

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОПТИМАЛЬНОЇ КОМФОРТНОСТІ У РОБОЧОЇ ЗОНІ ПРИМІЩЕННЯ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА

О. І. Запорожець

Національний авіаційний університет
просп. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03058, Україна. E-mail: zap@nau.edu.ua

С. В. Сукач, О. Г. Галаган, Т. Ф. Козловська

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: sergvs69@mail.ru; galaganoleg@mail.ru

Обґрунтовано доцільність створення багатофункціональних моделей систем керування, дослідження просторових, часових змін і взаємозв'язку різних фізичних факторів виробничого середовища та необхідність визначення оптимальних параметрів повітря у приміщенні, за яких комфортність буде максимальною. Проведено натурні експериментальні визначення залежності концентрацій негативних аероіонів від відносної вологості повітря за різних відстаней від джерела іонізації. Отримано найбільш прийнятні відстані розміщення робочих місць від джерела іонізації повітря, при яких концентрації аероіонів практично не залежать від значень відносної вологості. Проведено дослідження на екстремум нелінійної залежності коефіцієнта комфортності і знайдено максимум величиною 0,818 із чисельними значеннями координат: температура 21,5 °С, відносна вологість 49 %, швидкість руху повітря 0,15 м/с, концентрація негативних аероіонів 3956 см⁻³ відповідно.

Ключові слова: математична модель, фізичні фактори повітряного середовища, коефіцієнт комфортності, концентрація аероіонів, екстремум.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОПТИМАЛЬНОЙ КОМФОРТНОСТИ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ ПОМЕЩЕНИЯ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

А. И. Запорожец

Национальный авиационный университет
просп. Космонавта Комарова, 1, г. Киев, 03058, Украина. E-mail: zap@nau.edu.ua

С. В. Сукач, О. Г. Галаган, Т. Ф. Козловская

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: sergvs69@mail.ru; galaganoleg@mail.ru

Обоснована целесообразность создания многофункциональных моделей систем управления, исследования пространственных, временных зависимостей и взаимосвязи различных физических факторов производственной среды, а также необходимости определения оптимальных параметров воздуха в помещении, при которых комфортность будет максимальной. Проведены натурные эксперименты получения зависимостей концентраций отрицательных аэроионов от относительной влажности воздуха при различных расстояниях от источника ионизации. Получены наиболее приемлемые расстояния размещения рабочих мест от источника ионизации воздуха, при которых концентрации аэроионов практически не зависят от значений относительной влажности. Проведены исследования на экстремум нелинейной зависимости коэффициента комфортности и получен максимум величиной 0,818 с численными значениями координат: температура 21,5 °С, относительная влажность 49 %, скорость движения воздуха 0,15 м/с, концентрация отрицательных аэроионов 3956 см⁻³ соответственно.

Ключевые слова: математическая модель, физические факторы воздушной среды, коэффициент комфортности, концентрация аэроионов, экстремум.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. В останнє десятиріччя спостерігається суттєве збільшення техногенного навантаження на середовище приміщень, тому дедалі вагомішою складовою працезохоронних заходів стає забезпечення нормативних показників мікроклімату, аероіонного складу повітря виробничих приміщень, електромагнітного навантаження під час роботи електроустаткування, інших складових виробничого середовища як шлях захисту працюючих від впливу несприятливих фізичних факторів [1–3].

Виробничі приміщення характеризуються різними об'ємними та мікрокліматичними показниками, газовим складом повітря, кількістю людей, характером виконуваних робіт, якісним і кількісним складом технологічного обладнання [4]. Таким чином, для підтримки нормованих показників виробничого середовища необхідно використовувати різні алгоритми керування автоматизованими системами створення комфортних і безпечних умов праці [5–7]. В одному приміщенні достатньо здійснювати конт-

роль і керування тільки мікрокліматичними параметрами, в іншому – ще додатково аероіонним складом, в третьому, за наявності електричних машин та іншого механічного обладнання, також слід урахувати фактори статичних і змінних електричних і магнітних полів, електризації поверхонь тощо. У зв'язку з цим необхідно створення багатофункціональних моделей систем керування, дослідження просторових, часових змін і взаємозв'язку різних фізичних факторів виробничого середовища [8].

Поодинокі дані, отримані останніми роками, свідчать про розвиток наукових напрямків досліджень з оптимізації фізичних факторів виробничого середовища, про намагання оцінити вплив аероіонного складу повітря, електромагнітних, мікрокліматичних й інших факторів робочої зони виробничого середовища. Однак під час проектування і розробки автоматизованих систем зі створення комфортних і безпечних умов праці необхідно визначати оптимальні параметри повітря у приміщенні, за яких ком-

фортність буде максимальною.

С урахуванням вищевикладеного метою роботи є отримання оптимальних мікрокліматичних параметрів у робочих зонах приміщень за рахунок визначення екстремуму функції коефіцієнта комфортності від чотирьох змінних – температури, відносної вологості, швидкості руху повітря та концентрації негативних аероіонів.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Сучасні приміщення оснащені кондиціонерами, але кондиціоноване повітря, не дивлячись на уявну свіжість, є мертвим, у ньому повністю відсутні легкі аероіони, які необхідні людині, а різноманітна офісна і побутова техніка деіонізує повітря та збільшує кількість шкідливих важких іонів у повітрі. Більшість працівників, які перебувають у такому приміщенні, відчувають дискомфорт, задуху, втому і зниження концентрації уваги.

Розширений аналіз якості повітряного середовища довів, що іонізація повітря у приміщенні має особливе значення, вона може впливати як окремо від інших фізичних факторів, так і у сукупності з ними [9]. Крім цього, необхідність урахування фак-

тора іонізації повітря зумовлена тим, що його вплив може бути як різко вираженим, так і мало відчутним, але при цьому здатним суттєво впливати за тривалої дії.

Таким чином, з урахуванням вищевикладеного до визначення оптимальних параметрів повітряного середовища та формування комплексу організаційно-технічних заходів щодо нормалізації (оптимізації) аероіонного складу повітря приміщень необхідного дослідження можливого впливу мікрокліматичних показників на концентрації аероіонів, які перебувають у стані динамічної рівноваги.

З урахуванням того, що температура повітря у приміщенні не суттєво впливає на аероіонний склад повітря [8], а у той же час відносна вологість повітря є більш важливим фактором, від якого залежить процес утворення аероіон-радикалів або комплексів «аероіон-радикал-хімічна речовина» [10, 11], проведенні натурні експериментальні визначення залежності концентрацій негативних аероіонів від відносної вологості повітря за різних відстаней від джерела іонізації (рис. 1).

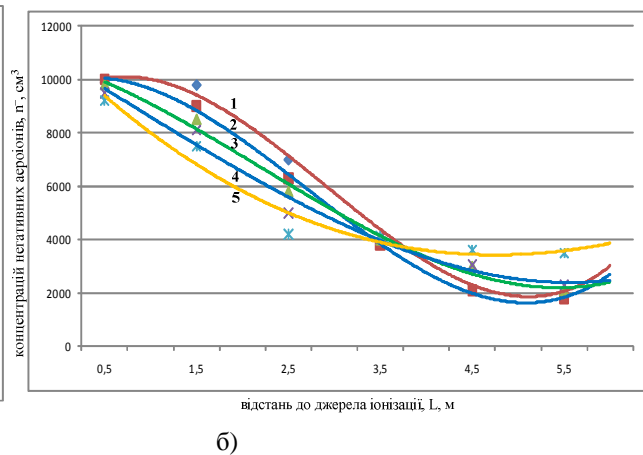
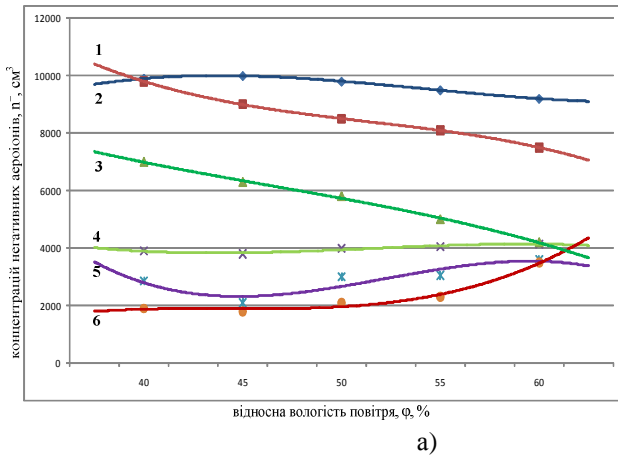


Рисунок 1 – Залежності зміни концентрацій негативних аероіонів приміщенні від відносної вологості повітря за різних відстаней від джерела іонізації: 1 – 0,5 м; 2 – 1,5 м; 3 – 2,5 м; 4 – 3,5 м; 5 – 4,5 м; 6 – 5,5 м (а) і від відстані до джерела іонізації за різної відносної вологості повітря: 1 – 40 %; 2 – 45 %; 3 – 50 %; 4 – 55 %; 5 – 60 % (б)

Аналіз отриманих даних свідчить, що зміна концентрацій аероіонів від відносної вологості на різних відстанях від джерела підкоряється залежності $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$ ($R^2 = 0,95 - 0,99$), що можна пояснити наступним чином. На малих відстанях від джерела утворення аероіонів за відносної вологості нижче за 40 % концентрація комплексів $[n \dots H_2O]_m$ є достатньо низькою, щоб впливати на загальний вміст аероіонів у повітрі. Зі збільшенням відносної вологості та відстані від джерела іонізації зростає й концентрація комплексів $[n \dots H_2O]_m$, тому відбувається стрімке зниження концентрації власне аероіонів. За низьких початкових концентрацій аероіонів спостерігається зворотна картина – на більших відстанях відбувається виникнення аерозолів із малими рухливостями, які не реєструються лічильником аероіонів (рухливість нижче за $0,4 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$).

На великих відстанях спостерігається збільшення концентрації аероіонів при збільшенні відносної вологості.

З графіків зміни концентрацій негативних аероіонів від відстані до джерела іонізації за різної відносної вологості повітря (рис. 1, б) можна зробити висновок, що відстані 3–4 м від джерела іонізації повітря є найбільш прийнятними для розміщення робочих місць через те, що концентрації аероіонів за таких умов практично не залежать від значень відносної вологості.

У зв'язку з наведеним, для розрахунку багатфакторної моделі коефіцієнта комфортності повітряного середовища приміщень (1) [8] авторами використовувалась крива 4 (рис. 1, а), що відповідає відстані 3,5 м від джерела іонізації.

$$K_k = -4,22792 + 0,346497 \cdot T + 0,0333896 \cdot \varphi - 0,459896 \cdot v + 0,000302188 \cdot n^- -$$

$$-0,00763672 \cdot T^2 - 0,00053125 \cdot T \cdot \varphi + 0,0421875 \cdot T \cdot v - 9,375 \cdot 10^{-7} \cdot T \cdot n^- - 0,0002115 \cdot \varphi^2 -$$

$$-0,00025 \cdot \varphi \cdot v - 3,5 \cdot 10^{-7} \cdot \varphi \cdot n^- - 1,59375 \cdot v^2 + 0,0000125 \cdot v \cdot n^- - 3,375 \cdot 10^{-8} \cdot (n^-)^2, \quad (1)$$

де T – температура у приміщенні, °C; φ – відносна вологість повітря, %; v – швидкість руху повітря, м/с; n^- – концентрація негативних аероіонів, см⁻³.

На наступному етапі досліджень для розробки систем підтримання оптимальних комфортних і безпечних умов праці необхідно визначити параметри (температура T , відносна вологість φ , швидкість руху повітря v , концентрація негативних аероіонів n^-), за яких коефіцієнт комфортності K_k буде максимальним.

Задача зводиться до дослідження на екстремум функції K_k чотирьох змінних T, φ, v, n^- – вираз (1).

$$\begin{cases} 0,01527344 \cdot T + 0,00053125 \cdot \varphi - 0,0421875 \cdot v + 9,375 \cdot 10^{-7} \cdot n^- = 0,346497, \\ 0,00053125 \cdot T + 0,000423 \cdot \varphi + 0,00025 \cdot v + 3,5 \cdot 10^{-7} \cdot n^- = 0,0333896, \\ 0,0421875 \cdot T - 0,00025 \cdot \varphi - 3,1875 \cdot v + 0,0000125 \cdot n^- = 0,459896, \\ 9,375 \cdot 10^{-7} \cdot T + 3,5 \cdot 10^{-7} \cdot \varphi - 0,0000125 \cdot v + 6,75 \cdot 10^{-8} \cdot n^- = 0,000302188, \end{cases} \quad (3)$$

Розв'язання системи (3) свідчить, що вона є сумісною та має єдиний розв'язок – це точка P (21,145; 49,018; 0,147; 3956) із чисельними значеннями координат T, φ, v, n^- відповідно. Точка P є стаціонарною, яка при виконанні достатніх умов може бути екстремумом.

$$\begin{aligned} (dK(T, \varphi, v, n^-)) &= \left(\frac{\partial K}{\partial T}\right) dT + \left(\frac{\partial K}{\partial \varphi}\right) d\varphi + \left(\frac{\partial K}{\partial v}\right) dv + \left(\frac{\partial K}{\partial n^-}\right) dn^- + \left(\frac{\partial K}{\partial \varphi \partial T}\right) d\varphi dT + \\ &+ \left(\frac{\partial K}{\partial \varphi}\right) d\varphi + \left(\frac{\partial K}{\partial \varphi \partial v}\right) d\varphi dv + \left(\frac{\partial K}{\partial \varphi \partial n^-}\right) d\varphi dn^- + \left(\frac{\partial K}{\partial v \partial T}\right) dv dT + \left(\frac{\partial K}{\partial v \partial \varphi}\right) dv d\varphi + \left(\frac{\partial K}{\partial v}\right) dv + \\ &+ \left(\frac{\partial K}{\partial v \partial n^-}\right) dv dn^- + \left(\frac{\partial K}{\partial n^- \partial T}\right) dn^- dT + \left(\frac{\partial K}{\partial n^- \partial \varphi}\right) dn^- d\varphi + \left(\frac{\partial K}{\partial n^- \partial v}\right) dn^- dv + \left(\frac{\partial K}{\partial (n^-)}\right) dn^-. \end{aligned} \quad (4)$$

Права частина (4) є квадратичною формою [12, 13] відносно змінних $dT, d\varphi, dv, dn^-$ з коефіцієнтами у вигляді других частинних похідних в точці P (21,145; 49,018; 0,147; 3956). Позначимо коефіцієнти квадратичної форми:

$$\underline{a}_{ij}, \quad i = \overline{1;4}, \quad j = \overline{1;4}, \quad (5)$$

$$\begin{pmatrix} -0,01527344 & -0,00053125 & 0,0421875 & -9,375 \cdot 10^{-7} \\ -0,00053125 & -0,000423 & -0,00025 & -3,5 \cdot 10^{-7} \\ 0,0421875 & -0,00025 & -3,1875 & 0,0000125 \\ -9,375 \cdot 10^{-7} & -3,5 \cdot 10^{-7} & 0,0000125 & -6,75 \cdot 10^{-8} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Перевіримо, чи є квадратична форма відносно змінних $dT, d\varphi, dv, dn^-$ з коефіцієнтами \underline{a}_{ij} додатно або від'ємно визначеною. Знайдемо всі кутові мінори матриці (6):

Необхідні умови. Необхідні умови існування екстремуму для (1), відповідно [12], мають вигляд:

$$\begin{cases} K'(T, \varphi, v, n^-) = 0, \\ K''(T, \varphi, v, n^-) = 0, \\ K'''(T, \varphi, v, n^-) = 0, \\ K^{(4)}(T, \varphi, v, n^-) = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Після обчислення частинних похідних у (2) отримаємо систему лінійних алгебраїчних рівнянь із чотирма змінними:

Достатні умови визначаються через поведінку в точці P другого диференціалу функції коефіцієнта комфортності $K_k(T, \varphi, v, n^-)$, що має наступний вигляд:

де першому індексу відповідає частинна похідна по T , другому – по φ , третьому – по v , четвертому – по n^- .

Обчислюючи другі похідні в точці P , знайдемо відповідні коефіцієнти квадратичної форми. Представимо їх у вигляді матриці четвертого порядку з елементами \underline{a}_{ij} , $i = \overline{1;4}$, $j = \overline{1;4}$, яка згідно з [13] є симетричною матрицею квадратичної форми (4):

$$|-0,01527344| = -0,01527344 < 0 \quad (7)$$

$$\begin{vmatrix} -0,01527344 & -0,00053125 \\ -0,00053125 & -0,000423 \end{vmatrix} = 6,178 \cdot 10^{-6} > 0 \quad (8)$$

$$\begin{vmatrix} -0,01527344 & -0,00053125 & 0,0421875 \\ -0,00053125 & -0,000423 & -0,00025 \\ 0,0421875 & -0,00025 & -3,1875 \end{vmatrix} = -1,893 \cdot 10^{-7} < 0 \quad (9)$$

$$\begin{vmatrix} -0,01527344 & -0,00053125 & 0,0421875 & -9,375 \cdot 10^{-7} \\ -0,00053125 & -0,000423 & -0,00025 & -3,5 \cdot 10^{-7} \\ 0,0421875 & -0,00025 & -3,1875 & 0,0000125 \\ -9,375 \cdot 10^{-7} & -3,5 \cdot 10^{-7} & 0,0000125 & -6,75 \cdot 10^{-8} \end{vmatrix} = 1,271 \cdot 10^{-12} > 0 \quad (10)$$

Кутові мінори матриці квадратичної форми мають чергування знаків, починаючи з від'ємного. Тому за критерієм Сильвестра квадратична форма, а з нею і диференціал другого порядку $d^2K_k(T, \varphi, v, n)_P$, буде мати від'ємне значення.

Така умова є достатньою для існування у стаціонарній точці $P(21,145; 49,018; 0,147; 3956)$ максимуму коефіцієнта комфортності $K_k(T, \varphi, v, n)$. Відповідне максимальне значення коефіцієнту комфортності обчислено величиною:

$$\max K(T, \varphi, v, n) = K(P) = K(21.145; 49.018; 0.147; 3956) = 0,818. \quad (11)$$

Отже, отримані значення оптимальних мікрокліматичних параметрів у робочих зонах приміщень за рахунок визначення екстремуму функції коефіцієнта комфортності від чотирьох змінних – температури, відносної вологості, швидкості руху повітря та концентрації негативних аероіонів.

ВИСНОВКИ. Натурні дослідження довели, що відстані 3–4 м від джерела іонізації повітря є найбільш прийнятними для розміщення робочих місць через те, що концентрації аероіонів практично не залежать від значень відносної вологості.

Нелінійна залежність коефіцієнту комфортності досліджена на екстремум з отриманим значенням 0,818 і чисельними значеннями координат – температура 21,5 °С, відносна вологість 49 %, швидкість руху повітря 0,15 м/с, концентрація негативних аероіонів 3956 см⁻³ відповідно.

Визначені оптимальні мікрокліматичні параметри запропоновані до використання як критерії управління у системах керування пристроями зі створення комфортних і безпечних умов праці в робочій зоні.

ЛИТЕРАТУРА

1. Онищенко Г.Г., Новиков С.М., Рахманин Ю.А. и др. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. – 408 с.
2. Губернский Ю.Д., Лицкевич В.К. Жилище для человека. – М.: Стройиздат, 1991. – 227 с.
3. Підтримка параметрів мікроклімату в нормативних межах як засіб створення комфортних умов праці / М.М. Авраменко, С.В. Сукач, М.А. Кобилянський // Електромеханічні і енергозберігаючі системи: щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КНУ, 2010. – Вип. 4/2010 (12). – С. 94–99.
4. Метод і засоби контролю та управління якістю повітряного середовища у приміщеннях: монографія / С. В. Сукач, Ю. І. Шульга. – Кременчук: ПП Щербатих О.В., 2013. – 192 с.
5. Автоматизована система контролю та керування параметрами повітряного середовища примі-

щень / С.В. Сукач, О.В. Мозговой, М.А. Кобилянський, О.Л. Величко // Електромеханічні і енергозберігаючі системи: щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2012. – Вип. 4/2012 (20). – С. 127–132.

6. Інноваційні підходи до автоматизації та диспетчеризації функціонування вентиляційних систем / С.В. Сукач, О.І. Запорожець // Збірник наукових праць «Управління розвитком складних систем». – Київ: КНУБА, 2014. – № 20. – С. 185–190.

7. Глива В.А. Моніторинг та нормалізація фізичних факторів виробничого середовища при експлуатації автоматизованих систем: дис. ... д-ра техн. наук: 05.26.21. – Київ, 2012. – 320 с.

8. Сукач С.В. Багатофакторна математична модель комфортного повітряного середовища навчальних приміщень // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2014. – Вип. 5/2014 (88). – С. 112–117.

9. Jonassen N. Neutralization of Static Charges by Air Joins: Part 2, Experimental Results // Compliance Engineering. – 2002. – Iss. 19 (4). – PP. 22–27.

10. Козловская Т.Ф., Сукач С.В. Кинетико-термодинамическое обоснование последовательно-параллельного взаимодействия частиц при образовании аэроионов // Збірник наукових праць XVII Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика», 17–19 травня 2016 р. – Кременчук: КрНУ, 2016. – Вип. 1/2016 (4). – С. 134–137.

11. Козловська Т.Ф., Сукач С.В., Кравець О.М. Оцінка та шляхи мінімізації ймовірного шкідливого впливу комплексів «аероіони–хімічні речовини» повітря замкнених виробничих приміщень // Електромеханічні і енергозберігаючі системи: щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2016. – Вип. 3/2016 (35). – С. 82–88.

12. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления: В 3 т. Т. 1 – М.: Физматлит, 2006. – 680 с.

13. Семенов В.О, Ляшенко В.П., Набок Т.А., Галаган О.Г. Основы линейной алгебры и аналитической геометрии. – Кременчук: ПП Щербатих О.В., 2015. – 200 с.

**DETERMINATION OF THE PARAMETERS OPTIMUM COMFORT
IN THE WORKING AREA FACILITIES IN AIR ENVIRONMENT INDICATORS**

O. Zaporozhets

National Aviation University

Prosp. Komarova, 1, Kiev, 03058, Ukraine. E-mail: zap@nau.edu.ua

S. Sukach, O. Galagan, T. Kozlovskaya

Kremenchuk Mykhailo Ostohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: sergvs69@mail.ru; galaganoleg@mail.ru

Purpose. The feasibility of creating multi-functional models of control systems, research of spatial and temporal dependencies and interactions between various physical factors of the production environment were justified. Necessity to determine optimal air parameters in a room in which comfort will be maximum, also was justified. **Results.** Natural experiments were conducted to obtain the dependences of the concentrations of negative air ions on the relative humidity of air at different distances from the ionization source. The most acceptable values of the distance from the source of ionization of air were found at which the concentrations of air ions are practically independent of the values of the relative humidity. **Conclusions.** Studies had been conducted on the extremum of the nonlinear dependence of the comfort rate and a maximum of 0.818 with numerical values of the coordinates was obtained: temperature 21.5 °C, relative humidity 49 %, airspeed 0.15 m/s, negative air ions concentration 3956 cm⁻³. References 13, figure 1.

Key words: mathematical model, physical air pollution factors, the comfort rate, air ions concentration, extremum.

REFERENCES

1. Onischenko, G.G., Novikov, S.M., Rahmannin, Yu.A. et al. (2002), *Osnovni otsenki riska dlya zdorovya naseleniya pri vozdeystvii himicheskikh veshchestv, zagryaznyayuschih okruzhayushuyu sredu* [Based on risk assessment to human health when exposed to chemicals that pollute the environment], NII ECh i GOS, Moscow, Russia.
2. Gubernskiy, Yu.D., Litskevich, V.K. (1991), *Zhilische dlya cheloveka* [Residence for human], Stroyizdat, Moscow, Russia.
3. Avramenko, M., Sukach, S. & Kobylanski, M. (2010). "Support of parameters of microclimate in normative limits as a mean of creation of comfort terms of labour", *Electromechanical and energy saving systems: Scientific production journal*, iss. 4, no. (12), pp. 94–99.
4. Sukach, S. & Shulga, Yu. (2013). *Metodi i zasoby kontrolju ta upravlinnja yakistju povitrya v prymishhennjah* [The method and means of control and management of the quality of air in premises: monograph], PE Shcherbatykh O.V., Kremenchuk, Ukraine.
5. Sukach, S.V., Mozgovoj, A.V., Kobylansky, M.A. & Velichko, A.L. (2012), "CAS of control and management of air environment of apartments parameters", *Electromechanical and energy saving systems: Scientific production journal*, iss. 4, no. (20), pp. 127–132.
6. Sukach, S.V., Zaporozhets, O.I. (2014), "Innovation approaches to automation and scheduling of ventilation systems operation", *Collection of scientific works "Management of development of complex systems"*, no. 20, pp. 185–190.
7. Gliva, V.A. (2012), *Monitoring ta normalizatsiya fizichnih faktoriv virobnichogo seredovischa pri ekspluatatsii avtomatizovanih sistem* [Monitoring and normalization physical environment factors in the operation of automated systems], Dis. Doctor. tehn. Sciences: 05.26.21, Kiiv, Ukraine.
8. Sukach, S.V. (2014), "Multivariate mathematical model of a comfortable air environment classrooms", *Transaction of Kremenchuk Mykhailo Ostohradskyi National University*, iss. 5, no. 88, pp. 112–117.
9. Jonassen, N. (2002), "Neutralization of Static Charges by Air Joins. Experimental Results", *Compliance Engineering*, vol. 19, no. 4, pp. 22–27.
10. Kozlovskaya, T.F., Sukach, S.V. (2016), "Kinetic and thermodynamic ground of consistently-parallel cooperation of particles at formation of aeroions", *Collection of scientific works of XVII of the International scientific and technical conference "Problemi energoresursozberezhennya v elektrotehnichnih sistemah. Nauka, osvita i praktika"*, May 17–19, iss. 1, no. 4, pp. 134–137.
11. Kozlovskaya, T.F., Sukach, S.V., Kravets, O.M. (2016), "Assessment and ways to minimize the harmful effects of probabilistic systems "air ions and chemical substances" air of closed industrial premises", *Electromechanical and energy saving systems: Scientific production journal*, iss. 3, no. 35, pp. 82–88.
12. Fihntengolts G.M. (2006), *Kurs differentsialnogo i integralnogo ischisleniya: v 3 t. T. 1* [Differential and integral calculus], Fizmatlit, Moscow, Russia.
13. Semenov V.O., Lyashenko V.P., Nabok T.A., Galagan O.G. (2015), *Osnovi liniynoy algebri i analitichnoy geometrii* [Fundamentals of linear algebra and analytic geometry], PE Scherbatih O.V., Kremenchuk, Ukraine.

Стаття надійшла 26.01.2017.