

УДК 613.155:537.562

К.А. Черный**РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ И КОРРЕКЦИИ АЭРОИОННОГО СОСТАВА ВОЗДУХА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ В ЦЕЛЯХ СНИЖЕНИЯ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ РАБОТНИКОВ**

При использовании электрических коронных аэроионизаторов для коррекции аэроионного состава возникает необходимость решения двух противоречивых задач, определяющих особенности задания технических характеристик аэроионизатора. С одной стороны, для обеспечения достаточной генерирующей способности аэроионизатора, следует увеличивать напряжение на его коронирующих излучателях. С другой стороны, возрастание напряжения на электродах приводит к увеличению генерации побочных вредных химических соединений.

В статье приведены результаты исследования концентраций аэроионов легкой группы подвижности и наблюдаемые при этом величины объемных концентраций озона O_3 , оксида азота NO и оксидов азота NO_x (в пересчете на NO_2) при различных напряжениях на коронирующих излучателях.

Получены эмпирические зависимости, позволяющие осуществлять прогнозирование изменения обозначенных характеристик формируемого аэроионного состава.

Электрический аэроионизатор; легкие аэроионы; коронный разряд.

К.А. Cherniy**DEVELOPMENT OF THE ESTIMATION AND IMPROVEMENT MEANS OF AIR ION COMPOSITION IN THE WORKPLACE FOR PSYCHOPHYSIOLOGICAL JOB REDUCTION**

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 O_3 , nitrogen oxide NO and nitrogen oxides (in terms of NO_2) are presented.

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

Corona air ionizer; small air ion; corona discharge.

Современные тенденции изменения роли и места работника в производственном процессе, связанные с увеличением количества объектов, которыми должен управлять работник, с возрастанием скоростей управляемых им процессов, с широким применением дистанционного управления, определяют актуальность и необходимость всестороннего и комплексного изучения производственных факторов, оказывающих влияние на психофизиологическое состояние работника.

Одним из известных, но до конца еще не изученных факторов, оказывающих психофизиологическое воздействие на организм работника, является аэроионный состав воздуха рабочей зоны.

Действующими санитарно-гигиеническими нормами [1] определены минимально необходимые концентрации легких аэроионов: 600 см^{-3} для отрицательных и 400 см^{-3} для положительных аэроионов. Такие минимально необходимые уровни могут быть обеспечены проведением мероприятий по искусственной генерации легких аэроионов с помощью специального оборудования – аэроионизаторов.

При проведении мероприятий по 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 во всей рабочей зоне, что при больших антропогенных нагрузках на воздушную среду требует от него способности значительной генерации легких аэроионов. Последнее, в случае применения электрических аэроионизаторов, требуется увеличение напряжения на коронирующих излучателях, тем самым увеличения тока короны и как следствие увеличения интенсивности ионизации воздуха [2]. С другой стороны, повышение напряжения на коронирующих излучателях неминуемо приводит к побочной генерации химических вредных веществ в силу повышения активности протекания ион-индуцированных и энергетически вызванных негативных химических реакций, в первую очередь с наиболее представленными в воздухе газами – кислородом O_2 и азотом N_2 , а также углекислым газом CO_2 . Проблема генерации 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 [3]. Установлено, что генерация озона O_3 при коронном разряде зависит от материала и эффективной кривизны коронирующего излучателя, относительной влажности воздуха, полярности разряда и ряда других факторов [4], генерация соединений азота NO_x зависит главным образом от энергии коронного разряда [5].

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 с помощью спектрометра аэроионов конструкции автора [6].

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 [7]. 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 исследования зависимости интенсивности генерации легких отрицательных аэроионов от величины напряжения на коронирующем излучателе представлены на рис. 1, 2.

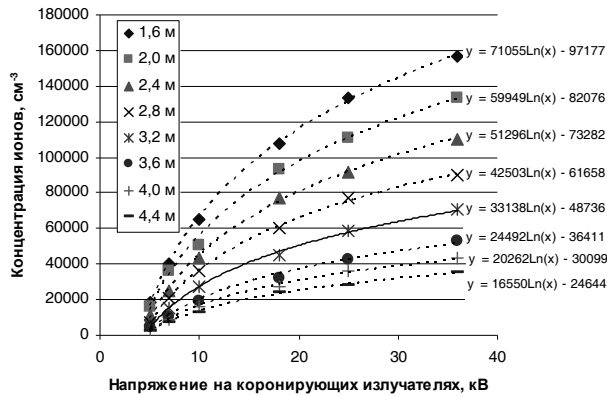


Рис. 1. Зависимость концентрации легких отрицательных аэроионов от напряжения при различных расстояниях r до ионизатора

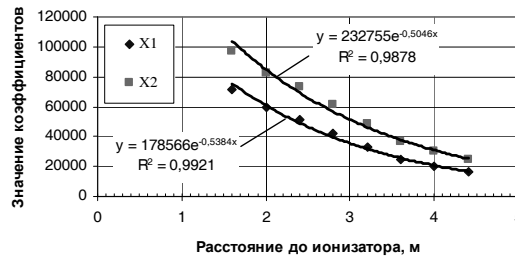


Рис. 2. Зависимость коэффициентов $X1$ и $X2$ от расстояния до ионизатора.

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

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

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

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

$$X1 = 178566 \cdot \exp(-0,5384 \cdot r) \text{ и} \tag{2}$$

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

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:

$$n = K \cdot e^{-br^2}, \tag{4}$$

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.

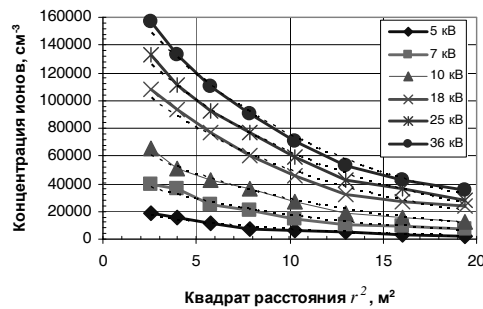


Рис. 3. Зависимость концентрации аэроионов от квадрата расстояния до ионизатора r^2 при различных напряжениях на коронирующих излучателях

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 $U_{корон}$, кВ, описываются эмпирической формулой

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

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

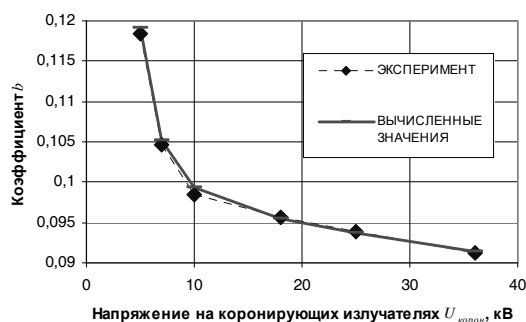
Значение коэффициента b уменьшается с увеличением напряжения на коронирующих излучателях. Физически это означает, скорость падения величины концентрации аэроионов по мере роста расстояния до ионизатора уменьшается с увеличением напряжения на коронирующих излучателях. Зависимость величины коэффициента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

$$b = Y_1 \left(\frac{U_{к0}}{U_{корон}} \right)^{Y_2} - Y_3 \cdot U_{корон} + Y_4, \quad (6)$$

где $Y_1=0,014$; $Y_2=2,9$; $Y_3=0,0002$ и $Y_4=0,0985$ – числовые коэффициенты, $U_{к0}=5,8$ кВ – значение напряжения на коронирующих излучателях, при котором наблюдается перегиб в характеристике. По всей вероятности значение $U_{к0}$ 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.

Важной составляющей эффективного, но безопасного применения аэроионизаторов является минимизация побочных продуктов коронного разряда, к которым, прежде всего, следует отнести генерацию озона и оксидов азота при условии обеспечения необходимых, но не чрезмерных концентраций легких аэроионов 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.

Рис. 4. Зависимость коэффициента k от напряжения на излучателях

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.

Величины концентраций оксида азота NO и оксидов азота NO_x (в пересчете на NO₂) не превышают ПДК при всех рассмотренных режимах работы аэроионизатора.

Полученные эмпирические зависимости величины генерации легких аэроионов от электрического напряжения, подаваемого на коронирующие электроды аэроионизатора, позволяют осуществлять прогнозирование изменения обозначенных характеристик формируемого аэроионного состава.

Таблица 1

Концентрации озона O₃, оксида азота NO и оксидов азота NO_x (в пересчете на NO₂) 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

Проведение аналогичных представленных автором исследований для широкого круга аэроионизаторов различных конструкций позволяет существенно продвинуться в развитии методов оценки и коррекции аэроионного состава и тем самым позволяют организовать заданный аэроионный состав воздуха рабочей зоны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы: СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы Рос. Федерации.
2. Капцов Н.А. Коронный разряд и его применение в электрофильтрах. – М.: Гостехиздат, 1947. – 145 с.

3. *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, № 1. – P. 38-44.
4. *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. – P. 81-91.
5. *Rehbein N., Cooray V.* NO_x production in spark and corona discharges // *Journal of Electrostatics*. – 2001. – Vol. 51-52. – P. 333-339.
6. *Черный К.А.* Физические параметры и способы формирования биопозитивной воздушной среды в замкнутых помещениях: Дис. ... канд. техн. наук. – Пермь. 1999. – С. 49-59.
7. ГОСТ 12.1.014-84. Система стандартов безопасности труда. Воздух рабочей зоны. Метод измерения концентраций вредных веществ индикаторными трубками.

Статью рекомендовал к опубликованию д.м.н., профессор А.В. Храмов.

Черный Константин Анатольевич – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»; e-mail: sms@pstu.ru; 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29; тел.: 8(342)2198049; отдел развития инновационной инфраструктуры и метрологии; начальник; к.т.н.; доцент.

Cherniy Konstantin Anatol'evich – State National Research Polytechnic University of Perm; e-mail: sms@pstu.ru; 29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russia; phone: +73422198049; head of Innovative development and metrology department; cand. of eng. sc.; associate professor.