

УДК 697.922:628.852.2

БАГАТОФАКТОРНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КОМФОРТНОГО ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА НАВЧАЛЬНИХ ПРИМІЩЕНЬ

С. В. Сукач

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

Обґрунтовано необхідність розширення розрахованого коефіцієнта комфортності, урахування фактичного складу повітря та впливу один на одного його основних показників – температури, відносної вологості, швидкості руху та ступеня іонізації. Проведено експериментальне визначення залежності зміни концентрацій негативних аероіонів від відносної вологості в приміщенні. Шляхом застосування методу планування експерименту отримано математичну модель, яка може бути використана в комплексних системах автоматизації і диспетчеризації управління технічних оснащень вентиляційних систем. Встановлено взаємозв'язок між концентраціями негативних аероіонів і відстанню від джерела іонізації повітря.

Ключові слова: математична модель, фізичні фактори повітряного середовища, коефіцієнт комфортності, вентиляція, система управління.

МНОГОФАКТОРНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОМФОРТНОЙ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ УЧЕБНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

С. В. Сукач

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

Обоснована необходимость расширения рассчитанного коэффициента комфортности, учета фактического состава воздуха и взаимодействие друг на друга его основных показателей – температуры, относительной влажности, скорости движения и ионизации. Проведены экспериментальные исследования определения зависимости изменения концентраций отрицательных аэроионов от относительной влажности в помещении. Методом планирования эксперимента получена математическая модель, которая может быть использована в комплексных системах автоматизации и диспетчеризации управления техническим оснащением вентиляционных систем. Установлена взаимосвязь между концентрациями отрицательных аэроионов и расстоянием от источника ионизации воздуха.

Ключевые слова: математическая модель, физические факторы воздушной среды, коэффициент комфортности, вентиляция, система управления.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. На самопочуття людини та на задовільний стан її здоров'я значною мірою впливають повсякденні фактори, такі як мікроклімат і якість повітря в приміщенні, де вона перебуває довгий час.

Більшість людей 80 % свого життя проводять у приміщеннях. На сьогоднішній день підтримання стану повітря у приміщеннях на належному рівні досягається, в основному, за рахунок природного провітрювання та примусової вентиляції. Останні зазвичай працюють у стаціонарному режимі без урахування фактичного складу повітря та його визначених основних показників – температури, відносної вологості, швидкості руху та іонізації.

Значення чинника повітряного середовища з точки зору охорони праці визначається ступенем його впливу на працівника [1–4]. Свого часу авторами розроблено трифакторну модель комфортності, отримавши залежність комфортного стану працівника від температури, відносної вологості, швидкості руху повітря [5, 6].

Сучасні приміщення оснащені кондиціонерами, але кондиційоване повітря, не дивлячись на уявну свіжість, є мертвим, у ньому повністю відсутні легкі аерофони, які так 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. Крім цього, необхідність урахування чинника іонізації повітря зумовлена тим, що його вплив може бути як різко вираженим, так і мало відчутним, але при цьому здатний суттєво впливати за тривалої дії.

В Україні нормуються концентрації легких аероіонів згідно з допустимими рівнями іонізації повітря виробничих і громадських приміщень [1]. У документі встановлені критерії визначення легких аероіонів для контролю рівнів їх концентрацій у повітрі, а також показник полярності, що характеризує співвідношення концентрацій позитивних і негативних легких іонів.

Таким чином, з урахуванням вищевикладеного виникла необхідність розширення параметрів коефіцієнта комфортності, урахування як вмісту концентрацій аероіонів, так і взаємодії фізичних факторів повітря у приміщенні одного одним.

Метою роботи є вдосконалення моделі коефіцієнта комфортності мікроклімату приміщень методом планування експерименту з додаванням величини іонізації повітряного середовища.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Шляхом застосування методу планування експерименту отримано трифакторну модель коефіцієнта комфортності залежно від температури, відносної вологості та

швидкості руху повітря в приміщенні. Доведено, що коефіцієнт комфортності квадратично залежить від температури і відносної вологості, лінійно – від швидкості руху повітря [5]. Синтезована модель використовується в алгоритмах керування системами вентиляції [7, 8]. Формування комплексу організаційно-технічних заходів щодо нормалізації (оптимізації) аероіонного складу повітря приміщень потребує дослідження можливого впливу мікрокліматичних показників на концентрації аероіонів, які перебувають у стані динамічної рівноваги.

Відповідно до санітарно-гігієнічних вимог [2–4], найбільш сприятливим є значення температури 20–25 °С, а допустимими є коливання в теплий період від 20 до 28 °С, у холодний і перехідний періоди від 18 до 22 °С. Відносна вологість вважається оптимальною в діапазоні від 30 до 60 %. Верхня допустима межа вологості – 65 %.

При температурі повітря 20–25 °С допустима швидкість руху повітря має складати 0,2–0,3 м/с – для легких робіт, 0,4–0,5 м/с – для робіт середньої тяжкості та 0,6 м/с – для тяжких робіт [4].

З урахуванням того, що температура повітря у приміщенні впливає тільки на коефіцієнт дифузії аероіонів, вплив температури на аероіонний склад повітря (поширення аероіонів від джерел) можна вважати несуттєвим.

У той же час відносна вологість повітря є важливим чинником, що обумовлено механізмом утворення аероіонів.

Ступінь іонізованості повітряного середовища визначається кількістю іонів кожної полярності в одному кубічному сантиметрі повітря. Практично генерується однакова кількість аероіонів обох знаків (показник полярності $\Pi=0$ [1]). У зв'язку з цим достатнім буде розглядати підтримання необхідної кількості негативних аероіонів.

Експериментальне визначення залежності концентрацій негативних аероіонів виконувалося у приміщенні розмірами 1,5×6×4,8 м із примусовою вентиляцією. Зміна вологості досягалася розпиленням води зволожувачем повітря і контролювалася стандартним психрометром Астмана. Результати досліджень наведено на рис. 1.

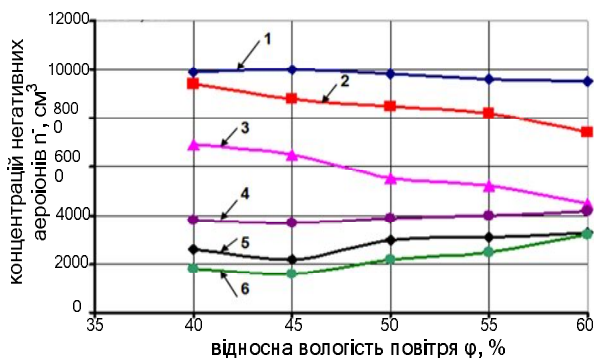


Рисунок 1 – Залежності зміни концентрацій негативних аероіонів у приміщенні від відносної вологості повітря при різних відстанях від джерела іонізації (1 – 0,3 м; 2 – 1 м; 3 – 2 м, 4 – 3 м, 5 – 5 м, 6 – 6 м)

Різні залежності зміни концентрацій аероіонів від відносної вологості на різних відстанях від джерела можна пояснити наступним чином. На малих відстанях незалежність концентрації від відносної вологості пояснюється, на нашу думку, тим, що за великої концентрації аероіонів процес приєднання до них молекул води не встигає відбуватись.

На більших відстанях відбувається виникання аерозолей з 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 при різних відносних вологостей повітря (рис. 2) можна зробити висновок, що відстані 2,5–3,5 м від джерела іонізації повітря є найбільш прийнятними для розміщення робочих місць через те, що концентрації аероіонів практично не залежать від значень відносної вологості.

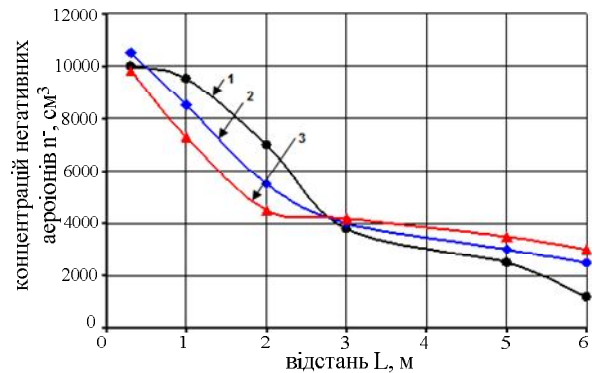


Рисунок 2 – Залежності зміни концентрацій негативних аероіонів від відстані джерела іонізації за різної відносної вологості повітря (1 – 40 %; 2 – 50 %; 3 – 60 %)

У зв'язку з наведеним для розрахунку комплексного коефіцієнта комфортності фізичних чинників повітряного середовища приміщень будемо використовувати криву 4 (рис. 1), що відповідає відстані 3 м від джерела іонізації. Відчуттю комфорту людини відповідає визначений діапазон температури (Т), відносної вологості (φ) і швидкості повітря (v), концентрацій аероіонів (n^-) (табл. 1).

Таблиця 1 – Діапазон комфортних значень температури, відносної вологості, швидкості повітря та концентрацій негативних аероіонів

Т, °С	v, м/с	$\varphi, \%$	$n^-, \text{см}^3$
18	0..0,1	60..75	4200...5500
19	0..0,12	39..73	3600...5450
20	0..0,15	38..72	3550...5400
21	0..0,2	37..69	3550...5100
22	0..0,25	35..67	3500...4900
23	0..0,3	34..57	3500...4200
24	0,19..0,36	35..40	3500...3800

Складність процесів управління вентиляційними системами не дозволяє отримати прості співвідношення. Урахування взаємозв'язків нелінійних процесів вимагають розробки складних алгоритмів. Одним із рішень даної проблеми є використання регресійної моделі в алгоритмі управління. Прийняті області варіювання мікрокліматичних параметрів наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Области варіювання фізичних чинників повітряного середовища приміщень при проведенні експерименту

Чинники	Позначення	Межі досліджень
Температура, °С	T	14...30
Відносна вологість повітря, %	φ	0...100
Швидкість руху повітря, м/с	v	0,05...0,5
Кількість іонів, см ³	n ⁻	600...50000

Як спосіб отримання коефіцієнтів поліноміальної моделі застосовано чотирифакторне ротота-бельне планування другого порядку [9]. Функцією відгуку є коефіцієнт комфортності. Аналіз експериментальних і наукових досліджень впливу фізичних чинників повітряного середовища на загальний стан людей, які перебувають у навчальних приміщеннях показав, що найбільший вплив чинить температурно-вологісний режим.

Вторинною є залежність зміни температури від швидкості руху повітря у зв'язку з тим, що швидкості руху повітря у багатьох приміщеннях змінюються незначно, і залежність зміни концентрації аероіонів від вологості має найменший вплив.

Чинники в кодованому вигляді і інтервали їх варіювання подано в табл. 3.

Таблиця 3 – Матриця планування експерименту

T, о. е.	φ, о. е.	v, о. е.	n ⁻ , о. е.	T, °С	φ, %	v, м/с	n ⁻ , см ³	K, о. е.
1	-1	-1	-1	26	25	0,175	3500	0,57
2	0	0	0	30	50	0,275	4000	0,23
1	1	-1	-1	26	75	0,175	3500	0,4
1	-1	-1	1	26	25	0,175	4500	0,57
0	0	0	0	22	50	0,275	4000	0,79
0	-2	0	0	22	0	0,275	4000	0,29
0	2	0	0	22	100	0,275	4000	0,29
0	0	2	0	22	50	0,475	4000	0,64
-1	-1	1	1	18	25	0,375	4500	0,47
-1	-1	-1	1	18	25	0,175	4500	0,55
-1	1	1	-1	18	75	0,375	3500	0,5
1	-1	1	1	26	25	0,375	4500	0,55
-1	1	1	1	18	75	0,375	4500	0,49
-1	-1	-1	-1	18	25	0,175	3500	0,54
-2	0	0	0	14	50	0,275	4000	0,43
1	1	1	-1	26	75	0,375	3500	0,38
-1	-1	1	-1	18	25	0,375	3500	0,45
0	0	0	-2	22	50	0,275	3000	0,79
0	0	-2	0	22	50	0,075	4000	0,87
-1	1	-1	-1	18	75	0,175	3500	0,59
1	1	-1	1	26	75	0,175	4500	0,39
-1	1	-1	1	18	75	0,175	4500	0,58
0	0	0	2	22	50	0,275	5000	0,78
1	-1	1	-1	26	25	0,375	3500	0,55
0	0	0	0	22	50	0,275	4000	0,79
1	1	1	1	26	75	0,375	4500	0,37

При проведенні факторного експерименту, згідно з вимогами рототабельного планування, в матрицю включали чотири змінні на двох рівнях (16 точок), вісім «зіркових точок» із координатами ± 2; 0; 0; 0 і сім точок – у центрі експерименту (табл. 3). У матриці планування основний рівень позначений як «0», нижній рівень – знаком «-1», верхній рівень – знаком «+1».

Загальне число дослідів:

$$N = 2^k + 2k + k_0 = 25, \quad (1)$$

де k = 4 – кількість факторів; 2^k = 16 – повний факторний експеримент (ядро плану) зображений у рядках 1...16 матриці планування; 2k=8 – зіркові точки, зображені в рядках 17...24 матриці планування (величина зоряного плеча α=2, n=1,682); k₀=1 – дослід в центрі плану. Дисперсії відтворюваності, перевірка гіпотез відтворюваності дослідів здійснювалася за критерієм Кохрен і розраховувалися коефіцієнти регресії, а їх значимість визначалася за допомогою критерію Стьюдента.

Перевірку адекватності апроксимуючого полінома виявилось неможливим виконати за традиційним

критерієм Фішера, оскільки при повторному технічному розрахунку помилка відсутня, тому ступінь розсіювання оцінювали за коефіцієнтом варіацій.

Для математичної обробки результатів проведеного експерименту було використано комплекс програм для ЕОМ, що включає розрахунки величин коефіцієнтів рівнянь регресії та оцінку значущості коефіцієнтів за критерієм Стьюдента; перевірку адекватності отриманої моделі за критерієм Фішера ($P_{расч}$) для 95 % рівня значимості (при цьому в отриману модель послідовно додавали незначимі, але близькі до межі значущості коефіцієнти з максимальною абсолютною величиною, залишаючи їх, якщо розрахункове значення критерію Фішера зменшувалося); розрахунок значень чинників, при яких забезпечуються максимальні значення апроксимуючого полінома в області варіювання чинників; розрахунок даних для побудови поверхонь відгуку при попарній зміні двох чинників і фіксуванні інших, на які задаються рівні; розрахунок за рівняннями регресії величин усіх вихідних параметрів при заданих значеннях чинників.

Адекватність рівняння перевіряли шляхом розрахунку і порівняння дисперсій. Встановлено, що критерій Фішера (F) при 95 % рівня значущості дорівнює 8,33 і перевищує табличне значення ($F_{0,95}=5,1$). Перевірка статичної значущості чинників проводилася за допомогою стандартизованої Парето-карти (рис. 3).

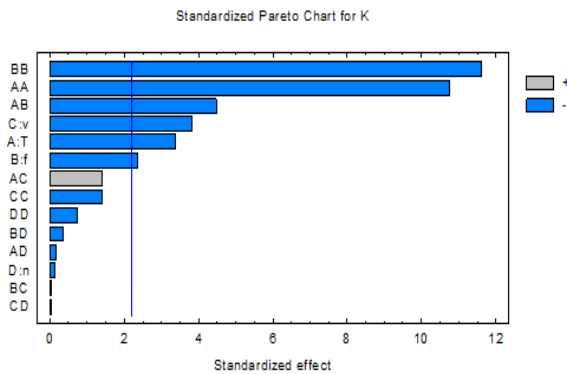


Рисунок 3 – Карта Парето регресійної моделі коефіцієнта комфортності

Рівняння регресії – модель залежності коефіцієнта комфортності від температури, відносної вологості, швидкості руху повітря і концентрацій негативних аероіонів – у загальному вигляді запишемо:

$$K = -4,22792 + 0,346497 \cdot T + 0,0333896 \cdot \varphi - 0,459896 \cdot v + 0,000302188 \cdot n^- - 0,00763672 \cdot T^2 - 0,00053125 \cdot T \cdot \varphi + 0,0421875 \cdot T \cdot v - 9,375 \cdot 10^{-7} \cdot T \cdot n^- - 0,0002115 \cdot \varphi^2 - 0,00025 \cdot \varphi \cdot v - 3,5 \cdot 10^{-7} \cdot \varphi \cdot n^- - 1,59375 \cdot v^2 + 0,0000125 \cdot v \cdot n^- - 3,375 \cdot 10^{-8} \cdot (n^-)^2, \quad (2)$$

де T – температура, °C, φ – відносна вологість повітря, %; v – швидкість руху повітря, м/с; n^- – концентрації негативних аероіонів; b – коефіцієнти

регресійної моделі.

У результаті розрахунків було отримано рівняння регресії – математичну модель залежності коефіцієнта комфортності від фізичних чинників повітряного середовища у вигляді:

$$K = -4,22792 + 0,346497 \cdot T + 0,0333896 \cdot \varphi - 0,459896 \cdot v - 0,00763672 \cdot T^2 - 0,00053125 \cdot T \cdot \varphi + 0,0421875 \cdot T \cdot v - 0,0002115 \cdot \varphi^2 - 1,59375 \cdot v^2. \quad (3)$$

Отримані математичні моделі є адекватними. Коефіцієнти, перед чинниками, свідчать про значимість вхідних параметрів і вплив їх на досліджувані чинники, а також їх парну взаємодію на вихідну величину. Коефіцієнт детермінації $R^2=0,92$.

Через те, що регресивні моделі другого порядку надають багато інформації про вплив варіюваних чинників і їх парних взаємодій на вихідну величину, ці моделі можна використовувати не тільки для оптимізації процесу створення комфортних умов праці, але й для відшукування таких значень варіюваних чинників усередині діапазону їх варіювання, для яких значення якісних і кількісних характеристик фізичних чинників повітряного середовища стають максимальними або мінімальними.

Отримані рівняння регресії та аналіз карти Парето (рис. 3) дозволяють кількісно оцінити вплив варіювання кожного з досліджуваних чинників на процес створення комфортних умов праці. Найбільший вплив на величину коефіцієнта комфортності чинять парна взаємодія температури і вологість повітря та швидкість руху повітря, незалежно від інших факторів. Концентрація аероіонів має менший вплив на комфортність.

За допомогою отриманих рівнянь регресії побудовані графічні залежності парної взаємодії фізичних чинників і їх вплив на комфортність повітряного середовища приміщень (рис. 4–7).

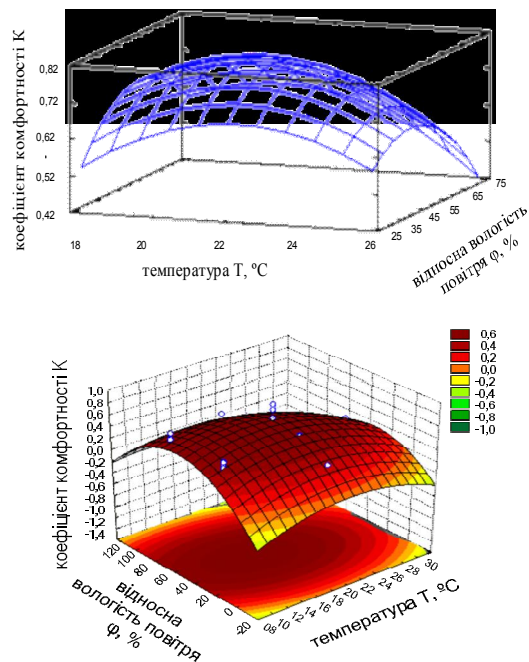


Рисунок 4 – Залежність коефіцієнта комфортності (K) від температури (T) і відносної вологості повітря (φ)

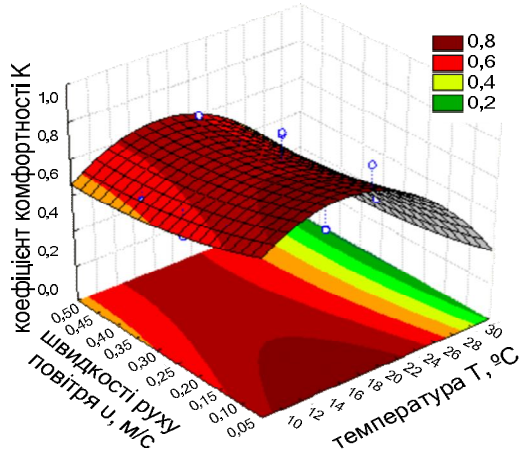
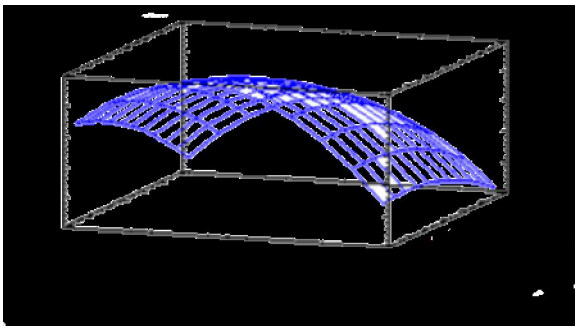


Рисунок 5 – Залежність коефіцієнта комфортності (K) від температури (T) та швидкості руху повітря (u)

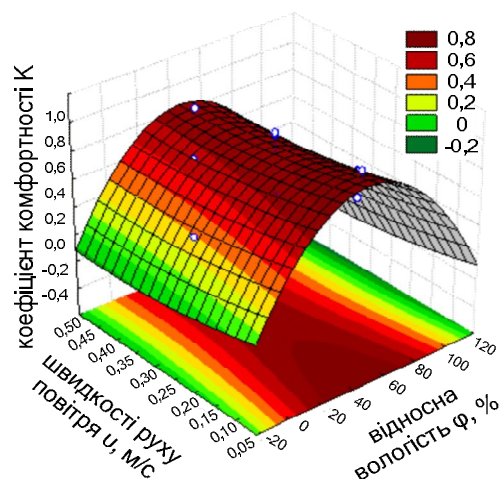
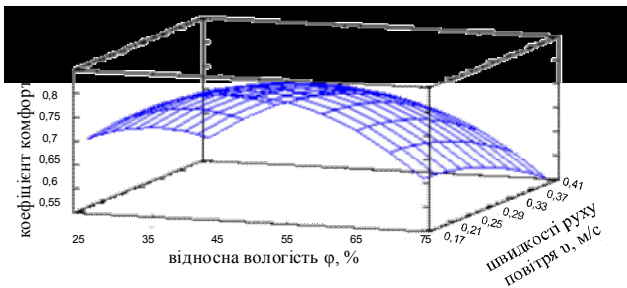


Рисунок 6 – Залежність коефіцієнта комфортності (K) від відносної вологості (φ) та швидкості руху повітря (u)

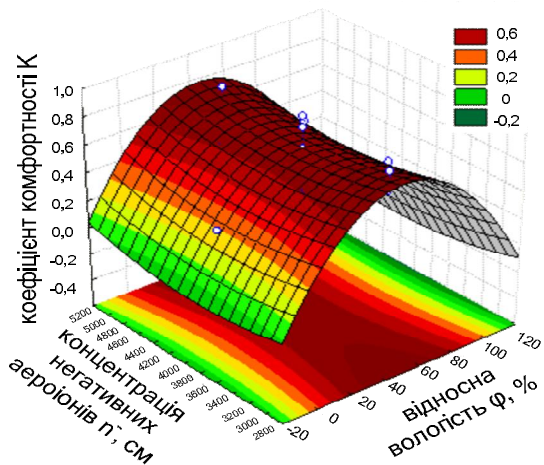
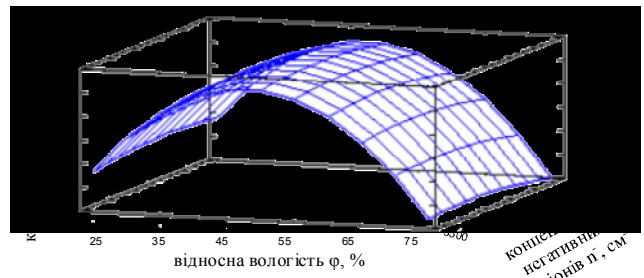


Рисунок 7 – Залежність коефіцієнта комфортності (K) від відносної вологості (φ) та концентрації негативних аероіонів (n⁻)

ВИСНОВКИ. Методом планування експерименту отримано чотирифакторну регресійну модель коефіцієнта комфортності залежно від температури, відносної вологості, швидкості руху повітря в приміщенні та концентрацій негативних аероіонів. Аналіз експериментальних і теоретичних результатів довів, що найбільший вплив на величину коефіцієнта комфортності мають парна взаємодія температури і вологості повітря та швидкість руху повітря незалежно від інших факторів. Концентрація аероіонів чинить незначний вплив на комфортність.

Отримані математичні моделі можуть бути використані при розширенні можливостей задач керування фізичними чинниками повітря навчальних приміщень з урахуванням змінних параметрів середовища.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДНАОП 0.03–3.06–80. Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень № 2152–80 [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.nau.ua>.
2. ГОСТ 12.1.005–88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – Взамен ГОСТ 12.1.005–76; введ. с 01.01.89. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 65 с.
3. ГН 3.3.5–8–6.6.1–2002. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу (Затверджено Наказом МОЗ України № 528 від 27.12.2001) [Електрон. ре-

курс]. – Режим доступу: <http://zakon.nau.ua>.

4. СНиП 41–01–2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – М.: ГУП ЦПП, 2003. – 74 с.

5. Трифакторна регресійна модель коефіцієнта комфортності мікроклімату приміщень / Ю.І. Шульга, Д.Й. Родькін, С.В. Сукач // Проблеми охорони праці в Україні. – К.: ННДІПБОП, 2011. – Вип. 21. – С. 119–124.

6. 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.

7. Підтримка параметрів мікроклімату в нормативних межах як засіб створення комфортних умов праці / М.М. Авраменко, С.В. Сукач, М.А. Кобилян-

ський // Електромеханічні і енергозберігаючі системи: щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КНУ, 2010. – Вип. 4/2010 (12). – С. 94–99.

8. Автоматизована система контролю та керування параметрами повітряного середовища приміщень / 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.

9. Статистические методы планирования экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова – М.: Наука, 1965. – 365 с.

MULTIVARIABLE MATHEMATICAL MODEL OF COMFORTABLE AIR ENVIRONMENT OF CLASSROOMS

S. Sukach

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

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

It is grounded the necessity of expanding the estimated comfort coefficient, considering the actual composition of the air and interaction between each other of its main parameters – temperature, relative humidity, velocity and ionization. The experimental determination of the dependence between changes of negative-ions concentration and the relative humidity is conducted. By applying the method of experiment planning the mathematical model is achieved. It can be used in complex automation systems and scheduling management of technical equipment of ventilation systems. The relationship between the concentration of negative ions and the distance from the source of air ionization is ascertained.

Key words: mathematical model, physical factors of air, factor of comfort, ventilation, control system.

REFERENCES

1. DNAOP 0.03–3.06–80. Sanitarno-gigienichni normi dopustimih rivniv ionizacii povittrja virobnychih ta gromads'kih primishhen' № 2152–80 [*Sanitation standards acceptable levels of air ionization proidents and public buildings № 2152–80*], available at: <http://zakon.nau.ua>, (accessed September 15, 2014).

2. GOST 12.1.005–88 SSBT (1988) *Zagal'ni sanitarno-gigienichni vymogy do povittrja robochoi' zony* [General sanitary hygienic requirements for working zone air], The publishment of standsrts, Moscow, Russia.

3. GN 3.3.5–8–6.6.1–2002 *Gigijenichna klasyfikacija praci vidpovidno do parametramy robochogo sere dovyssha faktory shkidlyvost, robochyy proces tjazhkist' i napruzhenist'* [Hygienic classification of labour according to parameters of working environment factors harmfulness and hazardness, working process heaviness and tenseness] (Approved by the Order of Ministry of Health Care of Ukraine № 528 on 27.12.2001), available at: <http://zakon.nau.ua>, (accessed August 26, 2014).

4. SNiP 41–01–2003. (2003) *Opalennja, ventyljacija ta kondycomuvannja povittrja* [Heating, ventilation and conditioning of air], GUP TsPP, Moscow, Russia.

5. Shul'ga, Yu.I., Rod'kin, D.I. & Sukach, S.V. (2011). “Three factors of regressive model of coefficient of comfort of microclimate of apartments”, *Occupational health in Ukraine*, no. 21, pp. 119–124.

6. Sukach, S. & Shulga, Yu. (2013) *Metod i zasoby kontrolju ta upravlinnja jakistju povittrja v prymishhennjah* [The method and means of control and management of the quality of air in premises: monograph], PE Shcherbatykh O.V., Kremenchuk, Ukraine.

7. Avramenko, M., Sukach, S. & Kobylyanski, 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*, KNU, Kremenchug, no. 4 (12), pp. 94–99.

8. Sukach, S.V., Mозговой, A.V., Kobylyansky, 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*, Kremenchug, KNU, no. 4 (20), pp. 127–132.

9. Nalimov, V.V. & Chernoff, N.A. (1965) *Statystychni metody planuvannja eksperymentiv* [Statistical methods of planning of experiments], Nauka, Moscow, Russia.

Стаття надійшла 06.10.2014.