

УДК 519.6

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОИОННОГО РЕЖИМА В ПОМЕЩЕНИИ ПРИ ИСКУССТВЕННОЙ ИОНИЗАЦИИ ВОЗДУХА

БЕЛЯЕВ Н. Н.<sup>1\*</sup>, *д.т.н., проф.*,ЦЫГАНКОВА С. Г.<sup>2\*</sup>, *асс.*

<sup>1\*</sup> Кафедра гидравлики и водоснабжения, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Академика Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 373-15-09, e-mail: [gidravlika2013@mail.ru](mailto:gidravlika2013@mail.ru), ORCID ID 0000-0002-1531-7882

<sup>2\*</sup> Кафедра водоснабжения, водоотведения и гидравлики, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул.Чернышевского,24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (050) 697-92-18, e-mail: [s-tsygankova@mail.ru](mailto:s-tsygankova@mail.ru), ORCID ID 0000-0002-9837-3109

**Аннотация.** *Цель.* Обеспечение необходимого аэроионного состава воздушной среды в рабочих зонах является крайне важной задачей в области охраны труда и экологической безопасности. Одним из методов решения данной задачи является искусственная ионизация воздуха в помещениях. В настоящее время в Украине наблюдается определенный дефицит методик, позволяющих получить адекватную прогнозную информацию для обоснования конкретного режима ионизации помещений. Таким образом, возникает проблема создания специальных методов расчета, позволяющих с достаточной степенью оперативности определять рациональное расположение ионизаторов. Подобные модели должны учитывать аэродинамику воздушных струй в помещении, наличие мебели, оборудования, перенос ионов под действием электрического поля – то есть комплекс факторов, определяющих интенсивность и форму концентрационного поля аэроионов в помещении. Соответственно необходима разработка CFD модели для прогноза аэроионного режима в помещениях и в рабочих зонах, позволяющей учитывать наиболее существенные физические факторы, определяющие формирование концентрационного поля аэроионов. *Методика.* Предложенная CFD модель прогноза аэроионного режима в помещениях основана на применении уравнений аэродинамики, электростатики и массопереноса. Данная модель позволяет оперативно рассчитывать концентрационное поле аэроионов с учетом влияния стен, пола, потолка, препятствий на процесс рассеивания аэроионов, конкретного места эмиссии ионов различной полярности и их взаимодействия в помещении и в рабочих зонах. *Результаты.* Получены расчетные данные, на основании которых можно оценить концентрацию аэроионов в любом месте помещения с искусственной ионизацией воздуха. Концентрационное поле аэроионов представлено в виде матрицы значений концентрации отрицательных ионов внутри помещения. Результаты приведены в безразмерном виде: каждое число – это величина концентрации в процентах от величины максимальной концентрации в помещении. *Научная новизна.* Предложена новая 2D CFD модель прогноза аэроионного режима в помещениях, предоставляющая возможность при достаточно малых затратах компьютерного времени определить концентрационное поле аэроионов в заданном месте в помещении. *Практическая значимость.* 2D CFD модель прогноза аэроионного режима в помещениях позволит рассчитывать концентрацию аэроионов в рабочих зонах помещения с учетом основных физических факторов, определяющих формирование концентрационных полей аэроионов, что обеспечит возможность рационального расположения ионизаторов с целью создания наиболее благоприятного аэроионного режима для персонала.

*Ключевые слова:* CFD модель; аэроионный режим; концентрационное поле аэроионов

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АЕРОІОННОГО РЕЖИМУ В ПРИМІЩЕННІ ПРИ ШТУЧНІЙ ІОНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯ

БЛЯЄВ М. М.<sup>1\*</sup>, *д.т.н., проф.*,ЦИГАНКОВА С. Г.<sup>2\*</sup>, *асс.*

<sup>1\*</sup> Кафедра гідравліки та водопостачання, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Академіка Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 373-15-09, e-mail: [gidravlika2013@mail.ru](mailto:gidravlika2013@mail.ru), ORCID ID 0000-0002-1531-7882

<sup>2\*</sup> Кафедра водопостачання, водовідведення та гідравліки, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул.Чернишевського,24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (050) 697-92-18, e-mail: [s-tsygankova@mail.ru](mailto:s-tsygankova@mail.ru), ORCID ID 0000-0002-9837-3109

**Анотація.** *Мета.* Забезпечення необхідного аероіонного складу повітряного середовища в робочих зонах є вкрай важливим завданням в галузі охорони праці та екологічної безпеки. Одним з методів вирішення даної задачі є штучна іонізація повітря в приміщеннях. В даний час в Україні спостерігається певний дефіцит методик, які б дозволяли отримати адекватну прогнозну інформацію для обґрунтування конкретного режиму іонізації приміщень. Таким чином, виникає проблема створення спеціальних методів розрахунку, які дозволяють з достатнім ступенем оперативності визначити

раціональне розташування іонізаторів. Подібні моделі повинні враховувати аеродинаміку повітряних струменів в приміщенні, наявність меблів, обладнання, перенесення іонів під дією електричного поля - тобто комплекс факторів, що визначають інтенсивність і форму концентраційного поля аероіонів в приміщенні. Відповідно необхідна розробка CFD моделі для прогнозу аероіонного режиму в приміщеннях і в робочих зонах, що дозволяє враховувати найбільш істотні фізичні фактори, які визначають формування концентраційного поля аероіонів. **Методика.** Запропонована CFD модель прогнозу аероіонного режиму в приміщеннях заснована на застосуванні рівнянь аеродинаміки, електростатики і масопереносу. Дана модель дозволяє оперативно розраховувати концентраційне поле аероіонів з урахуванням впливу стін, підлоги, стелі, перешкод на процес розсіювання аероіонів, конкретного місця емісії іонів різної полярності та їх взаємодії в приміщенні і в робочих зонах. **Результати.** Отримано розрахункові дані, на підставі яких можна оцінити концентрацію аероіонів в будь-якому місці приміщення зі штучною іонізацією повітря. Концентраційне поле аероіонів представлено у вигляді матриці значень концентрації негативних іонів всередині приміщення. Результати наведені в безрозмірному вигляді: кожне число - це величина концентрації у відсотках від величини максимальної концентрації в приміщенні. **Наукова новизна.** Запропоновано нову 2D CFD модель прогнозу аероіонного режиму в приміщеннях, яка надає можливість за досить малих витрат комп'ютерного часу визначити концентраційне поле аероіонів в заданому місці в приміщенні. **Практична значимість.** 2D CFD модель прогнозу аероіонного режиму в приміщеннях дозволить розраховувати концентрацію аероіонів в робочих зонах приміщення з урахуванням основних фізичних факторів, що визначають формування концентраційних полів аероіонів, що забезпечить можливість раціонального розташування іонізаторів з метою створення найбільш сприятливого аероіонного режиму для персоналу.

*Ключові слова:* CFD модель; аероіонний режим; концентраційне поле аероіонів

## **MATHEMATICAL MODELING OF AIR ION REGIME IN PREMISES AT ARTIFICIAL AIR IONIZATION**

BILIAIEV M. M.<sup>1\*</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*  
TSYGANKOVA S. G.<sup>2\*</sup>, *Ass. Prof.*

<sup>1\*</sup> Department of Hydraulics and Water Supply, National University of Railway Transport Named after academician V. Lazaryan, 2, akademika Lazariana str., Dnipropetrovsk 49010, Ukraine, tel. +38 (056) 373-15-09, e-mail: [gidravlika2013@mail.ru](mailto:gidravlika2013@mail.ru), ORCID ID 0000-0002-1531-7882

<sup>2\*</sup> Department of Water Supply, Drainage and Hydraulic, State Higher Educational Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Ghernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (050) 697-92-18, e-mail: [s-tsygankova@mail.ru](mailto:s-tsygankova@mail.ru), ORCID ID 0000-0002-9837-3109

**Annotation. Purpose.** The providing of required air ion formula in working areas is a very important task in labor protection and environmental safety field. One method of solving this problem is the artificial ionization of the indoor air. Currently, there is a definite shortage of methods in Ukraine, which is allowing to obtain an adequate prognosis information to substantiate the ionization premises specific regime. Thus, the problem of special calculation methods creation, allowing a sufficient degree of operational efficiency to determine a rational arrangement of ionizers. Such models should take into account the aerodynamics of air jets in the room, the presence of furniture, equipment, transport of ions in an electric field – i.e. a set of factors that determine the intensity and shape of the field concentration of ions in the room. Accordingly, it is need to develop models for the prediction of CFD air ion regime in premises and work areas, which allows to take into account the most important physical factors that determine the formation of ions concentration field. **Methodology.** The proposed CFD prognosis model of air ion regime in premises based on the use of aerodynamics, electrostatics and mass transfer equations. This model allows you to quickly calculate the ions concentration field in the room and work areas with the influence of the walls, floor, ceiling and obstacles in the process of dispersion of air ions, the specific location of ion emission of different polarity, and their interaction. **Findings.** The calculated data on which to estimate the ions concentration of anywhere in the room with artificial air ionization was received. Ions concentration field represented as a matrix of values negative ions concentration indoors. The results are given in dimensionless form, where each number - is a concentration measure in percentage of the maximum concentration in the room. **Originality.** A new 2D CFD model for prognosis of indoor air ion regime, which is providing the possibility for a sufficiently low cost of computer time to determine the ions concentration in a given place in the room is proposed. **Practical value.** 2D CFD prognosis model of indoor air ion regime allows to calculate the ions concentration in the working areas of the premises, taking into account the basic physical factors determining the formation of ions concentration fields, which will enable the rational arrangement of ionizers in order to create the most favorable air ion regime for the staff.

*Keywords:* CFD model; air ions regime; concentration field of air ions

### **Введение**

Обеспечение необходимого качественного состава воздушной среды в рабочих зонах производственных и офисных помещений является крайне важной задачей в области охраны труда и

экологической безопасности [1, 5, 12-13]. Для решения данной задачи часто используют искусственную ионизацию воздуха в помещениях. Искусственная ионизация может проходить двумя путями: установкой в помещении ионизатора, или подачей в помещение уже ионизированного воздуха.

В данной работе рассматривается второй путь ионизации помещения. Но, при решении данной задачи необходимо заранее предвычислить уровень отрицательных ионов в рабочих зонах, что, в свою очередь, ставит задачу разработки методов расчета концентрации полей ионов в помещениях. При этом крайне важно, чтобы создаваемые методы расчета позволяли бы учитывать все те существенные физические факторы, которые влияют на рассеивание ионов в помещении.

В Украине одним из основных направлений создания методов расчета аэроионного режима в помещениях является применение аналитических моделей [3-10]. Такие модели позволяют быстро рассчитать концентрацию аэроионов, однако без учета факторов, оказывающих определяющее влияние на формирование концентрационного поля аэроионов в рабочих зонах, - аэродинамики воздушных струй в помещении, наличия в нем оборудования, мебели, источников выделения пыли и т.п. Для получения более обоснованной прогнозной информации необходимо применение CFD моделей [12].

**Цель**

Целью данной работы является создание численной модели (CFD) для прогноза аэроионного режима в помещениях и в рабочих зонах, позволяющей учитывать размещение различных объектов в помещении (столы, стулья, полки и т.п.) и те наиболее существенные физические процессы, которые определяют формирование концентрационного поля аэроионов.

**Методика**

Известно, что на формирование концентрационного поля аэроионов в помещении оказывает влияние комплекс физических факторов: поток воздуха, вызванный работой вентиляции, 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 [13]:

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

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 [13]:

$$\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} = \frac{q_e}{\epsilon_0}, \quad (2)$$

где  $\epsilon_0$  – 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 [13]

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = -\frac{q_e}{\epsilon_0}, \quad (4)$$

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 [13]:

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

$$\begin{aligned} & \frac{\partial D}{\partial t} + \frac{\partial uD}{\partial x} + \frac{\partial vD}{\partial y} = \\ & = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial D}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial D}{\partial y} \right) + \\ & + \sum Q_{Di}(t) \delta(x - x_{Di}) \delta(y - y_{Di}). \end{aligned} \quad (6)$$

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

Для расчета аэродинамики воздушных потоков в помещении будем применять модель потенциального течения. Моделирующим уравнением, в этом случае, будет уравнение Лапласа для потенциала скорости

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

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 [2, 12, 13].

Для численного интегрирования уравнений переноса [2, 10, 12, 13] используется неявная попеременно – треугольная разностная схема, реализуемая по методу бегущего счета [2]. Для численного решения уравнения Лапласа и уравнения Пуассона применяется метод Либмана. Расчет выполняется на прямоугольной разностной сетке.

На основе данных разностных схем разработан пакет программ (код) «ION-2». Данный пакет построен на модульном принципе, каждая подпрограмма реализует численное интегрирование конкретного моделирующего уравнения и реализацию соответствующих граничных условий.

Особенностью моделируемого процесса является наличие в помещении мебели, т.е. объектов, влияющих на формирование концентрационного поля ионов. Для «воспроизведения» этих и других объектов в численной модели используется технология «*porosity technique*», называемая также методом маркирования [2]. Суть данной технологии заключается в кодировке разностных ячеек, которые относятся к таким объектам и реализацией в них соответствующих граничных условий.

## Результаты

Разработанная численная модель была применена для решения задачи о прогнозе концентрационного поля отрицательных аэроионов в офисном помещении и в его рабочих зонах.

На рис. 1 представлена схема расчетной области – помещения, в которое поступает воздух через систему вентиляции, содержащий отрицательные ионы с концентрацией  $C_0 = 55 \times 10^9$  частиц/м<sup>3</sup>. Выход воздуха из помещения происходит через отверстие на потолке. Рабочая зона представлена двумя столами и размещенными рядом стульями. Возле правой стенки помещения располагается стол, над которым находятся полки.

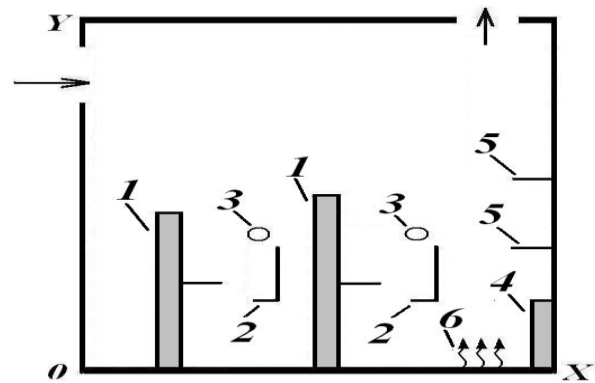


Рис. 1. Схема расчетной области: 1 – рабочий стол; 2 – стул; 3 – место эмиссии положительных ионов (положение органов дыхания); 4 – стол; 5 – полки; 6 – место эмиссии пыли) / The computational domain: 1 – work desk; 2 – chair; 3 – place of positive ions emission (the position of the respiratory organs); 4 – table; 5 – shelves; 6 – place of dust emission

Источником эмиссии положительных ионов в помещении являются люди, поэтому в зоне расположения их органов дыхания (рис. 1, позиция 3) задаются точечные источники эмиссии положительных ионов с интенсивностью  $Q_B = 8 \times 10^5$  частиц/с. Остальные параметры задачи таковы: размеры расчетной области 12,2м×3,5м; кратность воздухообмена 2 [1/час]; положение входного и выходного отверстий вентиляции показано стрелками на рис. 1;  $\alpha = 1,5 \times 10^{-12}$  м<sup>3</sup>/с,  $\beta = 1 \times 10^{-12}$  м<sup>3</sup>/с [12, 13]; коэффициенты турбулентной диффузии по всем направлениям приняты равными  $\mu_x = \mu_y = kV$  (здесь  $k = 0,1$  – параметр,  $V$  – местная скорость в конкретной расчетной точке, эта скорость определяется из решения аэродинамической задачи). В помещении происходит эмиссия пыли,  $Q_{Di} = 25 \times 10^6$  частиц/с (положение выброса пыли показано на рис. 1 волнистой линией). Цель численного моделирования – определить концентрацию отрицательных ионов в помещении и в зоне расположения органов дыхания людей.

Результаты численного моделирования показаны на последующих рисунках. На данных рисунках показано концентрационное поле отрицательных ионов внутри помещения. 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 составляет, например, величину 14,88%, то на печать будет выведено число «14».

Выбранный подход к представлению результатов моделирования в виде печати матрицы концентрации ионов в расчетной области позволяет легко определить уровень ионизации воздуха в любой подзоне помещения.

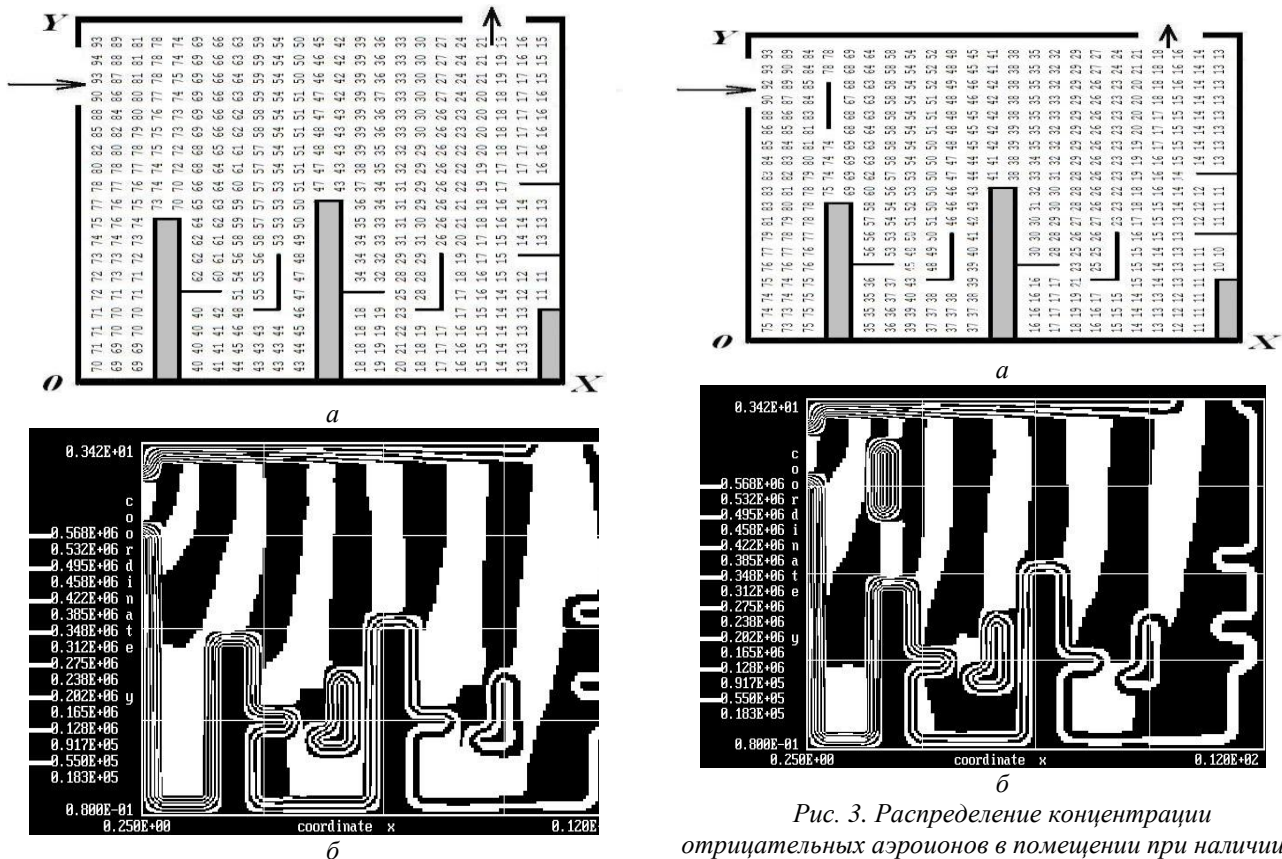


Рис. 2. Распределение концентрации отрицательных аэроионов в помещении: а – поле концентраций в виде матрицы, б – поле концентраций в виде изолиний / The distribution of the negative air ions concentration in the room: а – concentrations field in a matrix form, б – concentrations field in the form of isolines

Например, как видно из рис. 2, концентрация отрицательных ионов в первой рабочей зоне составляет порядка 53-57% от концентрации ионов во входящем ионизированном потоке, а на втором рабочем месте это будет величина порядка 26-31%.

Данная величина может быть изменена не только путем, например, снижения концентрации отрицательных ионов во входящем потоке, но и путем геометрического воздействия на воздушный поток в помещении. Такое воздействие можно осуществить с помощью экрана, если установить его в определенной части помещения. Например, если экран расположить вблизи входящего воздушного потока (рис. 3, а), то произойдет снижение концентрации ионов в рабочей зоне.

Она составит в первой рабочей зоне составляет порядка 46-51% от концентрации ионов во входящем ионизированном потоке, а на втором рабочем месте это будет величина порядка 23-27%. Таким образом, варьируя размерами экрана и его положением, можно управлять концентрацией отрицательных ионов в рабочей зоне.

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

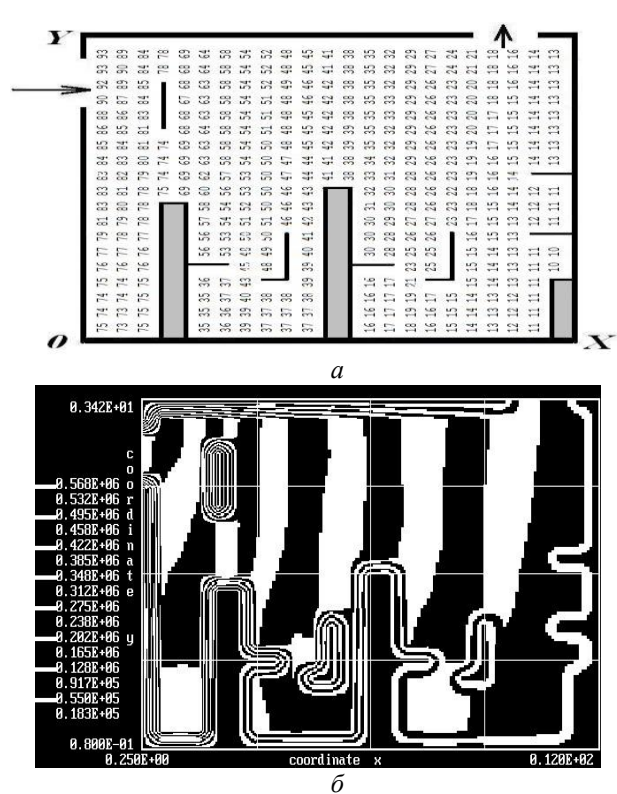


Рис. 3. Распределение концентрации отрицательных аэроионов в помещении при наличии экрана вблизи входного отверстия вентиляции: а – поле концентраций в виде матрицы, б – поле концентраций в виде изолиний / The distribution of the negative air ions concentration in the room at presence of the screen near the inlet ventilation: а – concentrations field in a matrix form, б – concentrations field in the form of isolines

### Научная новизна и практическая значимость

Предложена новая CFD модель для экспресс прогноза аэроионного режима в помещениях с искусственной ионизацией воздуха. Модель позволяет учесть основные физические факторы, определяющие формирование концентрационных полей аэроионов в помещении и в рабочих зонах. Модель основана на применении уравнений аэродинамики, электростатики и массопереноса. Модель позволяет оперативно рассчитывать концентрационное поле аэроионов в помещении и в рабочих зонах, обеспечивая тем самым возможность рационального расположения ионизаторов с целью создания наиболее благоприятного аэроионного режима для персонала.

### Выводы

1. Предложенная 2D CFD модель прогноза аэроионного режима в помещениях с искусственной ионизацией воздуха позволяет оперативно рассчитывать концентрационное поле аэроионов в помещении и в рабочих зонах при малых затратах оперативного времени.

2. Полученные результаты дают возможность рационального расположения ионизаторов с целью

создания наиболее благоприятного аэроионного режима для персонала

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ/REFERENCES

1. 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.

Bahrushyn V. E., Ignakhina M. A., Vertinskii D. V., Yeevsiukov A. Yu. Modelirovanie raspredelenia kontsentratsii ionov vblizi ionizatora [Simulation of distributing concentration of ions nearby ionizator]. *Skladni systemy ta procesy* [Complex systems and processes], 2002, no. 1, pp. 30-36.

[http://www.nbuu.gov.ua/ujrn/natural/Ssip/2002\\_1/F1Bah1.pdf](http://www.nbuu.gov.ua/ujrn/natural/Ssip/2002_1/F1Bah1.pdf)

2. 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.

Beliaev N. N., Hunko E. Yu, Rostochilo N. V. *Zashchita zdaniy ot proniknovenia v nikh opasnykh veshchestv* [Protection of building from penetration in these hazardous substances]. Dnipropetrovsk, Aktsent Publ., 2014. 136с.

3. Глива, В. А. Визначення та прогнозування динаміки зміни аероіонного складу повітря виробничих приміщень / В. А. Глива, В. І. Кляпченко, С. М. Пономаренко та ін. // Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Гірництво». – 2010. – Вип. 19. – С.161-168.

Hlyva V. A., Klapchenko V. I., Ponomarenko S.M. ta in. Vyznachennia ta prohnozuvannia dynamiky zminy aeriionnoho skladu povitria vyrobnychukh prymishchen [Determination and prediction of the ionic air composition change dynamics in industrial premises]. *Visnyk natsionalnoho tekhnichnogo universitetu Ukrainy «Kyivskii politekhnicheskii institut»* [Bulletin of National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»], 2010, issue 19, pp. 161-168.

[http://mining.kpi.ua/19/19\\_22.pdf](http://mining.kpi.ua/19/19_22.pdf)

4. Запорожець, О. І. Нормування аероіонного складу повітря робочих приміщень та основні напрями його вдосконалення / О. І. Запорожець, В. А. Глива, О. В. Сидоров // Вісник національного авіаційного університету. – 2011. – №1. – С.139–143.

Zaporozhets O. I., Hlyva V. A., Sidorov O.V. Normuvannia aeriionnoho skladu povitria robochykh prymishchen ta osnovni napriamy yogo vdoskonalennia [The standardization of the ionic air composition in work premises and main directions of its improvement]. *Visnyk natsionalnoho aviatsiinoho universitetu* » [Bulletin of National Aviation University], 2011, no 1, pp. 139-143.

<http://jrn1.nau.edu.ua/index.php/visnik/article/view/2097>

5. Запорожець, О. І. Принципи моделювання динаміки аероіонного складу повітря у приміщеннях / О. І. Запорожець, В. А. Глива, О. В. Сидоров // Вісник національного авіаційного університету. – 2011. – №2. – С.120–124.

Zaporozhets O. I., Hlyva V. A., Sidorov O.V. Printsypy modeliuвання aeriionnoho skladu povitria u prymishchenniakh [The principles of modeling the ionic air composition in premises]. *Visnyk natsionalnoho aviatsiinoho universitetu* [Bulletin of National Aviation University], 2011, no. 2, pp. 12-124.

<http://jrn1.nau.edu.ua/index.php/visnik/article/view/24>

6. Левченко, Л. О. Тривимірне моделювання просторових розподілів концентрацій аероіонів у повітрі

3. Дальнейшее развитие модели следует проводить в направлении создания 3D CFD модели прогноза аэроионного режима в помещениях.

приміщень / Л. О. Левченко, В. А. Глива, О. В. Сидоров // Управління розвитком складних систем. – 2012. – №11. – С.198-206.

Levchenko L. O., Hlyva V. A., Sidorov O.V. Tryvymirne modeliuвання prostoro vykh rozpodiliv kontsentratsii aeriioniv u povitri [Three-dimensional modeling of ions concentrations spatial distributions in indoor air]. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system* [Managing the development of complex systems], 2012, no. 11, pp. 198-206.

<http://urss.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-11/115-118.pdf>

7. Толкунов, И. А. Біполярна іонізація повітряного середовища приміщень функціональних підрозділів мобільного госпіталю МНС / И.А. Толкунов // Проблеми надзвичайних ситуацій, 2014. – Вип. 14 - С.161-170.

Tolkunov I. A. Bipoliarnaia ionizatsia povitrianoho seredovyscha primishchen funktsionalnykh pidrozdiliv mobilnogo hospitaliu MNS [Bipolaris ionization air environment of premises functional units mobile hospital of the Ministry of Emergencies]. *Problemy nadzvychainykh situatsii* [Problems of Emergencies], 2014, issue 14, pp. 161-170.

<http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol14>

8. Толкунов, І. О. Деякі аспекти забезпечення нормативного аероіонного режиму робочого середовища приміщень спеціального призначення МНС України / І. О. Толкунов, В. В. Маринюк, І. І. Попов, В. В. Пономар // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2008. – №8. – С.198-206.

Tolkunov I. A., Mariniukh V. V., Popov I. I., Ponomar V. V. Deiaiki aspekty zabezpechennia normatyvnoho aeriionnoho rezhymu robochoho seredovyscha primishchen spetsialnoho pryznachennia MNS Ukrainy [Some aspects of the regulatory ionic regime in working environment of the special purpose premises of the Ukrainian Ministry of Emergencies]. *Problemy nadzvychainykh situatsii* [Problems of Emergencies], 2008, no. 8, pp. 198-206.

[http://nuczu.edu.ua/uk/science/pub/arr/deyaki\\_aspekti\\_zabezpechennia\\_normativnoho\\_aeriionnoho\\_rezhimu\\_robochoho\\_seredovyscha\\_primishchen\\_spetsialnoho\\_pryznachennia\\_mns/](http://nuczu.edu.ua/uk/science/pub/arr/deyaki_aspekti_zabezpechennia_normativnoho_aeriionnoho_rezhimu_robochoho_seredovyscha_primishchen_spetsialnoho_pryznachennia_mns/)

9. Толкунов, І. О. Моделювання процесів формування полів концентрації аероіонів у повітряному середовищі приміщень спеціального призначення МНС України / І. О. Толкунов, І. І. Попов // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2010. – Випуск 12. – С. 175-184.

Tolkunov I. A., Popov I. I. Modeliuвання protsesiv formuvannia poliv kontsetrtsii aeriioniv u povitrianoho seredovyschi primishchen spetsialnoho pryznachennia MNS Ukrainy [Simulation of the ions concentration fields formation in the air space of the special purpose premises of the Ukrainian Ministry of Emergencies]. *Problemy nadzvychainykh situatsii* [Problems of Emergencies], 2010, issue 12, pp. 175-184.

<http://nuczu.edu.ua/rus/science/pub/arr/1223/>

10. 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. – Вип. 11. – С.137-145.

Tolkunov I. A., Popov I. I., Barbashin V. V. Teoreticheskoe issledovanie protsesov perenosa ionov v potokakh vozdukha v pomeshchenniakh spetsialnoho naznachennia MCHS Ukrainy [Theoretical study of the ions transport processes in the air flows in the special purpose premises of the Ukrainian Ministry



of Emergencies]. *Problemy nadzvychainykh situatsii* [Problems of Emergencies], 2010, issue 12, pp. 137-145.

<http://nuczu.edu.ua/ukr/science/pub/arr/21/>

11. Drexler, P. Numerical modeling of accuracy of air ion field measurement / Petr Drexler, Pavel Fiala, Karel Bartusek // *Journal of Electrical Engineering*. – 2006. – vol 57. – № 8/S – pp. 62-65.

Drexler, P. Numerical modeling of accuracy of air ion field measurement / Petr Drexler, Pavel Fiala, Karel Bartusek // *Journal of Electrical Engineering*. – 2006. – vol 57. – № 8/S – pp. 62-65

[http://iris.elf.stuba.sk/JEEEC/data/pdf/8s\\_106-16.pdf](http://iris.elf.stuba.sk/JEEEC/data/pdf/8s_106-16.pdf)

12. Fletcher, L. A. Air ion behavior in ventilated rooms. / Fletcher L. A., Noakes C. J., Sleight P. A., Beggs C. B., Shepherd S.J. *Indoor and uilt Environment*, 17 (2)., 2008. – pp. 173-182.

Fletcher, L. A. Air ion behavior in ventilated rooms. / Fletcher L. A., Noakes C. J., Sleight P. A., Beggs C. B.,

Shepherd S. J. *Indoor and uilt Environment*, 17 (2)., 2008. – pp. 173-182.

<http://core.ac.uk/download/pdf/50886.pdf>

13. Noakes, C. J. Modelling the air cleaning performance of negative air ionisers in ventilated rooms / Noakes C. J., Sleight P. A., Beggs C. // *Proseeding of the 10<sup>th</sup> International Conference on Air Distribution in Rooms. – Roomvert 2007, 13 -15 June 2007, Helsinki.*

Noakes, C. J. Modelling the air cleaning performance of negative air ionisers in ventilated rooms / Noakes C.J, Sleight P.A, Beggs C. // *Proseeding of the 10<sup>th</sup> International Conference on Air Distribution in Rooms. – Roomvert 2007, 13 -15 June 2007, Helsinki.*

[http://www.researchgate.net/publication/33042593\\_Modeling\\_the\\_air\\_cleaning\\_performance\\_of\\_negative\\_air\\_ionisers\\_in\\_ventilated\\_rooms](http://www.researchgate.net/publication/33042593_Modeling_the_air_cleaning_performance_of_negative_air_ionisers_in_ventilated_rooms)

*Статья рекомендована к публикации д-ром техн. наук, проф. А. А. Пивоваровым (Украина);*

*д-ром техн. наук, проф. В. Н. Деревянко (Украина)*

Поступила в редколлегию 26.08.2015

**УДК 699.887.3; 546.296**

## **КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

БЕЛИКОВ А. С.<sup>1\*</sup>; *д.т.н., проф.*,  
ШАЛОМОВ В. А.<sup>2\*\*</sup>; *к.т.н., доц.*,  
КРАВЧУК А. М.<sup>3</sup>; *ст. преп.*,  
ЗИБРОВ И. Ф.<sup>4</sup>; *магистр.*

<sup>1\*</sup> Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-16-01, e-mail: [bgd@mail.pgasa.dp.ua](mailto:bgd@mail.pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

<sup>2\*\*</sup> Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-16-01, e-mail: [shalomov\\_v\\_a@mail.ru](mailto:shalomov_v_a@mail.ru), ORCID ID: 0000-0002-6890-932X

<sup>3</sup> Кафедра безопасности жизнедеятельности, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, ул. Ворошилова, 25, 49000, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 713-51-42, e-mail: [bgd@mail.pgasa.dp.ua](mailto:bgd@mail.pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0002-7144-2563

<sup>4</sup> Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-16-01, e-mail: [yanya100@i.ua](mailto:yanya100@i.ua), ORCID ID: 0000-0002-9384-985X

**Аннотация.** *Цель.* Разработка новых конструктивных решений при проектировании и строительстве новых зданий, применение новых прогрессивных методов выполнения работ. *Методика.* Применение нормативного показателя уровня эффективности ограждающих конструкций зданий и сооружений - минимально обязательное теплосоппротивление отдельных ограждающих элементов. *Результаты.* В статье представлен анализ конструктивных решений жилых зданий. Рассмотрены возможности современного градостроительства и используемых при этом строительных материалов. Жилое здание становится составной частью единой функциональной системы по обеспечению комфортности, как для проживания человека, так и по удобству его обслуживания. Повышение теплотехнических требований к ограждающим конструкциям возводимых зданий - инновационное направление строительного производства в Украине. Одним из самых активных потребителей энергии в Украине является строительный комплекс. Доля энергоресурсов для производства строительных материалов, изделий и конструкций выше среднего показателя по отечественной промышленности в целом и значительно выше мирового уровня. Наибольшие теплототери происходят через ограждающие конструкции, имеющие крайне низкие показатели сопротивления теплопередаче. Главными инновационными направлениями развития производства основных