



УДК 53861:331.45

*В.А. Глива, кандидат технічних наук,
В.І. Клапченко, кандидат технічних наук, доцент,
С.А. Теренчук., кандидат фізико-математичних наук, доцент,
С.М. Пономаренко, кандидат фізико-математичних наук,
Київський національний університет будівництва і архітектури*

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ АЕРОІОННОГО СКЛАДУ ПОВІТРЯ ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ

Вступ. Аероіонний склад повітря виробничих, навчальних та побутових приміщень залежить як від об'єктивних, так і суб'єктивних факторів. До об'єктивних належать: пора року, температура та вологість зовнішнього повітря; до суб'єктивних – кількість і характеристики обладнання, що знаходяться у приміщенні, наявність дрібнодисперсного пилу і аерозолів у повітрі приміщення. Великий вплив на аероіонний склад повітря мають системи кондиціювання повітря, які дозволяють підтримувати температуру та вологість повітря в автоматичному режимі, але сприяють де іонізації повітря та зниженню концентрації негативних іонів, що дуже шкідливо для здоров'я працюючих.

Сучасний стан питання та постановка задачі. Нині в Україні санітарні норми [1, 2] регламентують мінімальну, максимально допустиму та оптимальну концентрацію аероіонів різних знаків у приміщеннях. Проте існуючі нормативи не відповідають вимогам сьогодення [3]. Крім того, зміни аероіонного складу повітря у приміщеннях відбуваються досить швидко у продовж робочого дня. Такі зміни потребують постійного контролю аероіонного складу повітря та швидкого реагування у разі виникнення негативних тенденцій щодо концентрації аероіонів різних знаків. Але засоби контролю, рекомендовані чинними нормами, САИ-ТГУ та АСИ-1 технічно застаріли і не відповідають сучасним матеріальним вимогам та сучасним можливостям автоматизації таких процесів [4]. До того ж, норми вимагають проведення контролю один раз на квартал, при впровадженні нових технологічних процесів та організації нових робочих місць. Це на сьогоднішній день не можна вважати задовільним. Таким чином, **актуальним і доцільним** є розробка методу контролю аероіонного складу повітря робочих приміщень, який вимагає мінімальної кількості вимірювань і базується на адекватній математичній моделі.

Модель розподілу іонів поблизу іонізатора детально розглянуто в [5]. Описана модель базується на рівнянні неперервності і враховує генерацію тільки негативних іонів, їх дифузію та перенесення повітряним потоком, але не враховує явище рекомбінації. Така модель не відповідає реальним умовам, оскільки побутові та технічні пристрої генерують іони обох знаків.

Метою роботи є розробка математичної моделі генерації аероіонів техногенного походження з урахуванням явища рекомбінації.

Виклад основного матеріалу. У найпростішому випадку, після припинення дії джерела іонізації, залежність концентрації іонів від часу описується рівнянням [6]:

$$\frac{dn}{dt} = -\gamma n^2 \quad \text{або} \quad \gamma dt = -\frac{dn^2}{n^2},$$

де n – концентрація аероіонів в момент часу t , γ – коефіцієнт їх рекомбінації. Нехай в момент припинення дії іонізатора $t = 0$, а $n(0) = n_0$.

Інтегруємо рівняння:

$$\int_0^t \gamma dt = - \int_{n_0}^n \frac{dn}{n^2};$$

$$\gamma t = \frac{1}{n} - \frac{1}{n_0};$$

$$n = \frac{n_0}{1 + \gamma_0 t}.$$

Якщо джерело іонізації функціонує безперервно, то процес рекомбінації описується рівнянням:

$$\frac{dn}{dt} = g - \gamma n^2 \quad \text{або} \quad \frac{dn}{dt} + \gamma n^2 = g,$$

що відоме, як рівняння Ріккати, загальний розв'язок якого шукають у вигляді:

$$\int \frac{dn}{g - \gamma n^2} = n + C.$$

Після інтегрування:

$$n = \sqrt{\frac{g}{\gamma}} \operatorname{th} \left(\frac{t}{\tau} \right) + C; \quad (1)$$

$$\tau = \sqrt{\frac{1}{g\gamma}},$$

де g – продуктивність джерела, τ – середній час життя іонів. Коефіцієнт рекомбінації у повітрі за нормальних умов $\gamma \approx 1,67 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{с}$ [7].

Графіки залежності (1) при $C = 0$ для джерел різної продуктивності наведено на рис.1. Досвід показав, що у приміщеннях, які містять джерела аероіонізації дійсно має місце явище насичення. Проте рівень іонізації повітря залежить не тільки від складу технічних засобів, а й від будівельних матеріалів, з яких побудовано споруду.

У багатьох будівлях та спорудах в м. Києві радіаційний фон перебуває на рівні від 40 до 45 мкР/год [4]. Під дією такого випромінювання за одну годину у кубічному сантиметрі повітря виникає 10^5 іонів різних знаків. Такий внесок у іонний склад повітря необхідно враховувати, зважаючи на те, що середній час життя іонів суттєво залежить від фонові концентрації [7]:

$$\tau = \frac{\bar{\lambda}}{\bar{v}}, \quad \bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{1}{\pi \sigma n_0},$$

де $\bar{\lambda}$ – середня довжина пробігу молекул, \bar{v} – їх середня швидкість, σ – ефективний діаметр іонів, n_0 – фонові концентрація іонів. Експериментальні дослідження [8] показали, що співвідношення (1) адекватно описує реальний стан повітря в виробничих приміщеннях при $C = n_0$.

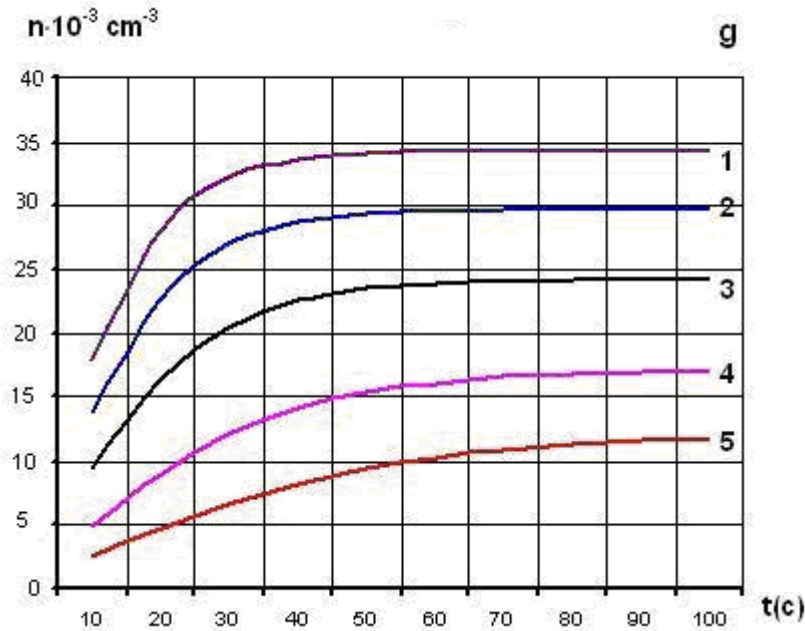


Рисунок 1. Залежність концентрації аероіонів від часу для джерел різної продуктивності: 1 - 2000, 2 - 1500, 3 - 1000, 4 - 500, 5 - 250 $\text{cm}^{-3}\cdot\text{s}^{-1}$.

Найбільш наближеним до реальних умов є рівняння, яке враховує процеси дифузії і рекомбінації аероіонів та передбачає їх сферичне розповсюдження від джерела:

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

де r – відстань від джерела до точки визначення концентрації, D – коефіцієнт дифузії. Рівняння (2) не може бути розв'язане у загальному вигляді. Тому для знаходження його розв'язку на мові C++ було реалізовано метод скінченних різниць [9]. Розрахунки проводились для джерела розміром $r_0 = 0,3$ м, продуктивністю $g = 1000 \text{ cm}^{-3}\text{s}^{-1}$ при фоновій концентрації $n_0 = 400 \text{ cm}^{-3}$, за нормальних умов $D \approx 10^{-5} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$. Результатом розрахунків є графічне представлення $n = n(r, t)$. Аналіз отриманих поверхонь методом перерізів показав, що розповсюдження аероіонів за рахунок дифузійних процесів в реальних технологічних інтервалах часу суттєво тільки в граничному прошарку на межі джерела ($0,25 - 0,35$ м для даного джерела), а явище насичення пояснюється рекомбінацією іонів.

Висновки.

- Обмеженість розповсюдження аероіонів за рахунок дифузійних процесів дозволяє надійно визначати безпечні відстані для окремих технічних засобів.
- Моделювання рівнів іонізації повітря в виробничих приміщеннях слід виконувати з урахуванням фонових значень, обумовлених специфікою матеріалів, з яких побудовано споруду.
- Прогнозування рівнів насичення аероіонами повітря в приміщеннях, що базується на моделі процесу рекомбінації, дозволяє визначити оптимальні заходи з нормалізації стану повітря.

• Оскільки заходи з нормалізації стану приміщень передбачають вентиляцію, кондиціювання і охолодження, адекватна модель ускладниться внаслідок урахування примусового руху повітря у приміщеннях, що і є **предметом подальших досліджень**.

Література

1. Санитарно-гигиенические нормы допустимых уровней ионизации воздуха производственных и общественных зданий СНиП 2152-80 . – [Введён в действие 1980-12-02]. – М.: МЗ СССР, 1980–7с (Межгосударственный стандарт).
2. ДНАОП 0.00-31-99. Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин. – Затверджені наказом Комітету по нагляду за охороною праці України № 21 від 10.02.99 р.
3. Establishing a dialogue on risks from electromagnetic fields. – Geneva: World health organization, 2004. – 67 p.
4. Клапченко В.І. Система контролю та нормалізації фізичних параметрів виробничого середовища в енергонасичених будівлях і спорудах / В.І. Клапченко, С.А. Теренчук, О.Г. Вільсон, О.В. Панова // Містобудування та територіальне планування: Наук.- техн. зб. – К., КНУБА, 2009. – Вип. 34. – С. 226-230.
5. Бахрушин В.Е. Моделирование распределения концентраций ионов вблизи ионизатора / В.Е. Бахрушин, М.А. Игнахина, Д.В. Вертинский, А.Д.Евсюков // Складні системи і процеси. – 2002. - № 1. – С. 30 -35.
6. Белицкий А.В. Явления переноса в слабоионизированной плазме / А.В. Белицкий, Л.А. Толчина, Б.М. Смирнов: – М.: Атомиздат, 1975.-336 с.
7. Кузмичёв В.Е. Законы и формулы физики / В.Е. Кузмичев. – К.: Наукова думка, 1989. – 864 с.
8. В.А. Глива, И.М. Ковтун, С.А. Теренчук, О.М. Бесараб. Використання сучасних інформаційних технологій для контролю іонізованості повітря при експлуатації автоматизованих систем. // Тези доповідей: матеріали XV Міжнарод. наук.- практ. конф. [Інформаційні технології в економіці, менеджменті і бізнесі. Проблеми науки, практики і освіти], (Київ, 25-26 лют. 2010 р.) / – К.: Європ. ун-т, 2010. – с. 243-244.
9. Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах: Учеб. пособие / В.И. Киреев, А.В. Пантелеев. – М.: Высш. шк., 2004. — 480 с.