

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ**

УДК 613.155:537.568.001.57

<sup>1</sup>Л.О. Левченко, <sup>2</sup>В.А. Глива, <sup>3</sup>О.В. Сидоров<sup>1</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ,<sup>2</sup>Національний університет будівництва і архітектури, Київ,<sup>3</sup>Національний авіаційний університет, Київ**ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВИХ РОЗПОДІЛІВ КОНЦЕНТРАЦІЙ АЕРОІОНІВ У ПОВІТРІ ПРИМІЩЕНЬ**

*Визначено математичні функції, розроблено прикладне програмне забезпечення та реалізовано моделювання просторового розподілу і динаміки концентрації аероіонів у повітрі приміщень.*

**Ключові слова:** аероіони, моделювання, просторовий розподіл, дифузія, рекомбінація

**Постановка проблеми**

Аероіонний склад повітря виробничих приміщень є вагомим показником якості виробничого середовища. Особливістю цього показника є наявність у чинних санітарних нормах [1] мінімально допустимих, максимально допустимих та оптимальних концентрацій аероіонів у повітрі виробничих приміщень, що суттєво відрізняється від нормування переважної більшості фізичних та хімічних факторів, для яких встановлені гранично допустимі рівні.

Ще однією особливістю формування аероіонного складу повітря виробничих приміщень є неоднозначний вплив технологічного обладнання, систем кондиціонування та вентиляції на концентрації аероіонів. Персональні комп'ютери та персонал, присутні у приміщеннях, значною мірою деіонізують повітря [2], кондиціонери різних конструкцій по-різному впливають на цей показник: або знижують концентрації аероіонів обох знаків, або знижують концентрації аероіонів одного знаку (переважно позитивних) [3]. В той же час деякі пристрої (лазерні принтери, копіювальна техніка, високовольтне обладнання) є джерелами іонізації повітря.

Таким чином, для з'ясування необхідності вживання заходів з нормалізації (оптимізації)

**ТРЕХМЕРНОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
КОНЦЕНТРАЦИЙ  
АЭРОИОНОВ В ВОЗДУХЕ  
ПОМЕЩЕНИЙ**

*Определены математические функции, разработано прикладное программное обеспечение и реализовано моделирование пространственного распределения и динамики концентраций аэроионов в воздухе помещений.*

**THREE-DIMENSIONAL  
MODELING OF THE  
DISTRIBUTION OF IONS IN  
INDOOR AIR**

*Defined mathematical functions developed application software and implemented modeling the spatial distribution and dynamics of ions concentrations in indoor air.*

аероіонного складу повітря у приміщеннях необхідне визначення розподілу концентрацій аероіонів у просторі у стані динамічної рівноваги залежно від кількісного та якісного складу технологічного обладнання, кількості персоналу, режиму вентиляції тощо.

Найпринятнішим методом оцінювання цього показника є моделювання просторових змін концентрацій аероіонів залежно від продуктивності джерел іонізації (деіонізації) повітря.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій**

За останні роки виконано низку теоретичних та експериментальних досліджень щодо отримання коректних моделей просторових розподілів аероіонів у приміщеннях. У роботі [4] було запропоновано математичний апарат щодо моделювання поширення аероіонів у просторі, який базується на рівнянні неперервності для слабо іонізованої плазми. Розгляд поширення іонів у одному напрямку не є зовсім коректним, про що свідчать значні розбіжності результатів, отриманих авторами, з експериментом.

Ґрунтовне дослідження [5] базується на експериментальних даних, отриманих у лабораторних умовах (тестових приміщеннях). Отримані моделі стосуються дуже великих

концентрацій іонів, які не зустрічаються у реальних умовах, що робить їх малоприматними для практичного використання.

У роботі [6] авторами використаний суто геометричний підхід щодо поширення і розподілу аероіонів у просторі, в той час як реальні процеси формування аероіонного складу повітря супроводжуються процесами природної і штучної генерації іонів, та їх рекомбінацією. При цьому остання залежить від квадрату концентрації іонів.

Найбільш наближений до реальних умов метод моделювання розподілу аероіонів запропоновано у дослідженнях [7; 8]. Врахування коефіцієнтів дифузії та рекомбінації, сферичності поширення аероіонів дозволило визначити зміну концентрацій аероіонів у часі (до насичення) і внесок у неї процесів дифузії. Проте дані роботи не дають змоги отримати тривимірні моделі просторового розподілу концентрацій у приміщенні як на стадіях формування іонного фону, так і у стані динамічної рівноваги, який відповідає усталеним концентраціям аероіонів протягом основного робочого часу.

**Метою статті** є розроблення прийнятних за припущеннями і точністю тривимірних моделей просторових розподілів концентрацій аероіонів у приміщеннях за різної їх генерації та надання науково обґрунтованих рекомендацій щодо їх використання у працезохоронній практиці.

## Викладення основного матеріалу

Здійснення моделювання просторових та часових змін концентрацій аероіонів у повітрі виробничих приміщень потребує формування коректних математичних функцій, які характеризують поширення аероіонів у просторі та часі.

За умови сферичності розповсюдження аероіонів від джерела іонізації (відсутність спрямованого руху повітря) рівняння балансу аероіонів має вигляд:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = g + D \left( \frac{\partial^2 n}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial n}{\partial r} \right) - \gamma n^2, \quad (1)$$

де  $n$  – концентрація аероіонів;

$g$  – генерація іонів;

$D$  – коефіцієнт дифузії;

$r$  – відстань до точки визначення;

$\gamma$  – коефіцієнт рекомбінації.

Це рівняння не може бути розв'язане у загальному вигляді і потребує використання чисельних методів, що було реалізовано з використанням методу кінцевих різностей з неявною різницею схемою на адаптивній сітці на мові C++. При цьому вводився розмір джерела, який для наших розрахунків брали  $r_0 = 0,3$  м. Результатом розрахунків є тривимірне представлення (рис.1).

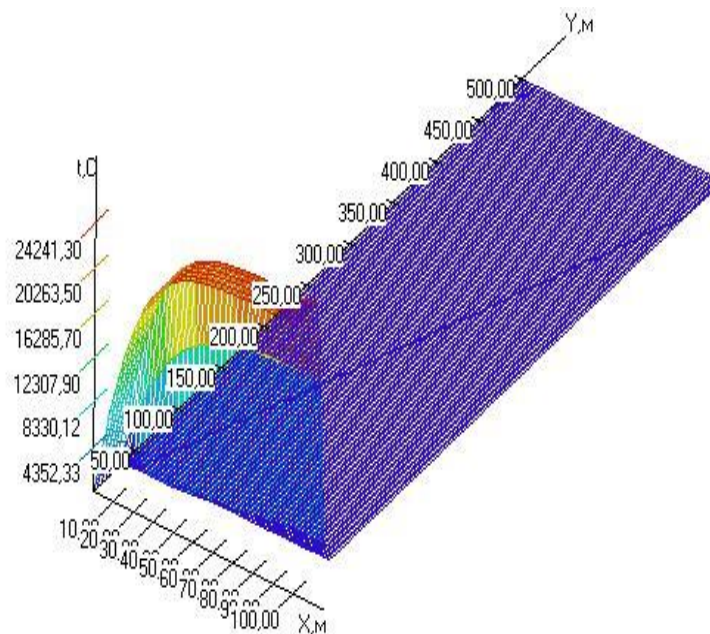


Рис.1. Тривимірне представлення просторового і часового розподілу аероіонів у приміщенні ( $n_0=600 \text{ см}^2$ ,  $g=1000 \text{ см}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$ )

Як видно з рисунка, унаочнення такої моделі досить складне для сприйняття, особливо на паперовому носії, тому доцільне розглядання відповідних проекцій.

На рис. 2,3 наведено часові та просторові зміни концентрацій аероіонів.

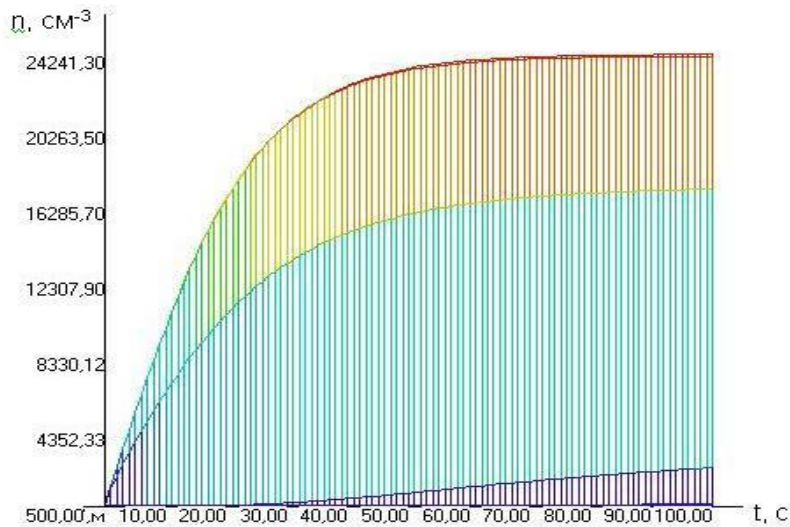


Рис.2. Часова залежність концентрації аероіонів у приміщенні:  
 $n_0 = 600 \text{ cm}^{-3}$ ,  $g = 1000 \text{ cm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$

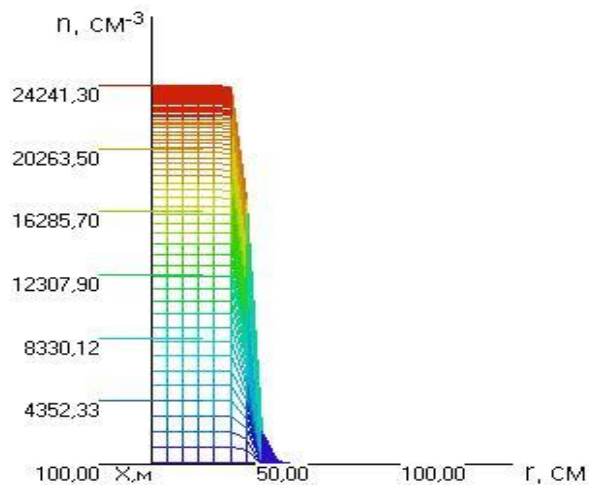


Рис.3. Просторова залежність концентрації іонів поблизу джерела іонізації повітря

Аналіз отриманих кривих показує, що за наявності джерел іонізації повітря у робочих приміщеннях спостерігається явище насичення (рис.2), показник якої є відправною точкою для подальших розрахунків. Розповсюдження аероіонів за рахунок дифузійних процесів досить обмежене і суттєве тільки поблизу джерела (критична відстань залежить від його продуктивності). Через деякі спрощення реального процесу, не враховується вихідна (фонова) концентрація аероіонів, яка повинна додаватися до концентрацій, визначених графічно. Дана модель не враховує спрямованого руху повітря у приміщенні (за рахунок функціонування систем вентиляції кондиціонування

повітря, систем охолодження технічних засобів тощо).

Враховуючи складність процесів іоноутворення у повітрі (генерація іонів за рахунок природних випромінювань, радіоактивності будівельних матеріалів, деіонізація повітря внаслідок функціонування технічних засобів), вихідну концентрацію аероіонів  $n_0$  доцільно трактувати як вихідну генерацію аероіонів  $g_0$ .

У цьому випадку рівняння (1) набуде вигляду

$$\frac{\partial n}{\partial t} = g_0 + g + D \left( \frac{\partial^2 n}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial n}{\partial r} \right) - \gamma n^2.$$

Закономірності розповсюдження аероіонів у цьому випадку наведено на рис.4.

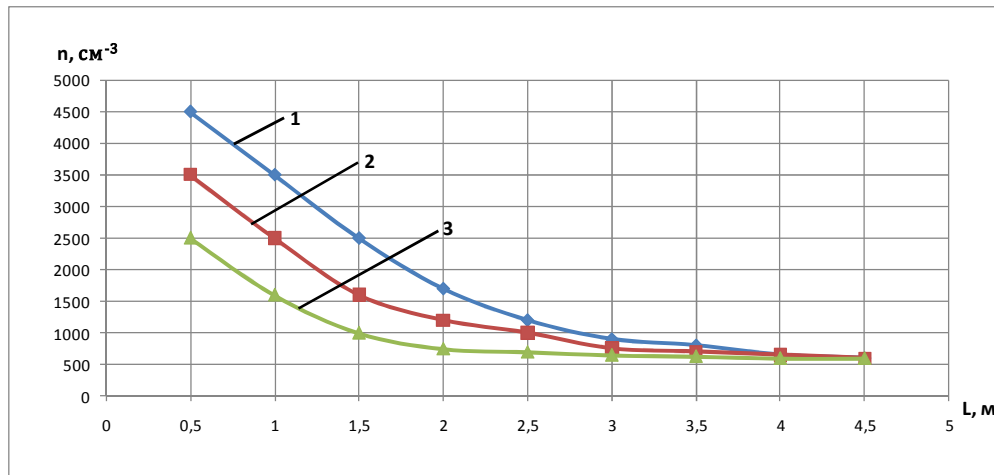


Рис.4. Зміна концентрацій негативних аероіонів з відстанню від джерела іонізації повітря ( $g_0 \approx 600 \text{ см}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$ ). 1, 2, 3 відповідають  $g=2500, 3500, 4500 \text{ см}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$

Як видно з отриманого графічного матеріалу, концентрації аероіонів значною мірою знижуються з відстанню від джерела іонізації і асимптотично наближаються до фонового значення. З точки зору нормалізації аероіонного складу повітря, його реалізація повною мірою забезпечується спрямованим рухом повітря, що буде розглянуто у подальших дослідженнях.

### Висновки

Для отримання достовірної картини просторових і часових змін концентрацій аероіонів у повітрі виробничих приміщень та їх прогнозування залежно від кількості джерел іонізації (деіонізації) повітря доцільне здійснення моделювання цих процесів.

Коректність моделювання забезпечується врахуванням сферичності поширення аероіонів від джерела іонізації повітря і отриманням відповідних тривимірних зображень, виходячи з функцій поширення аероіонів у полярних координатах.

Для практичного використання отриманих результатів доцільно розглядати проекції тривимірного зображення з побудовою сімейства кривих, які відповідають різним рівням генерації іонів. Предметом подальших досліджень є моделювання просторових та часових змін концентрацій аероіонів з урахуванням спрямованого руху повітря за його різних швидкостей.

### Список літератури

1. Санитарно-гигиенические нормы допустимых уровней ионизации воздуха производственных и общественных помещений: СНиП 2152-80.- [Введен в действие 1980-12-02]. - М.: МЗ СССР, 1980. - 7 с.- (Межгосударственные санитарные нормы).

2. Проблема аэроионизации при создании рационального микроклимата в помещениях с персональными компьютерами / Н.И. Бабич, В.Г. Панов, С.Г. Антощук и др. // Электромашиностроения та електрообладнання. - 2009. - Вып.74. - С.41 - 47.

3. Глива В.А. Засоби підвищення якості повітря робочих приміщень / В.А.Глива, О.М.Бесараб, І.О.Азнаурян, С.А.Теренчук // Техніка будівництва. - 2010. - № 24. - С. 64 - 66.

4. Моделирование распределения концентрации ионов вблизи ионизатора / В.Е. Бахрушин, М.А. Игнашина, Д.В. Вертинский и др. // Складні системи і процеси. - 2002. - № 1. - С.30 - 35.

5. Noakes C.J. Modelling the air cleaning performance of negative air ionisers in ventilated rooms / C.J. Noakes, P.A.Sleigh, C.B. Beggs //Proceeding of the 10 th Int. Conference on Air Distribution in Rooms (Roomvent 2007), 13 - 15 June 2007. - Helsinki, 2007. - 11 p.

6. Чураков А.Я. Способ побудови поверхонь концентрації аероіонів від розсіювальних джерел випромінювання / А.Я. Чураков, О.В. Строкань // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці ТДАТУ. - 2010. - Вып.4. - Т.45. - С.85 - 88.

7. Глива В.А. Визначення та прогнозування динаміки зміни аероіонного складу повітря виробничих приміщень / В.А. Глива, В.І. Клапченко, С.М. Пономаренко та ін.. // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». - 2010. - Вып.19. - С.161-168.

8. 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.

Стаття надійшла в редколегію 25.04.2012

Рецензент : д-р техн. наук, проф., директор Інституту екологічної безпеки Національного авіаційного університету, О.І. Запорожець, Київ.