

## ОЦЕНКА АЭРОИОННОГО РЕЖИМА РАБОЧИХ ЗОНАХ НА БАЗЕ CFD МОДЕЛИ

Рассмотрена новая 2D CFD модель для прогноза аэроионного режима в помещениях и в рабочих зонах. Модель основывается на применении уравнений аэродинамики, электростатики и массопереноса.

Розглянута нова 2D модель для прогнозу аероіонного режиму в приміщеннях і в робочих зонах. Модель ґрунтується на застосуванні рівнянь аеродинаміки, електростатики і масопереносу.

A new CFD model allowing operatively to compute the dynamics of ion dispersion in rooms was developed. The model is based on equations of fluid dynamics, electrostatic and mass transfer.

**Постановка проблемы.** Прогноз аэроионного режима в рабочих зонах является важной задачей в области охраны труда и экологической безопасности. Известно, что их концентрация должна удовлетворять определенным нормам [1, 2-4]. Такой прогноз, при рассмотрении практических задач, можно оперативно осуществить с помощью математических моделей. Это ставит задачу разработки эффективных методик для прогноза концентрационных полей аэроионов в любой части помещения с целью получения научно – обоснованной информации относительно расположения ионизаторов в помещениях. В Украине, в настоящее время, имеется определенный дефицит методик, которые позволяли бы получить адекватную прогнозную информацию для обоснования конкретного режима ионизации помещений. Таким образом, возникает проблема создания специальных методов расчета, позволяющих, оперативно, определять рациональное расположение ионизаторов.

**Анализ публикаций.** Как правило, в Украине для прогноза аэроионного режима в рабочих зонах используются аналитические модели [2-4]. Применение данных моделей дает возможность быстро рассчитать концентрацию аэроионов. Но данные модели не учитывают аэродинамику воздушных струй в помещении, наличие мебели, оборудования, перенос ионов под действием электрического поля и т.п. – т.е. комплекс факторов, определяющих интенсивность и форму концентрационного поля аэроионов в помещении. Аналитические модели позволяют рассчитать концентрационное поле аэроионов без учета влияния стен, пола, потолка, препятствий на процесс рассеивания аэроионов. Данные модели не позволяют учесть при прогнозе конкретное место эмиссии ионов различной полярности и их взаимодействие. Для получения более обоснованной прогнозной информации необходимо применение CFD моделей [1].

**Целью** данной работы является разработка CFD модели для прогноза аэроионного режима в помещениях и в рабочих зонах, позволяющей учитывать

наиболее существенные физические факторы, определяющие формирование концентрационного поля аэроионов.

**Моделирующие уравнения.** Перенос аэроионов в помещении обусловлен воздействием следующих факторов: конвективный поток воздуха, диффузия, воздействие электрического поля. Кроме этого происходит взаимодействие ионов различной полярности и взаимодействие их с частицами пыли. Для учета этих процессов, при моделировании рассеивания аэроионов, будем использовать уравнение переноса в виде [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;  $\alpha$  – скорость рекомбинации ионов, имеющих различную полярность;  $\beta$  – скорость рекомбинации ионов с частицами пыли;  $Q_{ci}$ , – интенсивность эмиссии отрицательных ионов 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.

Отметим, что ось  $Y$  направлена вертикально вверх.

Поскольку аэроионы имеют заряд, то они генерируют электрическое поле  $E$ , которое описывается следующим уравнением [1]:

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

где  $\varepsilon_0$  – 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;  $\phi$  – скалярный потенциал;  $e$  – элементарный заряд. На базе данного уравнения осуществляется моделирование электрического поля.

Для описания процессов рассеивания положительных ионов и пыли будем использовать уравнение переноса вида (1)

$$\frac{\partial B}{\partial t} + \frac{\partial uB}{\partial x} + \frac{\partial vB}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial B}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial B}{\partial y} \right) - \alpha CB - \beta BD + \sum Q_B(t) \delta(x - x_B) \delta(y - y_B), \quad (5)$$

$$\frac{\partial D}{\partial t} + \frac{\partial uD}{\partial x} + \frac{\partial vD}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial D}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial D}{\partial y} \right) + \sum Q_{Di}(t) \delta(x - x_D) \delta(y - y_D). \quad (6)$$

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

Для расчета аэродинамики воздушных потоков при вентилировании помещения будем применять модель 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 моделирующих уравнений рассмотрена в [1,5].

**Численное решение моделирующих уравнений.** Для численного интегрирования уравнений переноса, первоначально, проводится их физическое и геометрическое расщепление с последующим расчетом по неявной схеме [5], для численного решения уравнения Лапласа и уравнения Пуассона применяется метод Либмана. Расчет выполняется на прямоугольной разностной сетке.

**Результаты вычислительного эксперимента.** Ниже представлены результаты применения разработанной CFD модели для прогноза концентрационного поля аэроионов в помещении, где находятся два рабочих места (рис. 1).

Эмиссия положительных ионов происходит в обеих рабочих зонах, причем эмиссия их на втором рабочем месте происходит внутри мебели, как бы внутри «выемки». Интенсивность эмиссии положительных ионов составляет  $Q_B = 3 \cdot 10^3$  частиц/с. Поступление отрицательных ионов в помещение происходит от ионизатора (рис. 1) интенсивностью  $Q_c = 15 \cdot 10^{11}$  частиц/с.

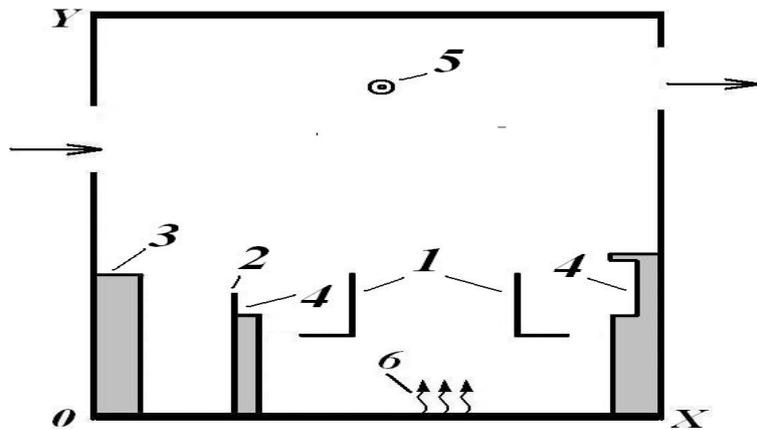


Рис. 1. Схема расчетной области (два рабочих места): 1 – стул; 2 – рабочее место (компьютер); 3 – шкаф; 4 – источник эмиссии положительных ионов; 5 – ионизатор воздуха; 6 – место эмиссии пыли

В помещении происходит выброс пыли в количестве  $Q_{D1}=10^6$  частиц/с (зона пылевыведения условно показана волнистыми стрелками на рис.1). Физические параметры задачи таковы: размеры комнаты 6м\*4м; кратность воздухообмена 3 [1/час];  $\alpha=1.5 \times 10^{-12}$  м<sup>3</sup>/с,  $\beta=1 \times 10^{-12}$  м<sup>3</sup>/с [1], коэффициенты турбулентной диффузии по всем направлениям приняты равными  $10^{-7}$  м<sup>2</sup>/с [1]. На рис.1 «стрелками» показаны положения отверстий вентиляции.

Результаты расчета представлены на рис.2-3. Концентрационное поле аэроионов представлено в виде матрицы значений концентрации ионов обеих полярностей внутри помещения (место положения ионизатора представлено условно «кружком» на рис.2). Результаты приведены в безразмерном виде: каждое число – это величина концентрации в процентах от величины максимальной концентрации в помещении. Вывод на печать чисел осуществлен по формату «целое число», т.е. дробная часть числа не выдается на печать; также приводится максимальное значение концентрации в расчетной области  $C_{max}$ .

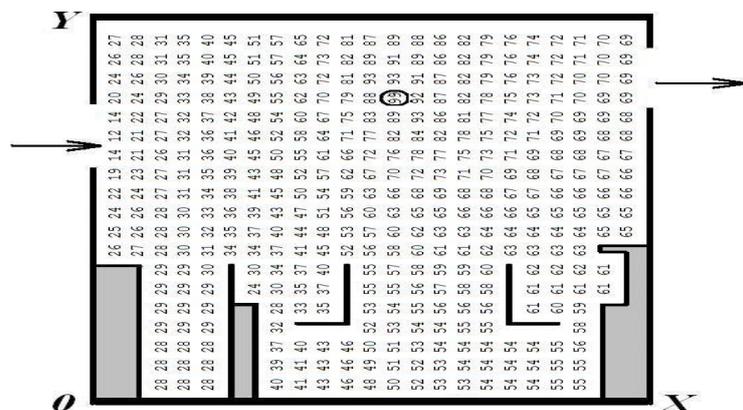


Рис. 2. Распределение концентрации отрицательных аэроионов в помещении ( $C_{max}=0.18 \times 10^{12}$  частиц/м<sup>3</sup>)

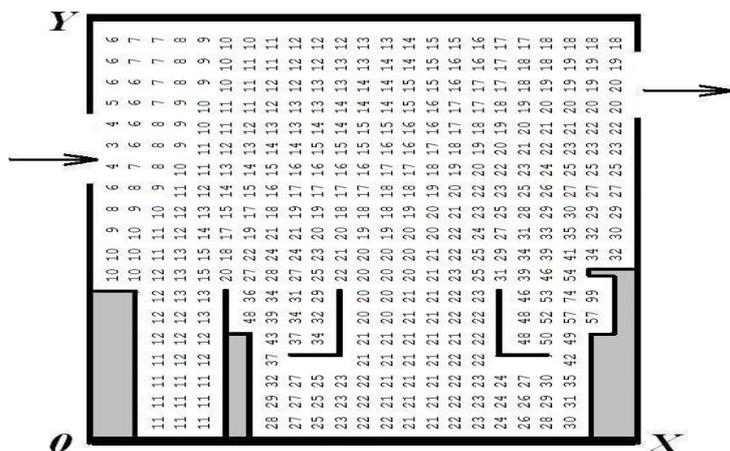


Рис. 3. Распределение концентрации положительных аэроионов в помещении ( $C_{\max}=0.86 \cdot 10^4$  частиц/м<sup>3</sup>)

На основании полученных расчетных данных можно оценить концентрацию аэроионов в любом месте, в помещении. Например, там, где находятся органы дыхания работников. Для такой оценки выбрана позиция над спинкой стула (здесь находится голова работника). Результаты расчета концентрации  $C_w$  отрицательных аэроионов для каждой рабочей зоны таковы: первая рабочая зона  $C_w=0.09 \cdot 10^{12}$  частиц/м<sup>3</sup> (52% от максимальной концентрации в помещении); вторая рабочая зона –  $C_w=0.11 \cdot 10^{12}$  частиц/м<sup>3</sup>; (63% от максимальной концентрации в помещении). Если учесть, что максимально допустимая концентрация отрицательных ионов не должна быть более  $0.05 \cdot 10^{12}$  частиц/м<sup>3</sup>, то очевидно, что в каждой рабочей зоне имеет место превышение этой нормы. Для достижения этой нормы необходимо, уменьшить интенсивность эмиссии отрицательных аэроионов от ионизатора.

В заключение отметим, что для расчета задачи на базе разработанной CFD модели потребовалось порядка 3 минуты компьютерного времени.

**Выводы.** Предложена новая CFD модель прогноза аэроионного режима в помещениях. Модель основана на применении уравнений аэродинамики, электростатики и массопереноса. Модель позволяет оперативно рассчитывать концентрационное поле аэроионов в помещении и в рабочих зонах. Дальнейшее развитие модели следует проводить в направлении создания 3D CFD модели прогноза 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. Игнашина, Д. В. Вергинский, 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 // Проблемы 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. Зберовським О.В.  
Надійшла до редакції 21.01.2015*

УДК 622.271.3

© А.М. Гайдін, Б.Ю. Собко, О.М. Лазніков

## **ВПЛИВ РОЗРОБКИ МОТРОНІВСЬКОЇ ДІЛЯНКИ МАЛИШЕВСЬКОГО РОДОВИЩА НА ДОВКІЛЛЯ ТА ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ НЕГАТИВНИХ НАСЛІДКІВ**

В статті розглядаються природні умови Мотронівсько-Аннівської ділянки Малишевського титан-цирконієвого родовища та їх зміни під впливом експлуатації родовища відкритим способом.

В статье рассматриваются естественные условия Мотронівсько-Аннівської участка Малишевського титан-цирконієвого месторождения и их изменения под воздействием эксплуатации месторождения открытым способом.

In the article the natural terms of Motronovsko-Annovskogo of area Malyshevskogo of ttitan-zircon deposit and their change are examined under act of exploitation of deposit by an open method.

**Вступ.** З 2013 року розпочато освоєння Мотронівсько-Аннівської ділянки Малишевського титан-цирконієвого родовища, розташованого Дніпропетровської області. Умови відпрацьовування вказаної ділянки суттєво відрізняються, оскільки рудний поклад знаходиться нижче рівня підземних вод. Вказані особливості потребують ретельної оцінки впливу гірничих робіт на довкілля та розробки заходів із зменшення негативних наслідків діяльності кар'єру.

**Мета статті** – обґрунтування технічних рішень, спрямованих на зменшення негативного впливу гірничих робіт на довкілля. Для досягнення вказаної мети розглянуті наступні питання: 1) зміни рельєфу й умов поверхневого та підземного стоку; 2) зміни геологічної будови гірського масиву й фільтраційних властивостей геологічних тіл; 3) способи осушення кар'єрних виїмок, зміни рівнів і напорів води в зоні депресії; 4) оцінка впливу техногенних водойм і хвостосховищ на утворення нових зон живлення; 5) вплив розчинення й вилуговування розчинних компонентів із відходів збагачення у хвостосховищах і відвалів.

**Методи досліджень.** Для вирішення проблем, пов'язаних із особливими гідрогеологічними умовами родовища, паралельно з розкривними роботами проведено польові й камеральні дослідження, у тому числі: 1) гідрогеологічні спостереження в період розкриття рудного шару; 2) створення цифрової гідрогеологічної моделі й моделювання змін гідрогеологічної ситуації на різних