

УДК 697.953:537.56

І.О. Толкунов, І.І. Попов

Національний університет цивільного захисту України, Харків

**ВПЛИВ ПРИРОДНИХ ДЖЕРЕЛ АЕРОІОНІЗАЦІЇ НА ПРОЦЕСИ ФОРМУВАННЯ ПОЛІВ КОНЦЕНТРАЦІЇ АЕРОІОНІВ У ПОВІТРЯНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ПРИМІЩЕНЬ**

*Представлені співвідношення, які дозволяють в певній мірі оцінити аероіонний режим приміщень в залежності від впливу зовнішніх чинників оточуючого середовища, його об'ємно-планувальних параметрів, матеріалів будівельних конструкцій, а також дають можливість визначити шляхи удосконалення аероіонного режиму приміщень при природному іоноутворенні.*

**Ключові слова:** аероіон, аероіонізація, приміщення спеціального призначення МНС України, природне джерело аероіонізації, випромінювання радіоактивних речовин, джерело еманції радону, балоелектричний та трібоелектричний ефект.

**Вступ**

**Постановка проблеми.** Результати експериментальних досліджень аероіонного режиму в приміщеннях, взагалі, та в приміщеннях спеціального призначення МНС України (ПСП), зокрема, доводять, що понижена концентрація легких аероіонів (АІ), поряд з іншими нормуємими фізико-хімічними та мікрокліматичними параметрами, в приміщенні, де постійно або тимчасово знаходяться люди, згубно впливає на загальний стан здоров'я і працездатність людей, а саме: знижує швидкість зорових і слухових реакцій, розумову і фізичну працездатність, збільшує швидкість наростання стомлюваності, млявості, неухважності, хронічної втоми, посилює роздратованість, депресивні стани і тому подібне. Динаміка, нескорочуваний рівень концентрації легких АІ залежить від числа присутніх в приміщенні людей та інтенсивності іоноутворення, як в самому приміщенні, так і за його межами, що визначається наявністю або відсутністю певних процесів, які і будуть розглянуті нами [1 – 3]. Якщо закономірності формування аероіонного режиму в приземних шарах повітря вивчені достатньо добре, то дослідження аероіонного режиму в приміщеннях в умовах природної іонізації обмежується, як правило, натурними вимірюваннями спектра АІ без розгляду ролі факторів, які обумовлюють його формування.

Теоретичний розгляд закономірностей аероіонного режиму в ПСП пов'язано зі значними труднощами, оскільки динаміка аероіонного режиму залежить не тільки від архітектурно-будівельних показників приміщення, але і від ступеня його заселеності, температурно-вологісного режиму, функціонального призначення та характеру діяльності.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Аналіз досліджень, проведених у вказаному напрямку, наприклад, Колодіної Н.С., Кіріллова В.Ф., Нікульчі І.П., Монтіка П.Н., Таммета Х.Ф., Перцова Л.А., Хультквіста Б., Лахно Е.С., Сверчкова А.Н. та багатьох інших, дозволив визначити, що джерелами природної іонізації в приземному шарі повітря поза межами будівлі є:

1. Випромінювання радіоактивних речовин, які містяться в земній корі та повітрі.
2. Космічні промені.
3. Балоелектричний ефект (дроблення і розпилення води).
4. Електричні розряди в атмосфері.
5. Трібоелектричний ефект (взаємне тертя піщинок, часток пилу, снігу і тому подібне).

Основними з них є космічне випромінювання і випромінювання радіоактивних речовин, які містяться в земній корі і повітрі. Природна радіоактивність повітря і ґрунту обумовлює інтенсивність іоноутворення близько 8 пар іонів/(см<sup>3</sup>·с), з них іоноутворення за рахунок радіоактивності ґрунту складає приблизно 3,5 пар іонів/(см<sup>3</sup>·с) [1].

Радіоактивні речовини, які знаходяться в повітрі, іонізують повітря в основному α-променями. Радіоактивність повітря обумовлює інтенсивність іоноутворення близько 4,5 пар іонів/(см<sup>3</sup>·с).

Космічні промені – це потік атомних ядер, який постійно падає на земну поверхню, в основному атомів водню – відрізняється високою енергією і величезною проникаючою здатністю. Середня щільність іоноутворення під дією космічних променів складає біля поверхні землі 1,4-2,2 пар іонів/(см<sup>3</sup>·с) [4].

Таким чином, сумарна інтенсивність іоноутворення в приземних шарах атмосфери складає в середньому 10 пар іонів/(см<sup>3</sup>·с). Вклад окремих компонентів в іонізацію приземного шару атмосфери за рахунок різних видів радіоактивного випромінювання приведений на рис. 1 [1,5].

Крім вище означених факторів, які в значній мірі впливають на природні процеси іоноутворення в приземному шарі повітря, існують ще деякі чинники, які також приймають участь в процесах аероіонізації.

Мікродомішки повітря (наприклад, хлор, фтор, йод, бром та інші) завдають істотного впливу на концентрацію аероіонів різних груп рухливостей.

Значного впливу на аероіонний режим завдає рослинність. Багаточисельні дослідження показують, що летючі виділення рослин (фітонциди) здійс-

сноють кількісні і якісні зрушення в аероіонному складі повітряного середовища. Так збільшення концентрації парів скіпідару в повітрі соснових насаджень від слідів до  $2 \text{ мг/м}^3$  супроводжуються зростанням концентрації легких аероіонів  $n^{\pm}$ , зменшенням концентрації важких аероіонів  $N^{\pm}$ , тобто формується сприятливий аероіонний режим.

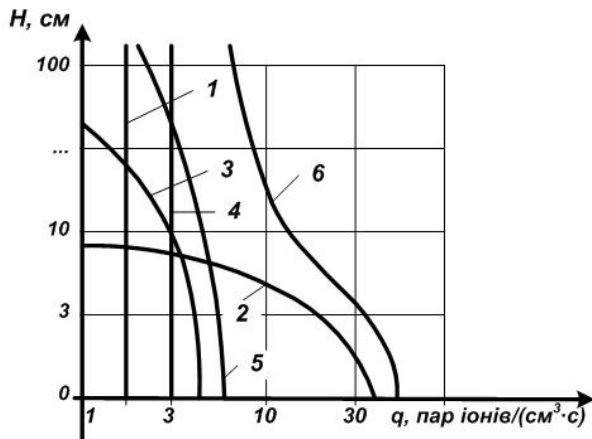


Рис. 1. Залежність інтенсивності іоноутворення від висоти: 1 – космічні промені; 2 –  $\beta$ -випромінювання Землі; 3 –  $\alpha$ -випромінювання Землі; 4 –  $\gamma$ -випромінювання Землі; 5 –  $\alpha$ -випромінювання радіоактивних газів; 6 – загальне випромінювання

В приміщеннях основними факторами, які впливають на процес формування аероіонного режиму, також являються різні види іонізуючого випромінювання. Природними іонізаторами являються:

1. Космічне випромінювання, яке проникає в приміщення через огорожуючі конструкції та стелю.
2. Випромінювання радіоактивних елементів (радіонуклідів), які містяться в повітрі приміщення.
3. Випромінювання від поверхні землі, які проникають в приміщення через підлогу.
4. Випромінювання радіоактивних елементів (радіонуклідів), які містяться в матеріалах будівельних конструкцій та оздоблювальних матеріалах.

Проникнення іонізуючих випромінювань крізь стіни відіграє помітну роль тільки для легких конструкцій в дерев'яних і збірничових будівлях. В будівлях же інших типів (кам'яні, панельні тощо) випромінювання земної поверхні майже повністю екранується стінами.

Вміст в матеріалах будівельних конструкцій радію являється джерелом еманції радону. Висока концен-

трація радону спостерігається в будівлях, які збудовані з матеріалів з високим вмістом радію. Більшість будівельних конструкцій, що використовуються в теперішній час, складається з неорганічної сировини, в якій містяться різноманітні природні радіоактивні елементи, що збільшують інтенсивність іоноутворення в приміщенні [4, 5].

На рис. 2 показані процеси формування рівня інтенсивності іоноутворення в ПСП за рахунок природних факторів. Значення, приведені на діаграмі, дуже усереднені та залежать від багатьох внутрішніх та зовнішніх чинників, однак в цілому вони відображають сутність процесів формування рівня інтенсивності іоноутворення в приміщенні.

## Постановка завдання та його вирішення

У атмосферному повітрі процеси іоноутворення протікають безперервно, проте збільшення числа аероіонів будь-якої з груп не безмежно, оскільки одночасно з іоноутворенням протікають процеси знищення аероіонів, які пов'язані з рекомбінацією аероіонів, а також переходом АІ з однієї групи рухливостей в іншу внаслідок осідання легких АІ на важчих частках, присутніх в повітрі.

Суть рекомбінації полягає в тому, що аероіони протилежного знаку при зіткненні можуть взаємно

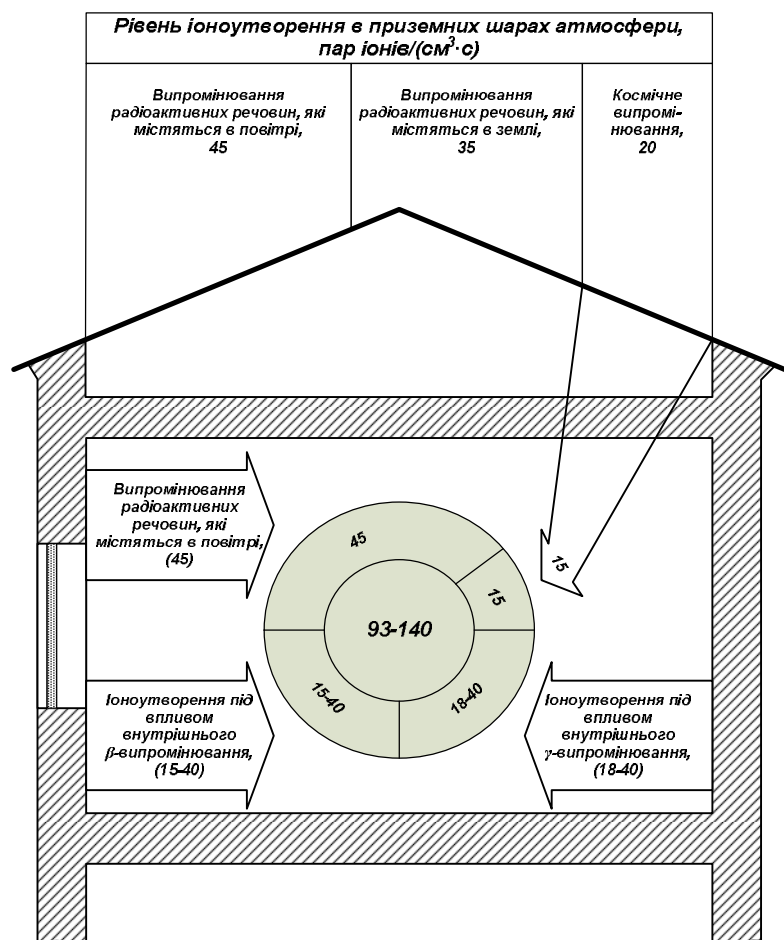


Рис. 2. Формування рівня інтенсивності іоноутворення в приміщеннях за рахунок природних факторів

нейтралізуватися. Число актів рекомбінації пропорційне числу зіткнень аероіонів в одиницю часу в одиниці об'єму, а число зіткнень (аероіонів в одиницю часу), у свою чергу, пропорційно концентрації аероіонів відповідного знаку.

Якщо концентрації легенив позитивних  $n^+$  і негативних аероіонів  $n^-$ , то число легких аероіонів, що рекомбінують між собою протягом 1 с дорівнює  $\alpha n^+ \cdot n^-$ , де  $\alpha$  – коефіцієнт рекомбінації. Якщо в 1 см<sup>3</sup> повітря в 1 с утворюється  $q$  пар іонів, то зміна концентрації легких аероіонів кожного знаку в часі можна представити у вигляді [6]:

$$\frac{dn^+}{dt} = \frac{dn^-}{dt} = q - \alpha n^+ \cdot n^- \quad (1)$$

В звичайних умовах тиску і температури в сухому і чистому повітрі для легких аероіонів  $\alpha = 1,6 \cdot 10^{-6}$  см<sup>3</sup>/с [6]. У випадку, якщо  $n^+ = n^- = n$ , рівняння (1) буде мати наступний вигляд:

$$\frac{dn}{dt} = q - \alpha n^2 \quad (2)$$

Вирішення рівняння (2) має вигляд [1]:

$$\sqrt{\frac{q}{\alpha}} \cdot \left( \frac{1 - e^{-2\sqrt{qa} \cdot t}}{1 + e^{-2\sqrt{qa} \cdot t}} \right) \quad (3)$$

В умовах динамічної рівноваги, коли  $\frac{dn}{dt} = 0$ , рівняння (2) має вигляд:

$$q = \alpha n^2 \quad (4)$$

звідки: 
$$n = \sqrt{q/\alpha} \quad (5)$$

Вираз (5) можна отримати із співвідношення (3), передбачаючи, що динамічна рівновага настане після закінчення значного проміжку часу, тобто при  $t \rightarrow \infty$ .

Проте слід зазначити, що співвідношення (1)-(5) справедливі лише для абсолютно чистого повітря. У реальних умовах в нижніх шарах атмосфери постійно присутнє велике число середніх і важких аероіонів, а також різного роду ядер конденсації, концентрація яких набагато перевершує концентрацію легких аероіонів. Внаслідок цього, при розгляді процесу зникнення легких аероіонів, необхідно враховувати рекомбінацію їх з аероіонами інших груп рухливостей і ядрами конденсації.

Зміна числа легких аероіонів протягом часу під впливом майже всіх вище перерахованих чинників, але без врахування впливу напруженості електричного поля, можна представити у вигляді наступних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dn^+}{dt} = q - \alpha n^+ \cdot n^- - \beta_+ n^+ N^- - \eta_+ n^+ N^0; \\ \frac{dn^-}{dt} = q - \alpha n^- \cdot n^+ - \beta_- n^- N^+ - \eta_- n^- N^0, \end{cases} \quad (6)$$

де  $N^\pm$  – число аероіонів з меншою рухливістю, ніж у легких, які в подальшому будемо визначати як важкі аероіони, іонів/см<sup>3</sup>;

$\beta_\pm$  – коефіцієнт рекомбінації легких аероіонів з важкими;

$\eta_\pm$  – теж саме, з незарядженими частками та ядрами конденсації;

$N_0$  – число незаряджених часток та ядер конденсації, см<sup>-3</sup>.

Для спрощення рівнянь (6) введено ряд припущень. Приймаючи обмеження, що

$$n^+ = n^- = n; N^+ = N^- = N;$$

$$\beta_+ = \beta_- = \beta; \eta_+ = \eta_- = \eta.$$

Тоді замість системи рівнянь (6) можна записати:

$$\begin{aligned} \frac{dn}{dt} &= q - \alpha n^2 - \beta n N - \eta n N^0 = \\ &= q - n [\alpha n - \beta N - \eta N^0]. \end{aligned} \quad (7)$$

Якщо позначити  $\mu = \alpha n - \beta N - \eta N^0$ , то отримаємо:

$$\frac{dn}{dt} = q - \mu n \quad (8)$$

Величина  $\mu$  носить назву постійної зникнення легких аероіонів (постійна Швейдлера) і характеризує убування легких АІ в процесі їх взаємодії з важкими аероіонами і ядрами конденсації, присутніми в повітрі.

Якщо прийняти до уваги, що в ПСП, як правило, число важких аероіонів значно перевершує число легких  $N^\pm \gg n^\pm$ , то в розрахунках  $\mu$  визначається, в основному, сумарним числом важких АІ і ядер конденсації. Передбачаючи, що в якийсь момент часу припиняється дія джерела іоноутворення ( $q = 0$ ), то інтегруючи (8), визначимо число легких аероіонів через час  $t$ :

$$n_t = n_\infty e^{\mu t} \quad (9)$$

В залежності від місця спостережень величина  $\mu$  варіює в межах  $(5 \dots 100) \cdot 10^{-9}$  м<sup>3</sup>/с [6].

В співвідношенні (9)  $\mu$  – постійна величина, яка характеризує даний процес. Вона аналогічна, за своєю суттю, постійній розпаду для ядерних реакцій, тому можна ввести поняття «час життя» легкого аероіону і визначити його як середній проміжок часу між його утворенням і зникненням.

Якщо середній «час життя» легкого аероіона складає  $\tau$ , інтенсивність іоноутворення рівна  $q$ , то в одиниці об'єму спостерігатиметься  $n = q\tau$  легких АІ. Звідси для випадку, коли є лише легкі аероіони, можна визначити їх «час життя»:

$$\tau^\pm = n^\pm / q = 1 / \mu^\pm \quad (10)$$

Залежно від ступеню чистоти повітря середня тривалість життя легких аероіонів складає 30 (для

сильно запыленного повітря) ...1000 с. За даними [2], середній «час життя» позитивних легких аероіонів в передмісті складає 25...39 с, в місті – 12...14 с. «Час життя» позитивних аероіонів дещо більше ніж у негативних, що викликано їх меншою рухливістю, а отже, і меншою швидкістю рекомбінації.

Поряд з рекомбінацією істотну роль в зникненні аероіонів, особливо в приміщеннях, грають дифузія і адсорбція аероіонів. Дифузія легких аероіонів виявляється в їх переміщенні з місця з більшою концентрацією до місця з меншим ступенем іонізованості повітря. В процесі руху аероіони, стикаючись з різними поверхнями, втрачають при цьому свій заряд і перетворюються на нейтральні молекули. Зазвичай явище дифузії і адсорбції взаємопов'язані. Внаслідок зменшення концентрації аероіонів в адсорбованому шарі аероіони навколишніх шарів постійно дифундуватимуть в цей шар, викликаючи процес дифузії в подальших шарах. Конвекція повітря в реальному приміщенні сприяє інтенсифікації процесів адсорбції і дифузії аероіонів.

### Висновки

Таким чином, представлені співвідношення, які отримані з рівняння атмосферної електрики, дозволяють в певній мірі оцінити аероіонний режим приміщень в залежності від впливу зовнішніх чинників оточуючого середовища, а також від його об'ємно-планувальних параметрів, матеріалів будівельних конструкцій. Вони дають можливість визначити шляхи удосконалення аероіонного режиму приміщень при природному іоноутворенні.

Перший шлях – це підвищення рівня іоноутворення в приміщеннях, що може бути досягнуто як використанням в огорожуючих конструкціях та інтер'єрі будівельних матеріалів з дещо більшим вмістом природних мікродомішок радіоактивних елементів, так і відмовою від застосування в інтер'єрі різноманітних стінових і облицювальних

матеріалів з органічної (полімерної) сировини. Збільшення інтенсивності іоноутворення на 20-25%, яке може бути досягнуто при цьому, не буде в значній мірі загрожувати здоров'ю людей, оскільки людина, як біологічний вид, розвивався в умовах приблизно такого ж природного радіоактивного фону.

Другий шлях полягає в зниженні концентрації важких АІ в повітрі приміщень, чого можна досягти, наприклад, зменшенням заселеності приміщень, застосуванням приточних систем вентиляції і кондиціонування повітря з більшою працездатністю та, на наш погляд, найбільш прийнятним варіантом створення нормативного аероіонного режиму в приміщеннях спеціального призначення є встановлення в них штучних іонізаторів повітря.

### Список літератури

1. Красногорская Н.В. Электричество нижних слоев атмосферы и методы его измерения / Н.В. Красногорская. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 323 с.
2. Никульча И.П., Монтик П.Н. Динамика помещения как объекта управления концентрацией ионов / И.П. Никульча, П.Н. Монтик // Уч. зап. ТГУ – г. Тарту, 1975. – Вып. 348. – С. 132-143.
3. Толкунов И.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.
4. Источники и действие ионизирующей радиации // Доклад Научного комитета ООН по действию атомной радиации за 1977 г. Т. 1. – Нью-Йорк. – 1978. – 405 с.
5. Перцов Л.А. Ионизирующее излучение биосферы / Л.А. Перцов. – М.: Атомиздат, 1973. – 286 с.
6. Тверской П.Н. Курс метеорологии / П.Н. Тверской. – М.: Гидрометеиздат, 1962. – 700 с.

Надійшла до редколегії 1.03.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.М. Фоменко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### ВЛИЯНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ АЭРОИОНИЗАЦИИ НА ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ АЭРОИОНОВ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ ПОМЕЩЕНИЙ

И.А. Толкунов, И.И. Попов

*Представлены соотношения, позволяющие в определенной степени оценить аэроионный режим помещений в зависимости от влияния внешних факторов окружающей среды, его объемно-планировочных параметров, материалов строительных конструкций, а также дают возможность определить пути совершенствования аэроионного режима помещений при естественном ионообразовании.*

**Ключевые слова:** аэроион, аэроионизация, помещение специального назначения МЧС Украины, естественный источник аэроионизации, излучение радиоактивных веществ, источник эманации радона, баллоэлектрический и трибоэлектрический эффект.

### INFLUENCE OF NATURAL SOURCES AEROIONIZATION ON THE FORMATION OF CONCENTRATION FIELDS OF AIR IONS IN THE AIR APARTMENT

I.A. Tolkunov, I.I. Popov

*Presented relations that allow a certain degree estimate aeroions mode premises depending on the influence of external environmental factors, its space-planning options materials of building constructions, as well as provide an opportunity to identify ways of improving the ion formula treatment apartments with natural ionization.*

**Keywords:** aeroion, aeroionization, of the special setting Ministry of emergency measures of Ukraine, natural source of aeroionization, the emission of radioactive substances, the source of radon emanation, balloelektricheskyy and triboelectric effect.