

**ТЕХНОЛОГИЯ НОРМАЛИЗАЦИИ ИОННОГО СОСТАВА ВОЗДУШНОЙ  
СРЕДЫ ОБИТАЕМЫХ ПОМЕЩЕНИЙ  
TECHNOLOGY FOR NORMALIZATION OF ION COMPOSITION OF AIR ENVIRONMENT  
IN THE CREW PREMISES**

Толкунов И.А., Рудаков С.В., Рускин А.В., Арцыгов В.Х.  
Tolkunov I.A., Rudakov S.V., Ruskin A.V., Artsygov V.Kh.

**Аннотация.** 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.

**Abstract.** The technology of normalization of the ionic composition of the air environment habitable rooms with controlled oscillator ions, embedded in an air conditioning system, described the structure of such a generator, and study the main modes of use.

**Ключевые слова:** аэроион, аэроионизация, коронный аэроионизатор, нормативный аэроионный режим, искусственная ионизация воздуха, управляемый генератор аэроионов.

**Key words:** air ions, air ionization, corona aeroionizer, a regulatory regime of the air ions, the artificial ionization of air driven generator ions.

**Реферат.** Анализ способов нормализации ионного состава воздушной среды показывает, что нормативный аэроионный режим в обитаемых помещениях наиболее эффективным образом может быть реализован путем подачи в помещение искусственно ионизированного воздуха с помощью стационарных коронных аэроионизаторов, встроенных в систему кондиционирования воздуха, как наиболее совершенного варианта в медико-техническом и экономическом отношении. В этом случае режим ионизации воздуха зависит от организации воздухообмена и в значительной степени определяется способом распределения воздуха в помещении, в частности, типом и производительностью воздухораспределительных устройств.

В условиях изолированных малообъемных обитаемых помещений обеспечение требуемых уровней аэроионизации путем экранирования или изменения расстояния между аэроионизатором и рабочей зоной малоэффективно и не всегда может быть реализовано вследствие ограниченных размеров помещения. Поэтому в такого рода помещениях основной метод регулирования концентрации аэроионов, генерируемых коронным аэроионизатором, должен заключаться в изменении величины постоянного напряжения на коронирующих электродах.

В качестве управляемых аэроионизаторов 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. Одно из таких устройств для ионизации воздуха было разработано в процессе проведения исследований.

Установка в обитаемое помещение разработанного устройства, с учетом дальнейшего его совершенствования, обеспечивает гарантированную безопасность и высокую эффективность мероприятий по искусственной ионизации воздуха с одновременным сокращением расходов на их проведение, что обусловлено возможностью применения инженерных методов расчета при разработке, изготовлении и эксплуатации устройств аэроионизации.

Таким образом, нормализация аэроионного режима в обитаемых помещениях должна быть реализована путем подачи в помещение искусственно ионизированного воздуха с помощью стационарных регулируемых коронных аэроионизаторов. Однако у подобных аэроионизаторов вследствие физической природы коронного разряда наблюдается сложность создания нормативных уровней концентрации аэроионов в зоне дыхания персонала, поэтому существующие методы регулирования и технические средства, реализующие эти методы, требуют дальнейшего совершенствования.

**Abstract.** The analysis of methods of normalization of ionic composition of air environment shows that the normative aeroionic mode in the inhabited apartments can the most effective character be realized by a serve in the apartment of the artificially ionized air by means of stationary corona aeroionizers, built into the system of climatization, as most perfect variant in a medical, technical and economic relation. In this case the mode of ionising of air depends on organization of ventilation and largely determined by the method of distribution of air in an apartment, in particular, by a type and productivity of devices of distribution of air.

In the conditions of the isolated inhabited apartments providing of the required levels of aeroionising by screening or change of distance between an aeroionizer and working area ineffectively and not always it can be realized because of the limited sizes of apartment. Therefore in such family apartments the basic method of adjusting of concentration of aeroions, generated by a corona aeroionizer, must consist in the change of size of permanent tension on electrodes.

As the guided aeroionizers devices, in which on aeroions, appearing at an ionizing electrode (or other source), are used also, influence the electric field, created by means of additional managing electrode, set on the output of aeroionizer. One of such devices for ionising of air was worked out in the process of realization of researches.

Setting in the inhabited apartment of the worked out device, taking into account his further perfection, provides the assured safety and high efficiency of measures on the artificial ionising of air with the simultaneous cutback of spending on their realization, that it contingently possibility of application of engineering methods of calculation at development, making and exploitation of devices of aeroionising.

Thus, normalization of the aeroionic mode in the inhabited apartments must be realized by a serve in the apartment of the artificially ionized air by means of the stationary managed aeroionizers. However similar aeroionizers in investigation of physical nature of corona digit have complication of creation of normative levels of concentration of aeroions in the area of breathing of personnel, the therefore existent methods of adjusting and hardwares, realizing these methods, require further perfection.

Известно, что ионизация воздуха до величины  $2...3 \cdot 10^9 \text{ м}^{-3}$  оказывает благоприятное нормализующее влияние на организм человека и повышает его работоспособность. Нормативный аэроонный режим в обитаемых помещениях наиболее эффективным образом может быть реализован путем подачи в помещение искусственно ионизированного воздуха с помощью стационарных коронных аэроонизаторов, встроенных в систему кондиционирования воздуха. Такой подход к ионизации воздуха представляется рациональным как в медико-техническом, так и в экономическом отношении [1, 4, 7, 12, 15, 19]. 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 воздухораспределительных устройств [5, 10, 13, 16 – 18].

#### *Особенности рациональной организации воздухообмена в обитаемых помещениях*

Проведенные исследования показали, что для осуществления мероприятий по нормализации аэроонного режима наиболее эффективной является 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 [10, 13].

Неравномерность получаемых аэроонизационных параметров по высоте рабочей зоны в этом случае оценивается коэффициентом неравномерности поля  $K_{нр}$ :

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

или среднеквадратичными отклонениями параметров  $\sigma_r$ :

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

где  $N_i$  – средний параметр аэроонизации для исследуемой совокупности замеров;  $N_{xi}$  – средний параметр аэроонизации в произвольной точке рабочей зоны;  $n_r$  – число измерений.

Используя балансовый метод и основываясь на медико-технических требованиях [3, 5], за допустимые изменения концентрации аэроонов  $\Delta n^\pm$  в обитаемых помещениях следует принимать половину разности концентраций аэроонов между оптимальными и допустимыми (необходимыми) значениями [4, 8]:

$$\Delta n^\pm = \pm \frac{n_{доп}^\pm - n_{опт}^\pm}{2}, \quad (3)$$

где  $n_{доп}^\pm$  и  $n_{опт}^\pm$  – соответственно допустимая (необходимая) и оптимальная концентрация отрицательных и положительных легких аэроонов в зоне дыхания операторов.

#### *Способ нормализации ионного состава воздушной среды в обитаемых помещениях*

В основу реализации способа нормализации ионного состава воздушной среды обитания путем подачи искусственно ионизированного воздуха могут быть положены свойства и закономерности приточных струй. В этом случае инженерные расчеты по определению концентрации аэроонов в рабочей зоне кондиционируемых помещений должны вестись для условий прямого воздействия приточных струй с учетом характеристик генераторов аэроонов и воздухораспределительных устройств [2, 12].

Одним из основных требований, предъявляемых к генераторам аэроонов как к основным устройствам для нормализации ионного состава воздушной среды рабочей зоны, является возможность регулирования количества генерируемых аэроонов  $n$ , которое определяется полярностью и законом напряжения на коронирующих электродах, геометрической конфигурацией ко-

ронирующей системы и др. [19].

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

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  $R_3$  и плоскостью, находящейся на расстоянии  $d$  от острия, в воздухе при атмосферном давлении  $P = 760$  мм рт.ст. ( $1,013 \cdot 10^5$  Па). [9, 10]. Напряженность электрического поля  $E_p$  у острия равна:

$$E_p = \frac{2U_k}{R_3 \cdot \lg\left(\frac{4d}{R_3}\right)} \quad (5)$$

где  $U_k$  – потенциал острия, В.

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

$$E = \frac{R_3}{R_3 + x} E_p \quad (6)$$

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

$$\frac{\alpha_u}{P} = f\left(\frac{E}{P}\right) = Ae^{-\left(\frac{BP}{E}\right)} \quad (7)$$

где  $A$  и  $B$  – постоянные коэффициенты, которые для воздуха при  $\left(\frac{E}{P}\right) = 100 \dots 800$  В·см<sup>-1</sup>·мм рт.ст.<sup>-1</sup> ( $0,75 \dots 6,0$  м<sup>-1</sup>·кПа<sup>-1</sup>) соответственно равны 15 и 365 см<sup>-1</sup>·мм рт.ст.<sup>-1</sup> (м<sup>-1</sup>·кПа<sup>-1</sup>).

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

$$n = e^{APe^{-\left[\frac{BP(R_3+x)\lg\left(\frac{4d}{R_3}\right)}{2U_k}\right]}} \quad (8)$$

Анализ соотношения (8) показывает, что обеспечение требуемого уровня аэроионизации может быть достигнуто изменением величины напряжения на коронирующих электродах, изменением расстояния между коронирующим и заземленным металлическими электродами, экранированием и изменением расстояния между рабочей зоной и аэроионизатором, а также комбинацией этих способов [6].

В условиях изолированных малых объемов обеспечение требуемых уровней 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, должен заключаться в изменении 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 [6].

#### 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.

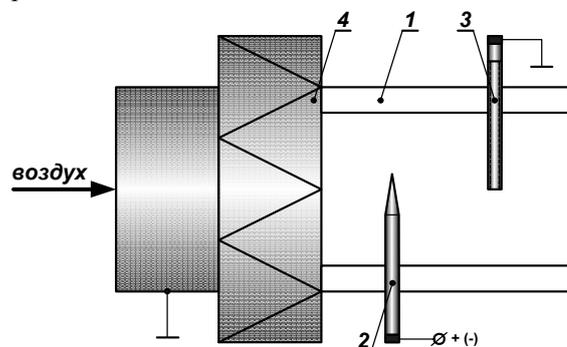


Рис. 1 – Устройство для ионизации воздуха (1 – камера из диэлектрического материала; 2 – коронирующий электрод в виде острия; 3 – управляющий заземленный электрод; 4 – предварительный фильтр тонкой очистки).

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, что позволяет регулировать количество образующихся в процессе коронного разряда аэроионов и, следовательно, их концентрацию в потоке воздуха.

*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 значения  $U_k$  до  $U_k + \Delta U_k$ . Здесь:

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

Из (4) имеем:

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

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

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

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

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

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

Знак приращения разности потенциалов  $\Delta U_k$  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 приведены зависимости концентрации отрицательных  $n^-$  и положительных  $n^+$  легких аэроионов на выходе разработанного устройства для ионизации воздуха от величины перемещения управляющего электрода.

Зависимости получены 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 коро-

нирующего 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  $20^\circ$ . 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.

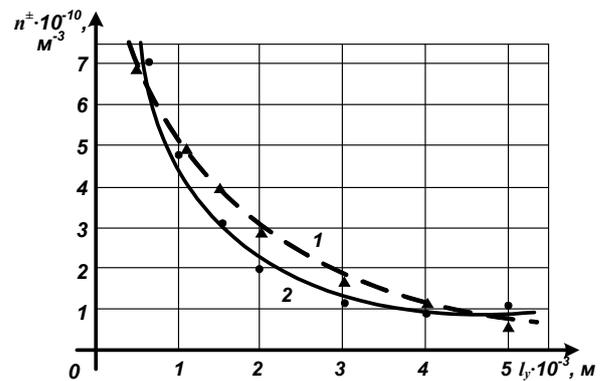


Рис. 2 – Зависимость концентрации  $n^\pm$  лёгких аэроионов на выходе устройства для ионизации воздуха от перемещения  $l$ , управляющего электрода (1,  $\blacktriangle$  – отрицательные аэроионы; 2,  $\bullet$  – положительные аэроионы).

*Выводы.* Нормализация аэроионного режима в обитаемых помещениях должна быть реализована путем подачи в помещение искусственно ионизированного воздуха с помощью стационарных регулируемых коронных аэроионизаторов. Однако у подобных аэроионизаторов вследствие физической природы коронного разряда наблюдается сложность создания нормативных уровней концентрации аэроионов в зоне дыхания персонала, поэтому существующие методы регулирования и технические средства, реализующие эти методы, требуют дальнейшего совершенствования.

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

Установка разработанного устройства в обитаемых помещениях, с учетом дальнейшего его совершенствования, обеспечивает гарантированную безопасность и высокую эффективность мероприятий по искусственной ионизации воздуха с одновременным сокращением расходов на их проведение, что обусловлено возможностью

применения инженерных методов расчета при разработке, изготовлении и эксплуатации устройств аэроионизации.

### Список литературы

1. *Богомолов А.В.* Концепция математического обеспечения диагностики состояния человека / А.В.Богомолов // Информатика и системы управления. – 2008. – № 2(16). – С. 11 – 13.

2. *Внутренние санитарно–технические устройства. Ч.2. Вентиляция и кондиционирование воздуха (Справочник проектировщика).* – М.: Стройиздат, 1978. – 509 с.

3. *ГНАОТ 0.03–3.06.80* Санитарно–гигиенические нормы допустимых уровней ионизации воздуха производственных и общественных помещений № 2152–80.

4. *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 – № 5–6, 2002.

5. *Кукушкин Ю.А.* Методология стабилизации функционального состояния оператора системы «человек – машина» / Ю.А.Кукушкин, А.Г.Гузий, А.В.Богомолов // Мехатроника, автоматизация, управление. – № 5, 2002.

6. *Монтик П.Н.* Исследование управляемого генератора ионов / П.Н.Монтик, С.А.Коновалов // Электронная обработка материалов. – М.: 1979. – №4. – С.64–67.

7. *Правила безопасности труда в органах и подразделениях МЧС Украины.* – Введены в действие приказом МЧС Украины от 07.05.2007 г. №312.

8. *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.

9. *Салата Н.П.* Обоснование оптимальных параметров остриевых коронирующих электродов для аэроионизации животноводческих помещений. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – Вып. №35. – 1976. – С.85–89.

10. *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.

11. *Толкунов И.А.* Исследование процессов

генерирования аэроионов в электрических ионизаторах воздуха / И.А.Толкунов, И.И.Попов, В.В.Барбашин // Проблемы чрезвычайных ситуаций. – 2009. – № 9. – С.129–138.

12. *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.

13. *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.

14. *Успенская Л.Б.* Математическая статистика в вентиляционной технике. – М.: Стройиздат, 1980. – 108 с.

15. *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. – № 3, 2004.

16. *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.

17. *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.

18. *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.

19. *Chapman S.* Corona point current in wind. J. of Geophysical Reserch. Vol. 75, №12, 1970. P.2165–2169.