по оси
канала униполярного импульсного ВЧ разряда в разные моменты
его развития. Вращательная температура определена по спек-
трам N_2 и OH. В начальных фазах развития разряда заселенность
вращательных уровней OH охарактеризована двумя температура-
ми, связанными соответственно с температурой нейтрального
газа и с температурой электронов.

Илл. 5. Библ. 10. Рез. англ.

УДК 537.523

УСЛОВИЯ СТАЦИОНАРНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ В ГАЗЕ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ. Дмитриев А.В. Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 631, Тарту, 1982, с. 19 - 26.

Рассмотрены условия формирования стационарного состояния открытой электродинамической системы, образованной множеством ионизационных токов в барьерном и каскадном разрядах. Показано, что возбуждение упорядоченного разряда подчиняется общим закономерностям эволюции открытых термодинамических систем к стационарному состоянию. Условиями подобной эволюции являются образование резервуара свободной энергии, обеспечивающего развитие ионизационных токов в газе, и формирование структуры, в которой обмен энергией между смежными каналами разряда происходит лишь на уровне сигналов управления.

Илл. 3. Библ. 13. Рез. англ.

УДК 551.594

ЗАВИСИМОСТЬ СПЕКТРА ПОДВИЖНОСТИ ЛЕГКИХ АЭРОИОНОВ ОТ ХИМИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В ВОЗДУХЕ. Икер Х.Р., Сальм Я.Й. Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 631, Тарту, 1982, с. 27 - 34.

Исследовалось влияние более 100 различных химических примесей в воздухе на спектры подвижности положительных и отрицательных легких аэроионов. Более 20% из всех веществ оказывают сильное влияние на спектр положительных и/или отрицательных аэроионов, форма спектра значительно изменяется при концентрации примеси менее 1 мкг/м^3 .

Илл. 6. Библ. 5. Рез. англ.

УДК 541.6

ЭЛЕКТРОННОЕ СТРОЕНИЕ ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ ДИХЛОРИДОВ. Виллем Н.В., Сакс О.В. Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 63I, Тарту, 1982, с. 35 - 39.

Измерены He(I) фотоэлектронные спектры EtPCl_2 , MeSPCl_2 , $\text{MeCH}=\text{CH}_2\text{PCl}_2$, MeP(O)Cl_2 , MeSP(O)Cl_2 и $\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{P(O)Cl}_2$. Полосы приписаны на основании данных для MePCl_2 и учета изменений в спектрах при замещении. В дихлорфосфинах четыре н.э.п. хлора преобразуются по симметрии на $2a+2a''$ орбитали и дают две полосы с соотношением интенсивностей 3:1. Энергии ионизации н.э.п. фосфора в фосфинах принимают значения 9,70 эВ, 9,96 эВ и 10,06 эВ. В дихлорфосфиноксидах орбиталь P=O связи локализована в основном на н.э.п. кислорода и имеет ЭИ, равную 11,5 эВ.

Илл. 2. Библ. 4. Рез. англ.

УДК 541.6

ФОТОЭЛЕКТРОННЫЕ СПЕКТРЫ НЕКОТОРЫХ ГЕТЕРОЦИКЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ АТОМЫ КИСЛОРОДА И СЕРЫ. Пихлая К.Т., Виллем Я.Я. Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 63I, Тарту, 1982, с. 40 - 47.

Измерены He I фотоэлектронные спектры 1,3-оксатиолана, 2-метил- и 2,2-диметил-1,3-оксатиолана, метилаля, 1,3-диоксациклогептена-5 и бензо-1,3-диоксола. Ионизационные полосы в области неподеленных электронных пар приписаны к соответствующим молекулярным орбиталям.

Илл. 4. Библ. 13. Рез. англ.

УДК 621.319

ГЕНЕРАТОР ЛЕГКИХ ИОНОВ. Борунова Е.П., Колерский С.В. Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 631, Тарту, 1982, с. 48 - 52.

Описан переносной генератор легких ионов, предназначенный для градуировки аспирационных счетчиков ионов. Генератор работает на основе аэроионизатора с радионуклидом $Pu - 239$. Генератор обеспечивает регулирование объемной плотности положительного и отрицательного электрического заряда легких ионов от $1,7 \cdot 10^{-11}$ до $3,3 \cdot 10^{-8}$ Кл·м⁻³ и показателя поляризации от -1 до $+1$. Нестабильность воспроизведения объемной плотности заряда определенного знака не превышает 20% в течение 8 часов непрерывной работы генератора. Генератор применяется для аттестации ряда аспирационных счетчиков ионов.

Илл. 2. Библ. 3. Рез.англ.

УДК 621.317.792

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОИОНИЗАТОРОВ. РЕЙНЕТ Я.Ю., Лангус Л.Э., Маасеши Я.Х. Учен. зап. Тартуск. гос.ун-та, вып. 631, Тарту, 1982, с. 53 - 63.

Приводятся результаты сравнения радиоактивных аэроионизаторов с тритиевым источником (ИВА-1 и ИВА-2), Рижского настольного коронного ионизатора (Рига-1976) и аэроионизатора "Рязань-101" с антенным излучателем в отношении генерирования ими аэроионов и выделения ядовитых газов (озон и соединения азота).

Илл. 2. Табл. 9. Библ. 4. Рез. англ.

УДК 621.3.019.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНДЕНСАТОРА СЧЕТЧИКА АЭРОИОНОВ. Матизен Р.Л. Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 631, Тарту, 1982, с. 64 - 71.

Исследуются вопросы надежности измерительных конденсаторов в зависимости от напряженности электрического поля в них, расхода воздуха через измерительный конденсатор и основных размеров. Даны рекомендации по увеличению надежности измерительного конденсатора.

Илл. 4. Табл. 3. Библ. 3. Рез. англ.

УДК 621.391

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ СБОРА И ЗАПИСИ ДАННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В ЭКСПЕДИЦИЯХ ПЛАЭ. Миллер Ф.Г., Рейнарт М.А., Эвель Я.Р. Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 631, Тарту, 1982, с. 72 - 75.

Описана автоматическая система сбора и записи информации, которую использовали в геофизических экспедициях ПЛАЭ на о.Вилсанди в 1978-80 гг.

Илл. 1. Библ. 1. Рез. англ.

УДК 621.319.7.001
551.508

К ТЕОРИИ МЕТОДА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО СЕПАРИРОВАНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ. Кюкас Ю.Э., Суви Р.Э., Тамм Э.И. Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 631, Тарту, 1982, с. 76 - 84.

Теоретически рассмотрен процесс электрической сепарации аэрозольных частиц как метод получения монодисперсных калибровочных аэрозолей. Представлена методика оценки качества и концентрации электрически отсепарированного аэрозоля в зависимости от свойств сепарируемого аэрозоля и от конструктивных и режимных параметров сепаратора. Сепаратор выделяет узкую фракцию по подвижности, в которую попадут, в основном, однократно заряженные частицы, которые образуют узкую фракцию и по размеру. Критерием качества калибровочного аэрозоля выбрано отношение концентраций многократно и однократно заряженных частиц. Результаты вычислений показывают, что для сепарирования наиболее подходящими оказываются аэрозоли с геометрическим стандартным отклонением $\sigma_g = 1,2 \dots 1,3$. Для правильного выбора рабочего режима сепаратора необходимо знать средний размер частиц сепарируемого аэрозоля с точностью не хуже, чем 20%.

Илл. 5. Библ. 8. Рез. англ.

УДК 551.510.42

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ЗАРЯДОВ НА АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦАХ ПРИ ЗАРЯДКЕ ИХ ЛЕГКИМИ АЭРОИОНАМИ. Ноппель М.Г. Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 631, Тарту, 1982, с. 85 - 93.

Приведены результаты вычисления распределения зарядов на аэрозольных частицах при диффузионной зарядке их легкими аэроионами для радиусов аэрозольных частиц, во много раз больших длины свободного пробега аэроионов. Изучено влияние первоначального распределения зарядов на конечное распределение зарядов при различных значениях зарядного параметра - произведения концентрации ионов на время зарядки.

Илл. 2. Табл. 3. Библ. 10. Рез. англ.

УДК 621.319.7.001.6
541.18.053

К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ АЭРОЗОЛЕЙ. Белов М.Н. Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 631, Тарту, 1982, с. 94 - 100.

Рассмотрена работа пневматических генераторов аэрозолей с точки зрения их энергетических затрат по распыливанию жидкости. Предложено для оценки эффективности работы распылителей использовать к.п.д. распыливания, который вычислен для ряда генераторов аэрозолей. Показано, что увеличение кратности воздействия газовой струи на диспергируемую жидкость повышает к.п.д. распыливания распылителей в 2-5 раз.

Табл. 1. Библ. 17. Рез. англ.

УДК 546.214:541.182.2/3

ВОЗДЕЙСТВИЕ АЭРОЗОЛЯ ВОДЫ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ ОКСИДАНТОВ
В ВОЗДУХЕ. Прийман Р.Э., Виснапуу Л.Ю. Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 631, Тарту, 1982 с. 101 - 107.

Исследовано воздействие аэрозоля воды с различными исходными характеристиками на оксиданты, образующиеся в закрытом помещении при УФ облучении и ионизации воздуха. Исследуемая концентрация оксидантов варьировала в пределах 40...360 мкг·м⁻³. Описаны методики проведения эксперимента и анализов. Показано, что эффективность уменьшения концентрации оксидантов в воздухе наибольшая при применении аэрозоля воды, полученного посредством генератора аэрозоля со встречными струями с сепаратором крупных частиц аэрозоля. В этом случае в пределах исходной концентрации оксидантов 200...360 мкг·м⁻³ достигается их уменьшение в среднем на 90%. При исходной концентрации оксидантов 40 мкг·м⁻³ и менее эффективность воздействия резко падает.

Табл. 2. Библ. 7. Рез. англ.

УДК 541.182.2/3

О ДИФфуЗИОННОМ ОСАЖДЕНИИ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ НА ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТЕНКАХ. Сула Э.В. Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, 1982, вып. 631, Тарту, с. 108 - 110.

Сопоставляя результаты измерений эволюции спектра в постоянно укрупняющем аэрозоле и решение кинетического уравнения установлено, что толщина пристенного слоя, где действует лишь молекулярная диффузия больше 10 мкм.

Илл. 1. Библ. 4. Рез. англ.

УДК 621.319.7.001

ГРАНУЛОМЕТР АЭРОЗОЛЯ НА ЛИНИИ С МИНИ ЭВМ "ЭЛЕКТРОНИКА ДЗ-28". Мирме А.А. Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 631, Тарту, 1982, с. III - I18.

Кратко описываются команды, которые необходимы для управления гранулометром аэрозоля. Приводится блок-схема и описание соответствующего согласующего устройства между ЭВМ "Электроника ДЗ-28" и гранулометром.

Илл. 3. Табл. I. Библ. I. Рез. англ.

УДК 621.317.723

621.372.41

РЕЗИСТИВНЫЙ ИСТОЧНИК МАЛОГО ИМПУЛЬСНОГО ТОКА. Ансо М.Х. Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 631, Тарту, 1982, с. I19 - I24.

Описан источник малого импульсного тока, построенный на базе высокоомного резистора. Частотная погрешность источника скорректирована при помощи частотно зависящего делителя на его входе. Описана методика настройки коррекционного делителя и приведены осциллограммы выходных токов скорректированного и нескорректированного источников.

Илл. 5. Библ. 4. Рез. англ.

УДК 621.317.723

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ ТОКОВЫХ ПОМЕХ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ В ДИНАМИЧЕСКОМ ЭЛЕКТРОМЕТРЕ. Хям-малов Ю.А. Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 631, Тарту, 1982, с. 125 - 132.

Описывается измерительная установка для исследования различных компонент паразитного тока электрометрических усилителей с динамическим конденсатором. В данной работе установка подготовлена к изучению влияния адсорбционно-десорбционных процессов на паразитный ток. Для этого ко входу установки подключена измерительная камера. Приведены диаграммы, характеризующие накопление паразитного заряда на входной емкости установки. При создании температурного градиента в измерительной камере паразитный заряд скачкообразно изменяется. Показано, что эти скачки паразитного заряда могут быть объяснены адсорбцией-десорбцией газа на рабочих поверхностях измерительной камеры.

Илл. 6. Библ. 8. Рез. англ.

УДК 621.317.723

СРАВНЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕКОТОРЫХ СИНХРОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ В УСИЛИТЕЛЕ С ДИНАМИЧЕСКИМ КОНДЕНСАТОРОМ.

Роос М.Э. Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 631, Тарту, 1982, с. 133 - 138.

Найдены аналитические выражения для описания сигнала на выходе синхронного детектора (СД) МДМ-усилителя с динамическим конденсатором при применении 6 разных типов СД. Определены АЧХ и ФЧХ для всех 6 вариантов усилителей, построены графики зависимости коэффициента комбинационных нелинейных искажений (пульсации) на выходе СД и после сглаживающего фильтра от частоты входного сигнала.

Результатами вычислений можно руководствоваться при выборе типа СД для конкретного усилителя с динамическим конденсатором.

Илл. 4. Библ. 5. Рез. англ.

УДК 578.087.1

615.847.1

К МАТЕМАТИКО-СТАТИСТИЧЕСКОЙ МЕТОДИКЕ ПРОВЕРКИ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ И ПРАКТИЧЕСКОЙ ПОЛЕЗНОСТИ АЭРОИОНИЗАЦИИ. Таммет Х.Ф. Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 631, Тарту, 1982, с.139 - 149.

Рассматривается гипотеза, согласно которой аэроины существенно действуют на живые организмы и предлагается конкретная математико-статистическая методика проверки этой гипотезы. Описывается контрольный эксперимент, который подтвердил обоснованность предложенной методики, хотя и не позволил доказать рассматриваемую гипотезу.

Табл. 2. Библ. 10. Рез. англ.