

УДК 519.6: 697.953: 004.94

© Н.Н. Беляев, С.Г. Цыганкова

ЭКСПРЕСС РАСЧЕТ КОНЦЕНТРАЦИИ АЭРОИОНОВ В ОФИСНОМ ПОМЕЩЕНИИ НА БАЗЕ БАЛАНСОВОЙ МОДЕЛИ

Представлена численная модель для экспресс прогноза концентрации аэроионов при искусственной ионизации воздуха.

Представлена чисельна модель для експрес прогнозу концентрації аероіонів при штучної іонізації повітря.

A numerical model for express prognosis of air ions concentration at the condition of artificial air ionization is represented.

Постановка проблемы. Для создания комфортных микроклиматических условий работы персонала, необходимо обеспечивать в них определенный аэроионный состав воздушной среды. Для создания и поддержания требуемого аэроионного режима часто используется искусственная ионизация воздуха в помещениях.

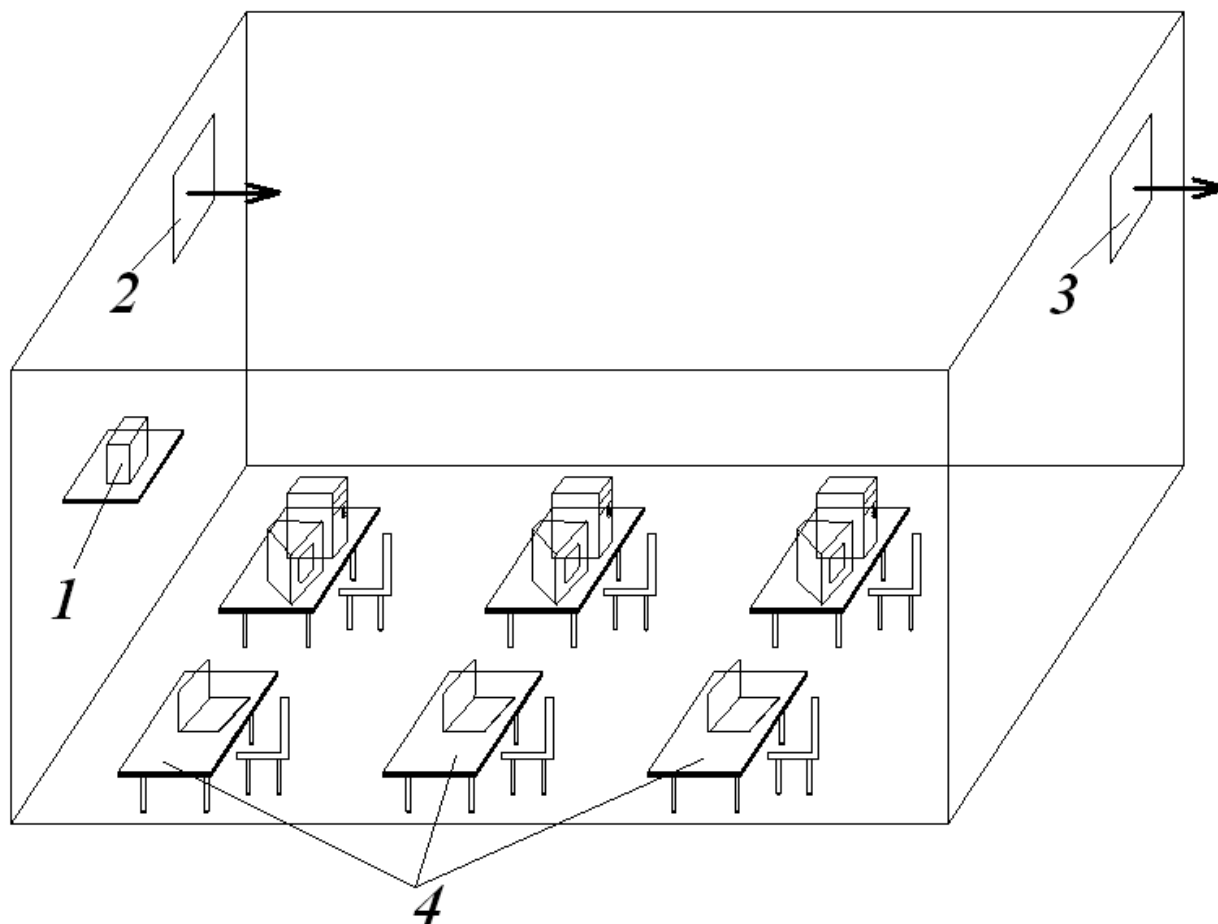


Рис. 1. Схема офисного помещения: 1 – ионизатор воздуха, 2, 3 – вентиляционные отверстия, 4 – рабочие места

В связи с этим, возникает необходимость в создании методов экспресс расчета концентрации аэроионов в помещении, который позволял бы быстрый перебор возможных вариантов, а также давал возможность «укрупненной» оценки концентрации аэроионов в помещении. Для достижения данной цели имеет смысл использовать балансовые модели для расчета концентрационных полей аэроионов [2].

Анализ публикаций. Расчет концентрации аэроионов в помещениях, в Украине проводится, как правило, на базе аналитических моделей [1]. Применение таких моделей дает возможность быстро рассчитать концентрацию аэроионов. В настоящее время получили распространение также CFD модели, учитывающие аэродинамику воздушных струй в помещении, наличие мебели, оборудования, различные физические факторы, определяющие формирование концентрационного поля аэроионов [3-5]. В некоторых случаях для расчета концентрации ионов применяются балансовые модели [2], поскольку позволяют быстро получить необходимую информацию.

Целью данной работы является создание эффективной балансовой модели для экспресс расчета концентрации аэроионов в помещениях при искусственной ионизации воздуха.

Моделирующие уравнения. Перенос аэроионов в помещении обусловлен воздействием многих факторов. Для построения экспресс метода расчета концентрации аэроионов в помещении будем использовать следующие уравнения:

$$\frac{dn}{dt} = q_n(t) - \alpha np - \beta nA + n_0(t) \frac{Q(t)}{V} - n \frac{Q(t)}{V} - \lambda_i n \quad (1)$$

$$\frac{dp}{dt} = q_p(t) - \alpha np - \beta pA + p_0(t) \frac{Q(t)}{V} - p \frac{Q(t)}{V} - \lambda_i n \quad (2)$$

где q_n , q_p – скорость генерации соответственно отрицательных и положительных ионов в помещении; n_0 , p_0 – внешние по отношению к комнате концентрации отрицательных и положительных ионов; α – скорость рекомбинации ионов с ионами противоположной полярности; β – скорость комбинации ионов с частицами аэрозоля; A – концентрация частиц; V – объем; Q – скорость вентиляции; λ_i – электростатическое осаждение ионов. t – время, n , p , A – текущие концентрации отрицательных, положительных аэроионов и пыли соответственно.

Для описания массопереноса пыли используется уравнение вида [2]:

$$\frac{dA}{dt} = q_A(t) + A_0(t) \frac{Q(t)}{V} - A \frac{Q(t)}{V} - \lambda_p n \quad (3)$$

где q_A – скорость генерации частиц в пространстве; A_0 – внешняя концентрация частиц; λ_p – электростатическое осаждение частиц.

Здесь отметим, что в отличие от классической модели Маууа У. [2] в уравнениях (1) – (3) учитывается зависимость эмиссии отрицательных, положительных аэроионов и пыли в помещении от времени и зависимость от времени кратности воздухообмена. Система приведенных уравнений замыкается заданием начальных условий вида:

$$\begin{aligned} A(t=0) &= A_0, \\ n(t=0) &= n_0, \\ p(t=0) &= p_0. \end{aligned}$$

Данные условия определяют начальные значения величин концентрации пыли, отрицательных и положительных ионов соответственно перед началом ионизации воздуха в помещении. Следует отметить, что уравнения (1) – (3) определяют концентрацию отрицательных, положительных аэроионов и пыли не в самом помещении, а на выходе из него, что определено условием вывода этих балансовых соотношений. Но, данная модель будет иметь определенное соответствие действительности, если предположить, что внутри помещения происходит хорошее перемешивание воздушной среды («well mixed air»).

Приведем ряд формул, которые необходимы для расчета некоторых параметров модели. Например, параметр λ_i рассчитывается согласно зависимости [2]:

$$\lambda_i = \frac{b}{\varepsilon_0} (q_e + q_c eA) \quad (4)$$

где b – подвижность ионов; ε_0 – диэлектрическая проницаемость свободного пространства; q_e – плотность пространственного заряда, которая может быть выражена как

$$q_e = en - ep \quad (5)$$

где e – элементарный заряд.

Электростатическое осаждение частиц можно определить по формуле [2]

$$\lambda_p = \frac{D_p}{D_i} q_c \lambda_i \quad (6)$$

где D_p и D_i коэффициенты диффузии частиц и ионов соответственно; q_c – характеристическое число зарядов.

Характеристическое число зарядов определяется из выражения:

$$q_c = \frac{4\pi\varepsilon_0 d_p kT}{e^2} \left[\ln \left[1 + \frac{d_p c p e^2 t}{4\varepsilon_0 kT} \right] - \ln \left[1 + \frac{d_p c n e^2 t}{4\varepsilon_0 kT} \right] \right] \quad (7)$$

где k – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура; c – тепловая скорость ионов; d_p – диаметр частиц; t – время.

Однако, следуя работе [2], слагаемые λ_p , λ_i можно опустить.

Балансовые уравнения (1) – (3) численно решаются с помощью метода Эйлера.

Результаты. Для численного расчета уравнений (1) – (3) разработана программа BALANC-1, реализованная на языке FORTRAN. Для практического использования данной программы необходимо задать: объем помещения, вентиляционный расход, концентрацию отрицательных, положительных аэроионов и пыли, втекающих в помещение, интенсивность эмиссии отрицательных, положительных аэроионов и пыли в помещении.

Ниже представлены результаты расчета динамики концентрации отрицательных ионов в помещении на базе построенной численной модели при следующих исходных данных: объем помещения – 62 м^3 ; концентрация отрицательных ионов, поступающих в помещение через систему вентиляции составляет 2000 частиц/ м^3 ; концентрация положительных ионов, поступающих в помещение через систему вентиляции – 10000 частиц/ м^3 ; концентрация пыли, поступающей в помещение также через вентиляционную систему, составляет 6000 частиц/ м^3 ; интенсивность эмиссии отрицательных, положительных и пыли $Q_C = 7 \cdot 10^7$ частиц/с, $Q_p = 60000$ частиц/с, $Q_A = 22 \cdot 10^3$ частиц/с соответственно. Следует подчеркнуть, что в данной задаче рассматривается периодическое действие ионизатора, то есть эмиссия отрицательных ионов осуществляется на временных промежутках (рис. 2) $[0 - t_1]$, $[t_2 - t_3]$, $[t_4 - t_5]$ и т.д. На временных интервалах $[t_1 - t_2]$ $[t_3 - t_4]$ ионизатор не осуществляет эмиссию. При расчетах принято, что выброс осуществляется в течение трех минут, далее на интервале 3 – 10 минут эмиссии отрицательных ионов нет, затем снова осуществляется выброс и т.д., то есть моделируется сложная реальная ситуация.

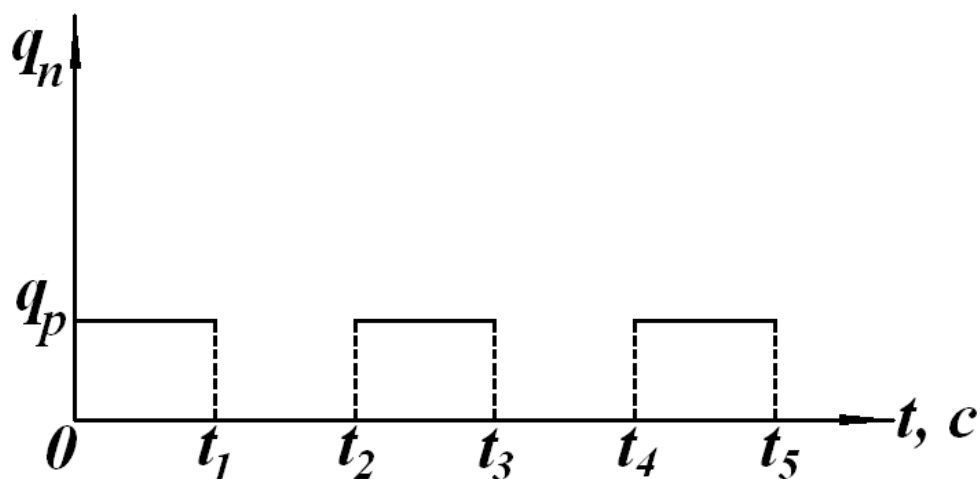


Рис. 2. Временные промежутки эмиссии отрицательных ионов

Результаты расчета динамики концентрации отрицательных аэроионов показаны в табл. 1.

Таблиця 1
Динамика концентрации отрицательных аэроионов в помещении

t , сек	30	60	180	480
c , частиц/м ³	$0,18 \cdot 10^{10}$	$0,39 \cdot 10^{10}$	$0,11 \cdot 10^{11}$	$0,99 \cdot 10^{10}$
t , сек	543	597	708	720
c , частиц/м ³	$0,95 \cdot 10^{10}$	$0,92 \cdot 10^{10}$	$0,15 \cdot 10^{11}$	$0,16 \cdot 10^{11}$

Если принять во внимание, что согласно имеющимся нормам, минимальное значение концентрации отрицательных аэроионов составляет 600 частиц/см³, а максимальное значение 50000 частиц/см³, то, как следует из анализа данных, представленных в табл. 1, в помещении обеспечиваются требуемые нормативы концентрации отрицательных аэроионов.

В заключение отметим, что для расчета задачи на базе разработанной численной модели оставляет порядка 0,5 секунды компьютерного времени.

Выводы. Рассмотрена новая численная модель, позволяющая оперативно рассчитывать концентрацию аэроионов в помещении при искусственной ионизации воздуха. Модель позволяет учесть импульсный режим работы ионизаторов. Дальнейшее развитие модели следует проводить в направлении создания пространственной численной модели прогноза аэроионного режима в помещениях.

Список литературы

1. Запорожец О. І. Принципи моделювання динаміки аероіонного складу повітря у приміщеннях / О. І. Запорожец, В. А. Глива, О. В. Сидоров // Вісник НАУ. – 2011. – №2. – С.120–124.
2. Aerosol removal by unipolar ionization in indoor environments. / Mayya Y. S, Sapra B. K., Khan A., Sunny F. Journal of Aerosol Science. Vol 35, 2004. – pp. 923-941
3. Air ion behavior in ventilated rooms. / Fletcher L. A., Noakes C. J., Sleight P. A., Beggs C. B., Shepherd S.J. Indoor and Built Environment, 17 (2)., 2008. – pp. 173-182.
4. Noakes, C. J. Modelling the air cleaning performance of negative air ionisers in ventilated rooms [Электронный ресурс] / Noakes C. J, Sleight P. A, Beggs C. // Proceedings of the 10th International Conference on Air Distribution in Rooms. – Roomvent 2007, 13 -15 June 2007, Helsinki.
5. Беляев, Н. Н. Оценка аэроионного режима в рабочих зонах на базе CFD модели / Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ, 2015. - №46. – С. 168–173.

Рекомендовано до публікації д.т.н. Колесником В.Е.
Надійшла до редакції 25.01.2015