

ОЦЕНКА ДОПУСТИМОЙ МОЩНОСТИ КОРОННОГО АЭРОИОНИЗАТОРА ПО КРИТЕРИЮ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА

Р.Э. Прийман, Х.Ф. Таммет

Введение

Известным побочным эффектом коронных аэроионизаторов является генерирование оксидантов – в основном озона и оксидов азота. Это лимитирует допустимую мощность аэроионизатора. Контроль загрязнения воздуха имеет особое значение в случае аэроионификации помещений, в которых присутствуют люди. Количественные закономерности образования оксидантов при аэроионификации не были изучены. В настоящей работе авторы стараются заполнить пробел и предложить пользователю и разработчику системы аэроионификации способ расчетной оценки загрязнения воздуха оксидантами.

Предполагается, что в случае аэроионификации помещений в качестве коронирующих электродов используются горизонтально натянутые антенны из тонкой проволоки, что предложено и описано в работах /1-4/.

Сложная конфигурация реальных помещений и нестабильность распределения аэрозолей не позволяют осуществить на практике точный расчет режима аэроионизации. Поэтому мы будем ограничиваться оценками первого приближения.

Обозначения и единицы измерения

Расчет аэроионизации непосредственно в единицах СИ весьма неудобен. Для облегчения практического пользования все формулы будут приведены не в универсальном виде, а относительно конкретных практических единиц измерения. Все используемые обозначения и единицы измерения определены ниже в табл. I.

Таблица I

Обозначения и единицы измерения

Обозначение	Величина	Единица измерения в формулах	Для перевода в СИ умножить значение на
a	расстояние антенны от потолка	м	I
b	высота антенны над нижней плоскостью	м	I
d	расстояние рассматриваемой точки от антенны	м	I
l	длина антенны	м	I
V	объем помещения	м ³	I
U ₀	начальное напряжение коронирования антенны	кВ	1000
U	напряжение антенны	кВ	1000
I	сила тока антенны	мкА	10 ⁻⁶
τ	время релаксации оксидантов в помещении	с	I
n	концентрация аэроионов	см ⁻³	10 ⁶
c	концентрация оксиданта	мкг/м ³	10 ⁻⁹
K	удельная продукция оксиданта	мкг/мкКл	10 ⁻³

Расположение одиночной антенны в помещении объясняет рис. I.

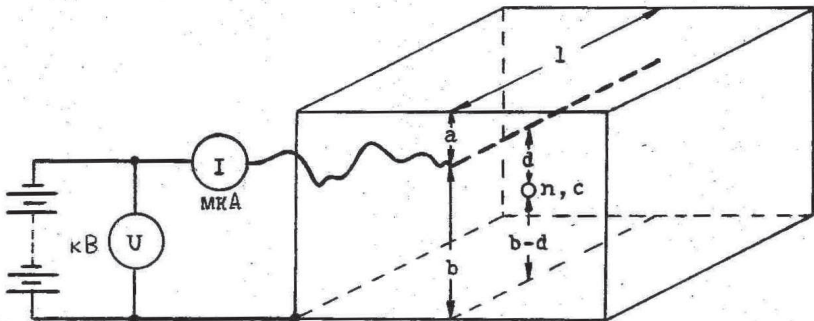


рис. I. Расположение антенны в помещении.

В пустом помещении нижней плоскостью служит пол. Если в помещении, например, в аудитории тесно расположены столы, то нижней плоскостью служит плоскость столов.

Электрический режим

Возникновение аэроионов начинается, когда напряжение антенны превышает порог коронирования U_0 . Для проволоки диаметром 0,1 мм $U_0 \approx 8$ кВ, для проволоки диаметром 0,2 мм $U_0 \approx 11,5$ кВ. Порог коронирования на остриях может быть снижен до 1 кВ.

Если воздух не содержит аэрозольных частиц, то теория коронного разряда /5, 6/ дает для антенны, расположенной согласно рис. 1, следующую оценку:

$$I = \frac{\rho(U-U_0)^2}{400} \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right). \quad (1)$$

Наличие аэрозолей уменьшает силу тока антенны, однако в практике аэроионизации это уменьшение обычно не превышает десяти процентов.

Электрическое поле в помещении определяется в основном не зарядом антенны, а объемным зарядом аэроионов. Электрическое поле под антенной мало зависит от высоты, средняя напряженность равна $(U-U_0)/b$. Скорость дрейфа легких аэроионов в этом поле близка к одному метру в секунду.

Концентрация всех аэроионов, как легких, так и тяжелых, рассчитанная по количеству элементарных зарядов в кубическом сантиметре, оценивается по формуле

$$n \approx 5500 \frac{U-U_0}{bd}. \quad (2)$$

Коронный разряд непосредственно создает только легкие аэроионы. Тяжелые аэроионы образуются в результате прилипания легких аэроионов к аэрозольным частицам. Концентрация тяжелых аэроионов зависит от наличия аэрозольных частиц, и в аэроионизированном помещении обычно она колеблется от нескольких тысяч до ста тысяч.

Униполярный объемный заряд аэроионов рассеивает тяжелые аэроионы и тем самым очищает воздух, что называется эффектом электрофильтра. Частицы осаждаются на ограждениях помещения, преимущественно на потолке над антенной. Одновременно растет эффективность осаждения частиц в легких человека, од-

нако в существенно меньшей мере по сравнению с ростом эффективности осаждения на стенках помещения. Эффект электрофильтра сильнее всего проявляется при условии, что антенны установлены над всей площадью помещения.

Примеры. По данным работы /3/ при $b = 3$ м, $d = 2$ м и $U - U_0 = 25$ кВ была достигнута концентрация легких аэроионов 180000 см^{-3} . Формула (2) дает суммарную концентрацию 275000 см^{-3} . Антенна была установлена над всей площадью помещения. Концентрация тяжелых аэроионов после включения антенны быстро возросла до 100000 см^{-3} , однако после 30-40 минут упала до 10000 см^{-3} . По данным другой работы /4, табл. 12/ при $b = 2,1$ м, $d = 1,7$ м и $U - U_0 = 28$ кВ под антенной суммарная концентрация была около 600000 см^{-3} , формула (2) дает 430000 см^{-3} . Антенна была установлена над небольшой частью площади помещения. Концентрация тяжелых аэроионов (разность замеров при предельных подвижностях $0,001$ и $0,01 \text{ см}^2/(\text{В с})$) составляла вначале 50000 см^{-3} и через 15 минут - 20000 см^{-3} .

Химический режим

Интенсивность образования оксидантов при коронном разряде была изучена с помощью установки, схема которой приведена на рис. 2.

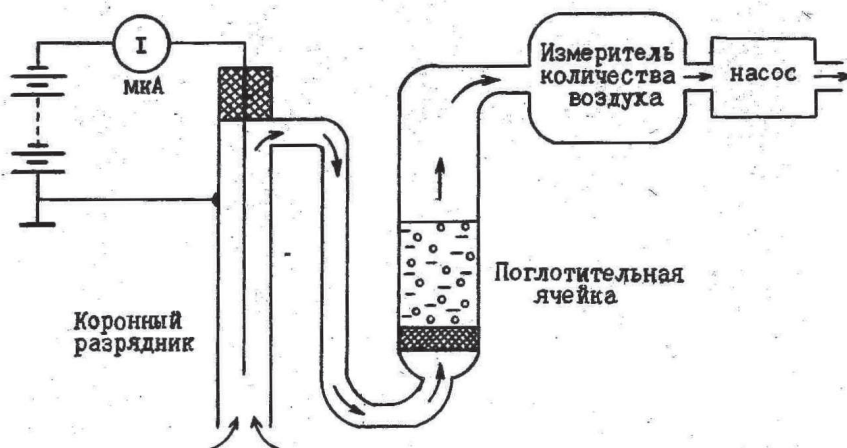


Рис. 2. Схема эксперимента.

Эксперименты были проведены при короне с тонкой проволоки или острия и при силе тока от 1 до 10 мкА. Озон абсорбирован в нейтральном буферном растворе 1%-го йодида калия, окислы азота - в нейтральном растворе 8%-го йодида калия. В качестве поглотительных ячеек служили для озона - абсорбер с пористым стеклянным фильтром, для окислов азота - поглотительный прибор Зайцева. Озон был определен йодометрически титрованием 0,001 н раствором тиосульфата натрия непосредственно после процесса абсорбции /7/, окислы азота (NO_2) - колориметрически с реактивом Грисса /8/.

В первом приближении количество образовавшихся оксидантов оказалось пропорциональным заряду, пропущенному через разрядник. Зависимости от конфигурации электродов, полярности и силы тока разряда выразились относительно слабо.

Из результатов эксперимента можно вывести следующие оценки максимальной удельной продукции оксидантов:

озон - до 0,015 мкг/мкКл,

окислы азота - до 0,0015 мкг/мкКл.

Оксиданты удаляются из помещения в результате химических реакций и вентиляции. Интенсивность этого процесса описывается временем релаксации, которое равно отношению количества оксидантов к скорости уменьшения этого количества при условии полного прекращения образования оксидантов. Время релаксации зависит от многих факторов и составляет минуты или десятки минут. Например, в лаборатории площадью около 40 м² без принудительной вентиляции было зарегистрировано время релаксации озона около десяти минут /10/.

При условии постоянной генерации оксидантов концентрация приближается к равновесному значению:

$$C = K\tau I/V. \quad (3)$$

Например, для помещения площадью 50 м², высотой 3 м и времени релаксации 1000 с при $I = 100$ мкА получим $C = 10$ мкг/м³.

Предельно допустимая аэроионизация

Санитарные нормы задают предельно допустимые концентрации озона и окислов азота в воздухе. ПДК озона в рабочих зонах - 100 мкг/м³ и в воздухе населенных пунктов - 30 мкг/м³ /9/. ПДК окислов азота выше. Поскольку аэроионизаторы генерируют озон примерно в 10 раз больше окислов азота, то кри-

тически оказывается концентрация озона. Норма 30 мкг/м^3 довольно высокая, при этом озон уже ощущается по запаху. Рекомендуется рассчитывать системы аэроионизации на более низкие концентрации озона.

В случае заданной ПДК (c_0) можно вычислить предельно допустимую силу тока

$$I_0 = c_0 V / (K\tau). \quad (4)$$

Например, при $c_0 = 15 \text{ мкг/м}^3$, $K = 0,015 \text{ мкг/мккл}$ и $\tau = 1000$ с допускается сила тока не более 1 мкА на м^3 объема помещения.

Максимальная сила тока ограничивает допустимое напряжение антенн, а это в свою очередь концентрацию аэроионов. При условии, что в помещении устанавливается по одной антенне на полосу шириной, равной b , получим оценку предельно допустимой концентрации аэроионов

$$n_0 \approx 10^6 \frac{a}{d} \sqrt{\frac{c_0 b (a+b)}{K\tau(a^2+b^2)}}. \quad (5)$$

Конкретный пример представлен на рис. 3.

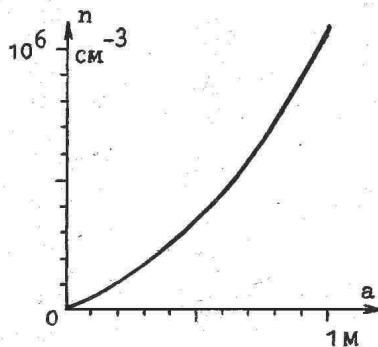


Рис. 3. Предельно допустимая концентрация аэроионов по генерированию озона на высоте 1 м в помещении высотой 3 м при $c_0 = 15 \text{ мкг/м}^3$, $K = 0,015 \text{ мкг/мккл}$ и $\tau = 1000 \text{ с}$ в зависимости от расстояния между антенной и потолком.

Если провести расчеты для известных систем аэроионизации, содержащих коронирующие антенны, то выясняется, что ПДК озона, а тем более окислов азота, в этих системах не превышает. Как правило, оставлен большой запас, что позволяет повысить мощность аэроионизации, если это необходимо, например, для усиления эффекта пылеосаждения.

Осуществление усиленной униполярной аэроионизации в помещениях, в которых присутствуют люди, допустимо только при условии установления и соблюдения санитарно-гигиенических ограничений на концентрацию аэроионов.

Л и т е р а т у р а

1. Таммет Х.Ф. К вопросу создания аэроионизаторов и ионетров для широкого внедрения аэроионотерапии. - В кн.: Аэроионизация и гидроаэроионизация в медицине. Ташкент, 1962, с. 250-256.
2. 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.
3. Таммет Х.Ф., Сальм Я.И. Об использовании проволочных антенн для аэроионизации. - Уч. зап. Тарт.ун-та, 1979, вып. 479, с. 19-25.
4. Лангус Л.Э., Рейнет Я.Ю. Об ионизации воздуха в закрытых помещениях при помощи коронных ионизаторов. - Уч. зап. Тарт. ун-та, 1979, вып. 479, с. 38-55.
5. Бахтаев Ш.А. Коронный разряд на микропроводах. Алма-Ата, 1984. - 208 с.
6. Таммет Х.Ф. Действующая ширина идеального проволочного нейтрализатора статического электричества. - Уч.зап. Тарт. ун-та, 1969, вып. 239, с. 47-52.
7. Кривошипин И.П. Озон в промышленном птицеводстве. - М.: Россельхозиздат, 1979. - 95 с.
8. Унифицированные методы определения атмосферных загрязнений / Под ред. Сидоренко Т.И. и Дмитриева М.Т. М., 1976. - 263 с.

9. Беспмятнов Г.П., Кротов Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Л., 1985. - 528 с.
10. Прийман Р.Э. Применимость озонного индекса для оценки загрязнения воздуха. - См. наст. сб., с.175-183.

ASSESSMENT OF THE PERMISSIBLE POWER OF THE CORONA IONIZER
ACCORDING TO THE CRITERION OF THE CHEMICAL POLLUTION
OF THE AIR

R. Priiman and H. Tammet

S u m m a r y

The generation of ozone and nitrogen oxides restricts the permissible power of the corona ionizer. The present paper quantitatively describes the intensity of the generation of these substances and its relationship with the concentration of air ions. The article treats the ionization of the air of an enclosed room generated by means of the high-voltage antenna (Fig. 1). The intensity of the current consumed can be assessed by means of formula (1) and the concentration of air ions can be assessed by formula (2). These formulas do not agree with the basic units of measurement of the SI system but are in agreement with the practical units of measurement mentioned in the penultimate column of Table 1. The generation of ozone and of nitrogen oxides was measured with the device described in Figure 2. It appeared that the charge of $1 \mu\text{C}$ produces only up to $0.015 \mu\text{g}$ of ozone and up to $0.005 \mu\text{g}$ of nitrogen oxides; the notation of the corresponding equivalent is K. The power of the air ionizer is limited by ozone. If the relaxation time of the decomposition of ozone in the enclosed space is τ , formula (4) can be used to compute the maximum permissible intensity of the current. The restriction of the current intensity also limits the concentration of air ions according to formula (5). The permissible air ion concentrations proceeding from the limiting concentrations of ozone are high and significantly exceed the standards of air ionization recommended by medical scientists.