

Методологический подход к применению коронных аэроионизаторов при проведении коррекции аэроионного состава воздуха помещений

*К.т.н., доцент К.А. Черный**

ФГБОУ ВПО Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Ключевые слова: электрический аэроионизатор; легкие аэроионы; коронный разряд

Внутренняя воздушная среда жилых, общественных и производственных зданий зависит как от качества окружающей среды, так и от работы ограждающих конструкций и инженерных устройств. С гигиенической точки зрения важно отметить, что по сравнению с наружной средой практически все параметры внутренней среды обитания вследствие работы отопительно-вентиляционных систем и ограждающих конструкций претерпевают определенные изменения, причем часть изменений носит позитивный характер (например, создаются благоприятные микроклиматические условия вне зависимости от наружных метеословий), а часть может носить негативный характер (например, происходит денатурация первичного атмосферного воздуха – потеря первичных качеств или загрязнение воздуха помещений).

Следует констатировать, что в науке проблема обеспечения полного воздушного комфорта человека в помещениях, по сравнению, например, с проблемой обеспечения теплового комфорта, изучена недостаточно. Комплексное научное представление о причинах воздушного дискомфорта, нередко испытываемого человеком в помещениях или иных замкнутых воздушных объемах, является предметом современных научных исследований [1-5]. Ряд авторов [6-13] одну из причин воздушного дискомфорта в помещениях (особенно при применении установок кондиционирования воздуха) видит в изменении аэроионного состава воздуха по сравнению с исходным первичным атмосферным воздухом – в помещениях происходит снижение содержания легких аэроионов. Причиной убыли легких ионов является поглощение их в процессе дыхания человеком, превращения части легких ионов в тяжелые вследствие оседания на аэрозольных частицах, а также адсорбции поверхностями.

Действующими санитарно-гигиеническими нормами [14] определены минимально необходимые концентрации аэроионов: 600 см^{-3} для отрицательных и 400 см^{-3} для положительных аэроионов. Кроме того, для положительных и отрицательных аэроионов установлены максимально допустимые уровни – 50000 см^{-3} . Указанные нормативные уровни могут быть обеспечены проведением мероприятий по искусственной генерации аэроионов с помощью специального оборудования – аэроионизаторов.

При проведении искусственной аэроионизации воздуха существует определенное противоречие в выборе режимов работы аэроионирующего оборудования. С одной стороны, аэроионизатор должен быть способен обеспечивать формирование аэроионного состава в соответствии с установленными гигиеническими нормами по всему объему помещения, что при больших антропогенных нагрузках на воздушную среду требует от него способности значительной генерации легких аэроионов. Последнее, в случае применения электрических аэроионизаторов, требует увеличения напряжения на коронирующих излучателях, тем самым увеличения тока короны и, как следствие, увеличения интенсивности ионизации воздуха [15]. С другой стороны, повышение напряжения на коронирующих излучателях неминуемо приводит к побочной генерации химических вредных веществ в силу повышения активности протекания негативных ион-индуцированных химических реакций (в первую очередь с и между наиболее представленными в воздухе газами – кислородом O_2 и азотом N_2 , а также углекислым газом CO_2).

К настоящему времени установлено, что генерация побочных химических продуктов при коронной ионизации связана в первую очередь с формированием в воздухе таких химических опасных и вредных факторов как озон O_3 , оксиды азота NO , NO_2 , NO_x , которые при дальнейшем протекании химических реакций со временем превращаются в различные соединения, связанные с формированием молекул азотной кислоты HNO_3 [16]. Генерация озона O_3 при коронном разряде зависит от материала и эффективной кривизны коронирующего излучателя, относительной влажности воздуха, полярности разряда и ряда других факторов [17]. Генерация соединений азота NO_x зависит главным образом от энергии коронного разряда [18]. Между тем, подробных

Черный К.А. Методологический подход к применению коронных аэроионизаторов при проведении коррекции аэроионного состава воздуха помещений

исследований зависимости уровней концентраций аэроионов и интенсивностей генерации побочных вредных химических продуктов коронного разряда, к которым прежде всего следует отнести генерацию озона и оксидов азота, при различных напряжениях на излучателях аэроионизаторов до настоящего времени не проводилось.

Таким образом, при определении возможности и эффективности применения электрических коронных ионизаторов стоит задача установления оптимальных значений напряжения на коронирующих электродах с целью, с одной стороны, обеспечения необходимых, но не чрезмерных концентраций легких аэроионов в зоне дыхания, а с другой стороны, исключения генерации химических вредных веществ в обрабатываемом аэроионизатором воздухе.

Автором проведены исследования по определению взаимосвязей генерации легких отрицательных аэроионов, образованию озона и оксидов азота в воздухе при различных режимах работы коронного ионизатора. Для обеспечения единообразного подхода и обеспечения статистической достоверности эксперимента во всех исследованиях в качестве источника ионизации был выбран коронирующий излучатель аэроионизатора АЭРОН-М, на который подавалось различное постоянное напряжение отрицательной полярности, задаваемое при помощи умножителя напряжения – 5; 7; 10; 18; 25; 36 кВ. Коронирующий излучатель размещался на высоте 2,5 м над уровнем пола в лабораторном помещении размерами (длина×ширина×высота) 5,8×9,3×4,2 м.

Исследование значений концентрации легких аэроионов проводилось с помощью спектрометра аэроионов конструкции автора [19].

Зависимость значений концентраций легких аэроионов от величины напряжения на коронирующих излучателях при различных расстояниях до ионизатора представлены на рис. 1. Зависимости с достоверной вероятностью 0,99 описываются выражениями вида:

$$n = X1 \cdot \ln(U_{корон}) - X2, \quad (1)$$

где $X1$ и $X2$ – числовые коэффициенты, значения которых приведены на рис. 1.

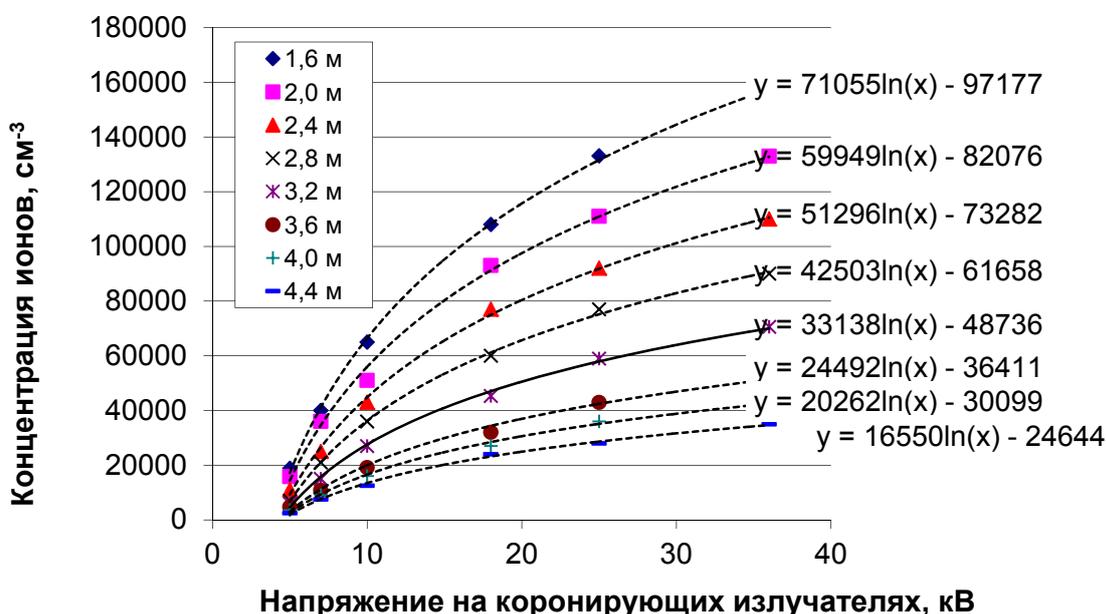


Рисунок 1. Зависимость концентрации легких отрицательных аэроионов от напряжения при различных расстояниях r до ионизатора

Зависимости коэффициентов $X1$ и $X2$ от расстояния до ионизатора представлены на рис. 2 и достоверно аппроксимируются экспоненциальными функциями:

$$X1 = 178566 \exp(-0,5384 \cdot r) \quad (2)$$

$$X2 = 232755 \exp(-0,5046 \cdot r). \quad (3)$$

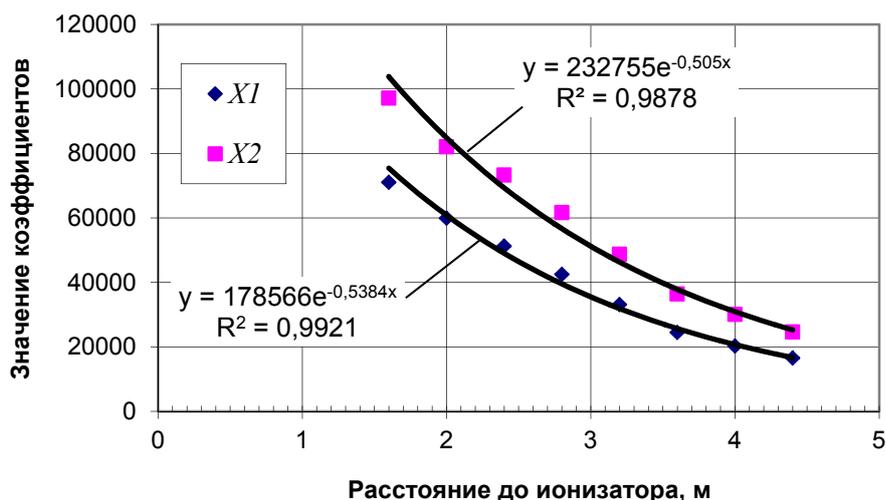


Рисунок 2. Зависимость коэффициентов $X1$ и $X2$ от расстояния до ионизатора

Зависимости концентрации легких отрицательных аэроионов, генерируемых коронным ионизатором, от квадрата расстояния до ионизатора r^2 при различных напряжениях на коронирующих излучателях, представленные на рис. 3, с доверительной вероятностью не менее 0,96 аппроксимируются выражением:

$$n = K \cdot e^{-br^2}, \quad (4)$$

где n – объемная концентрация легких отрицательных аэроионов (см^{-3}); r – расстояние до аэроионизатора (м); K и b – некоторые числовые коэффициенты, характеризующие конструктивные особенности конкретного аэроионизатора. Указанное соотношение позволяет организовать заданный ионный режим непосредственно в зоне наиболее продолжительного пребывания человека (например, за рабочим столом) путем изменения расстояния до ионизатора и тем самым позволяет разработать рекомендации по размещению ионизаторов в помещении.

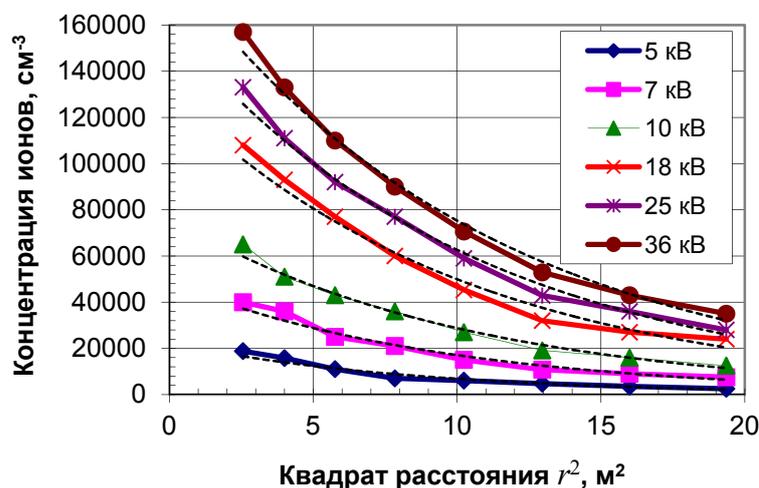


Рисунок 3. Зависимость концентрации аэроионов от квадрата расстояния до ионизатора r^2 при различных напряжениях на коронирующих излучателях

С увеличением напряжения на коронирующих излучателях наблюдается увеличение коэффициента K , физический смысл которого заключается в величине концентрации аэроионов в непосредственной близости от коронного ионизатора (величина r^2 стремится к нулю). С доверительной вероятностью 0,99 значения коэффициента K в зависимости от величины напряжения на коронирующих излучателях $U_{\text{корон}}$, кВ описываются эмпирической формулой:

$$K = 85047 \cdot \ln(U_{\text{корон}}) - 116200. \quad (5)$$

Черный К.А. Методологический подход к применению коронных аэроионизаторов при проведении коррекции аэроионного состава воздуха помещений

Представленное выражение позволяет оценивать необходимое напряжение на коронирующих излучателях в зависимости от местоположения аэроионизатора и требуемой изначальной (в непосредственной близости) концентрации аэроионов.

Значение коэффициента b уменьшается с увеличением напряжения на коронирующих излучателях. Физически это означает, что скорость падения величины концентрации аэроионов по мере роста расстояния до ионизатора уменьшается с увеличением напряжения на коронирующих излучателях. Зависимость величины коэффициента b от величины напряжения на коронирующих излучателях $U_{\text{корон}}$, кВ (рис. 4) с доверительной вероятностью 0,99 описывается выражением:

$$b = Y_1 \left(\frac{U_{K0}}{U_{\text{корон}}} \right)^{Y_2} - Y_3 \cdot U_{\text{корон}} + Y_4, \quad (6)$$

где $Y_1=0,014$; $Y_2=2,9$; $Y_3=0,0002$ и $Y_4=0,0985$ – числовые коэффициенты, $U_{K0}=5,8$ кВ – значение напряжения на коронирующих излучателях, при котором наблюдается перегиб в характеристике. По всей вероятности значение U_{K0} согласуется с величиной, при которой наблюдается переход от доминирования механизма уменьшения концентрации аэроионов в силу их рекомбинации над механизмом уменьшения концентрации аэроионов в силу увеличения объема их присутствия при движении в электрическом поле.

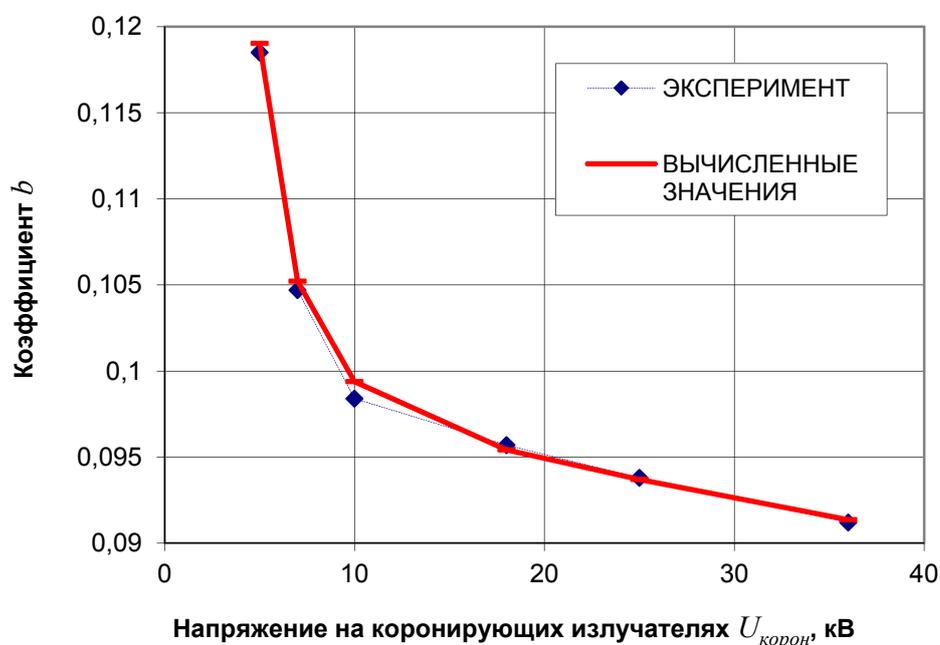


Рисунок 4. Зависимость коэффициента b от напряжения на излучателях

Измерение концентраций оксидов азота (в пересчете на NO_2) осуществлялось газоанализатором КОМЕТА, окиси азота NO – газоанализатором ЭЛАН- NO . Концентрация озона фиксировалась при помощи индикаторных трубок в соответствии с методикой [20].

В предварительно проветренном помещении перед каждым экспериментом проводились измерения фоновых концентраций O_3 , NO_2 и NO . Фоновые значения оказались ниже предела чувствительности используемых средств измерений во всех случаях проведения экспериментов и в дальнейшем не учитывались. Измерения концентраций вредных химических веществ проводились в середине помещения спустя 1 час после включения аэроионизатора в заданном исследователем режиме работы. Отбор проб осуществлялся на высоте порядка 1,5 м над уровнем пола в зоне дыхания.

Результаты исследований побочной генерации озона O_3 , оксида азота NO и оксидов азота NO_x (в пересчете на NO_2) в зависимости от величины напряжения на коронирующих излучателях, представлены в табл. 1. В таблице приведены средние значения серий из 3+5 измерений.

Таблица 1. Концентрации озона O_3 , оксида азота NO и оксидов азота NO_x (в пересчете на NO_2) при коронной аэроионизации

Величина коронирующего напряжения $U_{корон}$, кВ	Массовая концентрация, мг/м ³		
	Озон O_3 (ПДК – 0,1 мг/м ³)	Оксид азота NO (ПДК установлена для оксидов азота NO_x)	Оксиды азота NO_x (в пересчете на NO_2) (ПДК – 5,0 мг/м ³)
5	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
7	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
10	0,16	Не обнаружено	0,14
18	0,20	0,013	0,21
25	0,70	0,015	0,24
36	1,30	0,018	0,28

Для напряжений на коронирующих излучателях 5 и 7 кВ генерация всех побочных химических веществ оказалась ниже предела чувствительности используемых средств измерений.

Концентрации озона при напряжениях 10÷18 кВ составляют величину, равную 1,6÷10 ПДК воздуха рабочей зоны.

Величины концентраций оксида азота NO и оксидов азота NO_x (в пересчете на NO_2) не превышают ПДК воздуха рабочей зоны при всех рассмотренных режимах работы аэроионизатора.

Таким образом, полученные в результате выполненных автором исследований эмпирические зависимости величины генерации легких аэроионов от напряжения, подаваемого на коронирующие электроды аэроионизатора, позволяют осуществлять прогнозирование изменения характеристик формируемого аэроионного состава. Использование характерных для рассматриваемого типа аэроионизатора зависимостей и числовых коэффициентов позволяет определить расстояние до аэроионизатора, при котором выполняются установленные гигиенические требования к концентрации отрицательных аэроионов в воздухе. Между тем следует отметить, что представленные выше зависимости справедливы только при условии незначительной антропогенной нагрузки на воздушную среду помещений. Следует ожидать, что числовые коэффициенты в полученных эмпирических формулах изменятся в условиях интенсивного поглощения и оседания аэроионов, например, в процессе дыхания большого количества людей в помещении, или в условиях интенсивного аэрозольного (пылевого) или электростатического загрязнения.

Применение рассмотренного коронного аэроионизатора с величиной напряжения на коронирующих излучателях менее 10 кВ с точки зрения генерации побочных вредных химических продуктов коронного разряда ничем не ограничено. В случае использования аэроионизатора с напряжением на излучателях более 10 кВ следует осуществлять мониторинг содержания в воздухе помещений озона. Предельное значение коронирующего напряжения в 10 кВ является характерным только для рассматриваемой конструкции аэроионизатора и может отличаться для других типов аэроионизаторов.

Представленный методологический подход к определению возможностей применения аэроионизаторов позволяет научно обоснованно применять средства искусственной коррекции аэроионного состава воздуха помещений. Проведение исследований, аналогичных представленным автором, для широкого круга аэроионизаторов различных конструкций обеспечит существенное продвижение в развитии методов оценки аэроионирующего оборудования и систем. Использование предложенного методологического подхода при проведении санитарно-гигиенической экспертизы выпускаемых аэроионизаторов, а также установление обязательных требований на указание в эксплуатационной документации аэроионизаторов аналогичных полученным автором зависимостям, позволяет проводить обоснованные мероприятия по организации заданного аэроионного состава при условии обеспечения качества и безопасности воздушной среды помещений.

Литература

1. Singh J. Health, Comfort and Productivity in the Indoor Environment // Indoor and Built Environment. 1996. Vol. 5. Pp. 22–33.
2. Sekhar S. C., Ching C. S. Indoor air quality and thermal comfort studies of an under-floor air-conditioning system in the tropics // Energy and Buildings. 2002. Vol. 34. Pp. 431-444.
3. Назаров Ю. П. Строительная наука как фактор обеспечения безопасности среды обитания // Промышленное и гражданское строительство. 2006. №8. С. 8–10.
4. Fransson N., Västfjäll D., Skoog J. In search of the comfortable indoor environment: A comparison of the utility of objective and subjective indicators of indoor comfort // Building and Environment. 2007. Vol. 42. Pp. 1886–1890.
5. Мещеряков А. Ю., Осипов С. Н. Новые технологии управления качеством воздуха на объектах со средой обитания // Информационные технологии и вычислительные системы. 2008. №2. С. 20-26.
6. Krueger A. P. Air Ions and Physiological Function // The Journal of General Physiology. 1962. Vol. 45. Pp. 233–241.
7. Шилкин А. А., Губернский Ю. Д., Миронов А. М. Аэроионный режим в гражданских зданиях. М.: Стройиздат, 1988. 169 с.
8. Недобора О. А. Биотехническая система аэроионотерапии с каналом контроля концентрации аэроионов: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2001. 177 с.
9. Черкасова Н. Г. Улучшение качества очистки и оздоровления воздушной среды искусственной ионизацией: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2002. 286 с.
10. Гуськов А. С. Комплексная гигиеническая оценка ионизации воздушной среды закрытых помещений: дис. ... канд. мед. наук. Москва, 2005. 125 с.
11. Мещеряков А. Ю., Осипов С. Н., Колерский С. В. Медико-техническое обеспечение контроля аэроионного состояния воздуха на объектах с искусственной средой обитания // Труды ИСА РАН. 2006. Т. 19. С. 182–191.
12. Air ion effects on human performance [электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.electrostatics.net/articles/air%20ion%20effects.htm> (дата обращения: 27.07.2012).
13. Waring M. S., Siegel J. A. The effect of an ion generator on indoor air quality in a residential room // Indoor Air. 2011. Vol. 21. Pp. 267–276.
14. Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений: СанПиН 2.2.4.1294-03: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы Рос. Федерации.
15. Капцов Н. А. Коронный разряд и его применение в электрофильтрах. М.: Гостехиздат, 1947. 145 с.
16. Sekimoto K., Takayama M. Influence of needle voltage on the formation of negative core ions using atmospheric pressure corona discharge in air // International Journal of Mass Spectrometry. 2007. Vol. 261, Issue 1. Pp. 38–44.
17. Liu L., Guo J., Sheng L. The effect of wire heating and con-figuration on ozone emission in negative ion generator // Journal of Electrostatics. 2000. Vol. 48. Pp. 81–91.
18. Rehbein N., Cooray V. NOx production in spark and corona discharges // Journal of Electrostatics. 2001. Vol. 51–52. Pp. 333–339.
19. Черный К. А. Физические параметры и способы формирования биопозитивной воздушной среды в замкнутых помещениях: дис. ... канд. техн. наук. Пермь. 1999. С. 49-59.
20. ГОСТ 12.1.014-84. Система стандартов безопасности труда. Воздух рабочей зоны. Метод измерения концентраций вредных веществ индикаторными трубками.

* Константин Анатольевич Черный, г. Пермь, Россия

Тел. раб.: +7(342)219-80-49; эл. почта: sms@pstu.ru

© Черный К.А., 2012

doi: 10.5862/MCE.32.7

The methodology of corona air ionizer usage when correcting the indoor air ion composition

K.A. Chernyy,*State National Research Polytechnic University of Perm, Perm, Russia,
+7(342)219-80-49; e-mail: sms@pstu.ru*

Key words

corona air ionizer; small air ion; corona discharge

Abstract

There is a need of the solution of two inconsistent tasks connected with features of technical characteristics assignment when using electrical corona air ionizers for correction of air ion composition. On the one hand, for providing sufficient generating ability of the air ionizer the increasing of corona voltage is necessary. On the other hand, increase of the corona voltage leads to increasing in generation of concomitant harmful chemical compounds.

Results of research of small air ion concentration and volume concentration of ozone O₃, nitrogen oxide NO and nitrogen oxides (in terms of NO₂) are presented.

The received empirical dependences allow to carry out calculating of change of foregoing above characteristics for formed air ion composition.

References

1. Singh J. Health, Comfort and Productivity in the Indoor Environment. *Indoor and Built Environment*. 1996. Vol. 5. Pp. 22-33.
2. Sekhar S. C., Ching C. S. Indoor air quality and thermal comfort studies of an under-floor air-conditioning system in the tropics. *Energy and Buildings*. 2002. Vol. 34. Pp. 431-444.
3. Nazarov Yu. P. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo* [Industrial and Civil Construction]. 2006. No. 8. Pp. 8-10. (rus)
4. Fransson N., Västfjäll D., Skoog J. In search of the comfortable indoor environment: A comparison of the utility of objective and subjective indicators of indoor comfort. *Building and Environment*. 2007. Vol. 42. Pp. 1886-1890.
5. Meshcheryakov A. Yu., Osipov S. N. *Informatsionnyye tekhnologii i vychislitelnyye sistemy* [Information technology and computing]. 2008. No. 2. Pp. 20-26. (rus)
6. Krueger A. P. Air Ions and Physiological Function. *The Journal of General Physiology*. 1962. Vol. 45. Pp. 233-241.
7. Shilkin A. A., Gubernskiy Yu. D., Mironov A. M. *Aeroionnyy rezhim v grazhdanskikh zdaniyakh* [Aeroionic regime in civilian buildings]. Moscow: Stroyizdat, 1988. 169 p. (rus)
8. Nedobora O. A. *Biotehnicheskaya sistema aeroionoterapii s kanalom kontrolya kontsentratsii aeroionov* [Biotechnical system aeroionotherapy channel concentration control ions]. Dissertation of the candidate of technical sciences. Moscow, 2001. 177 p. (rus)
9. Cherkasova N. G. *Uluchsheniye kachestva ochistki i ozdorovleniya vozduшной sredy iskusstvennoy ionizatsiyey* [Improving the quality of cleaning and air sanitation and artificial ionization]. Dissertation of the candidate of technical sciences. Krasnoyarsk, 2002. 286 p. (rus)
10. Guskov A. S. *Kompleksnaya gigiyenicheskaya otsenka ionizatsii vozduшной sredy zakrytykh pomeshcheniy* [Comprehensive hygienic assessment of the ionization of air in enclosed premises]. Dissertation of the candidate of medical sciences. Moscow, 2005. 125 p. (rus)
11. Meshcheryakov A. Yu., Osipov S. N., Kolerskiy S. V. *Trudy ISA RAN* [Proceedings of ISA RAS]. 2006. Vol. 19. Pp. 182-191. (rus)
12. *Air ion effects on human performance* [Internet resource]. AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.electrostatics.net/articles/air%20ion%20effects.htm>.
13. Waring M. S., Siegel J. A. The effect of an ion generator on indoor air quality in a residential room. *Indoor Air*. 2011. Vol. 21. Pp. 267-276.

14. *Gigiyenicheskiye trebovaniya k aeroionnomu sostavu vozdukha proizvodstvennykh i obshchestvennykh pomeshcheniy* [Hygiene requirements for air ion formula for industrial and public premises]. SanPiN 2.2.4.1294-03: Sanitary rules and regulations Russian Federation. (rus)
15. Kaptsov N. A. *Koronnyy razryad i ego primeneniye v elektrofiltrakh* [Corona discharge and its application in electrostatic]. Moscow: Gostekhizdat, 1947. 145 p. (rus)
16. Sekimoto K., Takayama M. Influence of needle voltage on the formation of negative core ions using atmospheric pressure corona discharge in air. *International Journal of Mass Spectrometry*. 2007. Vol. 261. Issue 1. Pp. 38-44.
17. Liu L., Guo J., Sheng L. The effect of wire heating and con-figuration on ozone emission in negative ion generator. *Journal of Electrostatics*. 2000. Vol. 48. Pp. 81-91.
18. Rehbein N., Cooray V. NOx production in spark and corona discharges. *Journal of Electrostatics*. 2001. Vol. 51-52. Pp. 333-339.
19. Chernyy K. A. *Fizicheskiye parametry i sposoby formirovaniya biopozitivnoy vozduшной sredy v zamknutykh pomeshcheniyakh* [Physical parameters and methods of forming biological positive air in confined spaces]. Dissertation of the candidate of technical sciences. Perm. 1999. Pp. 49-59. (rus)
20. GOST 12.1.014-84. *Sistema standartov bezopasnosti truda. Vozdukh rabochey zony. Metod izmereniya kontsentratsiy vrednykh veshchestv indikatornymi trubkami* [Occupational safety standards system. Workplace air. Method measure the concentrations of hazardous substances breathalyzer]. (rus)

Full text of this article in Russian: pp. 48-53