

Академия наук СССР
Радиотехника и электроника
Т. IV, вып. 8, 1959 г.

Я. Ю. Рейнет, Х. Ф. Таммет, Л. О. Вальт

**О МЕТОДАХ УНИПОЛЯРНОГО ИОНИЗИРОВАНИЯ ВОЗДУХА
ПОСРЕДСТВОМ АЭРОИОНИЗАТОРОВ**

О МЕТОДАХ УНИПОЛЯРНОГО ИОНИЗИРОВАНИЯ ВОЗДУХА ПОСРЕДСТВОМ АЭРОИОНИЗАТОРОВ

Я. Ю. Рейнет, Х. Ф. Таммет, Л. О. Вальт

Дается обзор результатов изучения вопросов аэроионизации в Тартуском государственном университете. Рассматриваются требования к аэроионизаторам для ионификации помещений и других целей. Описываются принципы новых коронных, термических и аэрозольных ионизаторов воздуха.

Проблемам аэроионизации уделяется, особенно в последние годы, довольно большое внимание. Исследовательские работы в этой области почти без исключения исходят из непосредственных практических нужд. Цель настоящей статьи — дать краткий обзор физики аэроионизации, еще мало исследованной, и трудов кафедры физики Тартуского государственного университета в этой области.

Проблемы аэроионизации тесно связаны с физикой газового разряда, многие из них, где имеет место несамостоятельный тихий разряд, относятся непосредственно к области газовой электроники.

Фиксация давления и состава газа не упрощает исследования аэроионизации, так как носители зарядов имеют разные подвижности и их движение усложнено. Можно различать: 1) ток проводимости, вызванный движением ионов за счет электрических сил; 2) конвекционный ток, вызванный движением ионов, увлекаемых потоками воздуха; 3) диффузионный ток, причиной которого является тепловая диффузия ионов.

Для аэроионизации основное значение имеют два последних фактора. Однако расчеты конвекционного и диффузионного токов связаны с большими трудностями и их производят обычно только в грубом приближении.

Из электрических полей особое значение имеют поля объемных зарядов. Вспомогательные поля, созданные при помощи электродов, используют обычно для перемещения ионов в желаемом направлении.

П р и м е н е н и я а э р о и о н и з а ц и и. В настоящее время аэроионизация применяется, в основном, для трех целей. Во-первых, униполярно ионизированный воздух используется в медицине для ингаляции. Соответствующий лечебный метод, аэроионотерапия, дает хорошие результаты при многих болезнях [1]. Во-вторых, искусственная ионизация воздуха находит применение в промышленности при ликвидации вредных статических электрических зарядов. В-третьих, аэроионизация применяется для ускорения осаждения аэрозолей, что имеет большое значение в промышленности, сельском хозяйстве и медицине.

Заряженные аэрозоли и ионизированный воздух имеют много общих свойств, частицы аэрозолей обычно рассматриваются непосредственно как тяжелые ионы.

И о н и з а ц и я в о з д у х а в п о м е щ е н и и. От ионизатора, создающего униполярные аэроионы, ионы разносятся в пространство при помощи диффузии, электрического поля и воздушных потоков.

Из-за полей объемных зарядов большая концентрация униполярных ионов очень неустойчива. При равномерной плотности зарядов происходит электростатическое рассеивание ионов всюду с одной и той же скоростью.

Можно показать, что концентрация ионов в помещении падает на половину первоначальной за время

$$\tau = \frac{1}{4\pi u n_0 e}, \quad (1)$$

где u — подвижность ионов; n_0 — их начальная концентрация; e — элементарный заряд. Чтобы постоянно обновлять ионизацию в помещении, сохраняя постоянной концентрацию n , необходимо создавать ионов столько, чтобы вызвать ток

$$I = 4\pi V u (ne)^2, \quad (2)$$

где V — объем помещения.

По формуле (2) можно оценить мощность ионизаторов, способных ионизировать воздух данного помещения.

Требования по отношению к аэроионизаторам. Требования, предъявляемые к аэроионизаторам, в большой мере зависят от целей применения, но имеют и много общего: 1) высокая ионизационная способность; 2) способность создавать униполярные ионы (обычно отрицательные); 3) отсутствие вредных сопровождающих факторов (шум, ветер, озон и т. д.); 4) простота, дешевизна и экономичность, малые габариты и устойчивость в работе.

В зависимости от целей применения имеет большее значение то или другое из вышеприведенных требований.

Названным требованиям возможно в большей или меньшей степени удовлетворить, применяя разные ионизирующие факторы (самостоятельные разряды, ионизирующие излучения и т. д.). Пригодность ионизирующих факторов к употреблению в аэроионизаторах зависит прежде всего от трех причин: ионизирующей способности, возможности удаления ионов и их униполярности.

Коронные ионизаторы. По возможности создания полной униполярности и удаления ионов от аэроионизатора из самостоятельных разрядов наибольшие преимущества имеет корона.

Более широкому использованию специальных коронных ионизаторов положили начало труды Чижевского [2]. Позднее конструкции аэроионизаторов были усовершенствованы несколькими исследователями.

В лаборатории аэроионизации ТГУ сконструирован электроэффлювиальный аэроионизатор, в котором высокое напряжение получается при помощи компактного высокочастотного выпрямителя. Благодаря использованию высокой частоты, разрежен и проблема безопасности. Ионы удаляются от аппарата помимо электрического поля при помощи воздушного потока, создаваемого вентилятором. В последних ионизаторах большое внимание уделено уменьшению их размеров. Это удалось осуществить благодаря применению в устройстве высокого напряжения безтрансформаторного умножителя напряжения. Карликовый коронный ионизатор смонтирован в цилиндрический корпус диаметром 5 см и длиной 14 см. Ионизатор ввинчивается при помощи обыкновенного цоколя в патрон электрической лампочки. В качестве коронирующих электродов используются острия из тонкой проволоки, которые защищены от случайных соприкосновений специальной защитной решеткой. Для удаления ионов от аппарата применяется электрическое поле, создаваемое напряжением в 800 в, поданным на корпус аппарата. В идеализированном случае, если рассматривать ионизатор как шар радиуса r_1 в помещении шаровой формы радиуса r_2 , концентрация ионов в помещении может быть вычислена по следующей формуле:

$$n = \frac{3\phi}{16\pi e (V r_2 - V r_1) \sqrt{r^3}}, \quad (3)$$

где ϕ — напряжение, подаваемое на корпус ионизатора; r — расстояние

от рассматриваемой точки до центра ионизатора. Если ионизатор находится в висшем положении, приведенная формула может быть использована для приближенной оценки концентрации ионов в помещении. Контрольные эксперименты давали результаты, совпадающие в пределах ошибок опыта со значениями формулы (3).

Преимуществом рассматриваемого ионизатора является еще и то, что он создает по сравнению с другими типами меньшее количество озона. Срок службы аппарата велик, а потребляемая мощность незначительна (около 0,1 вт). Концентрации ионов в зависимости от расстояния приведены в следующей таблице.

Таблица

Расстояние, см	10	20	30	50
Концентрация в элемент. зарядах на 1 см ³	2,5 · 10 ⁶	6 · 10 ⁵	2 · 10 ⁵	6 · 10 ⁴

Аппарат предусмотрен для применения в медицине. Особенно подходящим он оказывается при проведении профилактической ионификации.

В медицинских исследовательских работах по аэроионотерапии целесообразно использование простых специализированных ионизаторов, обладающих особенно высокой ионизирующей способностью. Построены ионизаторы для ионизации кислорода, лечения ран, ионизации воздуха в чашечке Петри. Коронный ионизатор удалось вмонтировать даже в инъекционную иглу.

Современная полупроводниковая техника позволяет значительно уменьшить и размеры устройства высокого напряжения. Изготовлен опытный экземпляр ионизатора, размеры которого не превышают размеры обыкновенного карманного фонарика, причем в нем помещаются как устройство высокого напряжения, так и питающая батарея.

Термоионизаторы. Принцип работы термоионизатора основывается на ионизирующей способности накаливаемых металлов. В современных термоионизаторах используется эмиссия ионов от проволоки, накаливаемой током. В термоионизаторе и термоионизатор-соллюксе, сконструированных в ТГУ, на нихромовую проволоку, нагретую при температуре около 1000°, подается напряжение до 500 в.

По ионизирующей способности термоионизаторы уступают коронным ионизаторам, но преимущество первых является полное отсутствие образования биологически активных газов.

Особый термоионизатор изготовлен для ионизации вводимого в полость тела и ингалируемого кислорода. Ионизируемый кислород проходит через кварцевую трубку диаметром в несколько сантиметров, по оси которой расположена платиновая проволока диаметром 0,1 мм и длиной 1—2 см. Платиновая проволока накаливается электрическим током, одновременно с этим создается электрическое поле между проволокой и окружающим ее дополнительным электродом. В случае цилиндрического дополнительного электрода необходимое напряжение можно оценить по формуле

$$\varphi = \frac{\Phi \ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi l u}, \quad (4)$$

где Φ — объемная скорость кислорода; r_2 — радиус дополнительного электрода; r_1 — радиус проволоки; l — длина проволоки; u — подвижность ионов. При напряжении, большем φ , ионы будут осаждаться на дополнительном электроде. Аппарат создает высокую концентрацию ионов, причем предотвращено образование озона.

Радиоактивные ионизаторы. Хотя в настоящее время радиоактивные ионизаторы распространены, на них подробно останавливаться не будем, так как в лаборатории аэроионизации ТГУ этим вопросом занимались меньше.

Основным недостатком радиоактивных ионизаторов является потребность в радиоактивном препарате и воздушном потоке. Так как и для радиоактивных ионизаторов требуется источник напряжения, они не имеют особых преимуществ перед коронными.

Ионизаторы с ультрафиолетовым излучением. Экспериментально установлено, что ультрафиолетовое излучение ртутной лампы обладает ионизирующим действием. Этот эффект может быть использован для искусственной ионизации воздуха. В ТГУ сконструирована установка для ионизации воздуха помещения, в которой используется ртутная лампа ПРК-2.

Зарядка аэрозолей. Вопрос зарядки аэрозолей представляет собой отдельную проблему, которая так тесно связана с проблемами аэроионизации, что обычно включается в последние.

Для зарядки аэрозолей, состоящих из капелек проводящей жидкости, проще всего использовать какой-нибудь ионизатор, обычно предпочитают коронный разряд. Однако здесь имеется и другая возможность. При механическом распылении жидкости можно заряжать капельки путем электростатической индукции. Для этого создают у дюзы распылителя электрическое поле, которое индуцирует на поверхности жидкости поверхностные заряды, часть которых уносится капельками.

В ингаляторе — ионизаторе и аэрозольном ионизаторе кислорода, сконструированных в ТГУ, используется распылитель Бергсона — Барковского, над дюзой жидкости которого на высоте 0,5—3 мм помещен дополнительный электрод. На него подается постоянное напряжение в 100—800 в. Для получения биполярно заряженного тумана на указанный электрод подается переменное напряжение. Если над дюзой создано поле напряженности E , то созданный ток заряженных капелек выражается следующим образом:

$$I = I_0 \beta, \quad I_0 = \frac{3\gamma\Phi E}{4\pi a r_0}; \quad \beta = \frac{1}{1 + \frac{I_0 \epsilon}{\lambda S E}}. \quad (5)$$

Здесь I_0 — ток при идеально проводящей жидкости; γ — константа распылительного процесса, приблизительно интерпретируемая как отношение унесенного каплей элемента поверхности к площади капли (обычно $0,5 < \gamma < 1$); Φ — объемная скорость распыленной жидкости; r_0 — среднеквадратичный радиус капелек; a — отношение кубов среднекубического и среднеквадратичного радиусов; ϵ — диэлектрическая постоянная жидкости; λ — удельная проводимость жидкости; S — площадь дюзы.

При помощи ингалятора — ионизатора, работающего по описанному принципу, достигнуто отношение среднего заряда к массе капелек порядка $1,5 \cdot 10^4$ ед. зар. CGSE/г.

Зарядка аэрозолей возможна также путем разбрызгивания струи жидкости при ударе о преграду, если создать на месте распыления электрическое поле. Правда, этот метод дает несколько худшие результаты по сравнению с применением распылителя Бергсона — Барковского, но и здесь плотность зарядов достигает нескольких миллионов на 1 см^3 . На последнем принципе работает сконструированный в ТГУ гидроионизатор, отличающийся простотой устройства.

От описанного явления, основанного на электростатической индукции, нужно отличать баллоэлектрический эффект, который имеет место и без электрического поля, однако вызванные им заряды гораздо меньше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аэроионотерапия, БМЭ, II, 1957, 1289.
2. А. Л. Чижевский, Теоретические основы работы электростатического ионизатора, Сб. Проблемы ионификации, т. I, 39, Воронеж, 1933.