

Технология нормализации ионного состава воздушной среды обитаемых помещений

И.И. Попов, доцент, канд. техн. наук, член-корр. Украинской экологической академии наук¹

С.В. Рудаков, доцент, канд. техн. наук²

И.А. Толкунов, старший преподаватель, заместитель начальника кафедры³

Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков

e-mail: psp@nuczu.edu.ua¹, serg_73@gala.net², tolkunov_ia@mail.ru³

Ключевые слова:

аэроион, аэроионизация, коронный аэроионизатор, нормативный аэроионный режим, искусственная ионизация воздуха, управляемый генератор аэроионов.

Изложена технология нормализации ионного состава воздушной среды обитаемых помещений с помощью управляемого генератора аэроионов, встраиваемого в систему кондиционирования воздуха; описана структура такого генератора и исследованы основные режимы его функционирования.

Известно, что ионизация воздуха до $2 \dots 3 \cdot 10^9 \text{ м}^{-3}$ оказывает благоприятное нормализующее влияние на организм человека и повышает его работоспособность. Нормативный аэроионный режим в обитаемых помещениях наиболее эффективно может быть создан путем подачи в помещение искусственно ионизированного воздуха с помощью стационарных коронных аэроионизаторов, встроенных в систему кондиционирования воздуха. Такой подход к ионизации воздуха представляется рациональным как в медико-техническом, так и в экономическом отношении [1–6]. В этом случае режим ионизации воздуха зависит от организации воздухообмена и в значительной степени определяется способом распределения воздуха в помещении, т.е. типом и производительностью воздухохораспределительных устройств [7–12].

1. Особенности рациональной организации воздухообмена в обитаемых помещениях

Проведенные исследования показали, что для осуществления мероприятий по нормализации аэроионного режима наиболее эффективна схема организации воздухообмена «сверху–вниз», когда приточный воздух должен выпускаться в верхней зоне помещения по возможности ближе к рабочей зоне, а вытяжной воздух должен удаляться через пол или стены в нижней части помещения [8, 9]. Неравномерность получаемых аэроионизационных параметров

по высоте рабочей зоны в этом случае оценивается коэффициентом неравномерности поля K_{np} :

$$K_{np} = \frac{\sum_{i=1}^{n_r} (N_i - N_{xi})}{N_i \cdot n_r}, \quad (1)$$

или среднеквадратичным отклонением параметров σ_r :

$$\sigma_r = \sqrt{\frac{1}{n_r \sum_{i=1}^{n_r} (N_i - N_{xi})^2}}, \quad (2)$$

где N_i — средний параметр аэроионизации для исследуемой совокупности замеров;

N_{xi} — средний параметр аэроионизации в произвольной точке рабочей зоны;

n_r — число измерений.

Используя балансовый метод и основываясь на медико-технических требованиях [7, 13], за допустимое изменение концентрации аэроионов Δn^\pm в обитаемых помещениях следует принимать половину разности значений концентрации аэроионов между оптимальными и допустимыми (необходимыми) значениями [2, 14]:

$$\Delta n^\pm = \pm \frac{n_{дон}^\pm - n_{онт}^\pm}{2} \quad (3)$$

где $n_{доп}^{\pm}$ и $n_{опт}^{\pm}$ — соответственно допустимая и оптимальная концентрация отрицательных и положительных легких аэроионов в зоне дыхания операторов.

2. Способ нормализации ионного состава воздушной среды в обитаемых помещениях

Нормализация ионного состава воздушной среды обитания путем подачи искусственно ионизированного воздуха основана на свойствах и закономерностях приточных струй. В этом случае инженерные расчеты по определению концентрации аэроионов в рабочей зоне кондиционируемых помещений нужно вести для условий прямого воздействия приточных струй с учетом характеристик генераторов аэроионов и воздухораспределительных устройств [4, 15].

Одним из основных требований, предъявляемых к генераторам аэроионов как устройствам для нормализации ионного состава воздушной среды рабочей зоны, является возможность регулировать количество генерируемых аэроионов n , которое определяется полярностью и законом напряжения на коронирующих электродах, геометрической конфигурацией коронирующей системы и др. [6]:

$$n = e^{\int_0^x \alpha_u(x) dx}, \quad (4)$$

где x — расстояние от коронирующего электрода до произвольной точки в струе ионизированного воздуха, м;

$\alpha_u(x)$ — первый коэффициент ионизации Таунсенда.

Исследования коронирующих систем с игольчатыми (остриевыми) электродами показали, что разрядный промежуток такого аэроионизатора можно считать образованным гиперболическим острием с радиусом кривизны R_0 и плоскостью, находящейся на расстоянии d от острия, в воздухе при атмосферном давлении $P = 760$ мм рт. ст. ($1,013 \cdot 10^5$ Па). [8, 16]. Напряженность электрического поля E_p у острия равна:

$$E_p = \frac{2U_k}{R_M \cdot \lg \left(\frac{4d}{R_M} \right)}, \quad (5)$$

где U_k — потенциал острия, В.

Напряженность поля E вблизи острия в зависимости от расстояния x изменяется по закону:

$$E = \frac{R_M}{R_M + E} E_p. \quad (6)$$

Согласно законам подобия, коэффициент ионизации α_u в выражении (4) может быть определен из соотношения:

$$\frac{\alpha_u}{P} = f \left(\frac{E}{P} \right) = A e^{\left(\frac{BP}{E} \right)}, \quad (7)$$

где A и B — постоянные коэффициенты, которые для воздуха при $\left(\frac{E}{P} \right) = 100 \dots 800$ В·см⁻¹ мм рт. ст.⁻¹

(0,75...6,0 м⁻¹·кПа⁻¹) соответственно равны 15 и 365 см⁻¹ мм рт. ст.⁻¹ (м⁻¹·кПа⁻¹).

Используя соотношения (5) и (7), выражение (4) можно представить в виде:

$$n = e^{APe^{\left[\frac{BP(R_0+x) \lg \left(\frac{4d}{R_0} \right)}{2U_k} \right]}}. \quad (8)$$

Анализ соотношения (8) показывает, что требуемый уровень аэроионизации может быть достигнут путем изменения величины напряжения на коронирующих электродах и расстояния между коронирующим и заземленным металлическими электродами, экранирования и изменения расстояния между рабочей зоной и аэроионизатором, а также при комбинации этих способов [17].

В условиях изолированных малых объемов обеспечение требуемого уровня аэроионизации путем экранирования или изменения расстояния между аэроионизатором и рабочей зоной малоэффективно и не всегда может быть реализовано вследствие ограниченных размеров помещения. Поэтому основной метод регулирования концентрации аэроионов, генерируемых коронным аэроионизатором в обитаемых помещениях, должно быть изменение величины постоянного напряжения на коронирующих электродах.

В качестве управляемых генераторов аэроионов используются также устройства, в которых на аэроионы, образовавшиеся у коронирующего электрода (или другого источника), воздействуют электрическим полем, создаваемым с помощью дополнительного управляющего электрода, установленного на выходе аэроионизатора [17].

3. Структура управляемого генератора аэроионов

Разработанное устройство для ионизации воздуха (рис. 1) выполнено в виде камеры 1 из диэлектрического материала, в которой установлен коронирующий электрод 2 в виде острия, соединенный с источником постоянного напряжения отрицательной или положительной полярности.

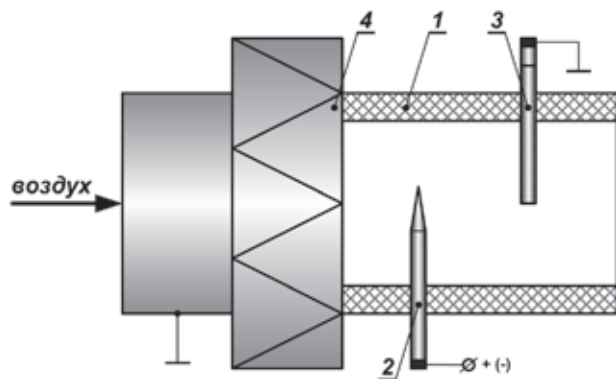


Рис. 1. Устройство для ионизации воздуха: 1 – камера из диэлектрического материала; 2 – коронирующий электрод в виде острия; 3 – управляющий заземленный электрод; 4 – предварительный фильтр тонкой очистки)

После коронирующего электрода по ходу воздуха, который подается через предварительный фильтр тонкой очистки 4, установлен управляющий заземленный электрод 3, выполненный в виде металлического стержня с резьбой, имеющего регулируемую глубину погружения в поперечной плоскости диэлектрической камеры. Это позволяет регулировать количество образующихся в процессе коронного разряда аэроионов и, следовательно, их концентрацию в потоке воздуха.

4. Исследование концентрации аэроионов на выходе управляемого генератора аэроионов

При начальной напряженности E электрического поля в разрядном промежутке коронного аэроионизатора перемещение заземленного управляющего электрода создает некоторое положительное или отрицательное приращение $E+\Delta E$. При этом разность потенциалов, приложенных к разрядному промежутку длиной d , изменится от U_k до $U_k + \Delta U_k$. Здесь:

$$\Delta U_k = \int_0^d \Delta E dx. \quad (9)$$

Из (4) имеем:

$$\frac{\alpha_u}{P} = A e^{\left(\frac{-BP}{E+\Delta E}\right)} = \frac{\alpha_{uo}}{P} \left[1 + \frac{BP}{E^2} \Delta E + \frac{BP}{E^4} \left(\frac{BP}{2} - E \right) \Delta E^2 \right], \quad (10)$$

где $\alpha_u = \alpha_{uo}$ при $\Delta E = 0$.

Изменение количества генерируемых аэроионов получаем при интегрировании выражения (4) с учетом (10):

$$\int_0^d \alpha_u dx - \alpha_{uo} dx = \alpha_{uo} \frac{BP}{E^2} \left[\Delta U_k + \frac{1}{E^2} \left(\frac{BP}{2} - E \right) \int_0^d \Delta E^2 dx \right]. \quad (11)$$

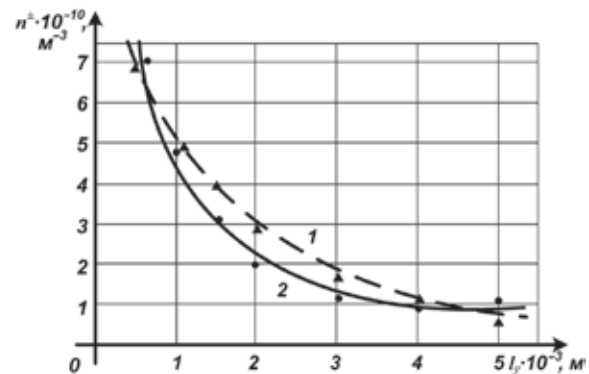


Рис. 2. Зависимость концентрации n^+ лёгких аэроионов на выходе устройства для ионизации воздуха от перемещения l_y управляющего электрода: 1, \blacktriangle – отрицательные аэроионы; 2, \bullet – положительные аэроионы)

Минимальное изменение разности потенциалов на разрядном промежутке, которое приводит к изменению количества образующихся аэроионов, определяем из выражения (11), приравняв левую часть к нулю:

$$\Delta U_k = \frac{1}{E^2} \left(E - \frac{BP}{2} \right) \int_0^d \Delta E^2 dx. \quad (12)$$

Знак приращения разности потенциалов ΔU_k в этом случае будет определяться знаком множителя

$\left(E - \frac{BP}{2} \right)$. Соотношение (12) позволяет определить

в первом приближении пространственные границы зоны регулирования при определенных конструктивных и режимных параметрах коронных аэроионизаторов.

На рис. 2 приведена зависимость концентрации отрицательных n^- и положительных n^+ легких аэроионов на выходе разработанного устройства для ионизации воздуха от величины l_y перемещения управляющего электрода. Зависимость получена для устройства (рис. 1), выполненного в виде цилиндрической камеры из гетинакса с внутренним диаметром $2,5 \cdot 10^{-2}$ м. При этом диаметр управляющего электрода равен $3 \cdot 10^{-3}$ м, а его удаление от коронирующего электрода по ходу воздуха — $1 \cdot 10^{-2}$ м. Коронирующий электрод изготовлен в виде стальной иглы диаметром $2 \cdot 10^{-3}$ м и длиной $1,5 \cdot 10^{-2}$ м с углом заточки острия 20° .

Начальное положение управляющего электрода в поперечной плоскости камеры определялось пространственными границами зоны регулирования. Погружение управляющего электрода вглубь камеры приводило к уменьшению концентрации как положительных, так и отрицательных аэроионов.

5. Заключение

Разработано и исследовано устройство для ионизации воздуха, предназначенное для нормализации аэроионного режима в рабочей зоне обитаемых помещений. Это устройство обеспечивает гарантируемую безопасность и высокую эффективность мероприятий по искусственной аэроионизации воздуха, будучи наиболее совершенным вариантом в медико-техническом и экономическом отношениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богомолов А.В. Концепция математического обеспечения диагностики состояния человека // Информатика и системы управления. — 2008. — № 2(16). — С. 11–13.
2. Кукушкин Ю.А. Методика автоматизированного оценивания риска нарушения функционального состояния человека на основе компьютерных вопросников / Ю.А.Кукушкин, В.М.Усов, А.В.Богомолов // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. — 2002. — № 5–6.
3. Правила безопасности труда в органах и подразделениях МЧС Украины. Введены в действие приказом МЧС Украины от 07.05.2007 г. № 312.
4. Толкунов И.А. Некоторые аспекты обеспечения нормативного аэроионного режима рабочей среды помещений специального назначения МЧС Украины / И.А. Толкунов, В.В. Маринюк, И.И. Попов, В.В. Пономарь // Проблемы чрезвычайных ситуаций. — 2008. — № 8. — С. 198–206.
5. Ушаков И.Б. Аппаратно-программные комплексы для медико-психологического обеспечения контроля надежности профессиональной деятельности человека в условиях высокого риска возникновения чрезвычайной ситуации / И.Б.Ушаков, А.А.Ворона, Ю.А.Кукушкин, А.В.Богомолов // Безопасность жизнедеятельности. — 2004. — № 3.
6. Chapman S. Corona point current in wind // Journal of Geophysical Research. 1970. Vol. 75, № 12. P. 2165–2169.
7. Кукушкин Ю.А. Методология стабилизации функционального состояния оператора системы «человек — машина» / Ю.А.Кукушкин, А.Г.Гузий, А.В.Богомолов // Мехатроника, автоматизация, управление. — 2002. № 5.
8. Толкунов И.А. Исследование и разработка управляемых генераторов аэроионов для помещений специального назначения МЧС Украины / И.А. Толкунов, И.И. Попов, В.В. Барбашин // Сборник научных трудов Национального университета гражданской защиты Украины. — Выпуск 10. — 2009. — С. 186–194.
9. Толкунов И.А. Теоретическое исследование процессов переноса аэроионов в потоках воздуха в помещениях специального назначения МЧС Украины / И.А. Толкунов, И.И. Попов, В.В. Барбашин // Сборник научных трудов Национального университета гражданской защиты Украины. — Выпуск 11. — 2010. — С. 137–145.
10. Федоров М.В. Технология планирования многофакторных экспериментальных исследований и построения эмпирических моделей комбинированных воздействий на операторов эргатических систем / М.В.Федоров, А.В.Богомолов, С.А.Айвазян, Г.В.Цыганок // Информационно-измерительные и управляющие системы. — 2010. — № 5. — С. 53–61.
11. Фещенко К.Б. Математическая модель динамики средней численности приборов и аппаратов медицинского назначения в условиях разомкнутого цикла метрологического обслуживания / К.Б.Фещенко, В.Е.Козлов, А.В.Богомолов, А.П.Волобуев, С.В.Рудаков // Биомедицинская радиоэлектроника. — 2006. — № 5–6. — С. 99–103.
12. Фещенко К.Б. Методика оценивания продолжительности метрологического обслуживания измерительных приборов и аппаратных средств в условиях разомкнутых метрологических цепей / К.Б.Фещенко, В.Е.Козлов, А.В.Богомолов, А.П.Волобуев, С.В.Рудаков // Информационно-измерительные и управляющие системы. — 2007. — № 1. — С. 54–60.
13. ГНАОТ 0.03–3.06.80 Санитарно-гигиенические нормы допустимых уровней ионизации воздуха производственных и общественных помещений № 2152–80.
14. Рудаков С.В. Методика идентификации вида закона распределения параметров при проведении контроля состояния сложных систем / С.В.Рудаков, И.С.Рудаков, А.В.Богомолов // Информационно-измерительные и управляющие системы. — 2007. — № 1. — С. 66–72.
15. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч. 2. Вентиляция и кондиционирование воздуха (Справочник проектировщика). — М.: Стройиздат, 1978. — 509 с.
16. Салата Н.П. Обоснование оптимальных параметров остриевых коронирующих электродов для аэроионификации животноводческих помещений // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 1976. — Вып. 35. — С. 85–89.
17. Монтик П.Н. Исследование управляемого генератора ионов / П.Н.Монтик, С.А.Коновалов // Электронная обработка материалов. 1979. — №4. — С. 64–67.

Technology for Normalization of Manned Premises' Air Environment Ion Composition

I.I. Popov, Ph.D. of Engineering, Associate Professor, Correspondent Member of Ukraine's Ecological Academy of Science, National University of Civil Protection of Ukraine, Kharkov

S.V. Rudakov, Ph.D. of Engineering, Associate Professor, National University of Civil Protection of Ukraine, Kharkov

I.A. Tolkunov, Senior Lecturer, Deputy Head of Chair, National University of Civil Protection of Ukraine, Kharkov

Technology for normalization of manned premises' air environment ion composition with controlled generator of air ions, embedded in an air conditioning system, has been laid out. Such generator structure has been described, and main modes of its functioning have been studied.

Key words: air ion, air ionization, corona air ionizer, regulatory air ion mode, artificial air ionization, controlled generator of air ions

????????????????????

????????????????????