Методика проектирования двухсекционного первичного измерительного преобразователя спектрометра аэроионов

07, июль 2012

DOI: 10.7463/0712.0429031

Карпухин В. А., Зотов Ю. И.

УДК 613.6.02

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

vak@bmstu.ru

sterious@yandex.ru

Введение

В основе возникновения сердечнососудистых заболеваний, которые приводят к 60 % случаев смерти в странах центральной и восточной Европы и 29 % в мире, лежит нарушение механизма антиоксидантной защиты клеток организма. Одним из важных факторов, влияющего на активность антиоксидантной защиты является уровень ионизации воздуха, который в современных условиях закрытых помещений городской среды явно недостаточен [1]. Для компенсации аэроионной недостаточности, а также проведения сеансов физиотерапии, широко используются ионизаторы воздуха. В работе [2] предложен метод контроля и управления концентрацией лёгких отрицательных аэроионов (ЛОАИ) для поддержания концентрации ЛОАИ на заданном уровне. Однако искусственно ионизированная воздушная среда содержит аэроионы, имеющие сложный спектр подвижностей, которые оказывают различное биологическое действие: легкие отрицательные аэроионы стимулируют активность системы антиоксидантной защиты, тяжелые аэроионы оказывают отрицательное влияние на организм человека [3]. Однако малогабаритные спектрометры аэроионов, которые могут быть использованы для контроля состава воздуха, как при проведении сеансов аэроионотерапии, так и в быту, в настоящее время отсутствуют.

Крайне важен одновременный контроль концентраций и лёгких и тяжёлых аэроионов. Для этого используется аспирационный метод, основоположником которого является эстонский учёный Таммет [4–6].

Целью настоящей работы является разработка методики проектирования двухсекционного первичного измерительного преобразователя (ПИП) для счетчика аэроионов сложного спектрального состава.

Научную новизну работы составляет предложенная методика проектирования ПИП спектрометра аэроионов, позволяющая сепарировать аэроионы по подвижностям (на лёгкие и тяжёлые) путем их осаждения в разных камерах, а также оптимизировать геометрию ПИП по критерию максимальной чувствительности при ограничениях, определяемых аэродинамическими процессами в пространстве измерительной камеры.

Модель и методика проектирования ПИП

Основным элементом малогабаритного спектрометра аэроионов является ПИП, обеспечивающий сепарацию аэроионов по подвижностям. Основным требованием к ПИП является обеспечение максимальной чувствительности при минимизации погрешности определения концентрации аэроионов.

Задача проектирования ПИП решалась в осесимметричной постановке при помощи моделирования в специализированной среде Multiphysics 4.0. Для расчета движения потока аэроионов в цилиндрической трубке, состоящей из двух коаксиальных цилиндров одинакового диаметра, решалось уравнение переноса, включающее в себя компоненты диффузионного и конвективного переноса, а так же дрейфа ионов под действием электрического поля

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} - \nabla \left[-D_i \nabla c_i - z_i \mu_{m,i} c_i \nabla V + c_i u \right] = 0, \quad (1)$$

где c_i – концентрация компонента i ; D_i – коэффициент диффузии компонента i ; u – скорость; N_a – число Авогадро; q_e – элементарный заряд; V – электрический потенциал; z_i – зарядовое число ионных компонентов; $\mu_{m,i}$ – подвижность ионов.

Под действием приложенному к внешнему цилиндру напряжения, заряженные частицы отклоняются от обычной траектории. Суммарный поток частиц через поверхность цилиндра измерительной камеры равен

$$-n \cdot \left[c_i u - D \nabla c - z_i \mu_m c_i \nabla V \right] = N_o, \quad (2)$$

где n – число частиц в единице объема; N_o – вектор потока.

Ток, создаваемый заряженными частицами, согласно закону Фарадея равен

$$I = -F \cdot \sum_i z_i \cdot N_i, \quad (3)$$

где I – ионный ток; z_i – зарядовое число ионных компонентов; F – число Фарадея.

Модель, показанная на рисунке 1, представляет собой двумерное сечение объемного двухсекционного измерительного цилиндра. Расчет производится совместно в модулях Electrostatics (es) и Transport Of Diluted Species (chds) САПР Comsol Multiphysics. Поток аэроионов влетает через границу под номером 2.

Рисунок 1 – Вариант двухсекционного измерительного цилиндра

Методика проектирования ПИП спектрометра аэроионов заключается в следующей последовательности действий.

- Задание начальных условий: внешнего диаметра D и длины l аспирационной камеры, необходимого диапазона концентрации легких и тяжелых аэроионов.
- Выбор вентилятора диаметром D и известным объемным расходом воздуха.
- Задание внутреннего диаметра d аспирационной камеры и расчет линейной скорости продува воздуха v .

- Проверка потока на ламинарность путем расчета числа Рейнольдса, проверка профиля потока на соответствие параболичности и уточнение по результатам данного пункта значений d и ν .
- Задание напряжения V .
- Расчет токов, по результатам которого возможно варьирование параметра V либо пересмотр начальных условий.

Результаты

Применение методики проектирования ПИП позволило получить следующие результаты.

- Получено двумерное распределение различных физических величин (скорость потока аэроионов, концентрация аэроионов, напряжение) по осесимметричному сечению ПИП (рисунок 2).

Рисунок 2 – Распределения скорости (а), концентрации (б) и напряжения (в) по осесимметричному сечению

- Получены зависимости распределения концентрации аэроионов и профиля скорости по различным задаваемым сечениям. Полученные результаты в виде одномерных графиков представлены на рисунке 3.

а) профиль скорости в поперечном направлении б) распределении концентрации лёгких отрицательных аэроионов (ЛОАИ) вдоль внутренней поверхности модели

Рисунок 3 – Примеры одномерных графиков

– Рассчитаны значения ионных токов путем интегрирования по поверхности. Иллюстрация полученных результатов представлена на рисунке 4.

Рисунок 4 – Значения токов, создаваемых аэроионами различных подвижностей для различных камер

Заключение

Предложенная методика проектирования ПИП позволяет

- оценить поведение аэроионов в измерительной камере, представляющей собой двухкамерный цилиндрический конденсатор;
- рассчитать значения тока, создаваемого потоком аэроионов через выбранный цилиндрический участок измерительной камеры;
- сепарировать аэроионы по подвижностям путем их осаждения в разных камерах ПИП.

Литература

- 1 Kondrashova M.N., Grigorenko E.V., Tikhonov A.N. et al. The Primary Physico-Chemical Mechanism for the Beneficial Biological/Medical Effects of Negative Air Ions // IEEE Transactions on plasma science. – 2000. - V. 28, №1.- P. 230-238.
- 2 Лепихов П.В. Биотехническая система управления концентрацией легких ЛОАИ: Дисс. ... канд. тех. наук : 05.11.17. - МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М., 2007. – 167 с.
- 3 Влияние электроаэрозолей различной полярности на организм/ ВНИИМП; Помельцов А.Н. Технический отчет по теме 208. М., 1961. – 88с.
- 4 Таммет Х.В. Аспирационный метод изучения ионизированного воздуха и аэрозолей: Дис. ... канд. физ-мат. наук. Тартуский государственный университет. – Тарту, 1964. – 297 с.
- 5 Tammet H. Size and mobility of nanometer particles, clusters and ions // Journal of Aerosol Science. – 1995.- №26. - P.459 –475.
- 6 Tammet H. The limits of air ion mobility resolution // Proc. 11th Int. Conf. Atmos. Electr. – Montgomery, 1999. – P.626–629.

Design technique of two-section primary measuring converter of air ion spectrometer

07, July 2012

DOI: 10.7463/0712.0429031

Karpuhin V.A., Zotov Yu.I.

Russia, Bauman Moscow State Technical University

vak@bmstu.ru

sterious@yandex.ru

The authors developed a design technique of a two-sectional primary measuring converter for the air ion counter with complex spectral structure. Primary measuring converter providing mobility separation of air ions was proposed as a basic element of the small-sized air ion spectrometer. The proposed technique allows to estimate behavior of air ions in the measuring chamber representing a two-chamber cylindrical condenser, and to calculate values of the current created by a stream of air ions through the chosen cylindrical site of the measuring chamber. It also allows one to separate air ions by mobility over their sedimentation in different chambers of the primary measuring converter.

Publications with keywords: [air ions](#), [air ions streams](#), [air ions concentration](#), [antioxidants](#), [primary measuring converter](#), [spectrometer of air ions](#)
Publications with words: [air ions](#), [air ions streams](#), [air ions concentration](#), [antioxidants](#), [primary measuring converter](#), [spectrometer of air ions](#)

References

1. Kondrashova M.N., Grigorenko E.V., Tikhonov A.N., Sirota T.V., Temnov A.V., Stavrovskaja I.G., Kosyakova N.I., Lange N.V., Tikhonov V.P. The primary physico-chemical mechanism for the beneficial biological/medical effects of negative air ions. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 2000, vol. 28, no. 1, pp. 230-237. DOI: 10.1109/27.842910.
2. Lepikhov P.V. *Biotehnicheskaja sistema upravlenija kontsentratsiei legkikh otritsatel'nykh aeroionov. Kand. tekhn. nauk diss.* [Biotechnical control system of the concentration of light negative aeroions. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2007. 167 p.

3. Pomel'tsov A.N. *Vliianie elektroaerozolei razlichnoi poliarnosti na organism* [Effect of electro-aerosols of different polarity on the organism]. Technical report on the theme 208 (in Russ.). Moscow, VNIIMP Publ., 1961. 88 p.
4. Tammet Kh.V. *Aspiratsionnyi metod izucheniia ionizirovannogo vozdukha i aerozolei. Kand. fiz.-mat. nauk diss.* [Extraction method for the study of ionized air and aerosols. Cand. phys.-math. sci. diss.]. Tartu, TSU Publ., 1964. 297 p.
5. Tammet H. Size and mobility of nanometer particles, clusters and ions. *Journal of Aerosol Science*, 1995, vol. 26, no. 3, pp. 459-475.
6. Tammet H. The limits of air ion mobility resolution. *Proc. 11th Int. Conf. on Atmospheric Electricity (ICAE'99)*, Gunterville, AL, USA, June 7-11, 1999. Alabama, NASA Publ., 1999, pp. 626 - 629.