

ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПАКЕТ ПРОГРАММ ДЛЯ РАСЧЕТА АЭРОИОННОГО РЕЖИМА В ПОМЕЩЕНИЯХ

Рассмотрен пакет программ для расчета аэроионного режима в помещениях на базе численных моделей. Модели основываются на применении фундаментальных уравнений аэродинамики, электростатики и массопереноса.

Розглянуто пакет програм для розрахунку аероіонного режиму в приміщеннях на базі двовірних чисельних моделей. Моделі ґрунтуються на застосуванні фундаментальних рівнянь аеродинаміки, електростатики і масопереносу.

A new code to simulate the dynamics of ion dispersion in rooms is described. This code uses numerical integration of fluid dynamics, electrostatic and mass transfer equations.

Постановка проблемы. В настоящее время значительное внимание привлекает проблема обеспечения необходимых параметров микроклимата в рабочих помещениях. Увеличилось число научных исследований посвященных проблеме обеспечения оптимального аэроионного режима в помещениях и рабочих зонах [1,2-4]. Однако, при проведении таких исследований определился круг нерешенных задач и, в частности, эта проблема разработки эффективных методов расчета аэроионного режима. Суть данной проблемы заключается в том, что проектировщику нужны методы расчета поля концентрации аэроионов в помещении с учетом таких факторов как размещение мебели, оборудования, режима вентиляции и т.д. С другой стороны для проектировщика крайне важно получать расчетные данные о распределении аэроионов в помещении, в рабочих зонах очень быстро, при использовании компьютеров малой и средней мощности. Таким образом, создание таких методов расчета является актуальной задачей в области охраны труда, экологической безопасности.

Анализ публикаций. В настоящее время в Украине накоплен определенный опыт по разработке методов расчета аэроионного режима в помещениях. Для такого расчета используются аналитические модели [2-4]. Как известно, данные модели позволяют прогнозировать концентрацию аэроионов без применения компьютеров и быстро получать необходимые прогнозные данные. Это создает удобство для инженеров. Однако, с другой стороны аналитические модели не могут учесть наличие мебели, оборудования в помещении и т.д. Другим направлением является разработка численных моделей и в первую очередь CFD моделей [1]. Эти модели имеют более широкий рабочий диапазон и позволяют учесть комплекс физических факторов, влияющих на формирование концентрационного поля аэроионов в помещениях, рабочих зонах.

Целью данной работы является описание проблемно-ориентированного пакета прикладных программ, разработанного для прогноза аэроионного режима в помещениях и в рабочих зонах на базе CFD моделей. Данный пакет позво-

ляет учесть важные физические факторы такие как: режим вентиляции помещения, наличие мебели, положение ионизатора и т.д.

Уравнения модели. Основой разработанного пакета программ является комплекс математических моделей, описывающих перенос аэроионов в помещении под действием ряда физических факторов. Ниже рассматриваются эти уравнения. Для учета процесса конвективного и диффузионного переноса отрицательных аэроионов используется уравнение [1]:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(u + bE)C}{\partial x} + \frac{\partial(v + bE)C}{\partial y} = \\ & = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) - \alpha CB - CD + \\ & + \sum Q_c(t) \delta(x - x_c) \delta(y - y_c), \end{aligned} \quad (1)$$

где C, B, D – концентрация отрицательных, положительных аэроионов и частиц пыли соответственно; u, v – компоненты вектора скорости движения воздушного потока в помещении; $\mu = (\mu_x, \mu_y)$ – коэффициенты диффузии; t – время; α – скорость рекомбинации ионов, имеющих различную полярность; β – скорость рекомбинации ионов с частицами пыли; Q_{Ci} – интенсивность эмиссии отрицательных ионов (ионизатора) в соответствующих точках с координатами x_c, y_c ; $\delta(x - x_i) \delta(y - y_i)$ – дельта-функция Дирака; b – коэффициент мобильности ионов; E – напряженность электрического поля.

Здесь ось Y направлена вертикально вверх.

Для моделирования миграции ионов в электрическом поле E используется уравнение [1]:

$$\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} = \frac{q_e}{\varepsilon_0}, \quad (2)$$

где ε_0 – диэлектрическая проницаемость; q_e – плотность объемного заряда.

От уравнения (2) можно перейти к скалярному потенциалу, если учесть такую зависимость

$$E_x = -\frac{\partial \phi}{\partial x}, \quad E_y = -\frac{\partial \phi}{\partial y}. \quad (3)$$

Тогда получим уравнение Пуассона следующего вида [1]

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = -\frac{q_e}{\varepsilon_0}, \quad (4)$$

где $q_e = -eC(x, y)$, $C(x, y)$ – концентрация отрицательных аэроионов; ϕ – скалярный потенциал; e – элементарный заряд. На базе данного уравнения

осуществляется моделирование электрического поля.

Процесс распространения положительных ионов и пыли в помещении рассчитывается на базе уравнений переноса вида (1):

$$\frac{\partial B}{\partial t} + \frac{\partial uB}{\partial x} + \frac{\partial vB}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial B}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial B}{\partial y} \right) - \quad (5)$$

$$- \alpha CB - \beta BD + \sum Q_B(t) \delta(x - x_B) \delta(y - y_B),$$

$$\frac{\partial D}{\partial t} + \frac{\partial uD}{\partial x} + \frac{\partial vD}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial D}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial D}{\partial y} \right) + \quad (6)$$

$$+ \sum Q_{Di}(t) \delta(x - x_D) \delta(y - y_D).$$

Обозначение физических параметров в этих уравнениях совпадает с аналогичными обозначениями, приведенными для уравнения (1).

Процесс аэродинамики рассчитывается на базе модели потенциального течения. Моделирующим уравнением, в этом случае, будет уравнение Лапласа для потенциала скорости (7)

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0, \quad (7)$$

где P – потенциал скорости.

Компоненты вектора скорости воздушной среды связаны с потенциалом скорости следующими зависимостями

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial P}{\partial y}. \quad (8)$$

Постановка краевых условий для рассмотренных уравнений приведена в [1,5].

Численное решение моделирующих уравнений. Функционирующей платформой разработанного пакета программ являются численные модели, построенные путем аппроксимации производных, входящих в рассмотренные выше дифференциальные уравнения. Численное интегрирование уравнений переноса проводится с помощью неявных разностных схем [5] и путем применения метода Либмана для решения задачи аэродинамики и электростатики. Расчет выполняется на прямоугольной разностной сетке. Формирование вида расчетной области проводится с помощью маркеров [5].

Описание проблемно-ориентированного пакета. Пакет программ, осуществляющий численное моделирование рассеивания отрицательных, положительных аэроионов и пыли в помещении, рабочей зоне реализован на алгоритмическом языке FORTRAN. Этот пакет состоит из подпрограмм типа SUBROUTINE. Ниже приведены данные программы:

1. TSH33 – расчет переноса отрицательных аэроионов в помещении;
2. TSH57 – расчет переноса положительных аэроионов в помещении;
3. TSH67 – расчет переноса пыли в помещении;
4. TSH77 – расчет электрического поля;

5. TSH87 – расчет поля потенциала скорости;
6. TSH98 – расчет компонентов вектора скорости;
7. TSH21 – представление результатов моделирования в виде матрицы;
8. TS.dat – файл ввода данных, необходимых для проведения вычислительного эксперимента. Это следующие данные:

- размеры комнаты;
- координаты расположения аэроионизатора в помещении;
- концентрация ионов, пыли в воздухе, который поступает в помещение;
- режим эмиссии ионов;
- расположение мебели и других объектов в помещении;
- положение рецептора (органов дыхания);
- положение экранов в помещении;
- режим воздухообмена.

Функциональные особенности пакета программ:

1. Возможность расчета полей концентрации отрицательных, положительных ионов и пыли как в помещении, так и в рабочих зонах.
2. Возможность прогнозирования концентрационного режима ионов и пыли в зоне расположения органов дыхания человека.
3. Возможность учета различных режимов искусственной аэроионизации воздуха.
4. Возможность учета различных режимов вентиляции помещения.
5. Быстрота расчета (2-3 мин).

На представленном ниже рисунке показан пример вывода на печать результатов вычислительного эксперимента в виде матрицы.

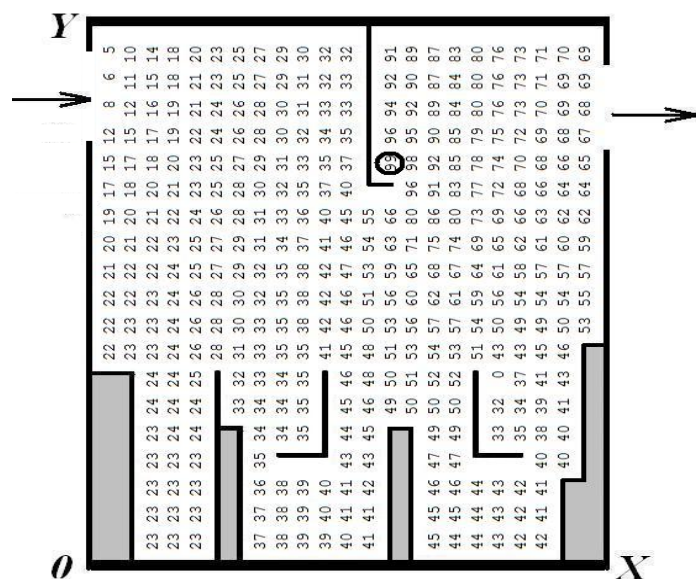


Рис. 1. Концентрация отрицательных аэроионов в помещении
На данном рисунке показано поле отрицательных ионов внутри помеще-

ния. Результаты моделирования приведены в безразмерном виде: каждое число – это величина концентрации в процентах от величины максимальной концентрации ионов в помещении C_{\max} . Вывод на печать чисел осуществлен по формату «целое число», т.е. дробная часть числа не выдается на печать. Отметим, что такой формат печати означает, что если в какой – либо точке концентрация ионов составляет, например, величину 14,28%, то на печать будет выведено число «14». Положение ионизатора показано на рисунке в виде «кружка». Ионизатор располагается на подставке вблизи потолка. Стрелками показано положение отверстий приточно-вытяжной вентиляции.

Представленный рисунок также иллюстрирует степень детализации объектов внутри помещения при прогнозе аэроионного режима. Как видно из данного рисунка пользователь может ввести в численную модель форму и положение столов, стульев, шкафов и т.д.

В заключение отметим, что разработанный пакет программ позволяет моделировать два вида искусственной ионизации помещения: установку в помещении ионизаторов или подача в помещение уже ионизированного воздуха.

Выводы. Рассмотрен новый проблемно-ориентированный пакет программ для анализа и прогноза аэроионного режима в помещениях, рабочих зонах. Основу пакета составляет численное интегрирование уравнений массопереноса, аэродинамики и электростатики. Пакет программ дает возможность оперативно рассчитывать концентрационное поле аэроионов в помещении и в рабочих зонах. Дальнейшее развитие пакета следует проводить в направлении создания блоков, обеспечивающих 3-D прогноз аэроионного режима в помещениях.

Список литературы

1. Noakes C.J, Sleight P.A, Beggs C. Modelling the air cleaning performance of negative air ionisers in ventilated rooms// Proseedings of the 10th International Conference on Air Distribution in Rooms. – Roomvert 2007, 13 -15 June 2007, Helsinki.
2. 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.
3. Бахрушин В. Е. Моделирование распределения концентрации ионов вблизи ионизатора / В. Е. Бахрушин, М. А. Игнахина, Д. В. Вертинский, А. Ю. Евсюков // Складні системи та процеси. – 2002. – №1. – С.30–36.
4. 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 // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2010. – Випуск 11. – С.137-145.
5. Беляев Н. Н. Защита зданий от проникновения в них опасных веществ: Монография / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, Н. В. Росточило. – Д.: «Акцент ПП», 2014. – 136 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Голіньком В.І.
Надійшла до редакції 17.02.2015*