УДК 697.953:537.56

Толкунов І.О., ст. преп., НУЦЗУ,
Попов І.І., канд. техн. наук, доц., НУЦЗУ

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ФОРМУВАННЯ ПОЛІВ КОНЦЕНТРАЦІЇ АЕРОІОНІВ У ПОВІТРЯНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ПРИМІЩЕНЬ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ МНС УКРАЇНИ

(представлено д-ром техн. наук Яковлєвою Р.А.)

На основі аеродинамічних розрахунків розподілу повітря в приміщеннях спеціального призначення МНС України, проведені теоретичні дослідження розповсюдження аероіонів в основній ділянці потоків іонізованого повітря та запропонована математична модель, яка описує ці процеси

Ключові слова: аероіон, аероіонізація, коронний аероіонізатор, нормативний аероіонний режим, штучна іонізація повітря, керований генератор аероіонів, приміщення спеціального призначення МНС України

Постановка проблеми. Мінімально необхідний рівень концентрації легких аероіонів (*АІ*) у приміщеннях спеціального призначення МНС України (ПСП) може бути забезпечений оптимізацією архітектурно-будівельних факторів, таких як кратність повітрообміну, об'ємно-планувальні параметри, будівельні матеріали, що використовуються в огороджуючих конструкціях та оздобленні тощо [1]. Для отримання більш високих концентрацій легких *АІ*, характерних для оптимального аероіонного режиму, необхідне їх штучне продукування за допомогою спеціальних приладів. Апарати, за допомогою яких здійснюється штучна іонізація повітря, називаються аероіонізаторами або генераторами аероіонів. Реалізація методів штучної аероіонізації в ПСП потребує знання конкретних даних про розподіл концентрацій аероіонів в повітряному середовищі мешкання при певних способах організації повітрообміну, отримання яких експериментальним шляхом пов'язано зі значними труднощами, а теоретична задача про розподіл *АІ* в повітряному середовищі вентильованих приміщень на теперішній час потребує вирішення в формі, яка була б зручною для практичного використання [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз способів нормалізації іонного складу повітряного середовища доводить, що нормативний аероіонний режим в ПСП найбільш ефективним чином може бути реалізований шляхом подачі в приміщення штучно іонізованого повітря за допомогою стаціонарних коронних аероіонізаторів, що вмонтовані в систему життєзабезпечення (СЖЗ), як найбільш ефективного варіанту в медико-технічному та економічному відношенні [3].

В цьому випадку аероіонний режим залежить від організації повітрообміну, який забезпечується встановленими СЖЗ, та в значній мірі визначається способом розподілу повітря в приміщенні, а розрахунки по визначенню концентрації АІ в робочій зоні ведуться з урахуванням властивостей і закономірностей приточних струменів для умов їх прямого впливу [4]. В той же час, закономірності процесу іоноутворення і створення нормативного аероіонного режиму повітряного середовища ПСП потребує подальшого дослідження [5].

Постановка завдання та його вирішення. Компактні турбулентні струмені утворюються при випуску повітря з приточних отворів з невеликим співвідношенням розмірів сторін: циліндричних труб, круглих і прямокутних отворів як відкритих, так і закритих решітками, перфорованими листами тощо [6].

У зв'язку з цим, метою даного дослідження являється продовження теоретичних досліджень, які були представлені в роботі [7] та стосувалися математичної інтерпретації процесів турбулентного переносу аероіонів в початковій ділянці потоків повітря в ПСП. Дана робота передбачає математичне моделювання процесів турбулентного переносу AI в основній ділянці потоків повітря в приміщеннях спеціального призначення МНС України.

Використовуючи схему на рис. 1, яка розглядалася в [7], встановимо закономірності розподілу концентрації аероіонів в основній ділянці компактного струменя, який витікає з тонкої труби.

Формулу для розрахунку осьової швидкості в основній ділянці струменя запишемо у вигляді

$$V_x = \frac{mV_0\sqrt{F_0}}{x}, \qquad (1)$$

де V_0 – швидкість витоку приточного повітря, м/с; F_0 – площа приточного отвору, м^2; x – відстань від приточного отвору до певної то-

чки на осі струменя, м; m – аеродинамічна характеристика приточного струменя, яка визначає темп затухання швидкості по довжині струменя, визначається із співвідношення

$$m = \frac{\theta\phi}{c\sqrt{\pi}};$$

c – експериментальна постійна, вірогідне значення якої дорівнює 0,082; π – математична константа, дорівнює 3,14; θ – коефіцієнт, який враховує неізотермічність струменя, визначається із співвідношення

$$\theta = \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_\infty}};$$

ρ_0 – масова щільність повітря, яке витікає, кг/м^3; ρ_∞ – масова щільність оточуючого повітря, кг/м^3; φ – коефіцієнт, який враховує нерівномірність розподілу швидкості руху повітря по площі приточного отвору, визначається із співвідношення

$$\varphi = \left[\int_0^1 \left(\frac{V}{V_0}\right)^2 d\frac{F}{F_0}\right]^{1/2};$$

V – швидкість руху повітря в довільній точці струменя, яка задана координатами x та r, м/с; r – радіальна відстань від осі струменя до довільної точки в його об'ємі, м; dF – елементарна площа поперекового перетину струменя, в межах якої швидкість однакова, м^2.

Сумісне рішення (3) із [7] та (1) дозволяє отримати значення швидкості в будь-якій точці основної ділянки струменя

$$V = \frac{mV_0\sqrt{F_0}}{x}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{r}{cx}\right)^2\right]. \qquad (2)$$

При розрахунку швидкості руху повітря нижня межа застосування формул (4) з [7] та (2) визначається довжиною початкової ділянки $x_{поч}$, яка для компактного струменя дорівнює

$$x_{поч} = m\sqrt{F_0}\ . \qquad (3)$$

Розподіл надлишкових концентрацій *AI* в основній ділянці компактного струменя для випадку біполярної іонізації ($n_0^- > n_0^+$) з урахуванням прийнятих в [7] допущень буде описуватися системою рівнянь

$$\begin{cases} \rho_0 V_0^2 F_0 = \int\limits_0^\infty \rho V^2 dF \\ n_p^- V_0 F_0 = \int\limits_0^\infty n^- V dF + \int\limits_{x_p}^x dx \int\limits_0^\infty \left[\alpha n^- n^+ + \dfrac{q k^- n^-}{\varepsilon \varepsilon_0} (n^- - n^+) \right] dF \\ n_p^+ V_0 F_0 = \int\limits_0^\infty n^+ V dF + \int\limits_{x_p}^x dx \int\limits_0^\infty \alpha n^- n^+ dF \end{cases} \qquad (4)$$

де x_p – відстань по осі струменя від приточного отвору до робочої зони, м (рис. 1) [7]; $n_p^\pm$ – надлишкова концентрація легких аероіонів негативної та позитивної полярності в робочій зоні, м$^{-3}$; $n^\pm$ – надлишкова концентрація легких аероіонів негативної та позитивної полярності в довільній точці приточного струменя, м$^{-3}$; α – коефіцієнт рекомбінації легких аероіонів; q – елементарний заряд, Кл; k^- – електрична рухливість негативних легких аероіонів, м^2·В$^{-1}$·с$^{-1}$; ε – відносна діелектрична постійна повітря, Ф/м; ε_0 – електрична постійна, Ф/м; dx – елементарна відстань, в межах якої швидкість руху повітря в приточному струмені однакова, м.

В загальному випадку система (4) не вирішується в квадратурах, а часткові рішення системи залежать від співвідношення постійних величин і початкових умов, які входять в неї.

Визначимо розподіл надлишкових концентрацій *AI* в основній ділянці компактного струменя для випадків, що найбільш часто зустрічаються в практиці штучної аероіонізації.

Для випадку біполярної іонізації ($n_0^- > n_0^+$), коли можна не враховувати вплив ефектів електростатичного розсіювання, система (4) має вигляд

$$\begin{cases} \rho_0 V_0^2 F_0 = \int\limits_0^\infty \rho V^2 dF \\ n_p^- V_0 F_0 = \int\limits_0^\infty n^- V dF + \int\limits_{x_p}^x dx \int\limits_0^\infty \alpha n^- n^+ dF \\ n_p^+ V_0 F_0 = \int\limits_0^\infty n^+ V dF + \int\limits_{x_p}^x dx \int\limits_0^\infty \alpha n^- n^+ dF \end{cases} \quad (5)$$

Подібність процесів перенесення тепла і домішок в приточних струменях дозволяє характеризувати зміну надлишкових концентрацій аероіонів по довжині струменя без врахування впливу ефектів електростатичного розсіювання і рекомбінації комплексом коефіцієнтів l

$$l = \frac{(1+\sigma)\theta}{2\sqrt{\pi} c\varphi}. \quad (6)$$

де σ – експериментальна постійна, вірогідне значення якої дорівнює 0,8.

Для ізотермічних струменів, що витікають з рівномірною швидкістю, коли $\theta = \varphi = 1$, маємо

$$m = 6{,}88 \text{ та } l = 6{,}2. \quad (7)$$

Для існуючих систем розподілу повітря значення коефіцієнта m практично завжди більше значення коефіцієнта l. Це дозволяє визначити відстань до робочої зони x_p у вигляді

$$x_p = l\sqrt{F_0} \text{ (при } x_p < x_{поч}). \quad (8)$$

Тоді в (5) концентрації AI $n_p^{\pm}$ в перехідному перетині струменя визначаються із співвідношень (14), (15) з [7] та (8)

$$n_p^+ = n_{l\sqrt{F_0}}^+ = \frac{\Delta n_0}{\frac{1}{K_y}\exp\left(\alpha \Delta n_0 \frac{l\sqrt{F_0}}{V_0} - 1\right)} \quad (9)$$

та

$$n_p^- = n_{l\sqrt{F_0}}^- = \frac{\Delta n_0}{1 - K_y \exp\left(-\alpha \Delta n_0 \dfrac{l\sqrt{F_0}}{V_0}\right)}; \qquad (10)$$

де K_y – коефіцієнт уніполярності легких *AI*, $K_y = \dfrac{n_0^+}{n_0^-}$; $n_0^{\pm}$ – надлишкова концентрація легких позитивних і негативних *AI* на початку витоку, м$^{-3}$; Δn_0 – різниця надлишкових концентрацій легких позитивних і негативних *AI* на початку витоку, м$^{-3}$, $\Delta n_0 = n_0^+ - n_0^-$.

У рівняннях системи (5) елементарна площа dF уявляє собою елементарне кільце радіусом r і шириною dr

$$dF = 2\pi r dr. \qquad (11)$$

Використовуючи співвідношення (3), (8) з [7] та (6), (11), шляхом відповідних перетворень рівнянь системи (5) отримуємо

$$\begin{cases} n_x^+ = n_x^- - \dfrac{\Delta n_0 l\sqrt{F_0}}{x} \\ n_x^- = -\dfrac{V_0 \sigma \sqrt{F_0}}{\alpha \pi c^2 l}\left[\dfrac{1}{x^2} + \dfrac{\left(n_x^+\right)'}{x n_x^+}\right] \end{cases} \qquad (12)$$

Вирішуючи систему (12) з початковими умовами (9) та (10), знаходимо розрахункові формули для визначення надлишкових концентрацій негативних та позитивних легких *AI* на осі компактного ізотермічного струменя при рівномірному витоку ($n_0^- > n_0^+$)

$$n_x^- = \frac{\Delta n_0 l\sqrt{F_0}}{x\left\{1 - K_y \exp\left[-\dfrac{\alpha \Delta n_0}{V_0}\left(\dfrac{\pi c^2 l^2}{\sigma} x + l\sqrt{F_0} - \dfrac{\pi c^2 l^2}{\sigma} l\sqrt{F_0}\right)\right]\right\}} \qquad (13)$$

та

$$n_x^+ = \frac{\Delta n_0 l\sqrt{F_0}}{x\left\{\frac{1}{K_y}\exp\left[\frac{\alpha\Delta n_0}{V_0}\left(\frac{\pi c^2 l^2}{\sigma}x + l\sqrt{F_0} - \frac{\pi c^2 l^2}{\sigma}l\sqrt{F_0}\right)\right] - 1\right\}}. \qquad (14)$$

Для випадку біполярної іонізації з коефіцієнтом уніполярності $K_y = 1$ ($n_0^+ = n_0^- = n$) система (12) має вигляд

$$\begin{cases} n_x^- = n_x^+ \\ n_x^+ = -\dfrac{V_0\sigma\sqrt{F_0}}{\alpha\pi c^2 l}\left[\dfrac{1}{x^2} + \dfrac{\left(n_x^+\right)'}{x n_x^+}\right]. \end{cases} \qquad (15)$$

Вирішуючи (15) з початковими умовами

$$n_p^\pm = \frac{n_0^\pm}{1 + \alpha n_0^\pm \dfrac{l\sqrt{F_0}}{V_0}} \text{ при } x_p = l\sqrt{F_0}, \qquad (16)$$

отримуємо

$$n_x^\pm = \frac{n^\pm l\sqrt{F_0}}{x\left(n_0^\pm \dfrac{\alpha\pi c^2 l^2}{\sigma}\dfrac{x}{V_0} + \alpha n_0^\pm \dfrac{l\sqrt{F_0}}{V_0} - n_0^\pm \dfrac{\alpha\pi c^2 l^2}{\sigma}\dfrac{l\sqrt{F_0}}{V_0} + 1\right)}. \qquad (17)$$

При уніполярній іонізації повітря розподіл надлишкових концентрацій аероіонів в основній ділянці струменя визначатиметься співвідношеннями

$$\begin{cases} I_x = I_0 \\ \dfrac{n_0^\pm}{1 + \dfrac{qk^\pm}{\varepsilon_0\varepsilon} n_0^\pm \dfrac{x_p}{V_0}} = \displaystyle\int_0^\infty n^\pm V dF + \int_{x_p}^x dx \int_0^\infty \frac{qk^\pm}{\varepsilon_0\varepsilon}\left(n^\pm\right)^2 dF, \end{cases} \qquad (18)$$

де I_x – кількість руху секундної маси повітря у всіх перетинах струменя, або поточний імпульс, кг·м·с$^{-1}$; I_0 – кількість руху початкової маси приточного повітря в струмені, або початковий імпульс кг·м·с$^{-1}$.

Рішення (18) для випадку негативної (позитивної) уніполярної аероіонізації з початковими умовами

$$n_p^{\pm} = \frac{n_0^{\pm}}{1 + \frac{qk^{\pm}}{\varepsilon_0 \varepsilon} n^{\pm} \frac{l\sqrt{F_0}}{V_0}} \text{ при } x_p = l\sqrt{F_0}\,, \tag{19}$$

дає значення надлишкової концентрації аероіонів на осі основної ділянки компактного струменя

$$n_x^{\pm} = \frac{n_0^{\pm} l\sqrt{F_0}}{x\left(n_0^{\pm} \frac{qk^{\pm}}{\varepsilon_0 \varepsilon} \frac{\pi c^2 l^2}{\sigma} \frac{x}{V_0} + n_0^{\pm} \frac{qk^{\pm}}{\varepsilon_0 \varepsilon} \frac{l\sqrt{F_0}}{V_0} - n_0^{\pm} \frac{qk^{\pm}}{\varepsilon_0 \varepsilon} \frac{\pi c^2 l^2}{\sigma} \frac{l\sqrt{F_0}}{V_0} + 1 \right)}. \tag{20}$$

Висновки. На основі аеродинамічних розрахунків розповсюдження потоків іонізованого повітря та закону збереження електричного заряду запропонована математична модель, яка описує процеси розподілу аероіонів в приміщеннях спеціального призначення при різних способах організації повітрообміну.

Отримані аналітичні співвідношення, що визначають розподіл надлишкової концентрації негативних та позитивних *AI* в межах основної ділянки приточного струменя, які можуть бути використаними для приточних отворів, які мають невеликі розміри та розташовані на відносно невеликій відстані від робочої зони.

Необхідні комплексні дослідження сумісного впливу на процеси формування полів концентрації аероіонів в ПСП джерел природної та штучної іонізації повітря, а також інженерна інтерпретація результатів цих досліджень в формі, зручній для практичного використання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шилкин А.А., Соловьев С.П. Рекомендации по совершенствованию аэроионного режима внутренней среды общественных

зданий / А.А. Шилкин, С.П. Соловьев. – М.:ЦНИИЭП учебных зданий, 1982. – 36 с.
2. 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. – Х.: УЦЗУ, 2008. – №8. – С.198-206.
3. Сторчевой В.Ф. Ионизация и озонирование в птицеводстве: дис. ... доктора техн. наук: 05.20.02 / Сторчевой Владимир Федорович. – М.: РГБ. 2003. – 283 с.
4. Бахарев В.А., Троеновский В.Н. Основы проэктирования и расчёта вентиляции с сосредоточенным выпуском воздуха / В.А. Бахарев, В.Н. Троеновский. – М.: Профиздат, 1968. – 145 с.
5. Толкунов И.А. Исследование и разработка управляемых генераторов аэроионов для помещений специального назначения МЧС Украины / И.А. Толкунов, И.И. Попов, В.В. Барбашин // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: УЦЗУ, 2009. – №10. – С.186-194.
6. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй / Генрих Наумович Абрамович. – М.: Физматгиз, 1960. – 715 с.
7. 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. – Х.: НУЦЗУ, 2010. – №11. – С.137-145.

Толкунов И.А., Попов И.И.

Моделирование процессов формирования полей концентрации аэроионов в воздушной среде помещений специального назначения МЧС Украины

На основе аэродинамических расчетов распределения воздуха в помещениях специального назначения МЧС Украины, проведено теоретическое исследование распространения аэроионов на основном участке потоков ионизированного воздуха и предложена математическая модель, описывающая эти процессы

Ключевые слова: аэроион, аэроионизация, коронный аэроионизатор, нормативный аэроионный режим, искусственная ионизация воздуха, управляемый генератор аэроионов, помещение специального назначения МЧС Украины

Tolkunov I.A., Popov I.I.

Pour the design of forming processes the concentration of aeroions in the air environment of apartments of the special setting Ministry of emergency measures of Ukraine

On the basis of aerodynamic calculations of distributing of air in the apartments of the special setting of Ministry of emergency measures of Ukraine, theoretical research of distribution of aeroions is conducted on the basic area of streams of the ionized air and a mathematical model, describing these processes, is offered

Key words: aeroion, aeroionization, corona aeroionizer, normative aeroionic mode, artificial ionization of air, guided generator of aeroions, apartment of the special setting Ministry of emergency measures of Ukraine

УДК [556.114:574.63] (285.33)

Третьяков О.В., канд. техн. наук, доц., НУЦЗУ,
Пономаренко Р.В., ад'юнкт, НУЦЗУ

ЗАСТОСУВАННЯ СТРУКТУРИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ВИНИКНЕННЯ, РОЗВИТКУ І ПРОТИДІЇ НАДЗВИЧАЙНИМ СИТУАЦІЯМ ЗА УЧАСТЮ ОБ'ЄКТІВ ПИТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

(представлено д-ром техн. наук Комяк В.М.)

Проведений аналіз дієвості підходу структуризації процесів розвитку та протидії надзвичайним ситуаціям та виявлено можливі шляхи пристосування його для природно-техногенних надзвичайних ситуацій, які можуть виникнути на об'єктах питного водопостачання, з метою їх уникнення

Ключові слова: надзвичайні ситуації, ресурс захисту, іонообмінні матеріали, технологія виробництва питної води

Постановка проблеми. Підвищення ефективності управління заходами запобігання і реагування на надзвичайні ситуації (НС) стає все більш актуальною задачею для органів та підрозділів Міністерства з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи (МНС), у зв'язку із зростанням втрат і витрат внаслідок тяжких аварій та стихійних лих. Можливості традиційних підходів до забезпечення надійності виробничих процесів і фізичного захисту населення у потенційно небезпечних регіонах об'єктивно обмежені наявними