

*Показана доцільність нормалізації умов праці в приміщеннях спеціального призначення Державної служби України з надзвичайних ситуацій шляхом штучної біполярної аероіонізації. Розроблена конструкція біполярного аероіонізатора, що регулюється, та визначені співвідношення, які дозволяють визначати його конструктивні та режимні параметри та оцінити аероіонний режим приміщень при використанні запропонованого пристрою*

*Ключові слова: охорона праці, приміщення спеціального призначення, аероіонізація, концентрація аероіонів, приточний струмінь*

*Показана целесообразность нормализации условий труда в помещениях специального назначения Государственной службы Украины по чрезвычайным ситуациям путем искусственной bipolarной аэроионизации. Разработана конструкция регулируемого bipolarного аэроионизатора и установлены соотношения, позволяющие определять его конструктивные и режимные параметры, а также оценить аэроионный режим помещений при использовании предлагаемого устройства*

*Ключевые слова: охрана труда, помещения специального назначения, аэроионизация, концентрация аэроионов, приточная струя*

# НОРМАЛІЗАЦІЯ УМОВ ПРАЦІ В ПРИМІЩЕННЯХ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ МЕТОДАМИ ШТУЧНОЇ АЕРОІОНІЗАЦІЇ

**І. О. Толкунов**

Заступник начальника кафедри  
Кафедра піротехнічної та спеціальної підготовки  
Харківський національний університет  
цивільного захисту України  
вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61023  
E-mail: tolkunov\_ia@mail.ru, psp@nuczu.edu.ua

## 1. Вступ

Надійність та ефективність функціонування Єдиної державної системи цивільного захисту в Україні безпосередньо пов'язані з ефективністю діяльності особового складу підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС України) як в складних умовах локалізації та ліквідації надзвичайних ситуацій (НС), так і в умовах несення оперативного чергування. Для фахівців, які виконують завдання за призначенням в приміщеннях спеціального призначення (ПСП) (приміщення оперативного управління силами і засобами ДСНС України, приміщення функціональних підрозділів мобільного госпіталю ДСНС України, пункти управління цивільної оборони тощо) це в значній мірі пов'язано з якісними показниками штучного робочого середовища, які визначають як високу працездатність персоналу на протязі тривалого часу, так і забезпечують збереження його здоров'я та попередження професійних захворювань. Досвід експлуатації різних ПСП доводить, що знехтування навіть окремими, на перший погляд незначними, вимогами до умов робочого середовища призводить до зниження надійності і загальної ефективності всієї системи в цілому. При цьому створення оптимального робочого середовища, показники якого визначені та регламентуються цілим рядом нормативних документів [1 – 3], являється актуальною науково-технічною задачею.

## 2. Постановка проблеми

Дотримання вимог з охорони праці особового складу підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту (ОРС ЦЗ) ДСНС України залежить від багатьох параметрів робочого середовища мікрокліматичного, фізико-хімічного, санітарно-гігієнічного характеру, до показників якого висуваються підвищені вимоги щодо якісного стану та дотримання правил з охорони праці [4]. Підтримання необхідних мікрокліматичних та фізико-хімічних показників робочого середовища приміщень спеціального призначення (ПСП) цих підрозділів забезпечується сучасними високоефективними системами вентиляції та кондиціонування. В той же час, їх застосування залишає повітря робочої зони ПСП без природного іонного складу (позитивно та негативно заряджених аероіонів (АІ)), який в значній мірі впливає на загальний стан персоналу означених підрозділів та ефективність їх діяльності в цілому [5]. Необхідний рівень концентрації легких аероіонів у приміщеннях спеціального призначення ДСНС України може бути забезпечений методами та засобами штучної аероіонізації, найбільш перспективними з яких являються коронні аероіонізатори, а їх реалізація потребує знання конкретних даних про розподіл концентрацій аероіонів в повітряному робочому середовищі при певних способах організації повітрообміну, отримання яких експериментальним шляхом пов'язано зі значи-

ми труднощами. В той же час теоретична задача про розподіл АІ в повітряному середовищі вентильованих приміщень на теперішній час потребує вирішення в формі, зручній для практичного використання.

### 3. Аналіз останніх досліджень та публікацій

До коронного аероіонізатора як до приладу для нормалізації іонного складу повітря робочого середовища ПСП висувається ціла низка вимог, одною з яких є можливість створення в робочій зоні приміщень нормативних рівнів легких АІ як позитивної та і негативної полярності.

Результати аналізу сучасних досліджень визначили наступні принципи формування комфортних умов праці в приміщеннях зі штучним робочим середовищем [6 – 8]:

1. Більш висока якість повітря в приміщенні підвищує безпечність умов праці та продуктивність праці, а також зменшує вірогідність виникнення симптомів синдрому «нездорової» будівлі.

2. Всі джерела забруднення внутрішнього повітря слід видаляти.

3. «Персональна вентиляція», тобто подача чистого іонізованого «персоналізованого повітря» з нормативними мікрокліматичними та фізико-хімічними показниками в невеликих кількостях повинна здійснюватися дуже м'яко та індивідуально поблизу зони дихання кожної працюючої людини (рис. 1).

4. Повинне забезпечуватися індивідуальне управління параметрами робочого середовища в приміщенні.



Рис. 1. Принцип подачі «персоналізованого повітря»: невелика кількість чистого іонізованого повітря м'яко подається безпосередньо в зону дихання людини

Реалізація зазначених принципів найбільш доцільна саме в умовах приміщень спеціального призначення ДСНС України, коли специфіка діяльності персоналу цих підрозділів вимагає індивідуального підходу до умов праці на кожному робочому місці.

Теоретичні дослідження механізму формування полів концентрації аероіонів в ПСР приміщень являється складною математичною задачею. Існуючі на теперішній час результати теоретичного дослідження процесів утворення повітряного середовища з різними рівнями іонізації описують тільки часткові випадки та мають більш якісний характер.

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.

В основному для опису процесів, які протікають в робочому середовищі приміщень різного призначення, використовуються рівняння аероіонного балансу з теорії атмосферної електрики. Теоретичному розгляду закономірностей аероіонного режиму присвячений ряд робіт [9 – 13].

Для приміщень спеціального призначення приточні струмені утворюються в результаті примусового витоку повітря з повіторозподільних пристроїв систем вентиляції та кондиціювання повітря. При цьому форма струменя залежить від конструктивних особливостей повіторозподільників, в тому числі від геометричних характеристик повітровипускних отворів. Так для компактних приточних струменів іонізованого повітря розподілення концентрації АІ визначається на підставі фізичних передумов та вихідних рівнянь, що входять в наступну систему [14]:

$$\begin{cases} \rho_0 V_0^2 F_0 = \int_0^\infty \rho V^2 dF \\ n_p^- V_0 F_0 = \int_0^\infty n^- V dF + \int_{x_p}^x dx \int_0^\infty \left[ \alpha n^- n^+ + \frac{qk^- n^-}{\epsilon \epsilon_0} (n^- - n^+) \right] dF, \\ n_p^+ V_0 F_0 = \int_0^\infty n^+ V dF + \int_{x_p}^x dx \int_0^\infty \alpha n^- n^+ dF \end{cases} \quad (1)$$

де  $\rho_0$  – масова щільність повітря, яке витікає,  $\text{кг/м}^3$ ;  
 $\rho$  – масова щільність повітря в довільній точці приточного струменя,  $\text{кг/м}^3$ ;

$V_0$  – швидкість витоку приточного повітря,  $\text{м/с}$ ;

$V$  – швидкість руху повітря в довільній точці струменя, яка задана координатами  $x$  та  $r$ ,  $\text{м/с}$ ;

$F_0$  – площа приточного отвору,  $\text{м}^2$ ;

$x$  – відстань від приточного отвору до певної точки на осі струменя,  $\text{м}$ ;

$r$  – радіальна відстань від осі струменя до довільної точки в його об'ємі,  $\text{м}$ ;

$dF$  – елементарна площа поперекового перетину струменя, в межах якої швидкість однакова,  $\text{м}^2$ ;

$dx$  – елементарна відстань, в межах якої швидкість руху повітря в приточному струмені однакова,  $\text{м}$ ;

$n_0^\pm$  – надлишкова концентрація легких аероіонів негативної та позитивної полярності на виході з приточного отвору аероіонізатора,  $\text{м}^{-3}$ ;

$n^\pm$  – надлишкова концентрація легких аероіонів негативної та позитивної полярності в довільній точці приточного струменя,  $\text{м}^{-3}$ ;

$x_p$  – відстань по осі струменя від приточного отвору до робочої зони,  $\text{м}$ ;

$\alpha$  – коефіцієнт рекомбінації легких аероіонів;

$q$  – елементарний заряд, Кл;

$k^-$  – електрична рухливість негативних легких аероіонів,  $\text{м}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$\epsilon$  – відносна діелектрична постійна повітря,  $\Phi/\text{м}$ ;

$\epsilon_0$  – електрична постійна,  $\Phi/\text{м}$ .

У той же час, результати експериментальних досліджень аероіонного режиму в приміщеннях спеціального призначення доводять, що понижена концентрація легких аероіонів, яка спостерігається в

них, 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, неуважності, хронічної втоми, посилює роздратованість, депресивні стани тощо [7, 8] (причому, це в рівній мірі стосується наявності в повітрі як негативних так і позитивних легких АІ, тобто аероіонний режим в ПСП повинен бути біполярним). Для ПСП, в певних умовах їх використання за призначенням на протязі тривалого часу, питання підвищення рівня комфортності для персоналу набуває особливого значення. Це визначається значимістю, тривалістю й напруженістю процесу трудової діяльності та потребує сталих фізико-хімічних та мікрокліматичних параметрів повітряного робочого середовища (в тому числі і ступінь іонізованості повітря робочої зони), які для вказаних приміщень являються функціонально необхідними та визначаються чинними нормативними документами [1 – 3].

Отже, з огляду на вищесказане, метою роботи є – нормалізація умов праці персоналу приміщень спеціального призначення ДСНС України шляхом штучної біполярної іонізації повітряного робочого середовища приміщень.

#### 4. Розробка біполярного коронного аероіонізатора та його теоретичне і експериментальне дослідження

На ряду з вищеперахованими, ще одною із основних вимог, що висуваються до коронного аероіонізатора як до приладу для нормалізації іонного складу повітряного робочого середовища ПСП, являється можливість регулювання кількості АІ, що генеруються, яка визначається полярністю, типом та формою напруги на коронуючих електродах, геометричною конфігурацією коронуючої системи (кількістю коронуючих електродів, їх розмірами, відстанню між ними) тощо [15].

Не дивлячись на те, що прилади, які можуть застосовуватися для нормалізації аероіонного режиму в ПСП в основному забезпечують необхідні рівні концентрації легких негативних аероіонів, створюючи уніполярні поля концентрації АІ в робочій зоні приміщень, що досліджувалися, слід відмітити наявність у подібних приладів вузького діапазону регулювання концентрації аероіонів. Крім того, у таких аероіонізаторів в наслідок фізичної природи коронного розряду спостерігається складність створення низьких рівнів концентрації аероіонів, оскільки при мінімально можливій напруженості електричного поля коронного розряду в повітрі утворюється декілька десятків тисяч аероіонів. Тому існуючі на теперішній час методи регулювання та технічні засоби, які реалізують ці методи, не в повній мірі забезпечують гарантовану безпеку при проведенні заходів зі штучної іонізації в ПСП і не дозволяють застосовувати інженерні методи розрахунків для забезпечення нормативних параметрів аероіонного режиму [16].

В роботі був розроблений метод регулювання концентрації аероіонів в повітряному середовищі робочої зони шляхом зміни кількості іонізованого повітря, що подається в приміщення. При цьому режимні параметри коронного розряду (напруга коронування, розподіл електричного поля тощо) не змінюються, практично необмежено розширюється діапазон регулювання концентрації АІ та підвищується стабільність рівнів аероіонізації, які створюються в робочій зоні приміщень.

Для реалізації вищезазначеного методу та створення біполярної штучної іонізації повітряного робочого середовища в ПСП був розроблений генератор АІ (ГА) із незалежним регулюванням іонної працездатності, що працює на принципі коронного розряду з урахуванням закономірностей турбулентних струменів та встановлюється на виході повітророзподільних приладів.

Конструктивно прилад біполярний аероіонізації виготовлений у вигляді прямокутної або циліндричної діелектричної камери 1, що складається з двох секцій, в яких встановлюються коронуючі електроди 2 і 3, з'єднані відповідно з високовольтними джерелами напруги негативної та позитивної полярності (рис. 2).

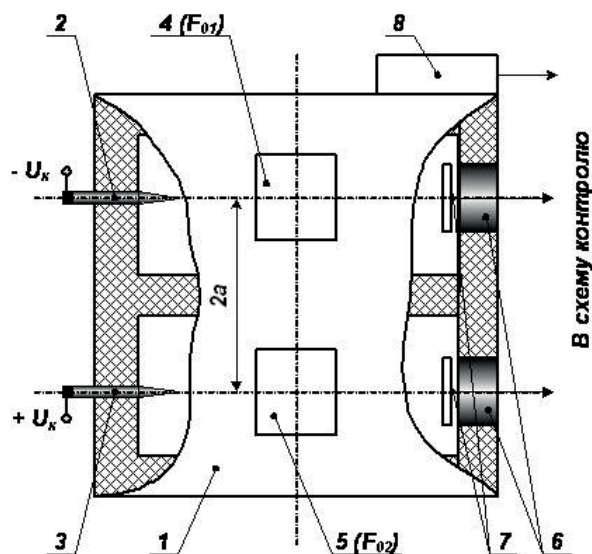


Рис. 2. Біполярний коронний генератор аероіонів, що регулюється: 1 – діелектрична камера; 2, 3 – коронуючі електроди; 4, 5 – діафрагми з отворами для виходу іонізованого повітря, пропускну здатність яких можна регулювати; 6 – діелектричні заглушки отворів; 7 – змінні напівпровідникові кремнієві резистори; 8 – блок контролю робочих параметрів приладу

На виході кожної секції встановлено діафрагми 4 і 5, що регулюються, які дозволяють змінювати площу  $F_{01}$  та  $F_{02}$  вихідних отворів для витoku іонізованого повітря, відстані між центрами яких  $2a$ . В момент витoku іонізованого повітря із отворів утворюються компактні приточні струмені, які спочатку розвиваються як вільні, а, по мірі розповсюдження, в результаті взаємодії зливаються в один здвоєний струмінь (рис. 3).

Якщо помістити початок координат в точку, яка ділить відстань  $2a$  між центрами приточних отворів

навіл, спрямувавши вісь X паралельно векторам витоку струменів, можна записати рівняння, яке визначає швидкість руху повітря V в довільній точці складного потоку у вигляді:

$$V = \frac{m}{x} \left\{ V_{01}^2 F_{01} \exp \left[ - \left( \frac{y-a}{cx} \right)^2 \right] + V_{02}^2 F_{02} \exp \left[ - \left( \frac{y+a}{cx} \right)^2 \right] \right\} \times \exp \left[ - \frac{1}{2} \left( \frac{z}{cx} \right)^2 \right] \quad (2)$$

де V<sub>01</sub> та V<sub>02</sub> – швидкість повітря в момент витоку першого та другого струменя, відповідно, м/с;

F<sub>01</sub> та F<sub>02</sub> – площі поперекових перетинів приточних отворів, м<sup>2</sup>;

x, y та z – координати точки в струмені іонізованого повітря, в якій визначається концентрація АІ, м;

a – ½ відстані між осями приточних отворів пристрою, м;

m – аеродинамічна характеристика приточного струменя, яка визначає темп затухання швидкості повітря по довжині струменя;

c – експериментальна постійна, c = 0,082.

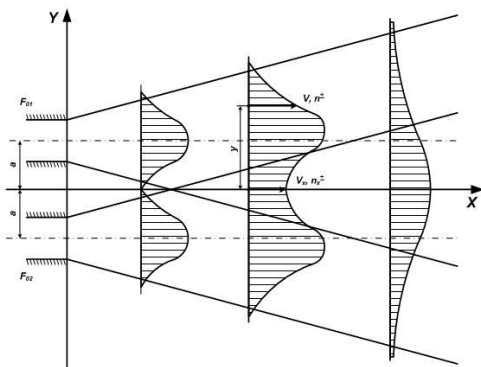


Рис. 3. Взаємодія двох паралельних приточних струменів між собою: y – координата довільної точки в струмені іонізованого повітря, м; F<sub>01</sub> та F<sub>02</sub> – площі поперекових перетинів приточних отворів, м<sup>2</sup>; V та V<sub>x</sub> – швидкість повітря в довільній точці та по осі X відповідно, м/с; n<sup>±</sup> та n<sub>x</sub><sup>±</sup> – концентрація АІ в довільній точці та по осі X відповідно, м<sup>-3</sup>

Розглядаючи розвиток струменів в головній площині координатних осей X та Y (Z = 0), формулу для швидкості V<sub>x</sub> по осі симетрії двох паралельних компактних струменів іонізованого повітря, які взаємодіють між собою, тобто по осі X (Y = 0), при рівності швидкостей їх витоку (V<sub>01</sub> = V<sub>02</sub> = V<sub>0</sub>) на значних відстанях від приточних отворів (x >> a) можна записати у вигляді:

$$V_x = \frac{m}{x} V_0 \sqrt{F_{01} + F_{02}} \quad (3)$$

Для вирішення практичних задач обрахування приладу аероіонізації повинно містити розрахунок початкової концентрації негативних та позитивних АІ n<sub>0</sub><sup>±</sup> на виході приточних отворів та площі цих отворів F<sub>01</sub> та F<sub>02</sub> за умови, що концентрація аероіонів

n<sub>x</sub><sup>±</sup> в контрольному перетині, тобто в зоні дихання персоналу, повинна мати нормативні значення (n<sub>x</sub><sup>±</sup> = n<sub>ном</sub><sup>±</sup>) [1, 2]. При цьому початкова концентрація та розміри приточних отворів являються кількісними характеристиками приладу аероіонізації та повинні увійти у вигляді параметрів у всі розрахункові формули.

Для розробленого приладу аероіонізації, коли n<sub>0</sub><sup>-</sup> > n<sub>0</sub><sup>+</sup> та можна не враховувати вплив ефектів електростатичного розсіювання, система диференціальних рівнянь, що описує процеси формування полів концентрації аероіонів у сумісному струмені (по аналогії з (1) [14]), в цьому випадку може бути записаною у вигляді:

$$\begin{cases} \rho_0 V_0^2 (F_{01} + F_{02}) = \int_0^\infty \rho V^2 dF \\ n_p^- V_0 F_{01} = \int_0^\infty n^- V dF + \int_{x_p}^x dx \int_0^\infty \alpha n^- n^+ dF \\ n_p^+ V_0 F_{02} = \int_0^\infty n^+ V dF + \int_{x_p}^x dx \int_0^\infty \alpha n^- n^+ dF \end{cases} \quad (4)$$

де x<sub>p</sub> – відстань по осі струменя від приточного отвору до перехідного перетину, м:

$$x_p = l \sqrt{F_{01} + F_{02}} ;$$

l – комплекс коефіцієнтів, які враховують вплив ефектів електростатичного розсіювання і рекомбінації;

F<sub>01</sub> та F<sub>02</sub> – площа поперекового перетину приточних отворів запропонованого біполярного коронного аероіонізатора.

Сумісне вирішення (2)–(4) та здійснення необхідних перетворень призводить до отримання розрахункових залежностей, які з достатньою для інженерних розрахунків точністю визначають зміну надлишкової концентрації легких АІ n<sub>x</sub><sup>±</sup> по осі симетрії двох паралельних компактних струменів іонізованого повітря, які взаємодіють:

$$n_x^- = \frac{l(n_0^- F_{01} - n_0^+ F_{02})}{x \sqrt{F_{01} + F_{02}} \left\{ 1 - \frac{K_y (F_{01} + F_{02})}{(1 + K_y) F_{01}} \exp \left[ -\alpha_u \frac{(n_0^- F_{01} - n_0^+ F_{02})}{V_0 (F_{01} + F_{02})} x \right] \right\}} \quad (5)$$

$$n_x^+ = \frac{l(n_0^- F_{01} - n_0^+ F_{02})}{x \sqrt{F_{01} + F_{02}} \left\{ \frac{(K_y + 1) F_{01}}{K_y (F_{01} + F_{02})} \exp \left[ \alpha_u \frac{(n_0^- F_{01} - n_0^+ F_{02})}{V_0 (F_{01} + F_{02})} x \right] - 1 \right\}} \quad (6)$$

де α<sub>u</sub> – перший коефіцієнт іонізації Таунсенда;

n<sub>x</sub><sup>±</sup> – надлишкова концентрація легких аероіонів негативної та позитивної полярності у вихідних отворах аероіонізатора, м<sup>-3</sup>;

K<sub>y</sub> – коефіцієнт уніполярності легких аероіонів,

$$K_y = \frac{n_0^+}{n_0^-}.$$

Результати зміни осьових концентрацій n<sub>x</sub><sup>±</sup>, отримані на експериментальній установці, а також розрахункові криві, побудовані із використанням співвідношень (5) та (6) приведені на рис. 4.



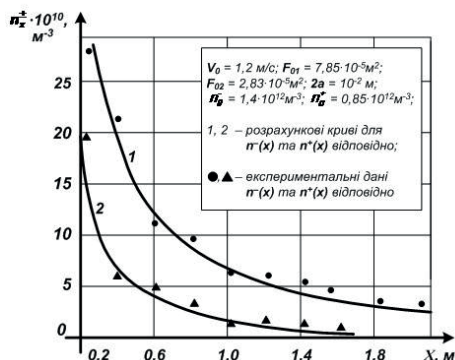


Рис. 4. Залежність розподілу надлишкової концентрації аеріонів  $n_x^+$  від відстані  $x$  вздовж осі симетрії двох приточних струменів, що взаємодіють

Кореляція результатів розрахунків та експериментальних даних задовільна. Найбільш значні розбіжності спостерігаються в початковій зоні здвоєного струменя іонізованого повітря, що пояснюється тим, що в цій ділянці окремі струмені ще не зазнали впливу один від одного.

## 5. Висновки

Як довели дослідження, для нормалізації аеріонного режиму в приміщеннях спеціального призначення ДСНС України найбільш доцільною є біполярна іонізація повітря з використанням біполярних коронних генераторів аеріонів.

Розроблений та досліджений біполярний коронний генератор аеріонів, регулювання працездатності якого здійснюється на основі використанням закономірностей турбулентних струменів, та отримані співвідношення, які з достатньою для інженерних розрахунків точністю можуть бути використаними для обрахунку полів концентрацій АІ в приміщеннях спеціального призначення ДСНС України при роботі розробленого біполярного аеріонізатора.

Установка в ПСП розробленого приладу забезпечить гарантовану безпечність експлуатації та високу ефективність заходів щодо штучної іонізації повітря з одночасним скороченням витрат на їх проведення, що обумовлено можливістю застосування інженерних методів розрахунків при розробці, виготовленні та експлуатації приладів аеріонізації.

## Література

1. Наказ МНС України від 07 травня 2007 року № 312 «Про введення в дію Правил безпеки праці в органах і підрозділах МНС України» [Текст]. – Введ. 2007-05-07. – К.: МНС України, 2007. – 198 с.
2. ГОСТ № 2152-80. Санитарно-гигиенические нормы допустимых уровней ионизации воздуха производственных и общественных помещений [Текст]. – Утв. Зам. ГГСВ СССР 12.02.1980. – Изд. офиц. – М.: Стандарт, 1980. – 14 с.
3. ГОСТ 12.1.005-88. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования [Текст]. – Утв. Гос. комитетом СССР по стандартам 29.09.1988 № 3388. – Изд. офиц. – М.: Стандарт, 1988. – 25 с.
4. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2012 році [Текст] – К.: Чорнобильінтерінформ, 2013. – 386 с.
5. Скипетров, В. П. Аэроионы и жизнь [Текст] / В. П. Скипетров – Саранск, 1997. – 116 с.
6. Толкунов, И. А. Инновационная аппаратура индивидуально-адаптированного формирования воздушной среды на рабочих местах персонала объектов специального назначения [Текст] / И. А. Толкунов, И. И. Попов, С. В. Рудаков // Труды международной Академии проблем Человека в авиации и космонавтике. Вестник. – 2013. – Вып. №2(43). – С.67–71.
7. Фангер, П. О. Качество внутреннего воздуха в XXI веке: влияние на комфорт, производительность и здоровье людей. [Электронный ресурс] – Люнгбю: Датский технологический университет, Международный центр по проблемам внутренней среды в помещениях и энергетике Департамента энергетике Дании. – Режим доступа: \www/ URL: [http://www.abok.ru/for\\_specarticles.php](http://www.abok.ru/for_specarticles.php) – 20.01.2014 р. – Загол. з екрану.
8. Ушаков, И. Б. Физиология труда и надежность деятельности человека [Текст] / И. Б. Ушаков, Ю. А. Кукушкин, А. В. Богомолов – М.: Наука, 2008. – 318 с.
9. Шилкин, А. А. Аэроионный режим в гражданских зданиях [Текст] / А. А. Шилкин, Ю. Д. Губернский, А. М. Миронов – М.: Стройиздат, 1988. – 169 с.
10. Tom, Y. The influence of negative air ions on human performance and mood. Human factors [Text] / Y. Tom, M. F. Poole, J. Yalla, J. Berrier – 1981. – v.23, № 5. – P. 633–636.
11. Krueger, A. P. Are air ions biologically significant? A review of a controversial subject [Text] / A. P. Krueger // Int. J. Biometeor. – 1972. – №16. – P. 313–322.
12. Sulman, F. G. The Effect of Air Ionization, Electric Fields, Atmospheric and Other Electric Phenomena on Man and Animal [Text] / F. G. Sulman. – Springfield: Thomas Publ., 1980. – 47 p.
13. Fomof, K. T. Stress and physiological, behavioral and performance patterns of children under varied air ion levels [Text] / K. T. Fomof, G. O. Gilbert // Int J.of Biometeorol. – 1988. – №32. – P. 260-270.
14. Толкунов, І. О. Моделювання процесів формування полів концентрації аеріонів у повітряному середовищі приміщень спеціального призначення МНС України [Текст] / І. О. Толкунов, І. І. Попов // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2010. – №12. – С. 175-184.
15. Толкунов, І. О. Деякі аспекти забезпечення нормативного аеріонного режиму робочого середовища приміщень спеціального призначення МНС України [Текст] / І. О. Толкунов, В. В. Маринюк, І. І. Попов, В. В. Пономар // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2008. – №8. – С.198-206.
16. Верещагин, И. П. Коронный разряд в аппаратах электронно-ионной технологии [Текст] / И. П. Верещагин. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 159 с.